



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

## FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

## ÚSTAV ELEKTROENERGETIKY

DEPARTMENT OF ELECTRICAL POWER ENGINEERING

## VIZUALIZACE A ON-LINE KONTROLA DŮLEŽITÝCH PARAMETRŮ BLOKOVÝCH A ODBOČKOVÝCH TRANSFORMÁTORŮ JADERNÉ ELEKTRÁRNY DUKOVANY

VISUALIZATION AND ONLINE CONTROL OF IMPORTANT PARAMETERS OF BLOCK AND  
TAPCHANGING TRANSFORMERS AT THE DUKOVANY NUCLEAR POWER PLANT

### DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

### AUTOR PRÁCE

AUTHOR

**Bc. David Holeš**

### VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

**doc. Ing. Petr Mastný, Ph.D.**

**BRNO 2020**

# Diplomová práce

magisterský navazující studijní obor **Elektroenergetika**

Ústav elektroenergetiky

**Student:** Bc. David Holeš

**ID:** 186081

**Ročník:** 2

**Akademický rok:** 2019/20

**NÁZEV TÉMATU:**

## **Vizualizace a on-line kontrola důležitých parametrů blokových a odbočkových transformátorů jaderné elektrárny Dukovany**

### **POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:**

1. Blokové a odbočkové transformátory – význam, parametry, konstrukce
2. Monitorovací systém blokových a odbočkových transformátorů – popis, monitorované parametry
3. Monitorovací systém elektro – popis, sběr dat, WEB rozhraní
4. Návrh vizualizace parametrů blokových a odbočkových transformátorů v rámci WEB rozhraní monitorovacího systému elektro
5. Tvorba aktivních přístupových obrazovek WEB rozhraní pro blokové a odbočkové transformátory
6. Návrh nastavení limit a kritérií důležitých monitorovaných parametrů pro bezpečný provoz blokových a odbočkových transformátorů

### **DOPORUČENÁ LITERATURA:**

podle doporučení vedoucího práce

**Termín zadání:** 3.2.2020

**Termín odevzdání:** 1.6.2020

**Vedoucí práce:** doc. Ing. Petr Mastný, Ph.D.

**doc. Ing. Petr Toman, Ph.D.**  
předseda oborové rady

### **UPOZORNĚNÍ:**

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

Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Vysoké učení technické v Brně / Technická 3058/10 / 616 00 / Brno

Bibliografická citace práce:

HOLEŠ, David. *Vizualizace a on-line kontrola důležitých parametrů blokových a odbočkových transformátorů jaderné elektrárny Dukovany* [online]. Brno, 2020 [cit. 2020-04-16]. Dostupné z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/127229>. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav elektroenergetiky. Vedoucí práce Petr Mastný.

„Prohlašuji, že svou diplomovou práci na téma *Vizualizace a on-line kontrola důležitých parametrů blokových a odbočkových transformátorů jaderné elektrárny Dukovany* jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

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

V Brně dne: 1.6.2020

.....



## Poskytnutí dokumentace EDU

**Ing. Vladimír Marušík**, VODB péče o zařízení JE Dukovany  
a **Ing. Robert Peňák**, VO péče o zařízení elektro JE Dukovany  
společnosti **ČEZ, a. s.**

se sídlem Praha 4, Duhová 2/1444, PSČ 14053, IČ: 45274649,

schvalují poskytnutí naměřených dat a dokumentů v oblasti vyvedení výkonu a blokové vlastní spotřeby Jaderné elektrárny Dukovany.

Dotčená data a dokumenty se poskytují panu Bc. Davidu Holešovi pouze pro účely vypracování a prezentace diplomové práce.

### **Bc. David Holeš**

bytem v Třebíči, Sucheniova 303/36,

datum narození 20.6.1995,

prohlašuje, že příslušné dokumenty vlastněné firmou ČEZ a.s. budou použity pro vypracování a prezentaci diplomové práce a nebudou šířeny a poskytovány třetím stranám.

Dne:

.....  
Vedoucí odboru 90E0 DU 200  
Ing. Vladimír Marušík

.....  
Vedoucí oddělení 90E0 DU 270  
Ing. Robert Peňák

.....  
Bc. David Holeš

## PODĚKOVÁNÍ

Tímto bych chtěl poděkovat panu Ing. Milanu Kasárníkovi Ph.D. a panu Ing. Otovi Marečkovi ze společnosti TES, s.r.o. za cenné rady, názory, připomínky a poskytnuté materiály použité při tvorbě a zpracování této diplomové práce.

V Brně dne: 1.6.2020

.....

## **ABSTRAKT**

Diplomová práce se zabývá návrhem vizualizací a nastavení limit důležitých parametrů blokových a odbočkových transformátorů na Jaderné elektrárně Dukovany. V první části je popis současného technického stavu olejových výkonových transformátorů na Jaderné elektrárně Dukovany, včetně popisu instalovaného monitorovacího systému transformátorů a monitorovacího systému elektro. Druhá část práce se věnuje návrhu vizualizací parametrů a schémat aktivních přístupových obrazovek blokových a odbočkových transformátorů. V práci je rovněž uveden popis webového prostředí s novou vizualizací. Poslední část diplomové práce obsahuje návrh nastavení limit a kritérií důležitých monitorovaných parametrů transformátorů.

**KLÍČOVÁ SLOVA:** Výkonové olejové transformátory; Blokované transformátory; Transformátory vlastní spotřeby; Monitorovací systém elektro; Monitorovací systém transformátorů; Diagnostický systém

## **ABSTRACT**

The thesis focuses on a design of visualization and setting limits of important parameters of power and own-consumption transformers at the nuclear power plant Dukovany. In the first part there is a description of a present technical state of oil power transformers at this power plant, including a description of a currently installed transformers monitoring system and electro monitoring system. The second part deals with a design of a visualization of parameters and a diagram design of active-access displays of monitored parameters of these transformers. In the thesis there is also a description of web interface with a new visualization. The last part of the thesis contains a design of setting the limits and criteria of important monitoring parameters of these transformers.

**KEY WORDS:** Oil power transformers; Unit transformers; Unit auxiliary transformers; Electro monitoring system; Monitoring system of transformers; Diagnostic system

## OBSAH

<b>SEZNAM OBRÁZKŮ.....</b>	<b>9</b>
<b>SEZNAM TABULEK .....</b>	<b>12</b>
<b>SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK.....</b>	<b>14</b>
<b>1 ÚVOD .....</b>	<b>17</b>
<b>2 VYVEDENÍ VÝKONU .....</b>	<b>18</b>
<b>3 POPIS VÝKONOVÝCH OLEJOVÝCH TRANSFORMÁTORŮ NA EDU .....</b>	<b>19</b>
<b>3.1 POPIS BLOKOVÝCH OLEJOVÝCH TRANSFORMÁTORŮ 300 MVA .....</b>	<b>19</b>
3.1.1 TRANSFORMÁTOROVÉ PRŮCHODKY .....	20
3.1.2 SYSTÉM CHLAZENÍ TRANSFORMÁTORŮ .....	22
3.1.3 DILATAČNÍ NÁDOBA .....	23
3.1.4 INSTRUMENTACE TRANSFORMÁTORŮ .....	24
3.1.5 PŘÍSTROJOVÉ TRANSFORMÁTORY PROUDU – TA .....	24
3.1.6 ANALYZÁTOR PLYNŮ – TRANSFIX.....	25
3.1.7 ZÁKLADNÍ TECHNICKÉ ÚDAJE TRANSFORMÁTORŮ 300 MVA.....	27
<b>3.2 POPIS ODBOČKOVÝCH OLEJOVÝCH TRANSFORMÁTORŮ 32 MVA .....</b>	<b>27</b>
3.2.1 TRANSFORMÁTOROVÉ PRŮCHODKY .....	28
3.2.2 PŘEPÍNAČE ODBOČEK .....	29
3.2.3 SYSTÉM CHLAZENÍ TRANSFORMÁTORŮ .....	30
3.2.4 DILATAČNÍ NÁDOBA .....	30
3.2.5 INSTRUMENTACE TRANSFORMÁTORŮ .....	31
3.2.6 PŘÍSTROJOVÝ TRANSFORMÁTOR PROUDU – TA1 .....	32
3.2.7 ANALYZÁTOR PLYNŮ MINITRANS.....	33
3.2.8 ZÁKLADNÍ TECHNICKÉ ÚDAJE ODBOČKOVÝCH TRANSFORMÁTORŮ 32 MVA .....	34
<b>4 MONITOROVACÍ SYSTÉM TRANSFORMÁTORŮ MST .....</b>	<b>35</b>
<b>4.1 POPIS FUNKCE .....</b>	<b>35</b>
<b>4.2 STRUKTURA SYSTÉMU MST .....</b>	<b>35</b>
<b>4.3 MĚŘICÍ ČÁSTI SYSTÉMU MST.....</b>	<b>36</b>
<b>4.4 INSTRUMENTACE NA MĚŘENÝCH TRANSFORMÁTORECH.....</b>	<b>36</b>
<b>4.5 MĚŘICÍ SKŘÍNĚ MST .....</b>	<b>42</b>
<b>4.6 PROCESOROVÉ JEDNOTKY MST .....</b>	<b>43</b>
<b>5 ARCHITEKTURA MĚŘICÍCH ŘETĚZCŮ SYSTÉMU MST .....</b>	<b>45</b>
<b>5.1 PŘÍMO MĚŘENÉ SIGNÁLY .....</b>	<b>45</b>
5.1.1 PROUDY .....	45
5.1.2 NAPĚTÍ.....	46
5.1.3 ČÁSTEČNÉ VÝBOJE TRANSFORMÁTOROVÝCH PRŮCHODEK.....	47
5.1.4 DVOUHODNOTOVÉ SIGNÁLY.....	47
<b>5.2 KOMUNIKOVANÉ SIGNÁLY .....</b>	<b>48</b>
5.2.1 ANALYZÁTORY ROZPUŠTĚNÝCH PLYNŮ V OLEJI TRANSFIX A MINITRANS.....	48
5.2.2 MONITORY TEPLOT VINUTÍ TGUARD-TM .....	48



5.2.3 MONITORY TEPLIT MAGNETICKÉHO OBVODU IDAM.....	49
5.2.4 PŘEVODNÍKY OBVODŮ MAR – 6B12 A 6B13.....	50
<b>5.3 VYPOČÍTANÉ SIGNÁLY.....</b>	<b>50</b>
5.3.1 VYPOČÍTANÉ SIGNÁLY Z PŘÍMO MĚŘENÝCH SIGNÁLŮ.....	51
5.3.2 ČASOVÉ PRŮMĚRY SIGNÁLŮ – ČASOVÉ AGREGACE.....	52
5.3.3 SIGNÁLY ZÍSKANÉ MATEMATICKO – STATISTICKÝM ALGORITMEM.....	52
<b>6 MONITOROVACÍ SYSTÉM ELEKTRO MSE.....</b>	<b>53</b>
6.1 POPIS FUNKCE .....	53
6.2 SBĚR DAT .....	53
6.3 WEB ROZHRANÍ.....	54
<b>7 ZPŮSOBY DIAGNOSTIKY DEGRADAČNÍCH MECHANIZMŮ OLEJOVÝCH VÝKONOVÝCH TRANSFORMÁTORŮ EDU .....</b>	<b>55</b>
<b>8 NÁVRH VIZUALIZACE PARAMETRŮ A SCHÉMAT AKTIVNÍCH PŘÍSTUPOVÝCH OBRAZOVEK BLOKOVÝCH A ODBOČKOVÝCH TRANSFORMÁTORŮ .....</b>	<b>56</b>
8.1 NÁVRH VIZUALIZACE PARAMETRŮ BLOKOVÝCH TRANSFORMÁTORŮ.....	57
8.1.1 OBRAZOVKA ELEKTRICKÉ PARAMETRY TRANSFORMÁTORU .....	57
8.1.2 OBRAZOVKA SYSTÉM CHLAZENÍ TRANSFORMÁTORU .....	59
8.1.3 OBRAZOVKA TEPLIT VINUTÍ A MAGNETICKÉHO OBVODU .....	60
8.1.4 OBRAZOVKA PRŮCHODKY TRANSFORMÁTORU .....	61
8.2 NÁVRH VIZUALIZACE PARAMETRŮ ODBOČKOVÝCH TRANSFORMÁTORŮ.....	62
8.3 OPTIMALIZACE NÁVRHŮ VIZUALIZACÍ PARAMETRŮ TRANSFORMÁTORŮ.....	64
<b>9 WEBOVÉ PROSTŘEDÍ.....</b>	<b>67</b>
9.1 OBRAZOVKA VYVEDENÍ VÝKONU .....	67
9.2 OBRAZOVKY BLOKOVÝCH TRANSFORMÁTORŮ .....	68
9.2.1 OBRAZOVKA ELEKTRICKÉ PARAMETRY TRANSFORMÁTORŮ .....	68
9.2.2 OBRAZOVKA SYSTÉM CHLAZENÍ TRANSFORMÁTORŮ .....	69
9.2.3 OBRAZOVKA TEPLIT VINUTÍ A MAGNETICKÉHO OBVODU TRANSFORMÁTORŮ .....	69
9.3 OBRAZOVKA ODBOČKOVÝCH TRANSFORMÁTORŮ .....	70
9.4 ZOBRAZOVACÍ FUNKCE .....	71
9.5 NIŽŠÍ ÚROVEŇ OBRAZOVKY ELEKTRICKÝCH PARAMETRŮ BLOKOVÝCH TRANSFORMÁTORŮ...75	75
9.6 NIŽŠÍ ÚROVEŇ OBRAZOVKY SYSTÉMU CHLAZENÍ BLOKOVÝCH TRANSFORMÁTORŮ.....	80
9.7 NIŽŠÍ ÚROVEŇ OBRAZOVKY TEPLIT VINUTÍ A MAGNETICKÉHO OBVODU BLOKOVÝCH TRANSFORMÁTORŮ.....	83
9.8 NIŽŠÍ ÚROVEŇ OBRAZOVKY ODBOČKOVÝCH TRANSFORMÁTORŮ .....	84
<b>10 NÁVRH KRITÉRIÍ A LIMIT DŮLEŽITÝCH MONITOROVANÝCH PARAMETRŮ SYSTÉMU MST.....</b>	<b>89</b>
10.1 KRITÉRIA A LIMITY ELEKTRICKÝCH PARAMETRŮ.....	89
10.2 STANOVENÍ KRITÉRIÍ A LIMIT SYSTÉMU CHLAZENÍ TRANSFORMÁTORŮ.....	90
10.3 KRITÉRIA A LIMITY KONCENTRACÍ ROZPUŠTĚNÝCH PLYNŮ V OLEJI .....	91
10.4 STANOVENÍ KRITÉRIÍ A LIMIT TEPLIT VINUTÍ BLOKOVÝCH TRANSFORMÁTORŮ .....	93
10.5 KRITÉRIA A LIMITY TEPLIT MAGNETICKÉHO OBVODU BLOKOVÝCH TRANSFORMÁTORŮ .....	94

---

<b>10.6 STANOVENÍ KRITÉRIÍ A LIMIT RELATIVNÍCH ZMĚN ZTRÁTOVÉHO Činitele PRŮCHODEK BLOKOVÝCH TRANSFORMÁTORŮ .....</b>	<b>95</b>
<b>10.7 KRITÉRIA A LIMITY RELATIVNÍCH ZMĚN KAPACIT PRŮCHODEK BLOKOVÝCH TRANSFORMÁTORŮ .....</b>	<b>95</b>
<b>11 ZÁVĚR.....</b>	<b>97</b>
<b>POUŽITÁ LITERATURA .....</b>	<b>100</b>
<b>PŘÍLOHY .....</b>	<b>102</b>

## SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obr. 2-1 Schéma vyvedení vyrobeného výkonu do elektrizační soustavy [3]</i> .....	18
<i>Obr. 3-1 Blokový transformátor 1AT01 na Jaderné elektrárně Dukovany [5]</i> .....	20
<i>Obr. 3-2 Průchodka 123 kV pro vyvedení uzlu vinutí VVN [5]</i> .....	21
<i>Obr. 3-3 Chladicí sekce 1AT01-RM1 blokového transformátoru [5]</i> .....	23
<i>Obr. 3-4 Skříň analyzátoru plynů TRANSFIX [5]</i> .....	26
<i>Obr. 3-5 Odbočkový transformátor 1BT01 na Jaderné elektrárně Dukovany [5]</i> .....	28
<i>Obr. 3-6 Skříň analyzátoru plynů MINITRANS [5]</i> .....	33
<i>Obr. 4-1 Strukturální blokové schéma monitorovacího systému transformátorů MOSAD<sup>®</sup>-MST na EDU [6]</i> .....	36
<i>Obr. 4-2 Schéma umístění snímačů na blokovém transformátoru 300 MVA na EDU [7]</i> .....	40
<i>Obr. 4-3 Schéma umístění snímačů na odbočkovém transformátoru 32 MVA na EDU [7]</i> .....	41
<i>Obr. 4-4 Hlavní instrumentace skříně MT01 [5]</i> .....	42
<i>Obr. 4-5 Hlavní instrumentace skříně MT02 [5]</i> .....	42
<i>Obr. 4-6 Měřicí skříň MT01 (měřicí ústředna, jednotka úpravy signálů, nosič proudových modulů) [5]</i> .....	43
<i>Obr. 4-7 Nosič 6B modulů pro měření teplot a monitoring měřících proudových obvodů 4 – 20 mA [5]</i> .....	43
<i>Obr. 4-8 Procesorové jednotky MST (druhá police od shora v 2SNM.14) [6]</i> .....	44
<i>Obr. 5-1 Proudový modul PAM5-H3 [9]</i> .....	45
<i>Obr. 5-2 Externí Hallova sonda [9]</i> .....	45
<i>Obr. 5-3 Nosič proudových modulů s Hallovými sondami [9]</i> .....	46
<i>Obr. 5-4 Snímací průchodkový prvek 400 kV [5]</i> .....	46
<i>Obr. 5-5 Snímací průchodkový prvek 15,75 kV [5]</i> .....	46
<i>Obr. 5-6 Principiální schéma zapojení obvodů SPP [10]</i> .....	47
<i>Obr. 5-7 Provedení optické kabeláže [12]</i> .....	49
<i>Obr. 5-8 Monitor teplot vinutí TGuard-TM [5]</i> .....	49
<i>Obr. 5-9 Schéma instalace nitronádobového měření teplot blokových transformátorů [5]</i> .....	49
<i>Obr. 5-10 Instalace 6B13 modulů [5]</i> .....	50
<i>Obr. 5-11 Instalace 6B12 modulů [5]</i> .....	50
<i>Obr. 5-12 Schéma zapojení modulu 6B13 [14]</i> .....	50
<i>Obr. 5-13 Schéma zapojení modulu 6B12 [14]</i> .....	50
<i>Obr. 8-1 Štítek blokového transformátoru se zapojeným vinutím [5]</i> .....	57
<i>Obr. 8-2 Obrazovka elektrické parametry transformátoru</i> .....	58

---

<i>Obr. 8-3</i> <i>Obrazovka systém chlazení transformátoru</i> .....	59
<i>Obr. 8-4</i> <i>Obrazovka teplot vinutí a magnetického obvodu transformátoru</i> .....	60
<i>Obr. 8-5</i> <i>Obrazovka průchodky transformátoru</i> .....	62
<i>Obr. 8-6</i> <i>Obrazovka odbočkového transformátoru</i> .....	63
<i>Obr. 9-1</i> <i>Vyvedení výkonu</i> .....	67
<i>Obr. 9-2</i> <i>Roletové menu</i> .....	68
<i>Obr. 9-3</i> <i>Obrazovka elektrické parametry transformátoru IAT01</i> .....	69
<i>Obr. 9-4</i> <i>Obrazovka systém chlazení transformátoru IAT01</i> .....	69
<i>Obr. 9-5</i> <i>Obrazovka teplot vinutí a magnetického obvodu transformátoru IAT01</i> .....	70
<i>Obr. 9-6</i> <i>Obrazovka odbočkového transformátoru IBT01</i> .....	70
<i>Obr. 9-7</i> <i>Informace o ikoně</i> .....	71
<i>Obr. 9-8</i> <i>Základní informační tabulka analogového prvku</i> .....	72
<i>Obr. 9-9</i> <i>Podrobná informační tabulka analogového prvku</i> .....	72
<i>Obr. 9-10</i> <i>Základní informační tabulka DVH prvku</i> .....	72
<i>Obr. 9-11</i> <i>Podrobná informační tabulka DVH prvku</i> .....	72
<i>Obr. 9-12</i> <i>Informační tabulka blokového transformátoru IAT01</i> .....	75
<i>Obr. 9-13</i> <i>Informační tabulka průchodek 15,75 kV</i> .....	75
<i>Obr. 9-14</i> <i>Informační tabulka průchodky 123 kV</i> .....	75
<i>Obr. 9-15</i> <i>Informační tabulka průchodek 400 kV</i> .....	75
<i>Obr. 9-16</i> <i>Informační tabulka PTP</i> .....	75
<i>Obr. 9-17</i> <i>Srovnávací tabulka elektrických parametrů blokových transformátorů</i> .....	76
<i>Obr. 9-18</i> <i>Srovnávací tabulka úhlů blokových transformátorů</i> .....	76
<i>Obr. 9-19</i> <i>Grafický záznam elektrických parametrů</i> .....	77
<i>Obr. 9-20</i> <i>Grafický záznam částečných výbojů na straně VVN</i> .....	77
<i>Obr. 9-21</i> <i>Grafický záznam částečných výbojů na straně VN</i> .....	78
<i>Obr. 9-22</i> <i>Grafický záznam úhlů napětí <math>\delta</math> na straně VVN</i> .....	78
<i>Obr. 9-23</i> <i>Grafický záznam úhlů napětí <math>\delta</math> na straně VN</i> .....	79
<i>Obr. 9-24</i> <i>Grafický záznam úhlů napětí <math>\alpha</math> mezi stranami VVN a VN</i> .....	79
<i>Obr. 9-25</i> <i>Srovnávací tabulka chlazení blokových transformátorů</i> .....	80
<i>Obr. 9-26</i> <i>Srovnávací tabulka plynů v oleji blokových transformátorů</i> .....	81
<i>Obr. 9-27</i> <i>Provozní obrazovka analyzátoru plynů TRANSFIX</i> .....	81
<i>Obr. 9-28</i> <i>Grafický záznam parametrů chlazení</i> .....	82
<i>Obr. 9-29</i> <i>Grafický záznam koncentrací plynů rozpuštěných v oleji</i> .....	83

---

<i>Obr. 9-30 Srovnávací tabulka teplot vinutí a magnetického obvodu blokového transformátoru 1AT01 .....</i>	<i>83</i>
<i>Obr. 9-31 Grafický záznam teplot magnetického obvodu .....</i>	<i>84</i>
<i>Obr. 9-32 Grafický záznam teplot vinutí .....</i>	<i>84</i>
<i>Obr. 9-33 Informační tabulka odbočkového transformátoru 1BT01 .....</i>	<i>84</i>
<i>Obr. 9-34 Informační tabulka PTP .....</i>	<i>85</i>
<i>Obr. 9-35 Informační tabulka přepínače odboček .....</i>	<i>85</i>
<i>Obr. 9-36 Srovnávací tabulka elektrických parametrů odbočkových transformátorů.....</i>	<i>85</i>
<i>Obr. 9-37 Srovnávací tabulka chlazení odbočkových transformátorů.....</i>	<i>85</i>
<i>Obr. 9-38 Srovnávací tabulka plynů v oleji odbočkových transformátorů .....</i>	<i>86</i>
<i>Obr. 9-39 Provozní obrazovka analyzátoru MINITRANS.....</i>	<i>86</i>
<i>Obr. 9-40 Grafický záznam elektrických parametrů .....</i>	<i>87</i>
<i>Obr. 9-41 Grafický záznam parametrů chlazení .....</i>	<i>87</i>
<i>Obr. 9-42 Grafický záznam koncentrací plynů rozpuštěných v oleji .....</i>	<i>88</i>
<i>Obr. 9-43 Grafický záznam dvouhodnotových signálů z přepínače odboček .....</i>	<i>88</i>
<i>Obr. 11-1 Nové začlenění systému MST.....</i>	<i>98</i>
<i>Obr. A-1 Hlavní obrazovka blokového transformátoru 1AT01.....</i>	<i>102</i>
<i>Obr. A-2 Hlavní obrazovka odbočkového transformátoru 1BT01 .....</i>	<i>102</i>

## SEZNAM TABULEK

<i>Tab. 3-1 Základní technické parametry průchodek 420 kV blokového transformátoru [4] .....</i>	<i>21</i>
<i>Tab. 3-2 Základní technické parametry průchodky 123 kV blokového transformátoru [4] .....</i>	<i>21</i>
<i>Tab. 3-3 Základní technické parametry průchodek 15,75 kV blokového transformátoru [4] .....</i>	<i>22</i>
<i>Tab. 3-4 Instrumentace transformátorů – Technický popis zařízení [4] .....</i>	<i>24</i>
<i>Tab. 3-5 Přístrojový transformátor proudu (sčítací) TA1 – Technický popis zařízení [4] .....</i>	<i>24</i>
<i>Tab. 3-6 Přístrojový transformátor proudu TA2 – Technický popis zařízení [4] .....</i>	<i>25</i>
<i>Tab. 3-7 Přístrojový transformátor proudu TA3 – Technický popis zařízení [4] .....</i>	<i>25</i>
<i>Tab. 3-8 Signalizace na skříni analyzátoru plynů TRANSFIX [4].....</i>	<i>26</i>
<i>Tab. 3-9 Základní technické parametry blokového transformátoru 300 MVA [4] .....</i>	<i>27</i>
<i>Tab. 3-10 Základní údaje průchodek 15,75 kV odbočkového transformátoru [4].....</i>	<i>29</i>
<i>Tab. 3-11 Základní údaje průchodek 6 kV odbočkového transformátoru [4].....</i>	<i>29</i>
<i>Tab. 3-12 Základní technické parametry přepínače odboček odbočkového transformátoru [4] ..</i>	<i>30</i>
<i>Tab. 3-13 Instrumentace transformátorů (9BT01, 2BT01, 3BT02, 4BT02) – Technický popis zařízení [4] .....</i>	<i>31</i>
<i>Tab. 3-14 Instrumentace transformátorů (1BT01, 1BT02, 2BT02, 3BT01, 4BT01) – Technický popis zařízení [4].....</i>	<i>32</i>
<i>Tab. 3-15 Přístrojový transformátor proudu (linearizovaný) TA1 – Technický popis zařízení [4] .....</i>	<i>32</i>
<i>Tab. 3-16 Signalizace na skříni analyzátoru plynů MINITRANS [4] .....</i>	<i>33</i>
<i>Tab. 3-17 Základní technické parametry odbočkového transformátoru 32 MVA [4].....</i>	<i>34</i>
<i>Tab. 9-1 Stav vypínače.....</i>	<i>73</i>
<i>Tab. 9-2 Stav ventilátoru .....</i>	<i>73</i>
<i>Tab. 9-3 Stav čerpadla.....</i>	<i>74</i>
<i>Tab. 9-4 Stav analogových signálů.....</i>	<i>74</i>
<i>Tab. 10-1 Limity pro napětí na sekundární straně blokových transformátorů a primární straně odbočkových transformátorů.....</i>	<i>90</i>
<i>Tab. 10-2 Limity pro napětí na primární straně blokových transformátorů.....</i>	<i>90</i>
<i>Tab. 10-3 Limity teplot oleje na vstupu do chladicích jednotek.....</i>	<i>91</i>
<i>Tab. 10-4 Limity výstupní frekvence napájecího napětí ventilátorů chladicích jednotek .....</i>	<i>91</i>
<i>Tab. 10-5 Limity teplot oleje pod víkem transformátoru a pod víkem přepínače odboček.....</i>	<i>91</i>
<i>Tab. 10-6 Limity koncentrací rozpuštěných plynů v oleji blokových transformátorů.....</i>	<i>92</i>
<i>Tab. 10-7 Limity koncentrací rozpuštěných plynů v oleji odbočkových transformátorů.....</i>	<i>92</i>
<i>Tab. 10-8 Limity čtvrtletních trendů koncentrací rozpuštěných plynů v oleji blokových transformátorů.....</i>	<i>93</i>

---

<i>Tab. 10-9 Limity čtvrtletních trendů koncentrací rozpuštěných plynů v oleji odbočkových transformátorů.....</i>	<i>93</i>
<i>Tab. 10-10 Limity teplot vinutí blokových transformátorů .....</i>	<i>94</i>
<i>Tab. 10-11 Limity teplot magnetického obvodu blokových transformátorů .....</i>	<i>94</i>
<i>Tab. 10-12 Limity relativních změn ztrátového činitele průchodek blokových transformátorů ....</i>	<i>95</i>
<i>Tab. 10-13 Limity relativních změn kapacit průchodek blokových transformátorů .....</i>	<i>96</i>

**SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK**

BD	Bloková dozorna
BNC	Koaxiální konektor (Bayonet Neill Concelman connector)
CJ	Centrální jednotka
ČEZ EDU	ČEZ, a. s. – Jaderná elektrárna Dukovany
ČSN EN	Česká technická norma obsahující evropskou normu
DC	Stejnosměrný proud (direct current)
DukNet	Komunikační ethernetová síť elektrárny Dukovany
DVH	Dvouhodnota (binární hodnota)
EDU	Elektrárna Dukovany
EMC	Elektromagnetická kompatibilita (Electro Magnetic Compatibility)
EWS	Systém včasného varování (Early Warning System)
GIF	Grafický formát určený pro rastrovou grafiku (Graphics Interchange Format)
GPS	Systém jednotného času (Global Positioning System)
HVB	Hlavní výrobní blok
I-regulátor	Integrační regulátor (integral regulator)
MaR	Měření a regulace
ModBus RTU	Komunikační protokol (Remote Terminal Unit)
MSE	Monitorovací systém elektro
MST	Monitorovací systém transformátorů
NLAN	Nadbloková síť technologických dat EDU
PI-regulátor	Proporcionálně integrační regulátor (proportional-integral regulator)
PNE	Podnikové normy energetiky
PNG	Přenosná síťová grafika (the Portable Network Graphics)
PTP	Přístrojové transformátory proudu
RB	Reaktorový blok
ŘSBE	Řídicí systém bloku – vlastní spotřeba
SJZ	Systém jednotného značení
SNM	Systém nestandardního měření
SPP	Snímací průchodkový prvek
TG	Turbogenerátor
UPS	Zdroj nepřerušovaného napájení (Uninterruptible Power Supply)
VN	Vysoké napětí



---

VVER	Tlakovodní reaktor (Vodo-vodjanoj energetičeskij reaktor)
VVN	Velmi vysoké napětí
WWW	Světová komunikační síť (World Wide Web)
AA	Technologické označení rozvodny 400kV
AT	Technologické označení blokových transformátorů
BA, BB, BC, BD	Technologické označení nesystémové rozvodny 6kV
BT	Technologické označení odbočkových transformátorů
DTE3	Technologické označení panelů poruchové signalizace a ovládání na BD
ETD transformátory	Výrobce a dodavatel transformátorů (Elektrotechnická továrna v Doudlevcích)
GT	Technologické označení řídicí skříně
IP	Stupeň krytí
L	Označení vodičů fáze
MINITRANS	Analyzátor plynů rozpuštěných v oleji odbočkových transformátorů
MOSAD	Monitorovací systém TES, s.r.o.
MT	Technologické označení skříní monitorovacího systému transformátorů
MX	Technologické označení přechodových skříní
PQ diagram	Provozní diagram generátoru
Q	Technologické označení odpojovačů
QM	Technologické označení výkonových vypínačů
RM	Technologické označení přístrojové skříně olejových transformátorů
SP	Technologické označení generátorů
TA	Technologické označení přístrojového transformátoru proudu
Tramon	Nadstavbové vizualizační prostředí monitorovacího systému transformátorů
TRANSFIX	Analyzátor plynů rozpuštěných v oleji blokových transformátorů
XD	Technologické označení svorkovnic a konektorů dle SJZ EDU

---

I	Elektrický proud	A
P	Činný výkon	W
Q	Jalový výkon	VAr
S	Zdánlivý výkon	VA
U	Elektrické napětí	V
$\varphi$	Úhel mezi napětím a proudem	°

# 1 ÚVOD

Jaderná elektrárna Dukovany je první jadernou elektrárnou postavenou na území České republiky. V elektrárně se nachází 4 výrobní bloky s tlakovodními rektory typu VVER 440. Celkový instalovaný elektrický výkon elektrárny byl 1760 MW. Jaderná elektrárna Dukovany byla uvedena do provozu v letech 1985 až 1988. Ve snaze o zvyšování účinnosti a využití výkonových rezerv došlo k navýšení instalovaného výkonu z původních 4 x 440 MW na současných 4 x 510 MW. [1]

Výrobní zařízení elektrárny, technologie i bezpečnostní systémy jsou neustále modernizovány a elektrárna tak splňuje veškeré současné požadavky na provoz jaderných elektráren. V období 2016 – 2017 byly elektrárně vydány nové provozní licence pro všechny čtyři bloky na dobu neurčitou, doplněné o několik provozních podmínek. Nově předpokládaný provoz elektrárny je stanoven do roku 2037 s další možností prodloužení až do roku 2047. [1]

Jaderná elektrárna Dukovany je základním zdrojem v naší energetické soustavě, která svojí roční výrobou představuje okolo 20 % z celkové spotřeby elektřiny v České republice a výrazně tak přispívá naší energetické bezpečnosti a soběstačnosti. V porovnání s ostatními významnými výrobci vyrábí elektřinu s nejnižšími měrnými náklady. [2]

Nezbytnou součástí elektrárny jsou transformátory pro vyvedení výkonu a vlastní spotřebu. Z provozního hlediska je důležité, aby provozní personál měl přehled o aktuálním stavu výkonových transformátorů a odpovídajících technologických parametrech. Záznamy monitorovaných elektrických a technologických parametrů umožňují včas identifikovat, a na základě trendů parametrů i predikovat, potenciální závadu a její rozvoj. Optimální design monitorovacího systému doplněný o prvky automatické diagnostiky umožňuje včas identifikovat závadu, sledovat její rozvoj a s předstihem aktivovat provozní personál k eliminaci případných poruch či havárií transformátorů.

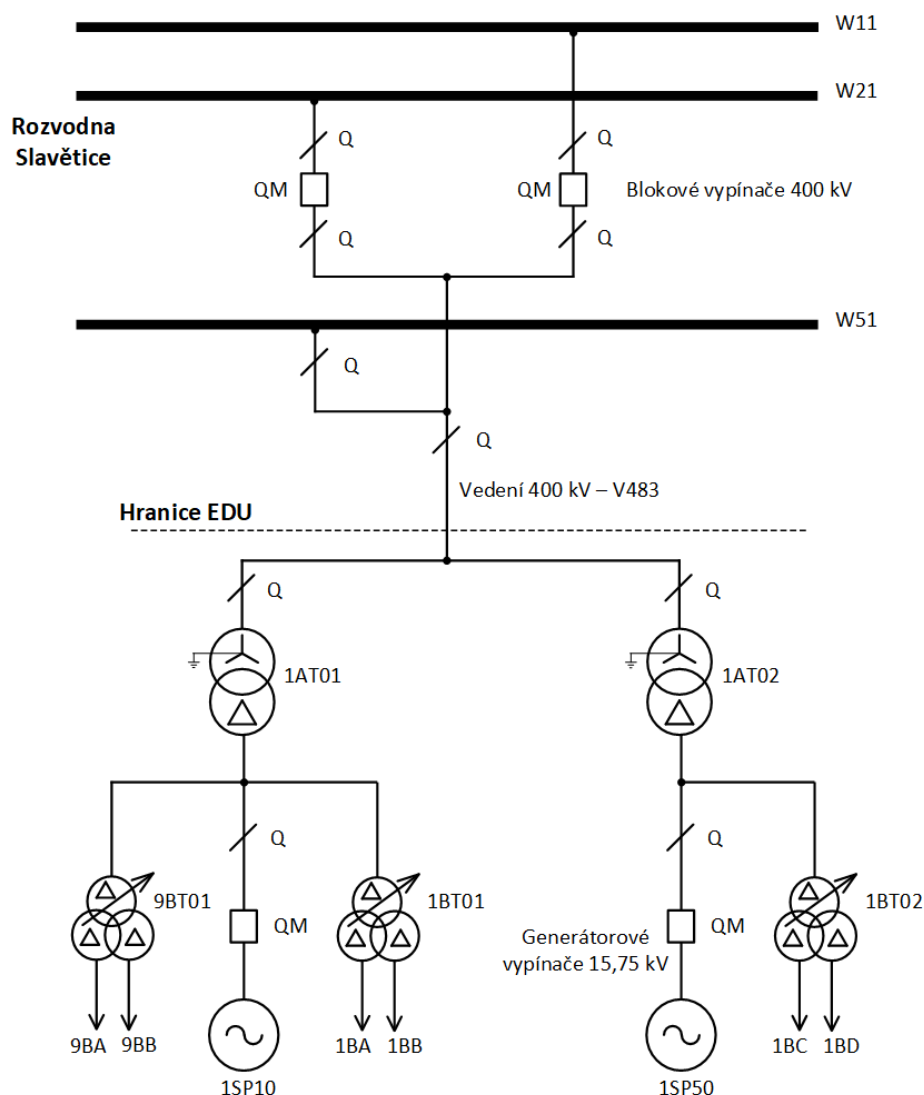
Tématem této diplomové práce je identifikace designu monitorovacího systému transformátorů realizovaného v jaderné elektrárně Dukovany pro účel návrhu a realizace vizualizace elektrických a technologických parametrů prostřednictvím aktivních přístupových obrazovek WEB rozhraní monitorovacího systému. Cílem práce je optimalizovaný návrh aktivních přístupových obrazovek s využitím maximální funkcionality dostupných signálů s uvažováním aspektů přehlednosti a intuitivního ovládání. Přidanou hodnotou návrhu aktivních obrazovek je zachování a rozšíření diagnostických nástrojů monitorovacího systému doplněný o návrh limit a kritérií vybraných monitorovaných parametrů výkonových transformátorů.

## 2 VYVEDENÍ VÝKONU

V Jaderné elektrárně Dukovany jsou instalovány čtyři reaktory typu VVER 440. Každému reaktoru přísluší dvě turbosoustrojí, tedy dvě parní turbíny pohánějící dva turbogenerátory. Výhodou takového uspořádání je především skutečnost, že při poruše jednoho elektrického bloku (jednoho TG) není nutno odstavovat jaderný reaktor. Může pracovat na poloviční výkon a zajišťovat provoz druhého elektrického bloku. [3]

Každý elektrický blok je složen z [3]:

- Turbogenerátoru s výstupním napětím 15,75 kV
- Generátorových vypínačů QM s odpojovači Q
- Vývodů zapouzdřenými vodiči s odbočkou k odbočkovému transformátoru BT, který zajišťuje napájení vlastní spotřeby reaktorového bloku, popř. společné vlastní spotřeby
- Blokových transformátorů AT
- Vývodových odpojovačů Q



Obr. 2-1 Schéma vyvedení vyrobeného výkonu do elektrizační soustavy [3]

## 3 POPIS VÝKONOVÝCH OLEJOVÝCH TRANSFORMÁTORŮ NA EDU

### 3.1 Popis blokových olejových transformátorů 300 MVA

Hlavní funkcí blokových transformátorů na Jaderné elektrárně Dukovany je přenos a transformace elektrické energie vyráběné v generátorech z napěťové hladiny 15,75 kV na napěťovou hladinu 420 kV a umožnění tak vyvedení této energie do rozvodny 400 kV ve Slaveticích a dále do elektrizační soustavy. [4]

Základním příslušenstvím blokových transformátorů jsou [4]:

- Transformátorové průchodky
- Systém chlazení transformátorů
- Dilatační nádoba
- Instrumentace transformátorů
- Řídící skříně – xGT01, xGT02 (nejsou u náhradního transformátoru 9AT09)
- Přístrojové transformátory proudu – TA
- Diagnostický a monitorovací systém MST, TRANSFIX (nejsou u náhradního transformátoru 9AT09)
- Elektrické ochrany
- Stabilní hasicí zařízení

Transformátory jsou umístěny na stanovištích před strojovnou HVBI a HVBII. Pod každým transformátorem je izolovaná sběrná vana, která je pomocí potrubí spojena se sběrnou jímkou umístěnou v rozvodně 400 kV. Sběrná olejová vana a sběrná jímka slouží k zachycení olejové náplně transformátoru při úniku oleje z transformátoru. [4]

Sousední transformátory vlastní spotřeby jsou od blokových transformátorů odděleny betonovou protipožární přepážkou. Směrem k budově strojovny jsou stanoviště transformátorů odděleny ocelovou protipožární konstrukcí, která má zabránit šíření požáru směrem ke strojovně. [4]

Transformátory jsou provedeny jako olejové třífázové transformátory zvonového provedení s nucenou cirkulací oleje pro chlazení vinutí a s pětijádrovým magnetickým obvodem. [3]

Na straně vyššího napětí je blokový transformátor připojen přes kondenzátorové průchodky 420 kV na lanové vedení 400 kV a přes rozvodnu xAA prostřednictvím lanového venkovního vedení do 400kV rozvodny Slavětice a dále do energetické soustavy. [3]

Průchodkami 123 kV je provedeno vyvedení uzlu vinutí VVN, které je přímo trvale uzemněno. [3]

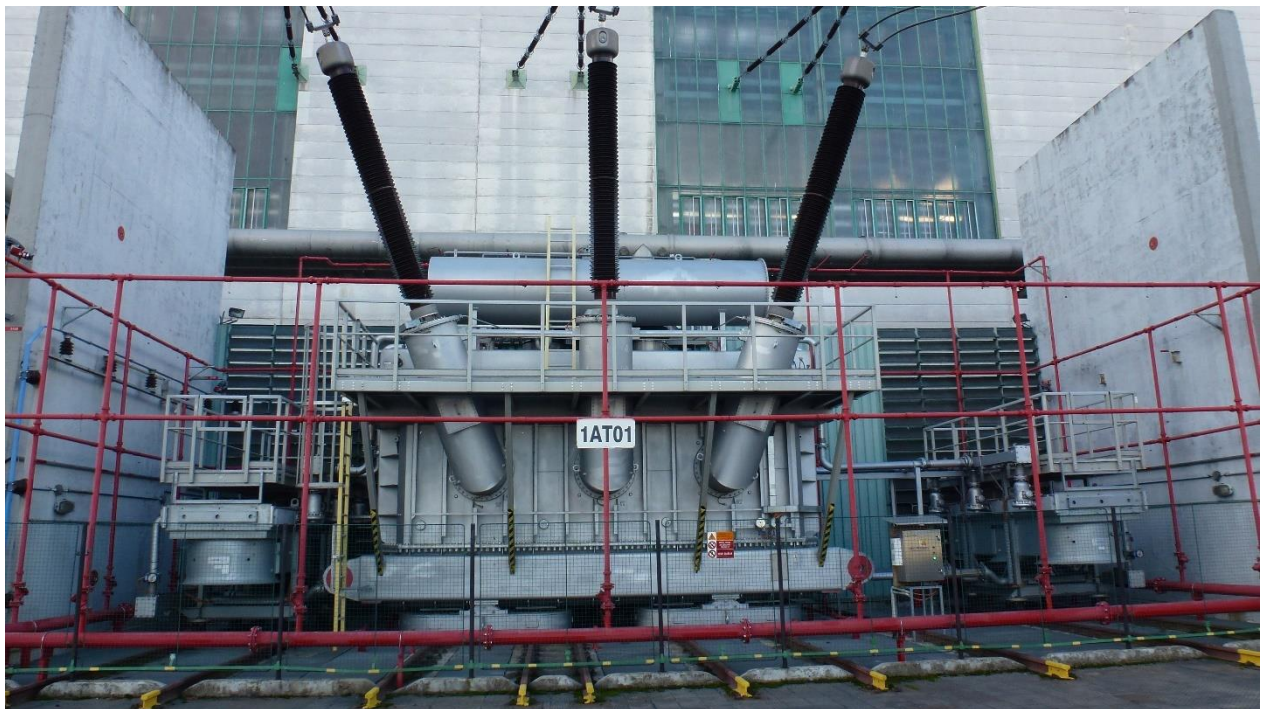
Na straně nižšího napětí je transformátor připojen přes průchodky 15,75 kV k zapouzdřeným vodičům a na transformátor blokové vlastní spotřeby. Zapouzdřené vodiče jsou připojeny na generátorový vypínač, který se nachází ve strojovně. [3]

Nádoba transformátoru je zvonového provedení a skládá se z vrchní (snímatelné) a spodní části. Část mezi horní a spodní rovinou je utěsněna pryžovými těsněními. Nádoba je opatřena armaturami pro plnění transformátoru olejem, odběr vzorku, potrubím systému chlazení a vypouštění olejové náplně. K nádobě transformátoru jsou připevněna příslušenství: dilatační

nádoba, ovládací a záskoková skříň chlazení. Chladiče s ventilátory a olejovými čerpadly jsou umístěny odděleně na samostatných podvozcích. [4]

Nádoba transformátoru je vybavena dvěma pojistnými tlakovými ventily, které snižují riziko poškození transformátoru při zvýšení tlaku oleje. Olejová čerpadla zajišťují potřebnou cirkulaci chladicího oleje přes chladiče. [4]

Celý transformátor včetně chladičů je izolován od stanoviště transformátoru. Připojení pláště transformátoru na plášť zapouzdřených vodičů je izolované přes izolační kruh. Tento izolační kruh spolu se vzduchovou mezerou zabraňuje vzniku vodivého spojení a tím i zapůsobení zemní nádobové ochrany s následným výpadkem bloku. [4]



Obr. 3-1 Blokový transformátor 1AT01 na Jaderné elektrárně Dukovany [5]

### 3.1.1 Transformátorové průchodky

Průchodka 420 kV je kondenzátorová průchodka, u které je použit izolační materiál olej a impregnovaný papír. Vnější a vnitřní těleso izolátoru je vyrobeno z hnědého porcelánu. Porcelán je z vnější strany cementován. Hlavice průchodky slouží jako expanzní nádoba pro olej a je opatřena prizmatickým olejoznakem. Průchodka má vlastní olejovou náplň. Průchodky se mohou provozovat jak ve svislé, tak i šikmé poloze (pod úhlem až 30°). Příruba je opatřena měřicím vstupem pro provádění periodických kontrol dielektrických charakteristik. Tělo izolátoru je navinuto z papíru prokládaného vodivými řídicími polepy, které zajišťují optimální rozložení elektrického pole. Tělo izolátoru je impregnováno olejem. Od výrobce jsou průchodky naplněny olejem tak, aby olejoznak měl hladinu v polovině při cca 20 °C. V olejové náplni transformátoru jsou na průchodce instalovány PTP (přístrojové transformátory proudu). [4]

Průchodka 123 kV (viz obr. 3-2) je kondenzátorová průchodka hermetického provedení. Izolační kostra vnitřní izolace je vyplněna sítky z kabelového papíru rovnoměrně odděleným obložení z hliníkové fólie (tzv. kondenzátorová izolace). Poslední vrstva hliníkové fólie je elektricky spojena s měřicím bodem vyvedeným na objímku průchodky. Mezi trubkami vnitřní izolace jsou kanálky pro cirkulaci oleje. Vodič vývodu vinutí je protažen střední trubkou.

Průchodka má vlastní olejovou náplň. Průchodky jsou vybaveny měřícím konektorem. Olejovník je za normálního stavu zcela zaplaven olejem. V olejové náplni transformátorů je na průchodce instalován PTP. [4]



Obr. 3-2 Průchodka 123 kV pro vyvedení uzlu vinutí VVN [5]

Průchodky 15,75 kV jsou kondenzátorové průchodky s diagnostickým konektorem hermetického provedení. Jako izolační materiál je použit olej a impregnovaný papír. Provedení konstrukce průchodky 15,75 kV je podobné jako provedení průchodky 400 kV. [4]

Tab. 3-1 Základní technické parametry průchodek 420 kV blokového transformátoru [4]

<b>Průchodka 420 kV</b>	
Typ	COT 1550-1000
Výrobce	TRENCH France
Jmenovité napětí	550 kV
Jmenovitý proud	1 kA
Umístění	Blokové transformátory xAT01(02)
Počet kusů / transformátor	3
Hmotnost	990 kg

Tab. 3-2 Základní technické parametry průchodky 123 kV blokového transformátoru [4]

<b>Průchodka 123 kV</b>	
Typ	COT 550-800
Jmenovité napětí	123 kV
Jmenovitý proud	800 A
Umístění	Blokové transformátory xAT01(02)
Počet kusů / transformátor	1
Hmotnost	70 kg

Tab. 3-3 Základní technické parametry průchodek 15,75 kV blokového transformátoru [4]

Průchodka 15,75 kV	
Typ	RTXF 24-24 Cu spec.
Výrobce	ABB Schweiz AG, Micafil
Jmenovité napětí	24 kV
Provozní proud	11 kA
Maximální provozní teplota praporku průchodky	120 °C
Max. provozní proud	16,5 kA
Jmenovitý proud	13,5 kA při teplotě vzduchu 70 °C a teplotě oleje 95 °C
Umístění	Blokové transformátory xAT01(02)
Počet kusů / transformátor	3
Hmotnost	180 kg

### 3.1.2 Systém chlazení transformátorů

Chlazení je provedeno jako nucené s cirkulací oleje ve dvou nezávislých sekcích. Každá z sekcí obsahuje tři vzduchové chladiče a ventilátory (viz obr. 3-3). K jednotlivým vzduchovým chladičům oleje přísluší čerpadlo. [4]

Ovládání chladících sekcí je provedeno pomocí ovládacích skříní 1(2,3,4)AT01(02)-RM1 pro sekci 1 a 1(2,3,4)AT01(02)-RM2 pro sekci 2. Napájení těchto skříní je zajištěno vždy dvěma přívody (hlavní a rezervní). Tyto přívody jsou připojeny na systém automatického záskoku s prioritou hlavního zdroje, který zajišťuje stálou přítomnost napětí pro motory a ovládání obou sekcí. V případě poruchy obou přívodů v jedné skříní jsou vyvedena poruchová hlášení od napěťových relé obou sekcí. Pro zajištění vzájemné nezávislosti sekcí obsahuje RM1 ještě DC obvod pro jejich společné ovládání, ztráta DC napětí je signalizována napěťovým relé. [4]

Ovládání chlazení je automatické nebo ruční a ovládání zajišťuje otočný přepínač společný, přepínač pro sekci 1 a přepínač pro sekci 2. [4]

V automatickém režimu se chlazení spouští po připojení transformátoru do rozvodné sítě po zapnutí vývodových odpojovačů 1(2,3,4)AA-Q1(2), nebo po zapnutí příslušného generátorového vypínače. Ihned dojde ke spuštění motorů čerpadel. Následně po čerpadlech se po dosažení teploty oleje +30 °C spouští motory ventilátorů chlazení, které jsou regulovány frekvenčními měniči. Otáčky motorů ventilátorů jsou závislé na teplotě oleje pod víkem transformátoru, která je snímána odporovými snímači teploty a přenesena do frekvenčních měničů. V případě poruchy frekvenčního měniče dojde k přepnutí na maximální otáčky. Porucha bude současně signalizována na místě s trvalou obsluhou jako poruchový stav. [4]

Ruční režim slouží pro spuštění chlazení v době, kdy transformátor není připojen k rozvodné síti, nebo v případě že bude porucha na DC obvodu a nebude funkční společné dálkové ovládání obou sekcí (resp. jen jedné sekce) v automatickém režimu. [4]





Obr. 3-3 Chladicí sekce 1AT01-RM1 blokového transformátoru [5]

### 3.1.3 Dilatační nádoba

Plyny, které vznikají v transformátoru, jsou odváděny přes plynové (Buchholzovo) relé do dilatační nádoby. Dilatační nádoba je umístěna na horní straně transformátoru a je vybavena vysoušečem vzduchu, který je určen k nasávání vzduch z konzervátoru, a odstraňuje vzdušnou vlhkost. [4]

Dilatační nádoba (konzervátor) slouží pro kompenzaci oleje při změnách teplot, nádoba je proto vybavena vakem. Dilatační nádoba je vybavena olejoznakem pro sledování výšky hladiny oleje. Olejoznak zobrazuje aktuální výšku hladiny oleje v dilatační nádobě transformátoru v závislosti na teplotě oleje. [4]

### 3.1.4 Instrumentace transformátorů

Tab. 3-4 Instrumentace transformátorů – Technický popis zařízení [4]

Přístroj	Typ	ks
Plynové relé –BQ1	COMEM C4100 MAO	1
Sběrač plynů a oleje z plynového relé	COMEM 1RDPG 00005	1
Ukazatel teploty oleje – BT1	MESSKO MT-ST160F	1
Ukazatel teploty vinutí – BT2	MESSKO MT-ST160F	1
Termostaty – BT3 až BT5	INDUSTAT	3
Odporové snímače teploty – RN1, RN2	ZPA –měření teploty pro ovládání fr. měničů	2
Pojistné tlakové ventily – BP1, BP2	QUALITROL 208-007-04 (68,6 kPa)	2
Olejoznak – BQ3	MESSKO BA2036	2
Vysoušeč vzduchu – BE1	MTrab DB200 D-T-HT	1
Proudoznaky – BS01–BS03; BS11–BS13	ELETTA S25-FA100	6
Relé vaku – BQ5	COMEM R1 MAO	1
Motory čerpadel-M01–M03, M11–M13	VMOA 3,8 kW	6
Chladič oleje	COILTECH AB – ALFA	6
Motory ventilátorů – M04–M06, M14–M16	ABB M3BP160MBL 5,5 kW, 400 V D	6
Ovládací skříň chlazení RM1	RZST 84/1	1
Ovládací skříň chlazení RM2	RZST 95/1	1
Termohydraulický uzávěr	THU - 04	1
Dilatační nádoba	3858 dm <sup>3</sup>	1
Pryžový vak	Musthane MTB	1
Řídící skříň xGT01(02)	RITTAL (výrobce EKM)	1

### 3.1.5 Přístrojové transformátory proudu – TA

Tab. 3-5 Přístrojový transformátor proudu (sčítací) TA1 – Technický popis zařízení [4]

1AT01, 1AT02, 2AT01, 2AT02, 3AT01, 3AT02, 4AT01, 4AT02 – TA1	
Umístění	Na zemnicí pásovině pod nádobou transformátoru
Typ	GSK 350B250
Konstrukční provedení	Jednojádrový, průvlekový, suchý, venkovní provedení
Jmenovitý výkon	25 VA
Převod	200 / 1 A
Třída přesnosti	5 %
Nadproudové číslo	n < 5

Tab. 3-6 Přístrojový transformátor proudu TA2 – Technický popis zařízení [4]

1AT01, 1AT02, 2AT01, 2AT02, 3AT01, 3AT02, 4AT01, 4AT02, 9AT09 - TA2	
Umístění	V uzlu transformátoru – je součástí transformátoru
Výrobce	EPRO Gallspach
Typ	JR 0,5
Konstrukční provedení	Jednojádrový, prstencový, olejový
Jmenovitý výkon	30 VA
Převod	800 / 1 A
Třída přesnosti	3 %
Nadproudové číslo	25

Tab. 3-7 Přístrojový transformátor proudu TA3 – Technický popis zařízení [4]

1AT01, 1AT02, 2AT01, 2AT02, 3AT01, 3AT02, 4AT01, 4AT02, 9AT09 - TA3	
Umístění	Na průchodkách 400 kV v nádobě transformátoru
Výrobce	EPRO Gallspach
Typ	JR 0,5
Konstrukční provedení	Tříjádrový, prstencový, olejový – fáze L1, L3 Čtyřjádrový, pro fázi L2
Jmenovitý výkon	30 / 30 / 30 VA 10 VA – L2
Převod	3 x 800 / 1 A - L1, L2, L3, 500 / 2 A – L2
Třída přesnosti	5P20,5P20, 0,2 % - měření, rezerva, 3FS5(tř.př.5) - L2 – 4.jádro

### 3.1.6 Analyzátor plynů – TRANSFIX

Analyzátor plynů TRANSFIX je instalován na blokových transformátorech xAT01(02). Instalované zařízení analyzátoru plynů TRANSFIX je průtočné zařízení, které čerpá olej z transformátoru, extrahuje plyny, analyzuje je a vrací olej zpět do transformátoru. [4]

Zařízení sleduje ve stanoveném časovém intervalu, který je možné navolit od 1 hodiny do 24 hodin, celkový obsah a trendy změn obsahu plynů ( $H_2$ ,  $CH_4$ ,  $CO_2$ ,  $CO$ ,  $C_2H_6$ ,  $C_2H_4$ ,  $C_2H_2$ ,  $O_2$ ) a měří množství vody v oleji. Proces odebrání a analýzy oleje trvá 1 hodinu, po skončení procesu analýzy oleje je možné zahájit nový proces analýzy oleje. Perioda měření u TRANSFIX a MINITRANS je stejná, tzn. 1x/4 hodiny. Při dosažení výstražné úrovně přejde vzorkování na 1x/2 hodiny, při dosažení alarmu přejde vzorkování na 1x/1 hodnu. [4]

Odběr oleje z transformátoru je řešen připojením na stávající ruční ventil PN16/DN40 na odbočce potrubí DN100 přívodu oleje z transformátoru do chladiče č. 4. Odvod oleje je řešen připojením na stávající ruční ventil PN16/DN40 na nádobě transformátoru. Odběrové trubky jsou provedeny z nerezů o průměru 1/4". [4]

Dálková poruchová signalizace (jako dvojice poruchových hlášek VÝSTRAHA, ALARM – překročení nižších a vyšších limitů obsahu plynů v oleji blokového transformátorů) je vyvedena z analyzátoru TRANSFIX, který je nainstalován u blokových transformátorů xAT01(02), na tablo poruchové signalizace panelu xDTE2.1 a xDTE2.2 na BD. [4]

Skříň analyzátoru plynů TRANSFIX (viz obr. 3-4) je umístěna v prostoru venkovního stanoviště blokového transformátoru xAT01(02) u chladiče č. 3 sekce 1. transformátoru, a to na straně průchodek 400 kV, orientovaná čelními dveřmi k oplocení transformátoru (rozvodně 400 kV). Signalizace na skříni analyzátoru TRANSFIX je provedena pomocí čtyř kontrolek. [4]

Tab. 3-8 Signalizace na skříni analyzátoru plynů TRANSFIX [4]

Signalizace	Stav
Červená	Alarm
Žlutá	Výstraha
Zelená	Provoz
Modrá	Servis, kontrolka signalizace při manuálním odběru vzorků oleje



Obr. 3-4 Skříň analyzátoru plynů TRANSFIX [5]

### 3.1.7 Základní technické údaje transformátorů 300 MVA

Tab. 3-9 Základní technické parametry blokového transformátoru 300 MVA [4]

Název	Parametry
Typ	1EIC42Z-1
Výrobce	ETD TRANSFORMÁTORY, a.s.
Jmenovitý výkon	300 MVA
Jmenovité napětí	420/15,75 kV
Jmenovitý proud	412/10997 A
Spojení	YNd1
Jmenovitý kmitočet	50 Hz
Napětí nakrátko	17,5±7,5 %
Proud naprázdno	5,48 A (0,050 %)
Zkratová odolnost	40 GVA
Nárazový zkratový proud	5,76 kA
Ekvivalentní oteplovací proud	2,26 kA
Ztráty naprázdno	170 kW ±15 % (2AT01, 2AT02, 4AT01: 124 kW ±15 %)
Ztráty nakrátko	790 kW±15 %
Součet ztrát	960 kW±10 % (2AT01, 2AT02, 4AT01: 914 kW ±10 %)
Hmotnost kompletně ustrojeného transformátoru	252,3 t
Transportní hmotnost (bez oleje)	186,2 t
Hmotnost oleje potřebného pro provoz	46 t
Chlazení	ODAF

### 3.2 Popis odbočkových olejových transformátorů 32 MVA

Hlavní funkcí odbočkových transformátorů je transformace elektrické energie vyráběné v generátorech z napěťové hladiny 15,75 kV na napěťovou hladinu 6,3 kV, která slouží k vlastní spotřebě Jaderné elektrárny Dukovany. [4]

Příslušenstvím transformátorů blokové a společně vlastní spotřeby jsou [4]:

- Transformátorové průchodky
- Přepínače odboček
- Systém chlazení transformátorů
- Instrumentace transformátorů
- Řídící skříň xGT03(04), (9GT01)
- Ovládací skříň xBT01, (02) – RM2
- Svorková skříň xBT01, (02) – MX1
- Přístrojový transformátor proudu – TA1
- Elektrické ochrany
- Stabilní hasicí zařízení
- Analyzátor plynů MINITRANS

Transformátory jsou umístěny na stanovištích před strojovnou HVBI a HVBII. Pod každým transformátorem je izolovaná sběrná vana, která je pomocí potrubí spojena se sběrnou jímkou umístěnou v rozvodně 400 kV. Sběrná olejová vana a sběrná jímka slouží k zachycení olejové náplně transformátoru při úniku oleje z transformátoru. [4]



Obr. 3-5 Odbočkový transformátor 1BT01 na Jaderné elektrárně Dukovany [5]

Transformátor je řešený jako třífázová trojvinut'ová říditelná jednotka venkovního provedení s olejovým chlazením, přirozenou cirkulací oleje a řízeným ofukováním olejových radiátorů ventilátory. [4]

Primární strana (15,75 kV) transformátoru je připojena na trasu vyvedení výkonu z turboalternátoru do blokového transformátoru pomocí zapouzdřených vodičů. Primární vinutí má dvě větve, z nichž každá má kmenovou a regulační část. Každá regulační část je připojena ke svému přepínači odboček. [4]

Sekundární strana (6,3 kV) je vyvedena na dvě samostatná galvanicky oddělená vinutí. Na každé sekundární vinutí je pomocí izolovaných stíněných vodičů připojena jedna 6kV rozvodna blokové (u 9BT01 společné) vlastní spotřeby bloku. [4]

### 3.2.1 Transformátorové průchodky

Průchodky 15,75 kV a 6,3kV jsou české průchodky firmy Elektroporcelán Louny, jen na transformátorech 1BT01, 1BT02, 2BT02 a 3BT01 jsou osazeny identické průchodky italské firmy COMEM S.p.A. Průchodky jsou naplněny vlastní izolační kompaundní hmotou. Uvnitř průchodek kolem vodičů je transformátorový olej. Průchodky nemají měřicí bod ani olejoznak. [4]

Tab. 3-10 Základní údaje průchodek 15,75 kV odbočkového transformátoru [4]

Průchodky 15,75 kV		
Zařízení	9BT01, 2BT01, 3BT02, 4BT01, 4BT02	1BT01, 1BT02, 2BT02, 3BT01
Typ	CBT 22/3150	20F/3150
Výrobce	Elektroporcelán Louny	COMEM S.p.A Italy
Jmenovité napětí	22 kV	
Jmenovitý proud	3150 A	
Umístění	Transformátory blokové a společné vlastní spotřeby	
Počet kusů / transformátor	3	

Tab. 3-11 Základní údaje průchodek 6 kV odbočkového transformátoru [4]

Průchodky 6 kV		
Zařízení	9BT01, 2BT01, 3BT02, 4BT01, 4BT02	1BT01, 1BT02, 2BT02, 3BT01
Typ	CBT 10/2000	10F/2000
Výrobce	Elektroporcelán Louny	COMEM S.p.A Italy
Jmenovité napětí	10 kV	
Jmenovitý proud	2000 A	
Umístění	Transformátory blokové a společné vlastní spotřeby	
Počet kusů / transformátor	6	

### 3.2.2 Přepínače odboček

Jako automatické regulátory napětí odbočkových transformátorů jsou použity přístroje firmy Eberle REG-D. Přístroje obsahují kombinovaný PI-regulátor (proporcionálně integrační regulátor) a pomocné obvody. [4]

Základní funkci regulátorů je automatické udržování napětí na přípojnicích 6 kV přepínáním odboček transformátorů xBT01(02) ( $15,75 \pm 8 \times 2 \% / 6,3 / 6,3$  kV) na požadované hodnotě 6,15 kV podle napětí vinutí, kterým protéká větší výstupní proud. [4]

Algoritmus regulace je následující [4]:

- a) pokud je napětí v pásmu necitlivosti  $6,15 \text{ kV} \pm 1,2 \%$  (tj. 6,08 – 6,22 kV) k regulaci nedochází,
- b) pokud rozdíl požadovaného a měřeného napětí je vyšší než pásmo necitlivosti  $\pm 1,2 \%$  (tj. 6,08 – 6,22 kV) začíná pracovat I-regulátor (integrační charakteristika) a s příslušným časovým zpožděním (zpoždění je nepřímo úměrné odchylce) vyšle regulátor signál na pohon přepínače odboček. Zároveň však nesmí být překročena horní mez napětí druhého vinutí,
- c) pokud rozdíl zadaného a měřeného napětí je vyšší, než pásmo regulace probíhá integrace rychleji a regulátor vyšle signál na pohon přepínače odboček v kratším časovém intervalu.

Pomocné vnitřní obvody zajišťují úplnou blokádu regulátoru při podpětí 4,2 kV a blokování impulsů více při nadpětí 6,9 kV. Další externí blokády regulace jsou provedeny blokováním řídicího napětí pro tvorbu impulsů více / méně. Blokování je vyvoláno náběhem relé pro zpětnou složku napětí, při vypnutí jističe pohonu přepínače odboček, při zablokování přepínače odboček v mezipoloze a při poruše výběrového automatu. [4]

Tab. 3-12 Základní technické parametry přepínače odboček odbočkového transformátoru [4]

Přepínač odboček napětí	
Typ	VACUTAP VV III 600D 40 10 193 W
Výrobce	MR Regensburg, Německo
Maximální provozní proud	600 A
Maximální stupňovací napětí	1000 V
Izolační napětí voliče a výkonového spínače	40 kV
Zkratový proud 5 s	6000 A
Dynamický zkratový proud	15000 A
Přepínací odpor na stupeň	10 $\Omega$
Počet poloh motorového pohonu	19
Počet stupňů přepínače	17
Počet přepínačů / transformátor	2 ks vzájemně propojené kardanovou hřídelí
Minimální teplota oleje pro spínání pod zátěží	-10 °C
Hmotnost výkonového spínače bez oleje	240 kg
Vysoušeč vzduch	1 společný pro oba přepínače na jednom transformátoru
Typ motorového pohonu	ED200S
Ovládací napětí	230 V
Jmenovitá frekvence	50 Hz
Typ motoru	ED200S
Napětí motoru	3 x 400 V
Výkon motoru	2,0 kW
Počet otáček klikou na 1 přepnutí	33
Hmotnost pohonu	80 kg
Počet pohonů / transformátor	1 společný pohon pro oba přepínače na jednom transformátoru

### 3.2.3 Systém chlazení transformátorů

Chlazení transformátoru je zajištěno olejem. Transformátor se chladí přirozenou cirkulací oleje mezi nádobou transformátoru a chladicími radiátory umístěnými po obvodu nádoby transformátoru. Účinnost chlazení je zvyšována chladicími ventilátory umístěnými pod radiátory. Ventilátory mohou pracovat v ručním nebo automatickém režimu. [4]

Systém chlazení odbočkového transformátoru je tvořen chladicími radiátory a elektrickými ventilátory (přídavné chlazení). Připojování a odpojování ventilátorů přídavného chlazení v automatickém režimu zajišťuje kontaktní kapilární teploměr. [4]

Ventilátory přídavného chlazení jsou v normálním režimu nastaveny do automatického režimu a společně najíždí při dosažení teploty +60 °C v horních vrstvách olejové náplně transformátoru, bez ohledu na zatížení transformátoru. Při poklesu teploty oleje na +50 °C v horních vrstvách olejové náplně dojde k vypnutí ventilátorů přídavného chlazení. [4]

### 3.2.4 Dilatační nádoba

Dilatační nádoba stroje je umístěna mimo transformátor na protipožární betonové stěně. Mezi dilatační nádobou a nádobou transformátoru je vloženo plynové (Buchholzovo) relé nádoby stroje. [4]



Dilatační nádoba přepínačů odboček je společná pro oba přepínače. Je umístěna nad víkem transformátoru a s přepínači je spojena přes plynové průtokové relé přepínačů odboček. [4]

### 3.2.5 Instrumentace transformátorů

#### a) 9BT01, 2BT01, 3BT02, 4BT02

Tab. 3-13 Instrumentace transformátorů (9BT01, 2BT01, 3BT02, 4BT02) – Technický popis zařízení [4]

Přístroj	Typ	ks / transformátor
Plynové relé nádoby	BF 50/6	1
Plynové relé přepínačů odboček – průtokové	RS2001	2
Kapilární teploměr s číselníkovým ukazatelem a dvěma kontakty – ovládání ofukování	AKM 3440515x-6.0	1
Termostat – hlášení maximální teploty	TC 73 SAUTER	1
Odporový článek pro dálkové měření teploty	PT 100 $\Omega/0$ °C	1
Olejový chladič	výrobce MLR	24
Motorventilátor	AVET 315 APDE 315 (9BT09)	18
Vysoušeč vzduchu stroje	8,0 l	1
Vysoušeč vzduchu přepínačů odboček	1,5 l	1
Dilatační nádoba stroje	horizontální s olejoznakem	1
Dilatační nádoba přepínačů odboček	vertikální s olejoznakem	1
Řídící skříň 9GT01, xGT03(04)	VT 27D, (VTD, VT-27)	

**b) 1BT01, 1BT02, 2BT02, 3BT01, 4BT01**

Tab. 3-14 Instrumentace transformátorů (1BT01, 1BT02, 2BT02, 3BT01, 4BT01) – Technický popis zařízení [4]

Přístroj	Typ	ks / transformátor
Plynové relé nádoby	BF 50/6	1
Plynové relé přepínačů odboček – průtokové	RS 2001	2
Kapilární teploměr s číselníkovým ukazatelem a dvěma kontakty – ovládání ofukování	AKM 3440515x-6.0	1
Termostat – hlášení maximální teploty	TRAFAG, TC 73 Sauter (4BT01)	1
Odporový článek pro dálkové měření teploty	PT 100 $\Omega/0\text{ }^{\circ}\text{C}$	1
Olejový chladič	B2/520, výrobce ZPREP Polsko (1BT01, 1BT02, 3BT01) EC FG 100, výrobce EUROCOOLER Francie (2BT02, 4BT01)	10
Motorventilátor	AV450-2A, 193W, 1,03 m <sup>3</sup> /sec	10
Vysoušeč vzduchu stroje	8,0 l	1
Vysoušeč vzduchu přepínačů odboček	1,5 l	1
Dilatační nádoba stroje	horizontální s olejoznakem	1
Dilatační nádoba přepínačů odboček	vertikální s olejoznakem	1
Řídící skříň xGT03(04)	VT 27D, (VTD, VT-27)	1

**3.2.6 Přístrojový transformátor proudu – TA1**

Tab. 3-15 Přístrojový transformátor proudu (linearizovaný) TA1 – Technický popis zařízení [4]

<b>xBT01(02) -TA1</b>	
Umístění	Nasunuty na průchodkách pod víkem transformátoru v oleji, na straně 15,75 kV
Výrobce	ČKD Praha
Typ	1 OBL 55
Konstrukční provedení	Prstencový, tříjádrový, olejový
Jmenovitý výkon	30 VA / 60 VA / 0,434 $\Omega$
Jmenovité napětí	22 kV
Zkušební napětí	55 kV
Zkratová odolnost $I_{ke1}$	110 kA
Převod	1250/5 - 5 - 5 A
Třída přesnosti	0,5 / 1 / 3 %
Nadproudové číslo	5 / 10 / 150
Hmotnost	174 kg

### 3.2.7 Analyzátor plynů MINITRANS

Analyzátor plynů MINITRANS je instalován na všech provozovaných odbočkových transformátorech 1BT01, 1BT02, 2BT01, 2BT02, 3BT01, 3BT02, 4BT01, 4BT02 a 9BT01. [4]

Instalované zařízení analyzátoru plynů MINITRANS je průtočné zařízení, které čerpá olej z transformátoru, extrahuje plyny, analyzuje je a vrací olej zpět do transformátoru. [4]

Zařízení sleduje ve stanoveném časovém intervalu od 1 hodiny do 24 hodin, v úrovních po 1 hodině, celkový obsah a trendy změn obsahu plynů (H<sub>2</sub>, CO, C<sub>2</sub>H<sub>2</sub>,) a měří množství vody v oleji. [4]

Dálková poruchová signalizace je vyvedena z analyzátoru plynů MINITRANS na tablo poruchové signalizace panelu 3DTE3.4 v BD nebo na obrazovku panelu 1(2,4)DTE3.10, která je součástí nově instalovaného systému ŘSBE. [4]

Skříň analyzátoru plynů MINITRANS (viz obr. 3-6) se nachází v prostoru venkovního stanoviště odbočkového transformátoru a je orientovaná čelními dveřmi k oplocení transformátoru. Signalizace na skříni analyzátoru plynů MINITRANS je provedena pomocí dvou signalizačních kontrolek. [4]

Tab. 3-16 Signalizace na skříni analyzátoru plynů MINITRANS [4]

Signalizace	Stav
Červená (svítí trvale)	Alarm
Zelená (svítí trvale)	Provoz
Červená (bliká)	Servis
Zelená (bliká)	Výstraha



Obr. 3-6 Skříň analyzátoru plynů MINITRANS [5]

**3.2.8 Základní technické údaje odbočkových transformátorů 32 MVA**

Tab. 3-17 Základní technické parametry odbočkového transformátoru 32 MVA [4]

Název	Parametry
Typ	60 T 189 / 122
Výrobce	ČKD Praha
Jmenovitý výkon	32 / 16 / 16 MVA
Jmenovité napětí	15,75 ± 8 x 2 % / 6,3 / 6,3 kV
Jmenovitý proud	1396-1173-1012 / 1466,5 / 1466,5 A
Spojení	D / d0 / d0
Ztráty nakrátko (na střední odbočce)	149 kW
Ztráty naprázdno	41 kW
Napětí nakrátko vztaženo na výkon 16 MVA	8 % ±5 %/8 % ±15 %/16 % ±20 %
Jmenovitý kmitočet	50 Hz
Celková hmotnost	85 t
Transportní hmotnost	75 t
Hmotnost oleje	29 t
Zkratová odolnost	3,6 GVA
Typ chlazení	ONAN / ONAF

## 4 MONITOROVACÍ SYSTÉM TRANSFORMÁTORŮ MST

### 4.1 Popis funkce

Monitorovací systém transformátorů je určen pro on-line diagnostiku jednotek blokových transformátorů a odbočkových transformátorů na EDU. [6]

System umožňuje získávat přehled o aktuálním stavu každého blokového transformátoru a každého odbočkového transformátoru a jeho vývoji v čase a na základě toho snížit důsledky potenciálních poruch transformátorů [6]:

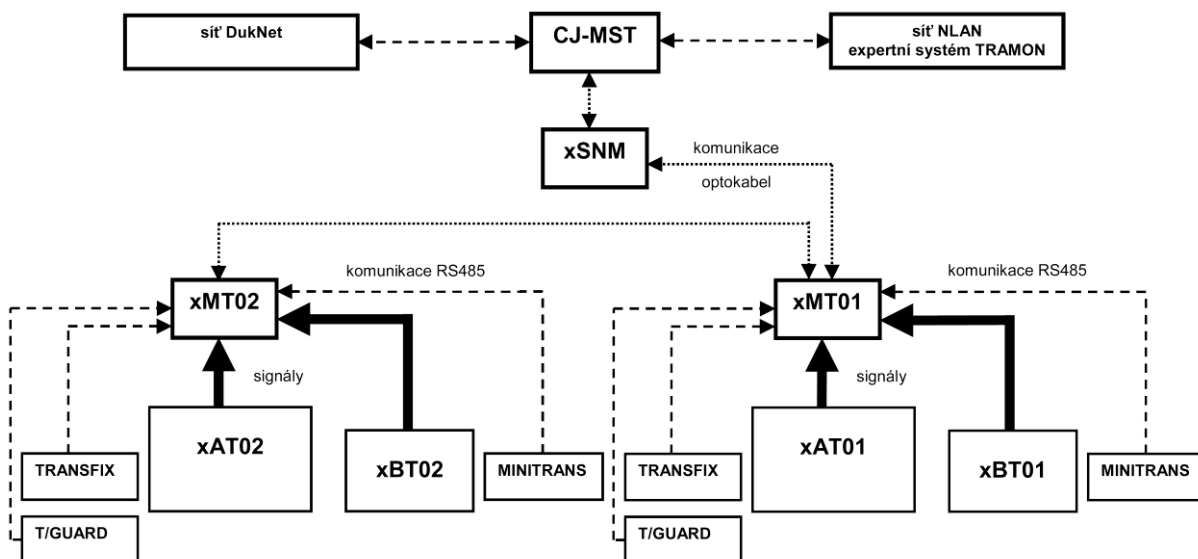
- Minimalizací ztrát ve výrobě kvalifikovaným rozhodnutím na základě vyhodnocování archivovaných dat z kontinuálního monitorování
- Možnosti dále provozovat transformátor vykazující zárodečnou nebo i pokročilou závadu, která se rychle nerozvíjí až do plánované odstávky bloku
- Posouzením nutnosti blízkého plánovaného odstavení (víkend, svátky apod.) pro provedení opravy nebo bezodkladného odstavení pro výměnu transformátoru při rychle se rozvíjejících závadách
- Snížením rozsahu poškození transformátoru a okolních zařízení včasným odstavením z provozu a následnou opravou nebo výměnou za rezervní transformátor, kdy oprava může být provedena v menším rozsahu
- Snížením doby odstavení bloku pro vynucenou výměnu transformátoru možností přípravy výměny „zhoršujícího se transformátoru“ náhradním transformátorem

Nezastupitelnou funkcí on-line monitoringu transformátorů je i záznam všech dostupných informací v případě poruchy či havárie transformátoru. Tyto informace následně vedou k předcházení podobných poruch na ostatních transformátorech. [6]

### 4.2 STRUKTURA SYSTÉMU MST

System MST se skládá z části společné pro všechny transformátory a z částí určených pro každý uzel hlavního generátoru (např. pro 1. RB 2 uzly s transformátory 1AT01+1BT01+9BT01 a 1AT02+1BT02). Pro měření jsou využity vhodně nakonfigurované ústředny systému MOSAD<sup>®</sup>. [6]

Společná část se skládá především z centrální jednotky CJ MST, která začleňuje systém MST do systému MSE a zároveň realizuje některé společné procesy systému MST jako sběr teplot, komunikace s analyzátory plynů a měřením teploty vinutí, výpočet dalších kontinuálně měřených analogových signálů a analýzu naměřených signálů. CJ MST je doplněna do stávající skříně 9DE4.11 systému MSE v které se také nachází centrální jednotky MSE, komunikační infrastruktura a UPS zajišťující bezpečného uložení dat při výpadcích pracovních zdrojů. Všechny komponenty systému MST jsou časově synchronní se systémem MSE pomocí systému GPS, proto jsou časy událostí a zaznamenané průběhy porovnatelné v rámci systému MST a MSE. [6]



Obr. 4-1 Strukturální blokové schéma monitorovacího systému transformátorů MOSAD<sup>®</sup>-MST na EDU [6]

### 4.3 MĚŘICÍ ČÁSTI SYSTÉMU MST

Měřicí části systému MST blokových a odbočkových transformátorů se skládají z [6]:

- Instrumentace připojené k měřeným transformátorům
- Měřicích skříní xMT01, xMT02 se vstupními jednotkami měřicích ústředn MOSAD<sup>®</sup> a vstupními moduly pro měření teplot a vlhkosti
- Procesorových jednotek v místnostech SNM

### 4.4 INSTRUMENTACE NA MĚŘENÝCH TRANSFORMÁTORECH

Instrumentace na měřených blokových a odbočkových transformátorech se skládá z [6]:

- Analyzátorů plynů v oleji TRANSFIX (jeden pro blokové transformátory)
- Analyzátorů plynů v oleji MINITRANS (jeden pro odbočkové transformátory)
- Teploměrů pro měření teplot oleje a vzduchu (jímkové, v nalepovacích pouzdrích na povrchu transformátorů nebo v provedení pro měření teploty vzduchu) a vlhkoměrů
- Speciálních průchodkových snímacích prvků na VVN a VN straně blokových transformátorů pro měření přepětí a částečných výbojů a snímače úrovně okolního prostorového rušení
- Obvodů pro měření pracovních proudů blokových a odbočkových transformátorů a generátoru xSP10 a xSP50

Instrumentace na měřených transformátorech je propojena s měřicí skříní xMT01, xMT02 signální a komunikační kabeláží. Skřínky, zařízení a kabeláž jsou provedeny s ohledem na EMC a to především s ohledem na odolnost. [6]

V následujících tabulkách je uveden přehledný rozpis instrumentace měřicích obvodů.

Tab. 4-1 Instrumentace měřicích obvodů napětí a proudů MST na EDU [7]

Označení měřicí skříň	Transformátory	Napětí	Proud
1MT01	1AT01, 1BT01, 9BT01	<b>6</b> 3x z diagnostického prvku průchodky u 1AT01 400 kV, 3x z diagnostického prvku průchodky 1AT01 15,75 kV	<b>12</b> 3x v GT skříni pro 400 kV u 1AT01, 3x u generátoru pro 15,75 kV u 1SP10, 3x u 1BT01 pro 15,75 kV 3x u 9BT01 pro 15,75 kV
1MT02	1AT02, 1BT02	<b>6</b> 3x z diagnostického prvku průchodky u 1AT02 400 kV, 3x z diagnostického prvku průchodky 1AT02 15,75 kV	<b>9</b> 3x v GT skříni pro 400 kV u 1AT02, 3x u generátoru pro 15,75 kV u 1SP50, 3x u 1BT02 pro 15,75 kV
2(3,4)MT01	2(3,4)AT01, 2(3,4)BT01	<b>6</b> 3x z diagnostického prvku průchodky u 2(3,4)AT01 400 kV, 3x z diagnostického prvku průchodky 2(3,4)AT01 15,75 kV	<b>9</b> 3x v GT skříni pro 400 kV u 2(3,4)AT01, 3x u generátoru pro 15,75 kV u 2(3,4)SP10, 3x u 2(3,4)BT01 pro 15,75 kV
2(3,4)MT02	2(3,4)AT02, 2(3,4)BT02	<b>6</b> 3x z diagnostického prvku průchodky u 2(3,4)AT02 400 kV, 3x z diagnostického prvku průchodky 2(3,4)AT02 15,75 kV	<b>9</b> 3x v GT skříni pro 400 kV u 2(3,4)AT02, 3x u generátoru pro 15,75 kV u 2(3,4)SP50 3x u 2(3,4)BT02 pro 15,75 kV

Tab. 4-2 Instrumentace měřicích obvodů přepětí a částečných výbojů MST na EDU [7]

Označení měřicí skříně	Transformátor	Přepětí	Částečné výboje
xMT01	xAT01	<b>6</b> 3x z diagnostického prvku průchodky u xAT01 400 kV, 3x z diagnostického prvku průchodky u xAT01 15,75 kV	<b>6</b> 3x z diagnostického prvku průchodky u xAT01 400 kV, 3x z diagnostického prvku průchodky u xAT01 15,75 kV
xMT02	xAT02	<b>0</b>	<b>6</b> 3x z diagnostického prvku průchodky u xAT02 400 kV, 3x z diagnostického prvku průchodky u xAT02 15,75 kV

Tab. 4-3 Instrumentace měřicích obvodů teplot oleje a vzduchu MST na EDU [7]

Označení měřicí skříně	Transformátory	Nádoba	Chladiče – olej	Chladiče – vzduch	Přepínač odboček
1MT01	1AT01	4	12	2	-
	1BT01	3	-	2	2
	9BT01	3	-	2	2
1MT02	1AT02	4	12	2	-
	1BT02	3	-	2	2
2(3,4)MT01	2(3,4)AT02	4	12	2	-
	2(3,4)BT02	3	-	2	2
2(3,4)MT02	2(3,4)AT02	4	12	2	-
	2(3,4)BT02	3	-	2	2

Tab. 4-4 Instrumentace měřicích obvodů teplot vinutí blokových transformátorů na EDU [7]

Označení měřicí skříně	Transformátor	Přístroj
xMT01	xAT01	T/Guard™ - 8 kanálů pro optická vlákna
xMT02	xAT02	T/Guard™ - 8 kanálů pro optická vlákna

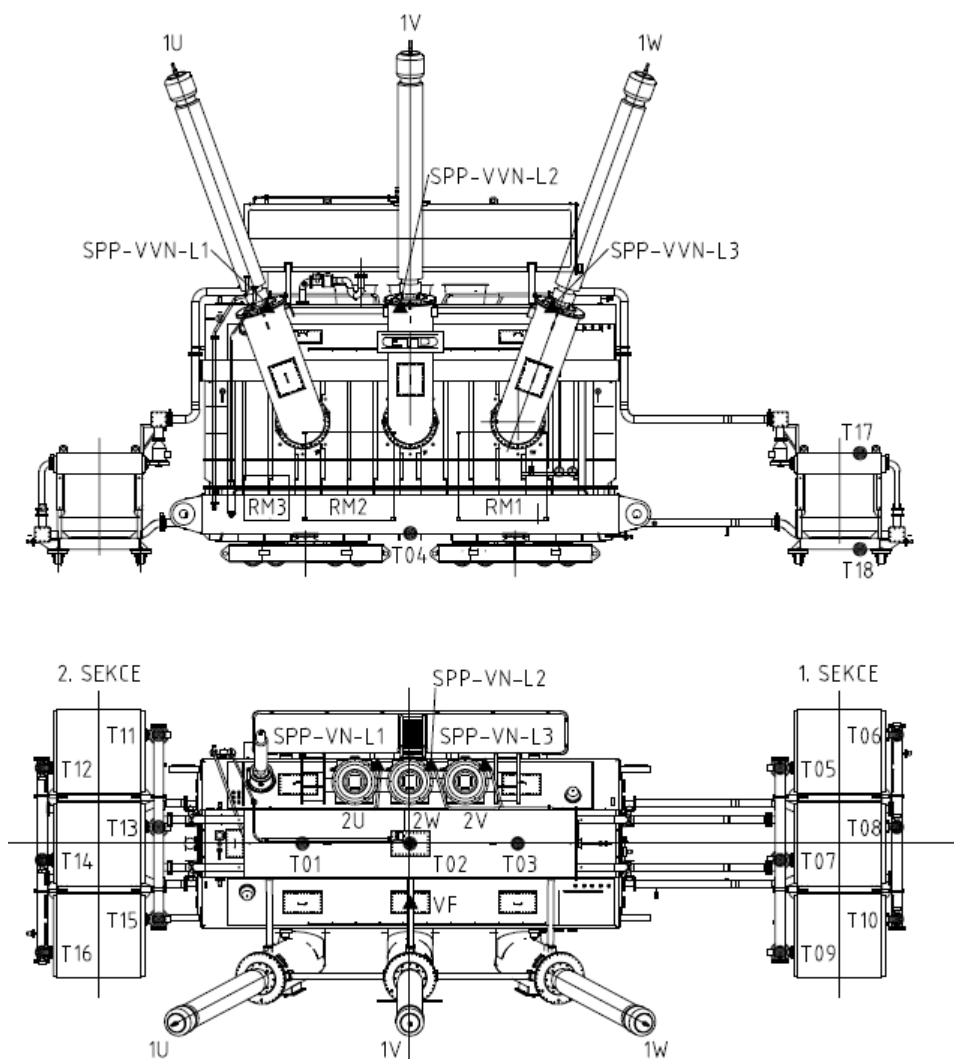


Tab. 4-5 Instrumentace měřicích obvodů teplot magnetického obvodu blokových transformátorů na EDU [7]

Označení měřicí skříně	Transformátor	Přístroj
1MT01	1AT01	5 teplotních čidel Pt100 ve sloupcích magnetického obvodu
1MT02	1AT02	5 teplotních čidel Pt100 ve sloupcích magnetického obvodu
2MT01	2AT01	5 teplotních čidel Pt100 ve sloupcích magnetického obvodu
2MT02	2AT02	5 teplotních čidel Pt100 ve sloupcích magnetického obvodu
3MT01	3AT01	5 teplotních čidel Pt100 ve sloupcích magnetického obvodu
3MT02	3AT02	5 teplotních čidel Pt100 ve sloupcích magnetického obvodu
4MT01	4AT01	5 teplotních čidel Pt100 ve sloupcích magnetického obvodu
4MT02	4AT02	5 teplotních čidel Pt100 ve sloupcích magnetického obvodu

Tab. 4-6 Instrumentace pro měření plynů v oleji transformátorů na EDU [7]

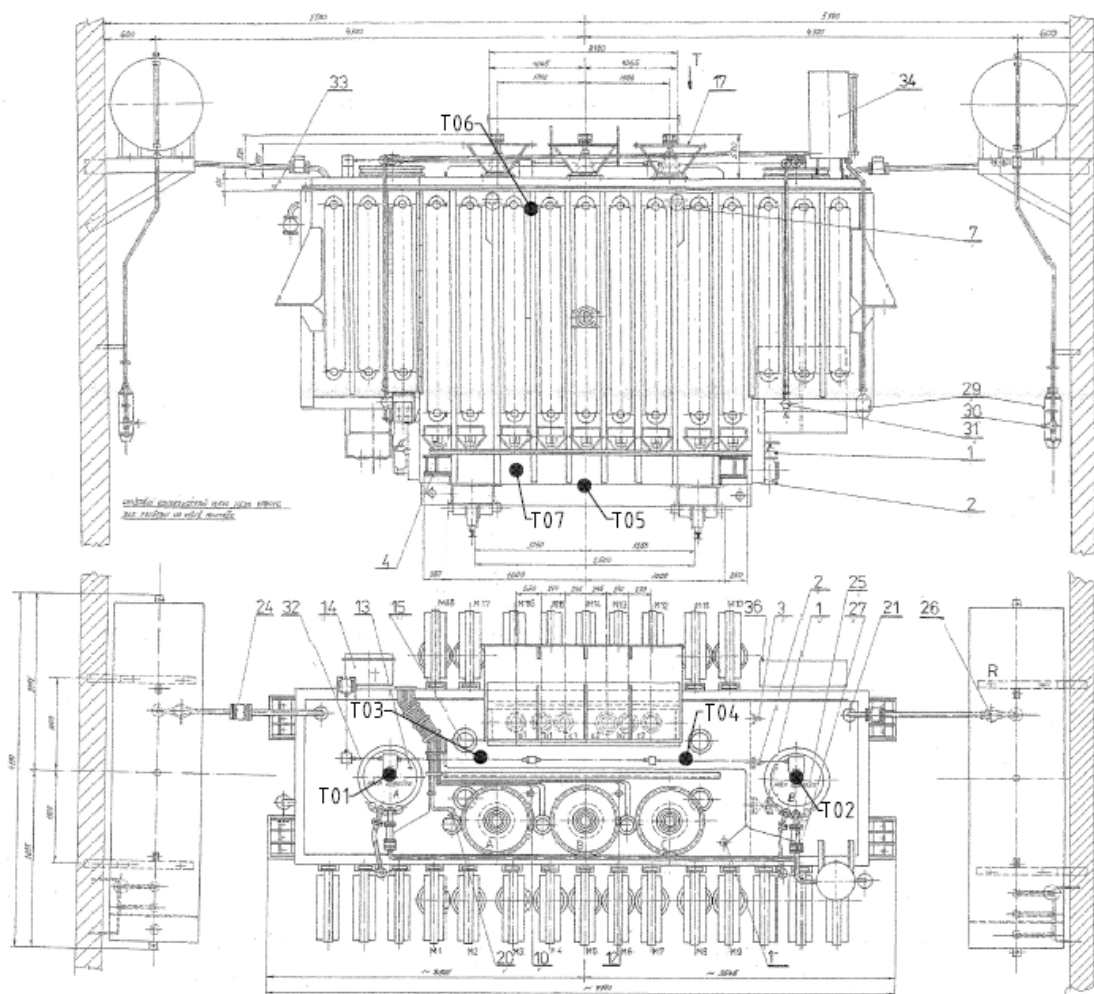
Označení měřicí skříně	Transformátor	Analyzátor
1MT01	1AT01	TRANSFIX
	1BT01	MINITRANS
	9BT01	MINITRANS
1MT02	1AT02	TRANSFIX
	1BT02	MINITRANS
2(3,4)MT01	2(3,4)AT02	TRANSFIX
	2(3,4)BT02	MINITRANS
2(3,4)MT02	2(3,4)AT02	TRANSFIX
	2(3,4)BT02	MINITRANS



SNÍMACÍ PRVEK	
● T01	TEPLOTA OLEJE POD VÍKEM NÁDOBY
● T02	TEPLOTA OLEJE POD VÍKEM NÁDOBY
● T03	TEPLOTA OLEJE POD VÍKEM NÁDOBY
● T04	TEPLOTA OLEJE U DNA NÁDOBY
● T05	TEPLOTA OLEJE NA VSTUPU DO CHLADIČE
● T06	TEPLOTA OLEJE NA VÝSTUPU Z CHLADIČE
● T07	TEPLOTA OLEJE NA VSTUPU DO CHLADIČE
● T08	TEPLOTA OLEJE NA VÝSTUPU Z CHLADIČE
● T09	TEPLOTA OLEJE NA VSTUPU DO CHLADIČE
● T10	TEPLOTA OLEJE NA VÝSTUPU Z CHLADIČE
● T11	TEPLOTA OLEJE NA VSTUPU DO CHLADIČE
● T12	TEPLOTA OLEJE NA VÝSTUPU Z CHLADIČE
● T13	TEPLOTA OLEJE NA VSTUPU DO CHLADIČE
● T14	TEPLOTA OLEJE NA VÝSTUPU Z CHLADIČE
● T15	TEPLOTA OLEJE NA VSTUPU DO CHLADIČE
● T16	TEPLOTA OLEJE NA VÝSTUPU Z CHLADIČE
● T17	TEPLOTA VZDUCHU NA VÝSTUPU Z CHLADIČE
● T18	TEPLOTA NASÁVANÉHO VZDUCHU DO CHLADIČE
▲ SPP-VVN-L1	SNÍMACÍ PŘŮCHODKOVÝ PRVEK 400kV
▲ SPP-VVN-L2	SNÍMACÍ PŘŮCHODKOVÝ PRVEK 400kV
▲ SPP-VVN-L3	SNÍMACÍ PŘŮCHODKOVÝ PRVEK 400kV
▲ SPP-VN-L1	SNÍMACÍ PŘŮCHODKOVÝ PRVEK 15,75kV
▲ SPP-VN-L2	SNÍMACÍ PŘŮCHODKOVÝ PRVEK 15,75kV
▲ SPP-VN-L3	SNÍMACÍ PŘŮCHODKOVÝ PRVEK 15,75kV
▲ VF	ANTÉNA PRO SNÍMÁNÍ VF RUŠENÍ

- TEPLOTNÍ ČIDLA
- ▲ SNÍMACÍ PŘŮCHODKOVÉ PRVKY, VF ANTÉNA

Obr. 4-2 Schéma umístění snímačů na blokovém transformátoru 300 MVA na EDU [7]



SNÍMACÍ PRVEK	
● T01	TEPLOTA OLEJE POD VÍKEM PŘEPÍNAČE
● T02	TEPLOTA OLEJE POD VÍKEM PŘEPÍNAČE
● T03	TEPLOTA OLEJE POD VÍKEM NÁDOBY
● T04	TEPLOTA OLEJE POD VÍKEM NÁDOBY
● T05	TEPLOTA OLEJE U DŇA NÁDOBY
● T06	TEPLOTA VZDUCHU NA VÝSTUPU Z CHLADIČE
● T07	TEPLOTA VZDUCHU NASÁVANÉHO DO CHLADIČE

Obr. 4-3 Schéma umístění snímačů na odbočkovém transformátoru 32 MVA na EDU [7]

## 4.5 MĚŘICÍ SKŘÍNĚ MST

Měřicí skříně xMT01 (viz obr. 4-4), xMT02 (viz obr. 4-5) obsahují [6]:

- Obvody pro přizpůsobení měřených signálů
- Vstupní jednotku měřicí ústředny MOSAD®
- Vstupní moduly pro měření teplot a jiných pomalých signálů
- Komunikační koncentrátor a obvody pro zajištění napájení zařízení skříně

Obvody pro přizpůsobení měřených signálů slouží k úpravě signálů vystupujících ze silových měřicích obvodů na úroveň vhodné pro vstupní obvody měřicích modulů a k jejich galvanickému oddělení a filtraci s ohledem na EMC. [6]

Skříně obsahují jednu kombinovanou vstupní jednotku MOSAD® pro společný sběr analogových a dvouhodnotových signálů. První část ústředny má za úkol sběr dat z velmi rychlých analogových signálů (se vzorkovací frekvencí 200 kHz) jako zapisovač přepětí. Tato část je jen ve skříních xMT01. Druhá část ústředny má za úkol sběr dat rychlých analogových signálů (5 kHz). Součástí je i sběr dat binárních signálů (1 kHz) a měření částečných výbojů (max 10 MHz). Každá část vstupní jednotky má svou procesorovou jednotku v místnosti xSNM, se kterou je propojena optickým kabelem. [6]



Obr. 4-4 Hlavní instrumentace skříně MT01 [5]

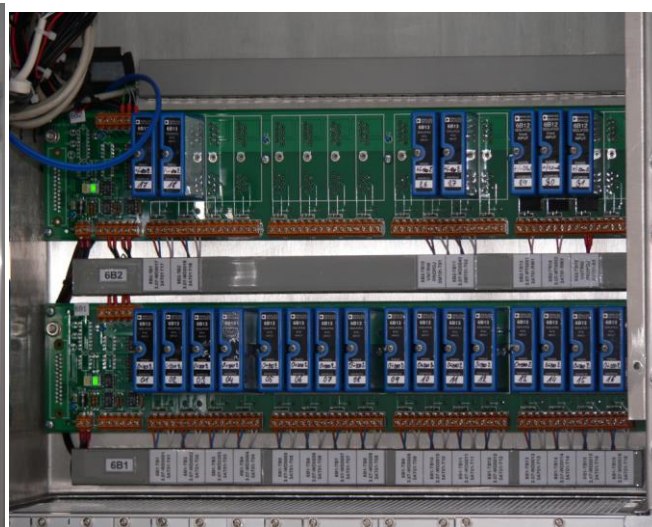


Obr. 4-5 Hlavní instrumentace skříně MT02 [5]

Měřicí skříně xMT01, xMT02 jsou rozděleny na dva prostory dle přípustné úrovně rušení. Všechny signály a vodiče vstupují do odrušeného prostoru přes prostor s rušením. Na rozhraní těchto prostor jsou realizována opatření pro zamezení přenosu rušení za účelem dosažení elektromagnetické kompatibility (EMC průchodky). Zároveň je vnější plášť nerezové skříně a její dveře konstruovány v EMC provedení. V prostoru s rušením jsou umístěny obvody pro přizpůsobení signálů pracovních proudů transformátorů a obvody napájení 230 V celé skříně s filtry. V odrušeném prostoru se nachází nosič pomocných komponent umožňující montáž nosičů 6B modulů (viz obr. 4-7). Dále se zde nacházejí dvouhodnotové, analogové a řídicí karty, čítačová karta, izolační zesilovače a komparátor. [6]



*Obr. 4-6 Měřicí skříň MT01 (měřicí ústředna, jednotka úpravy signálů, nosič proudových modulů) [5]*



*Obr. 4-7 Nosič 6B modulů pro měření teplot a monitoring měřících proudových obvodů 4 – 20 mA [5]*

Skříně v provedení do vnějšího prostředí (krytí IP54) jsou vybaveny a konstruovány k zajištění vhodného pracovního prostředí komponent (systém řízení teploty a vlhkosti uvnitř skříně) bez nutnosti trvalé obsluhy. [6]

Prívod všech kabelů do skříní xMT01, xMT02 je proveden spodem, vnější kabely ukončeny na svorkovnicích nebo svorkách. Skříně jsou umístěny na kovové konstrukci přivařené vně na ocelové stěně venkovního stání blokových transformátorů směrem ke stěně strojovny příslušného HVB. [6]

## 4.6 PROCESOROVÉ JEDNOTKY MST

Procesorové jednotky v místnostech systému nestandardního měření (viz obr. 4-8) komunikují se svými vstupními jednotkami přes optické kabely prostřednictvím specializovaného rozhraní MOSAD link. Procesorové jednotky MOSAD jsou připojeny přímo do sítě Ethernet a rozvodu signálu jednotného času systému MSE v téže místnosti. Komunikační koncentrátor v měřicí skříně je taktéž připojen optickým kabelem do sítě Ethernet systému MSE. Komponenty MST komunikují se serverem centrální jednotky a do serveru databázové centrální jednotky systému MSE ukládají přímo nebo zprostředkovaně naměřená data. Data získaná systémem MST jsou uložena v systému MSE standardním způsobem, a proto jsou dohledatelná a zobrazitelná prostředky systému MSE v uživatelském WWW rozhraní. [6]



Obr. 4-8 Procesorové jednotky MST (druhá police od shora v 2SNM.14) [6]

## 5 ARCHITEKTURA MĚŘÍCÍCH ŘETĚZCŮ SYSTÉMU MST

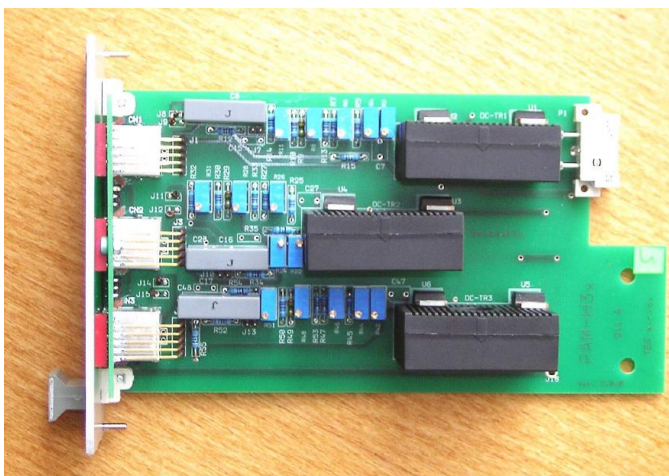
Skladba měřících řetězců je dána projektem MST, který respektoval požadavky a znalosti on-line monitoringu transformátorů vycházející z doporučení CIGRE A2.18 – „Základy metod řízení životnosti výkonových transformátorů“ (profesní světová asociace elektroinženýrů – komitét A2 – transformátory). Cílem bylo monitorovat výkonové transformátory dostupnými prostředky tak, aby byly měřeny všechny důležité elektrické a technologické parametry charakterizující všechny provozní režimy a stavy transformátorů včetně přechodových dějů. [8]

### 5.1 Přímé měřené signály

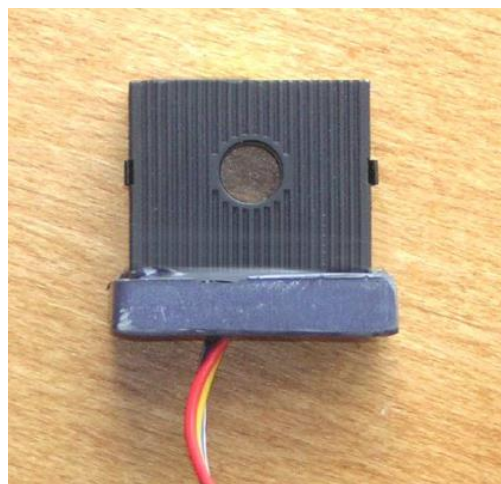
Přímé měřené signály jsou v MST označovány signály, které jsou zavedeny na vstupy a přímo měřeny kombinovanou (analogovou a dvouhodnotovou) měřicí ústřednou MOSAD<sup>®</sup> - 5 v příslušné MT skříni.[4]

#### 5.1.1 Proudové moduly

Pro měření proudů se využívají volné výstupy měřících transformátorů proudů (měřicí jádra), jejichž obvody vedou do MT skříně na měřicí proudové moduly s Hallovými sondami (viz obr. 5-1). Pro MST byly také vyvinuty proudové moduly s externími Hallovými sondami (viz obr. 5-2) pro aplikace, kde již nejsou volné výstupy měřících transformátorů proudů a externí sondy se nasouvají na zapojenou kabeláž. [9]

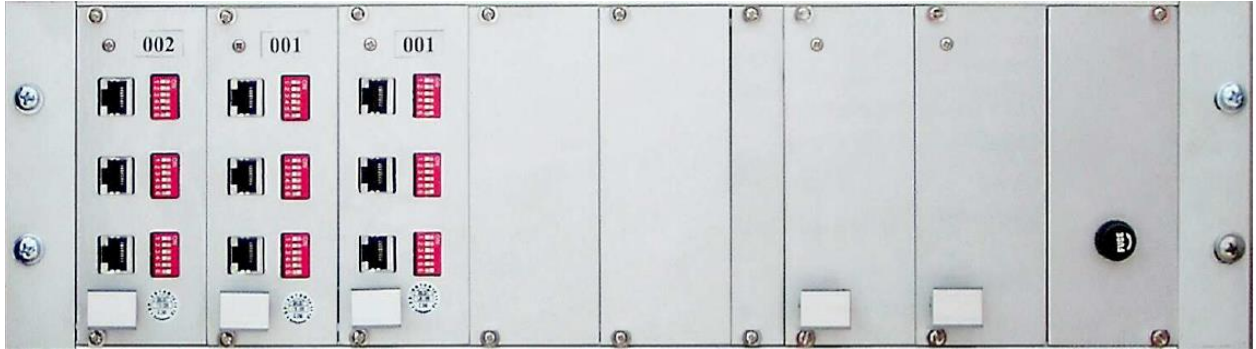


Obr. 5-1 Proudový modul PAM5-H3 [9]



Obr. 5-2 Externí Hallova sonda [9]

U měření proudových obvodů je velmi důležité správně nastavit měřicí rozsah modulu ve velmi širokém spektru. K tomuto účelu jsou jednotlivé vstupy osazeny přepínači, kterými lze proudový rozsah měnit v rozmezí 0,3 – 0,7 In. [9]



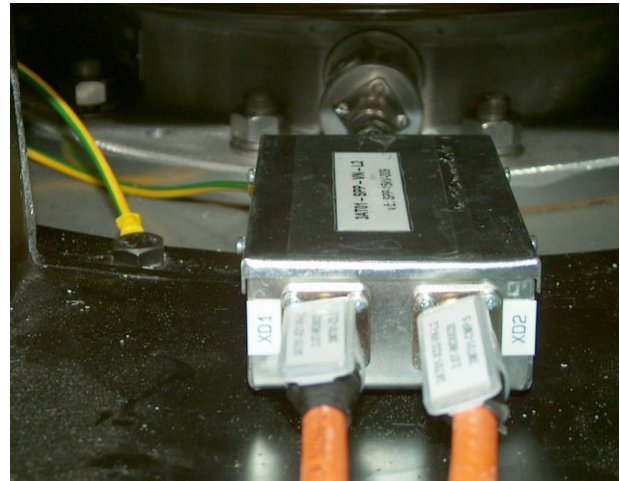
Obr. 5-3 Nosič proudových modulů s Hallovými sondami [9]

### 5.1.2 Napětí

Pro měření napětí se využívají diagnostické konektory transformátorových průchodek osazené speciálně vyvinutými snímacími průchodkovými prvky (SPP) (viz obr. 5-4 a 5-5). [10]



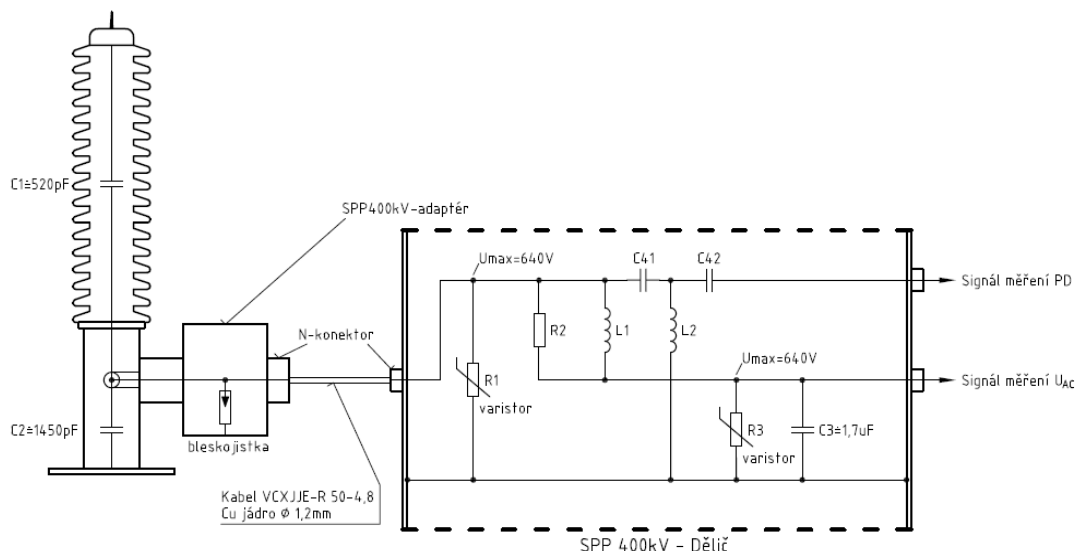
Obr. 5-4 Snímací průchodkový prvek 400 kV [5]



Obr. 5-5 Snímací průchodkový prvek 15,75 kV [5]

Výstupem prvků SPP jsou signály napětí (výstup SPP značený XD1) a signály impulzů částečných výbojů (výstup SPP značený XD2). Signály napětí jsou triaxiálními kabely vedeny do příslušné MT skříně na vstupní BNC konektor izolačního zesilovače. Výstupy izolačních zesilovačů označeny „b“ jsou zavedeny na vstupy analogové karty měřicí ústředny. Výstupy izolačních zesilovačů označeny „a“ jsou využívány v souladu s projektem jen ve skříních MT01. Jsou uzpůsobeny pro záznamy přepětí, a proto jsou zavedeny na speciálně upravenou analogovou měřicí kartu s rychlostí vzorkování 200 kHz. [10]





Obr. 5-6 Principiální schéma zapojení obvodů SPP [10]

### 5.1.3 Částečné výboje transformátorových průchodek

Druhým výstupem SPP (výstup SPP značený XD2) jsou impulzy částečných výbojů z jednotlivých transformátorových průchodek. Signály jsou opět vedeny triaxiálními kabely do MT skříně, na vstupní BNC konektory komparátoru. Zpracované signály jsou pak zavedeny na čítač impulzů měřicí ústředny. Aby se vhodně změřila výbojová činnost, měření probíhá pro každý měřený signál v pěti amplitudových pásmech určených komparačními úrovněmi a četnost impulzů každého pásma je vyhodnocovaná čítačem. Proces měření je postupný, nejprve se odměří četnost impulzů 1. úrovně na všech vstupech komparátoru během 1 s, následně je během 1 s provedeno přenastavení komparační úrovně a následně probíhá měření 2. úrovně. Tedy 5 úrovní bude odměřeno za 10 s, čili 60 sad za 10 minut. Postupné měření úrovní výbojové činnosti nemá vliv na přesnost vyhodnocení, neboť nárůst výbojové činnosti při rozvoji závady průchodky je velmi pozvolný. Naopak touto metodou jsou eliminovány krátkodobé přechodové děje s náhodným výskytem (nahodilé rušení). [11]

### 5.1.4 Dvuhodnotové signály

Dvuhodnotové signály jsou signály, které mohou nabývat pouze jeden ze dvou stavů (zapnuto/vypnuto), typicky to je stav relé. Tyto signály jsou snímány dvuhodnotovým modulem. Dvuhodnotový modul je tvořen dvuhodnotovými vstupními kartami v měřicí ústředně a měřícím procesem v procesorové jednotce. [4]

Základní vlastnosti dvuhodnotového modulu [4]:

- Bezobslužná činnost modulu jako součást měřicího systému nebo samostatně.
- Měření 32 až 544 dvuhodnotových vstupních signálů s galvanickým oddělením s krokem po 32 vstupech (počet vstupů jedné dvuhodnotové vstupní karty ve vstupní jednotce). Základní hodnota napětí 48 V stejnosměrných.
- Vzorkování s nastavitelnou frekvencí 1 Hz až 10 kHz, obvykle je používáno 1 kHz, modul ukládá pouze změnu stavu signálu čímž se šetří záznamová kapacita.
- Automatická detekce kmitajících signálů a jejich softwarové odpojení.

- Kapacita interní paměti pro záznam 2,8 miliónu změn při vyhrazení 32 MB paměti pro změny.
- Automatické průběžné ukládání naměřených dat nebo při zaplnění paměti.
- Galvanické oddělení vstupních signálů navzájem proti sobě a proti logické části systému, vysoká odolnost vstupů.

## 5.2 Komunikované signály

Komunikovanými signály jsou v MST označovány signály, které jsou získány výstupem technologických snímačů a upraveny převodníky, jejichž výstupem je komunikační rozhraní RS485 protokolu ModBus RTU. Jinou variantou získání velkého objemu komunikovaných signálů jsou komunikace s „cizími“ zařízeními v podobě monitorů a analyzátorů. V prostředí MST takovými jsou [4]:

- Analyzátoři rozpuštěných plynů v oleji TRANSFIX a MINITRANS (Kelman)
- Monitory teplot vinutí TGuard-TM (Neoptix)
- Monitory teplot magnetického obvodu IDAM
- Převodníky teplot oleje a vzduchu – 6B13 (Analog Devices)
- Převodníky obvodů MaR 4 – 20 mA – 6B12 (Analog Devices)

Všechny komunikované signály jsou zavedeny do komunikačního koncentrátoru MOXA v každé příslušné MT skříně, odkud optickou sítí MSE jsou komunikovány do centrální jednotky MSE/MST. [4]

### 5.2.1 Analyzátoři rozpuštěných plynů v oleji TRANSFIX a MINITRANS

Analyzátoři TRANSFIX využívají metody fotoakustické spektroskopie. Při prostupu pulzů světla o známé vlnové délce do měřicí komory dojde k pohlcení světla rozpuštěnými plyny a způsobí krátkodobý ohřev plynu a zvýšení tlaku. Tento akustický ráz se monitoruje citlivými mikrofony. Množství rozpuštěných plynů odpovídá úrovni akustického signálu. Zařízení sleduje ve stanoveném časovém intervalu od 1 hodiny do 24 hodin, v úrovních po 1 hodině, celkový obsah a trendy změn obsahu plynů (vodík – H<sub>2</sub>, metan – CH<sub>4</sub>, oxid uhličitý – CO<sub>2</sub>, oxid uhelnatý – CO, etan – C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>, etylen – C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>, acetylen – C<sub>2</sub>H<sub>2</sub>, kyslík – O<sub>2</sub>) a měří množství vody v oleji. Podobně analyzátoři MINITRANS využívají stejnou technologii, avšak měří jen omezený obsah plynů (vodík – H<sub>2</sub>, oxid uhelnatý – CO, acetylen – C<sub>2</sub>H<sub>2</sub>) a množství vody v oleji. [4]

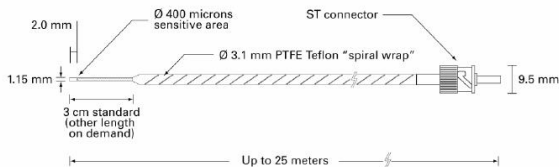
Výstupním zařízením pro on-line monitoring je komunikační karta s rozhraním RS485 a protokolem ModBus RTU. [4]

### 5.2.2 Monitory teplot vinutí TGuard-TM

Pro měření teploty vinutí byly pro každý blokový transformátor při výrobě vinutí jednotlivé cívky doplněny před bandáží papírovou izolací speciálními optickými vlákny (viz obr. 5-7). Každá část vinutí (jak strana VVN, tak strana VN) byla osazena dvojicí optických vláken (viz obr. 5-9), které byly přes speciální optickou průchodku vyvedeny přes stěnu nádoby transformátoru. V přístrojové skříni RM3 byl instalován osmikanálový monitor teplot vinutí TGuard-TM od firmy Neoptix (viz obr. 5-8). [12]



Sonda T2 pro všeobecné použití :



Obr. 5-7 Provedení optické kabeláže [12]

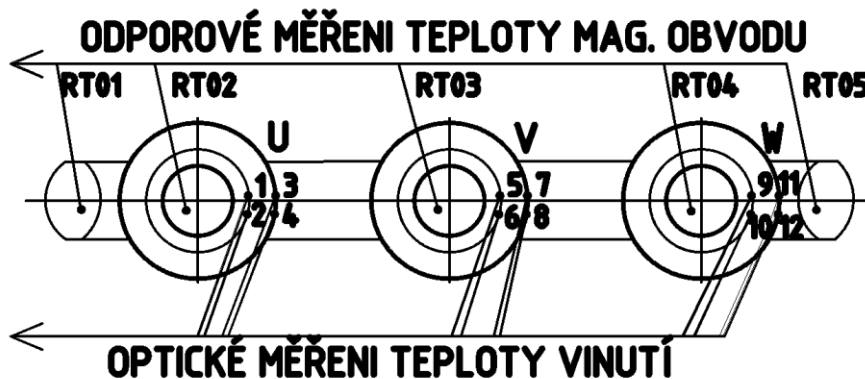
Obr. 5-8 Monitor teplot vinutí TGuard-TM [5]

Monitor TGuard-TM při měření vysílá krátké intervaly bílého světla do optických vláken o známé vlnové délce. Na konci optických vláken je odrazivá plocha, před kterou je polovodičový krystal GaAs (Galium – Arzen), který mění vlnovou délku dopadajícího světla se změnou teploty. Monitor TGuard-TM pak jen přesně analyzuje spektrum odraženého světla přicházející zpět optickým vláknem. Přesnost takového měření je  $0,1^{\circ}\text{C}$ . Měření je přes komunikační rozhraní ModBus RS485 přenášeno do systému MST. [12]

Výhodou zvolené technologie je, že je realizované nemetalické měření teploty povrchu materiálu uvnitř nádoby naplněné olejem v prostředí velmi vysokého či vysokého napětí. [12]

### 5.2.3 Monitory teplot magnetického obvodu IDAM

Pro měření teploty magnetického obvodu byly u každého blokového transformátoru při demontáži horní příčky magnetického obvodu do jednotlivých sloupků instalovány mikrosnímače teploty Pt100 (viz obr. 5-9), jejichž obvody byly vyvedeny na průchodkovou svorkovnici na nádobě transformátorů. Odtud byly obvody (již s kompenzací) zavedeny do příslušné MT skříně MST. Obvody byly zapojeny do převodníku IDAM 7015P, který převádí odporové měření snímačů Pt100 na komunikační rozhraní ModBus RS485. [13]



Obr. 5-9 Schéma instalace nitronádobového měření teplot blokových transformátorů [5]

### 5.2.4 Převodníky obvodů MaR – 6B12 a 6B13

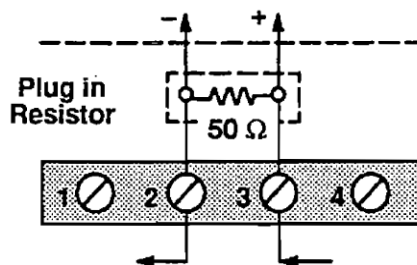
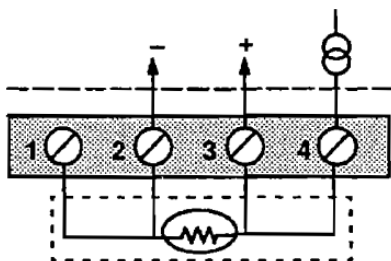
Pro měření pomalých analogových signálů je měřicí skříň MT osazena nosiči 6B modulů pro převodníky teploty ze snímačů Pt100 (viz obr. 5-10 moduly 6B13 pro měření - teplot oleje, teplot vzduchu) a převodníky proudových signálů 4-20 mA (viz obr. 5-11 moduly 6B12 pro měření vlhkosti ve skříni, frekvence na výstupu měniče pro pohony ventilátorů). [14]



Obr. 5-10 Instalace 6B13 modulů [5]



Obr. 5-11 Instalace 6B12 modulů [5]



Obr. 5-12 Schéma zapojení modulu 6B13 [14] Obr. 5-13 Schéma zapojení modulu 6B12 [14]

V každé skříni jsou osazeny nosiče vstupních modulů 6B v počtu potřebném pro zadaný počet signálů v souladu s projektem. V nosiči 6B modulů je konstrukčně provedena příprava na čtyři nosiče vstupních modulů, standardně se však využívají jen dvě pozice. Výstupem nosičů vstupních modulů je komunikační rozhraní RS485 s protokolem ModBus RTU, kdy nosiče jsou řazeny sériově maximálně 8ks za sebou na jedné komunikační lince. [14]

## 5.3 Vypočítané signály

Pro účely MSE/MST jsou vypočítané signály získávány v několika úrovních [15]:

- Vypočítané signály z přímo měřených signálů
- Časové průměry signálů – časové agregace
- Signály získané matematicko – statistickým algoritmem

### 5.3.1 Vypočítané signály z přímo měřených signálů

Typickým příkladem těchto signálů jsou elektrické signály. Přímými měřeními signály jsou okamžité hodnoty sinusových signálů. Pro analytické vyhodnocování dějů a diagnostiku se však používají veličiny odvozené [4], [15]:

**Efektivní hodnota** je vypočtena z definice efektivní hodnoty, kde je integrální výpočet zaměněn za sumární výpočet z okamžitých hodnot.

**Frekvence** je určena zjištěním přesné délky trvání každé periody dané průsečíky lineárně interpolovaného signálu se střední hodnotou.

**Fázový posun** je určen jako vzájemný úhlový posun každé periody dané průsečíky lineárně interpolovaných signálů se střední hodnotou.

**Účinník  $\cos\varphi$**  je vypočten pomocí goniometrické funkce z trojúhelníku výkonů pomocí zdánlivého a činného výkonu, kde zdánlivý výkon v každé periodě je vypočítán z efektivních hodnot proudu a napětí a činný výkon je vypočítán z okamžitých hodnot proudů a napětí.

**Činný výkon** je vypočten z efektivních hodnot a fázových posunů napětí a proudů podle vztahu:

$$P = U_{L1} \cdot I_{L1} \cdot \cos\varphi_{L1} + U_{L2} \cdot I_{L2} \cdot \cos\varphi_{L2} + U_{L3} \cdot I_{L3} \cdot \cos\varphi_{L3} \quad (5.1)$$

kde  $U$  jsou efektivní hodnoty fázových napětí

$I$  jsou efektivní hodnoty fázových proudů

$\varphi$  jsou fázové posuny mezi fázovým napětím a fázovým proudem

**Jalový výkon** je vypočten z efektivních hodnot a fázových posunů napětí a proudů podle vztahu:

$$Q = U_{L1} \cdot I_{L1} \cdot \sin\varphi_{L1} + U_{L2} \cdot I_{L2} \cdot \sin\varphi_{L2} + U_{L3} \cdot I_{L3} \cdot \sin\varphi_{L3} \quad (5.2)$$

kde  $U$  jsou efektivní hodnoty fázových napětí

$I$  jsou efektivní hodnoty fázových proudů

$\varphi$  jsou fázové posuny mezi fázovým napětím a fázovým proudem

**Zdánlivý výkon** je vypočten z efektivních hodnot napětí a proudů podle vztahu:

$$S = U_{L1} \cdot I_{L1} + U_{L2} \cdot I_{L2} + U_{L3} \cdot I_{L3} \quad (5.3)$$

kde  $U$  jsou efektivní hodnoty fázových napětí

$I$  jsou efektivní hodnoty fázových proudů

### 5.3.2 Časové průměry signálů – časové agregace

V případě, že frekvence snímání měřeného či vypočteného signálu je vyšší než požadovaná frekvence ukládání do archivu, jsou z archivních analogů počítány agregované hodnoty a to průměr, minimum a maximum každého signálu během agregační periody (řádově 1–60 minut, typicky 10 minut). [15]

Každý agregovaný záznam obsahuje nejen čas, ke kterému daný interval končí, ale i délku časového intervalu, který pokrývá. [15]

Všechny archivní analogy jsou uloženy jen v této agregované formě v databázi systému MSE v archivu analogových signálů. [15]

### 5.3.3 Signály získané matematicko – statistickým algoritmem

Tyto signály nejčastěji vznikají jednoduchou matematickou operací jiných signálů. Nejčastěji se používají poměry a součty (obecně několika signálů) často násobené konstantou, či jiným signálem. V prostředí MST je takovým příkladem poměr efektivních hodnot napětí sousedních fází téže úrovně vyhodnocované jako relativní změna kapacity průchodky. [11], [15]

Typickým příkladem matematicko – statistického algoritmu signálů je určení kompozitních hodnot částečných výbojů v průchodkách transformátorů. Celková kompozitní hodnota je určena typem váženého průměru vycházející ze statistického hodnocení. Zjednodušeně lze algoritmus zapsat jako [11], [15]:

$$\begin{aligned} \text{IMPULZY}_{\text{celkem}} = & 0,001 \cdot \text{IMPULZY}_{1.\text{hladiny}} + 0,1 \cdot \text{IMPULZY}_{2.\text{hladiny}} + \\ & 1 \cdot \text{IMPULZY}_{3.\text{hladiny}} + 10 \cdot \text{IMPULZY}_{4.\text{hladiny}} + 100 \cdot \text{IMPULZY}_{5.\text{hladiny}} \end{aligned} \quad (5.4)$$

## 6 MONITOROVACÍ SYSTÉM ELEKTRO MSE

### 6.1 Popis funkce

System MSE je řešen jako distribuovaný systém s centrální jednotkou a jednotlivými měřicími ústřednami umístěnými v blízkosti monitorovaných zařízení nebo stávajícího vyvedení signálů. System MSE, provozovaný na platformě monitorovacího systému MOSAD, je určen k nepřetržitému sledování především elektrických signálů (analogových a dvouhodnotových) získávaných jak přímým měřením, tak datovou komunikací zejména v oblasti blokové vlastní spotřeby a vyvedení výkonu EDU. Funkce systému jsou zaměřeny na monitorování stavů a činností silnoproudých zařízení s důrazem na přechodné, respektive poruchové děje. Současně systém MSE slouží k zálohování a archivaci dat, a dále k vizualizaci dat prostřednictvím webové aplikace. Dálkový přístup k uloženým datům, správa a údržba systému je dostupná prostřednictvím WEB rozhraní. [6]

Zaznamenávaná data jsou důležitá pro vyhodnocení zkoušek a testů, přechodových a poruchových událostí a pro sledování spolehlivosti zařízení v oblasti vlastní spotřeby a vyvedení výkonu všech bloků EDU. System MSE umožňuje provádět analýzy nestandardních stavů v oblasti vyvedení výkonu a vlastní spotřeby části elektro všech čtyř bloků EDU, jejich dopadů na chod elektrárny a zároveň identifikaci příčiny závad zařízení důležitých pro provoz a tím umožnit urychlení identifikace poruchy. Události při poruchách lze pak podrobně a urychleně analyzovat, vyhodnotit a nalézt či odstranit příčiny poruchy nebo výpadku sledovaného zařízení. [6]

### 6.2 Sběr dat

Měřicí ústředny systému MSE získávají data z analogových a dvouhodnotových signálů a skládají se z těchto částí [6]:

- Obvody pro přizpůsobení měřených signálů
- Vstupní jednotky měřících ústředen MOSAD
- Procesorová jednotka
- Vstupní moduly pro měření pomalých signálů.
- Komunikační koncentrátor a obvody pro zajištění napájení zařízení skříně

System MOSAD poskytuje těmto modulům synchronizaci s jednotným časem GPS. [6]

Dvouhodnotová část, která získává data přímým měřením, snímá a ukládá informace přicházející z binárních vstupů nepřetržitě s časovým rozlišením událostí na 1 ms. Analogová část, která získává data přímým měřením, snímá informace přicházející z analogových vstupů a pokud splňují předem definované parametry, nebo je jejich záznam iniciován změnou stavu některého z binárních signálů, tyto informace ukládá. Vzorkovací frekvence snímání je zpravidla 2 kHz a 5 kHz, přičemž záznamy jednotlivých kanálů jsou synchronizovány, zejména pro možnost provádění matematických operací. Tento systém založený na technologii MOSAD umožňuje vstupní analogová data matematicky zpracovávat a ukládat zpracované informace kontinuálně. Rovněž tak záznamy dvouhodnotových a analogových signálů jsou navzájem synchronní. [6]

### **6.3 WEB rozhraní**

Webové rozhraní systému MSE umožňuje uživatelům okamžitý a rychlý přehled o aktuálním stavu jednotlivých dílčích komponent HVB, o výkonové hladině, zapnutých/rozepnutých vypínačích či důležitých parametrech generátorů, transformátorů a dalších zařízení především v části elektro. Zobrazení je dostupné pomocí webového rozhraní z hlavního vyhodnocovacího pracoviště nebo z určených stanic v síti MSE. [6]

Provoz webového portálu systému MSE je zprostředkován serverem CJ. Pomocí webového portálu systému MSE jsou data celého systému MSE přístupná uživateli formou webové aplikace. [6]



## 7 ZPŮSOBY DIAGNOSTIKY DEGRADAČNÍCH MECHANIZMŮ OLEJOVÝCH VÝKONOVÝCH TRANSFORMÁTORŮ EDU

Pro účely diagnostiky stavu olejových výkonových transformátorů a případně určení technického stavu a zbytkové životnosti se obecně používají výstupy off-line diagnostiky a v případě instalace i on-line monitoringu. Technický stav transformátorů se stanovuje na základě výsledků off-line diagnostiky s podmínkou dostatku záznamů off-line diagnostiky za celou dobu provozu transformátorů. Na základě sledování trendů jednotlivých měřených parametrů je možné predikovat dobu životnosti transformátorů. Nevýhodou off-line diagnostiky však je skutečnost, že změny důležitých parametrů je možné, vzhledem k metodice měření, provádět pouze na odstaveném stroji. Neexistuje tedy informace o stavu strojů za provozu a neexistuje informace o možném rozvoji degradačních mechanismů v době provozu strojů. [7]

Výše uvedenou nevýhodu odstraňuje on-line monitoring. Vhodnou strukturou měřených parametrů je možné za provozu zjistit náhlé relativní změny parametrů, které indikují dynamický rozvoj degradačních mechanismů. Jen na základě on-line monitoringu nelze jednoznačně stanovit technický stav transformátorů, ale jen on-line monitoringem je možné zjistit dynamicky rozvíjející se poruchový děj. Degradační mechanismy jsou komplexní fyzikální a chemické děje, které se projevují změnou hned několika diagnostických parametrů. Proto vhodnou strukturou měřených parametrů je možné i za provozu transformátorů dostatečně přesně určit druh rozsahu a dynamiku poruchového děje a v některých případech i jeho lokalizaci. Relativní jednoduchý děj lokálního charakteru (např. rozvoj poruchy dielektrika mezi vrstvami kondenzátorové průchodky) se projeví změnou hned několika parametrů (nárůstem částečných výbojů v průchodce, změnou hodnoty úhlu delta mezi dvěma fázemi, změnou hodnoty relativní kapacity měřené jako poměr efektivních hodnot napětí dvou fází). Nezastupitelnost on-line monitoringu je zejména při přechodových dějích a poruchových událostech. Jen správně nastavený monitorovací systém dokáže zaznamenat celou poruchovou událost včetně parametrů před vznikem události a také po jejím odeznění. Záznamem průběhu poruchové události lze získat důležitá data, jejichž vyhodnocením lze získat informace aplikovatelné na jiné transformátory. [7]

Správná diagnostika olejových výkonových transformátorů se vyznačuje optimalizovanou skladbou on-line monitoringu a off-line diagnostiky strojů. V žádném případě nelze jednu diagnostiku nahrazovat druhou. Jak off-line, tak on-line diagnostika má nezastupitelnou vypovídací hodnotu a důležitou funkci při řízení životnosti olejových transformátorů. Vzájemným sladěním výsledků diagnostik je možné zpřesňovat hodnocení technického stavu strojů, v opačném případě může docházet ke ztrátě důležitých informací a v konečném důsledku ke zkreslení celého hodnocení. [7]

## 8 NÁVRH VIZUALIZACE PARAMETRŮ A SCHÉMAT AKTIVNÍCH PŘÍSTUPOVÝCH OBRAZOVEK BLOKOVÝCH A ODBOČKOVÝCH TRANSFORMÁTORŮ

Sledování důležitých parametrů olejových transformátorů na jaderných elektrárnách je nedílným faktorem pro vyhodnocení stavu transformátorů a pro predikci možných poruch a výpadků. V případě poruchy blokového transformátoru nebo transformátoru vlastní spotřeby dojde k přerušení dodávky elektrické energie a tím i k odstavení celého elektrárenského bloku. Pokud dojde k odstavení bloku, dochází tak k velkým ekonomickým ztrátám. Za účelem predikce možných poruch a výpadků je třeba vytvořit přehlednou a srozumitelnou vizualizaci důležitých parametrů transformátorů.

Jelikož původní vizualizace parametrů (přístupové obrazovky) je navržena nepřehledně s velkým množstvím úrovní, bylo třeba vytvořit novou přehlednou vizualizaci parametrů tak, aby bylo možné efektivně sledovat důležité parametry blokových a odbočkových transformátorů s důrazem na přehlednost a intuitivní ovládání.

Původně se na Jaderné elektrárně Dukovany používaly přístupové obrazovky Tramon pro blokové a odbočkové transformátory. Hlavní nevýhodou systému Tramon je velké množství obrazovek s malou nebo nevyužívanou funkcionalitou. Další nevýhodou bylo velké množství úrovní zobrazování ze základních obrazovek. Příklad obrazovky Tramon pro blokový transformátor 1AT01 a pro odbočkový transformátor 1BT01 naleznete v příloze A.

Pro nové obrazovky byly požadovány následující základní vlastnosti:

- Přehlednost schémat s vhodně rozmístěnými zobrazovanými parametry
- Optimalizovaný počet schémat aktivních obrazovek
- Každá aktivní obrazovka tematicky technologicky orientovaná
- Maximálně tři úrovně zobrazování s intuitivním ovládáním
- Zachovat diagnostický nástroj používaný v původním prostředí MST a rozšířit o nové diagnostické nástroje

Rozšiřující vlastnosti nových obrazovek:

- Možnost zobrazení štítkových a technických parametrů monitorovaného zařízení
- Možnost porovnávat měřené parametry mezi jednotlivými zařízeními
- Zobrazování časových záznamů měřených parametrů dynamicky volanými z aktivních obrazovek
- Zobrazování časových záznamů měřených parametrů ve formě předdefinovaných diagnostických sestav signálů

Obrazovky jsou realizovány v modulárním webovém rozhraní vyvinutém firmou TES, s.r.o. V tomto prostředí lze do webového projektu snadno doplňovat nové aktivní obrazovky. Vlastní schéma je tvořeno statickým bitmapovým obrázkem ve formátu PNG (The Portable Network Graphics). Tento formát oproti dříve používanému formátu GIF nabízí více barev a lepší kompresi, navíc obsahuje osmibitovou průhlednost. Z důvodu jednoduchého a dlouhodobého používání ve firmě TES, s.r.o. se schémata vytvářejí v programu Microsoft Visio. Jedná se o vektorový grafický editor primárně určený pro vytváření vývojových, síťových a organizačních diagramů. Pro potřeby

kreslení schémat plně dostačuje. Schéma vytvořené vektorovou grafikou lze snadno exportovat do požadovaného rozlišení rastrového obrázku PNG. Takto vytvořené schéma se poté ve webové šabloně doplní aktivními prvky (vypínači, ventilátory, čerpadly, analogovými hodnotami) a navigačními tlačítky. Animace je realizována klientským skriptem v jazyce JScript, který na základě hodnot získaných komunikací s měřicími ústřednami zobrazuje příslušné stavy aktivních prvků.

## 8.1 Návrh vizualizace parametrů blokových transformátorů

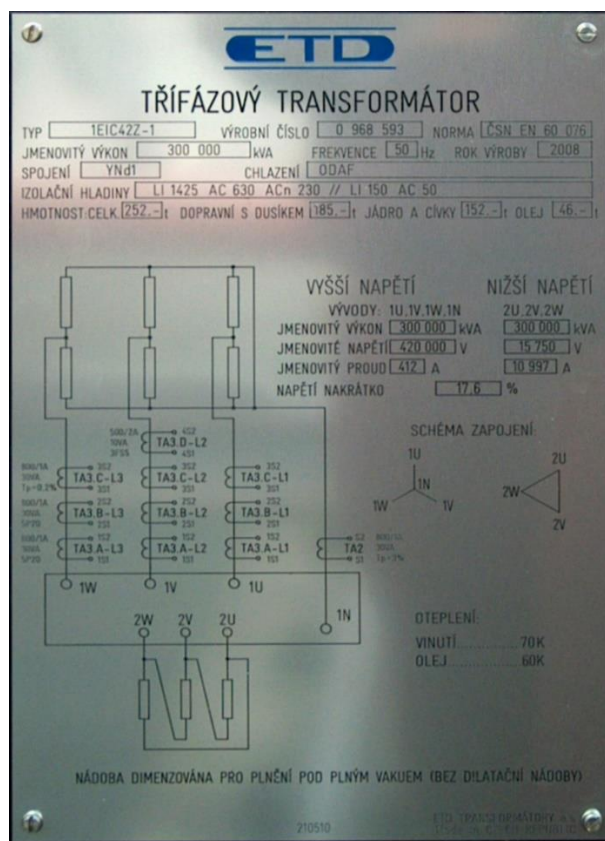
Pro přehlednost přístupových obrazovek blokového transformátoru, který obsahuje velké množství sledovaných parametrů, byly navrženy čtyři hlavní schématické obrazovky:

- Obrazovka elektrické parametry transformátoru
- Obrazovka systém chlazení transformátoru
- Obrazovka teplot vinutí a magnetického obvodu
- Obrazovka průchodky transformátoru

Každá schématická obrazovka obsahuje pouze jednu další úroveň, čímž se podařilo splnit jeden ze základních požadavků konečného zákazníka.

### 8.1.1 Obrazovka elektrické parametry transformátoru

Hlavní obrazovkou blokových transformátorů byla zvolena obrazovka s důležitými elektrickými parametry (viz obr. 8-2). Inspirací bylo schéma zapojení vinutí uvedené na výrobním štítku blokových transformátorů (viz obr. 8-1).



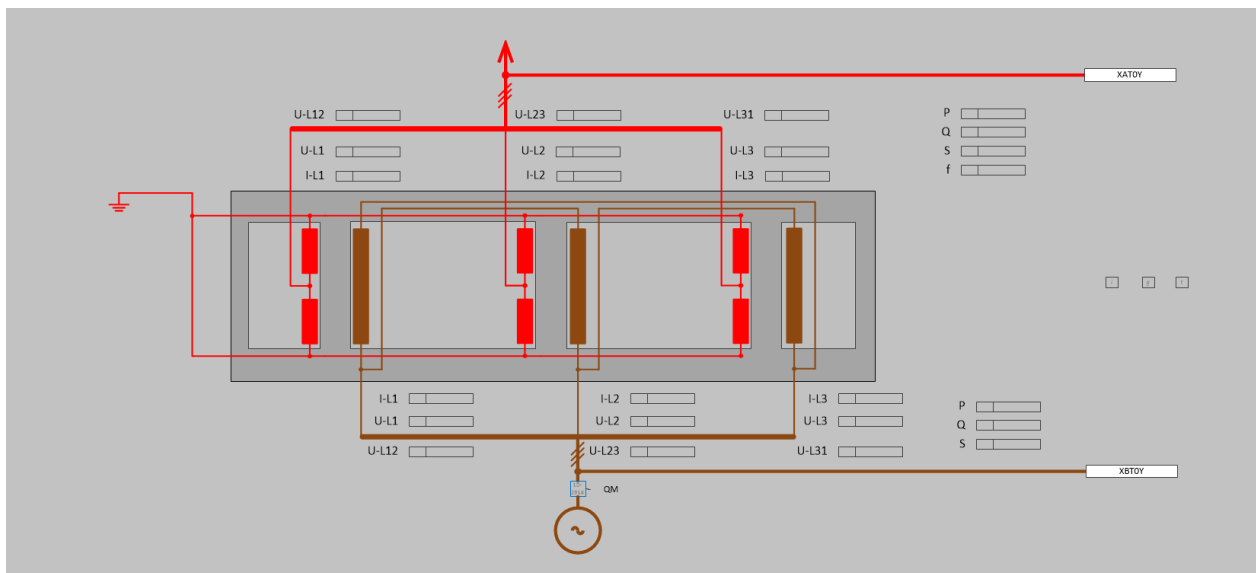
Obr. 8-1 Štítek blokového transformátoru se zapojeným vinutím [5]

Ze schématu je patrné zapojení primárního vinutí transformátoru do hvězdy s vyvedeným účinně uzemněným nulovým uzlem. Vinutí je provedeno jako dělené z důvodu menšího napětového namáhání v tvarově komplikovaných prostorách u dna a víka nádoby transformátoru. Sekundární vinutí je zapojeno do trojúhelníku tak, že je hodinové číslo 1. Ve schématu na štítku však chybí naznačení magnetického obvodu s pěti sloupky, které bylo nutné do návrhu obrazovky doplnit.

Do schématu byl zařazen generátor s generátorovým vypínačem. Aktivní prvek zařazený jako generátorový vypínač slouží pro rychlou identifikaci režimu provozu transformátoru. Za generátorovým vypínačem je vyobrazena odbočka na transformátor vlastní spotřeby s příslušným odkazovým polem. Pro lepší přehlednost je vyvedení z generátoru k transformátoru zvýrazněno značkou třífázové soustavy se zesílenými vodiči. Vyvedení výkonu reaktorového bloku je realizováno dvěma blokovými transformátory pracujícími v paralelním chodu. Proto se za transformátorem nachází odbočka na vedlejší paralelní blokový transformátor s příslušným odkazovým polem. Vyvedení výkonu z elektrárny je opět pro lepší přehlednost vyznačeno třífázové se zesílenými vodiči.

Při zobrazení vodičů a vinutí bylo nutné rozlišit jejich napětovou úroveň. Vodítkem bylo barevné provedení uvedené v PNE 18 4311 (na straně 15,75 kV okraj tmavý a na straně 400 kV oranž návěstní) [16]. Zároveň však bylo potřeba také respektovat znázornění barev na systémově daném pozadí aktivních obrazovek.

Měřené elektrické parametry jsem situoval podle napětové hladiny a umístění jednotlivých fází. Na horní polovinu obrazovky jsou parametry pro napětovou hladinu 400 kV a na spodní polovinu jsou parametry pro napětovou hladinu 15,75 kV. Sled fází zleva doprava je L1, L2 a L3.



Obr. 8-2 Obrazovka elektrické parametry transformátoru

Další, nižší, úroveň zobrazování byla využita pro aktivní pomocná pole umístěná na pravé straně transformátoru. Jednotlivá pole jsou:

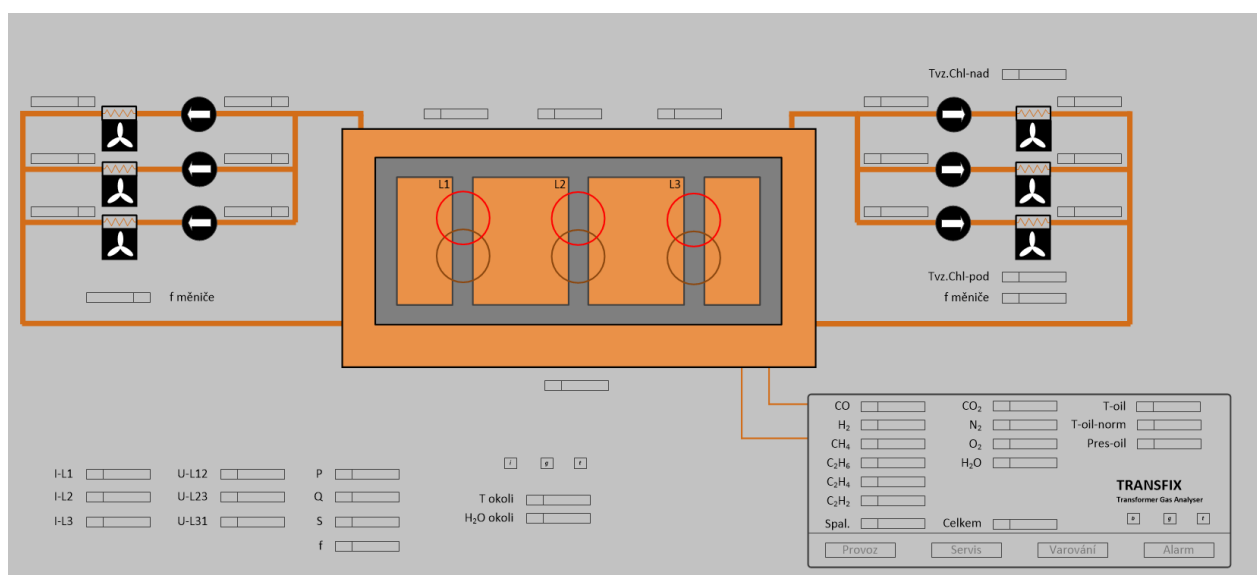
- i Návrh aktivního informačního tlačítka, které bude zobrazovat tabulku se základními technickými parametry transformátoru
- g Návrh aktivního grafického tlačítka, které bude navigovat a dynamicky spouštět předdefinovanou diagnostickou sestavu grafického záznamu měřených parametrů
- t Návrh aktivního tabulkového tlačítka, které bude zobrazovat srovnávací tabulku měřených parametrů na všech blokových transformátorech

### 8.1.2 Obrazovka systém chlazení transformátoru

Navazující obrazovkou na obrazovku elektrických parametrů byla zvolena obrazovka s důležitými parametry chlazení transformátoru (viz obr. 8-3).

Do schématu byla zařazena nádoba transformátoru s magnetickými plechy a již jen schematicky naznačeným vinutím se sledem fází zleva doprava L1, L2 a L3. Chlazení je zobrazeno jako nucené s cirkulací oleje ve dvou nezávislých sekcích. Každá ze sekcí obsahuje tři vzduchové chladiče s ventilátory. K jednotlivým vzduchovým chladičům oleje vždy přísluší čerpadlo. Prvky chladiče a čerpadla budou aktivní, zobrazující provozní stavy. K transformátoru je připojeno průtočné zařízení analyzátoru TRANSFIX, které čerpá olej z transformátoru, analyzuje rozpuštěné plyny v oleji metodou fotoakustické spektroskopie a vrací olej zpět do transformátoru. Změřené koncentrace plynů včetně provozních stavů analyzátoru budou zobrazovány v aktivním okně TRANSFIX. Olejová náplň nádoby transformátoru a příslušné olejové smyčky jsou zobrazeny světle okrovou barvou tak, aby označení vinutí vysokého napětí (tmavě okrové) nesplývalo.

Měřené parametry chlazení jsem situoval podle skutečného místa instalace teplotních snímačů v souladu s projektem. Jelikož parametry chlazení a elektrické parametry jsou společně provázané, umístil jsem do levé spodní části obrazovky vybrané důležité elektrické parametry pro rychlejší on-line diagnostiku zařízení.



Obr. 8-3 Obrazovka systém chlazení transformátoru

Další, nižší, úroveň zobrazování byla využita pro aktivní pomocná pole umístěná pod transformátorem (popis v kapitole 8.1.1) a v analyzátoru plynů TRANSFIX. V analyzátoru jednotlivá pole jsou:

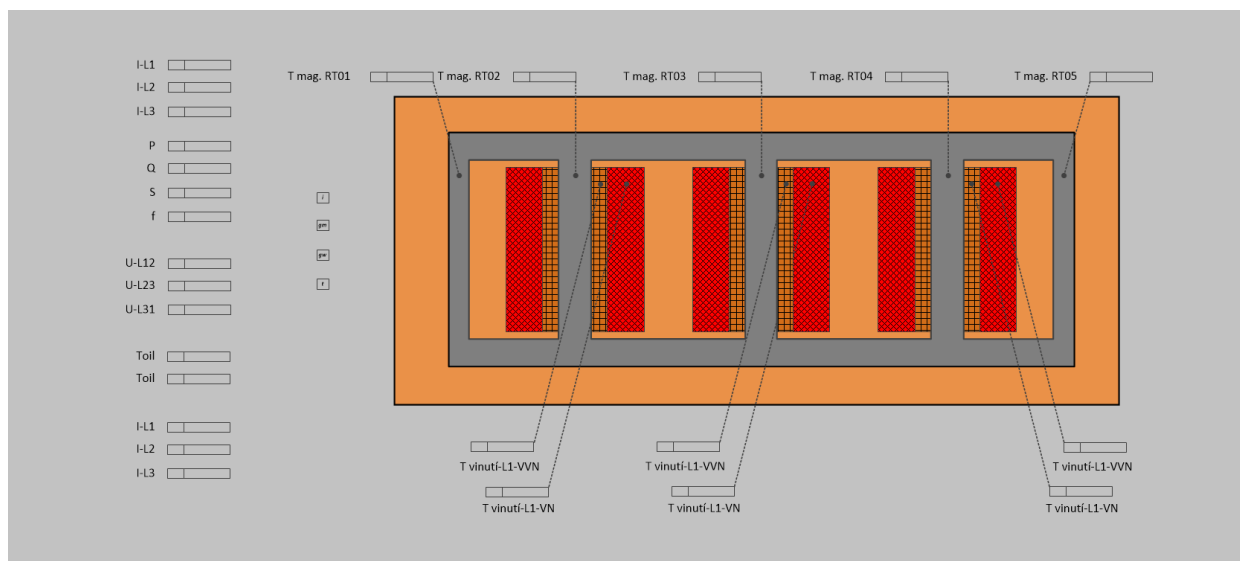
- b** Návrh aktivního informačního tlačítka binárních signalizací, které bude zobrazovat tabulku se stavovými a provozními signalizacemi analyzátoru
- g** Návrh aktivního grafického tlačítka, které bude navigovat a dynamicky spouštět předdefinovanou diagnostickou sestavu grafického záznamu měřených koncentrací rozpuštěných plynů
- t** Návrh aktivního tabulkového tlačítka, které bude zobrazovat srovnávací tabulku měřených koncentrací rozpuštěných plynů na všech blokových transformátorech

### 8.1.3 Obrazovka teplot vinutí a magnetického obvodu

Další navazující obrazovkou na obrazovku elektrických parametrů byla zvolena obrazovka obsahující důležité parametry teplot vinutí a magnetického obvodu (viz obr. 8-4).

Schéma obsahuje nádobu transformátoru s magnetickými plechy a vinutím se sledem fází zleva doprava L1, L2 a L3. Vinutí primární a sekundární strany je rozděleno do dvou vrstev podle skutečné sestavy vinutí na sloupcích. První vrstva je vyznačena tmavě okrovou barvou a jedná se o stranu nižšího napětí 15,75 kV. Oranžovou návěštní barvou je vyznačena strana vyššího napětí 400 kV a jedná se o vnější vrstvu.

K zobrazeným parametrům teplot vinutí a magnetického obvodu jsem doplnil vynášecí čáry zakončené v místech skutečného osazení snímačů v souladu s projektem. Parametry teplot vinutí a magnetického obvodu jsou s elektrickými parametry společně provázané, proto jsem umístil do levé části obrazovky vybrané důležité elektrické parametry pro rychlejší on-line diagnostiku zařízení.



Obr. 8-4 Obrazovka teplot vinutí a magnetického obvodu transformátoru

Další, nižší, úroveň zobrazování byla využita pro aktivní pomocná pole umístěná na levé straně transformátoru. Jednotlivá pole jsou:

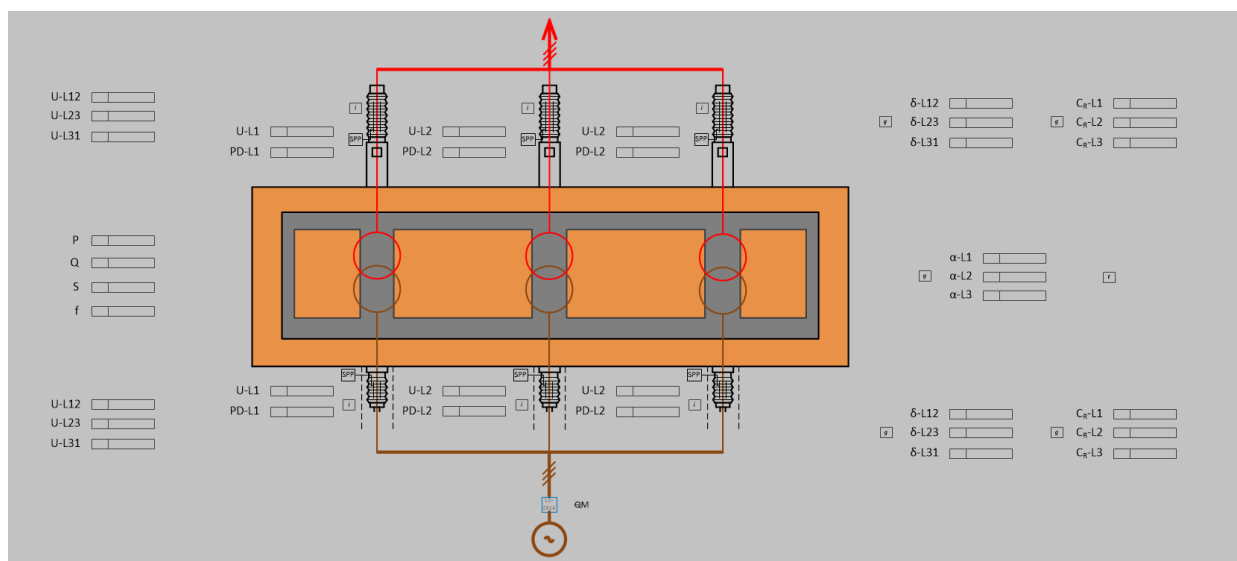
- i* Návrh aktivního informačního tlačítka, které bude zobrazovat tabulku se základními technickými parametry transformátoru
- gm* Návrh aktivního grafického tlačítka, které bude navigovat a dynamicky spouštět předdefinovanou diagnostickou sestavu grafického záznamu měřených parametrů teplot magnetického obvodu
- gw* Návrh aktivního grafického tlačítka, které bude navigovat a dynamicky spouštět předdefinovanou diagnostickou sestavu grafického záznamu měřených parametrů teplot vinutí
- t* Návrh aktivního tabulkového tlačítka, které bude zobrazovat srovnávací tabulku měřených parametrů teplot magnetického obvodu a teplot vinutí na všech blokových transformátorech

#### 8.1.4 Obrazovka průchodky transformátoru

Poslední navazující obrazovkou na obrazovku elektrických parametrů byla zvolena obrazovka s parametry měřeními z diagnostických konektorů v průchodkách transformátoru (viz obr. 8-5).

Schéma obsahuje nádobu transformátoru s magnetickými plechy a již jen schematicky naznačeným vinutím se sledem fází zleva doprava L1, L2 a L3. Na nádobě transformátoru jsou umístěny průchodky s vyznačeným snímacím průchodkovým prvkem (SPP). Do schématu byl zařazen generátor s aktivním prvkem generátorového vypínače, z důvodu rychlé identifikace provozního stavu transformátoru. Pro lepší přehlednost je vyvedení z generátoru k transformátoru a vyvedení výkonu z elektrárny zvýrazněno značkou třífázové soustavy se zesílenými vodiči.

Měřené parametry na průchodkách jsem situoval podle napěťové hladiny a umístění jednotlivých fází. Na horní polorovině obrazovky jsou parametry pro napěťovou hladinu 400 kV a na spodní polorovině jsou parametry pro napěťovou hladinu 15,75 kV. Úhel napětí  $\alpha$  mezi napětími strany VVN a VN téže fáze jsem situoval ve střední části pravé strany transformátoru. Nahoře a dole od úhlů napětí jsou zobrazeny relativní změny ztrátového činitele izolačního systému průchodek (fázový posun fází téže napěťové úrovně) a relativní změny kapacity průchodek (poměr efektivních hodnot napětí fází téže napěťové úrovně). Parametry měřené na průchodkách jsou s elektrickými parametry společně provázané, proto jsem umístil do levé části obrazovky vybrané důležité elektrické parametry pro rychlejší on-line diagnostiku zařízení.



Obr. 8-5 Obrazovka průchodky transformátoru

Další, nižší, úroveň zobrazování byla využita pro aktivní pomocná pole umístěná k průchodkám a daným parametrům. Jednotlivá pole jsou:

- i Návrh aktivního informačního tlačítka, které bude zobrazovat tabulku se základními technickými parametry průchodek transformátoru
- g Návrh aktivního grafického tlačítka, které bude navigovat a dynamicky spouštět předdefinovanou diagnostickou sestavu grafického záznamu měřených parametrů
- t Návrh aktivního tabulkového tlačítka, které bude zobrazovat srovnávací tabulku měřených parametrů na všech blokových transformátorech

## 8.2 Návrh vizualizace parametrů odbočkových transformátorů

Všechny důležité parametry odbočkového transformátoru se z důvodu zjednodušení podařilo seskupit do jedinné obrazovky (viz obr. 8-6).

Ve schématu odbočkového transformátoru byla použita schématická značka regulačního trojvintuového transformátoru. Do schématu byla zařazena nádoba transformátoru s magnetickým obvodem a olejovou náplní. Sled fází zleva doprava je L1, L2 a L3. Vývody z transformátoru jsou vyznačeny k příslušným přípojnícím rozveden R6kV a pro lepší přehlednost jsou umístěny sledy fází na přípojnících. Přívod k transformátoru je vyznačen třífázově se zesílenými vodiči.

Pro barevné zobrazení vodičů a vinutí se vycházelo z normy PNE 18 4311 (na straně 15,75 kV okr tmavý a na straně 6,3 kV modř tyrkysová). Zároveň však bylo potřeba také respektovat znázornění barev na systémově daném pozadí aktivních obrazovek a pozadí olejové náplně odbočkového transformátoru (světlý okr).

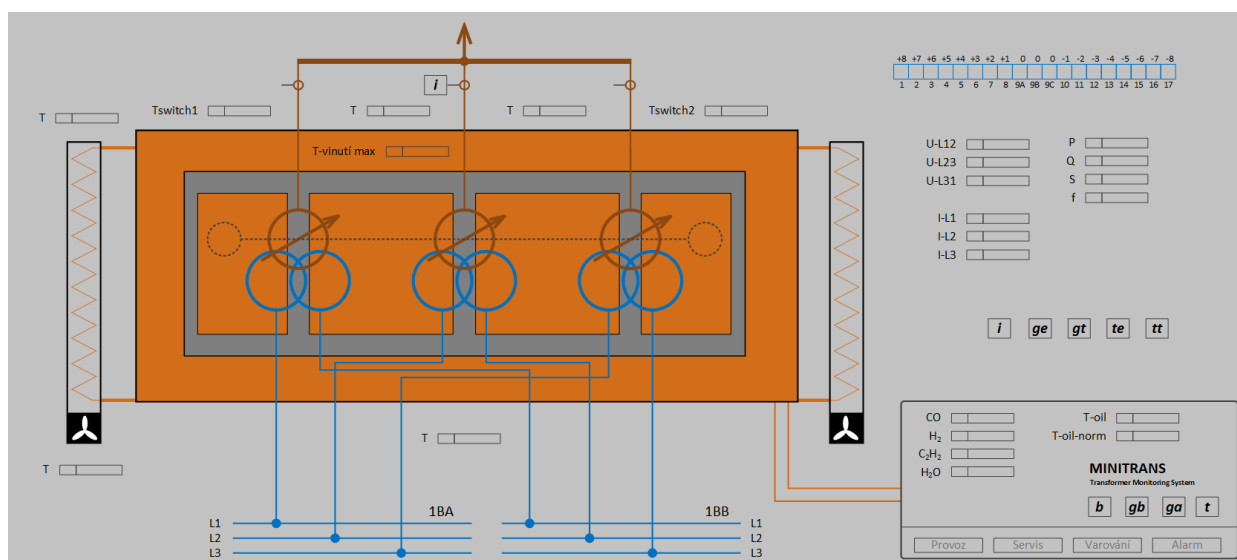
Chlazení je provedeno s přirozenou cirkulací oleje v několika chladičích nenuceně chlazených vzduchem. Aktivní značky ventilátorů pod chladiči pro ofukování chladičů jsou spínány až po dosažení teploty oleje 65 °C. K transformátoru je připojeno průtočné zařízení analyzátoru MINITRANS, které čerpá olej z transformátoru, analyzuje rozpuštěné plyny v oleji metodou fotoakustické spektroskopie (v omezeném rozsahu jen H<sub>2</sub> – vodík, C<sub>2</sub>H<sub>2</sub> – acetylen, CO – oxid uhelnatý, H<sub>2</sub>O – vlhkost) a vrací olej zpět do transformátoru. Změřené koncentrace plynů, včetně



provozních stavů analyzátoru, budou zobrazovány v aktivním okně MINITRANS. Olejová náplň nádoby transformátoru a příslušné olejové smyčky jsou zobrazeny světle okrovou barvou tak, aby označení vinutí vysokého napětí (tmavě okrové) nesplývalo.

Pro přepínač odboček jsou použity aktivní prvky symbolu vypínače. Tyto aktivní prvky slouží pro rychlou identifikaci sepnuté odbočky.

Měřené elektrické parametry napět'ové hladiny 15,75 kV jsem situoval na pravé straně transformátoru, měřené parametry chlazení jsem situoval podle skutečného místa instalace teplotních snímačů v souladu s projektem.



Obr. 8-6 Obrazovka odbočkového transformátoru

Další, nižší, úroveň zobrazování byla využita pro aktivní pomocná pole umístěná na pravé straně transformátoru, u přístrojového transformátoru proudu a v analyzátoru plynů MINITRANS.

Aktivní pomocné pole přístrojového transformátoru proudu je:

- i Návrh aktivního informačního tlačítka, které bude zobrazovat tabulku se základními technickými parametry přístrojového transformátoru proudu

Jednotlivá aktivní pomocná pole pro transformátor jsou:

- i Návrh aktivního informačního tlačítka, které bude zobrazovat tabulku se základními technickými parametry transformátoru
- ge Návrh aktivního grafického tlačítka, které bude navigovat a dynamicky spouštět předdefinovanou diagnostickou sestavu grafického záznamu měřených elektrických parametrů
- gt Návrh aktivního grafického tlačítka, které bude navigovat a dynamicky spouštět předdefinovanou diagnostickou sestavu grafického záznamu měřených parametrů teplot
- te Návrh aktivního tabulkového tlačítka, které bude zobrazovat srovnávací tabulku měřených elektrických parametrů na všech odbočkových transformátorech

**tt** Návrh aktivního tabulkového tlačítka, které bude zobrazovat srovnávací tabulku měřených parametrů teplot na všech odbočkových transformátorech

Jednotlivá aktivní pomocná pole pro analyzátor plynů MINITRANS jsou:

**b** Návrh aktivního informačního tlačítka binárních signalizací, které bude zobrazovat tabulku se stavovými a provozními signalizacemi analyzátoru

**gb** Návrh aktivního grafického tlačítka, které bude navigovat a dynamicky spouštět předdefinovanou diagnostickou sestavu grafického záznamu měřených binárních parametrů analyzátoru

**ga** Návrh aktivního grafického tlačítka, které bude navigovat a dynamicky spouštět předdefinovanou diagnostickou sestavu grafického záznamu měřených koncentrací plynů

**t** Návrh aktivního tabulkového tlačítka, které bude zobrazovat srovnávací tabulku měřených koncentrací rozpuštěných plynů na všech odbočkových transformátorech

### 8.3 Optimalizace návrhů vizualizací parametrů transformátorů

Návrhy vizualizací schémat blokových a odbočkových transformátorů byly prvotně předloženy k několikrát opakovanému připomínkování ve firmě TES, s.r.o. Tato firma je dodavatelem technicko – inženýrských služeb energetické společnosti ČEZ, a. s. Ve firmě TES, s.r.o. došlo k několika změnovým návrhům, které se realizovaly mezi jednotlivými připomínkovacími řízeními. V rámci realizace každé dílčí změny se upravovaly také okolní vazby prostředí na prováděnou změnu a vyjasňovala funkcionalita jednotlivých aktivních prvků.

Hlavní změny návrhů vizualizací aktivních obrazovek realizované na základě připomínkovacích řízení se týkaly:

- Obrazovka elektrických parametrů blokového transformátoru
  - Uspořádání obrazovky
  - Doplnění nádoby transformátoru
  - Vyznačení oleje v nádobě transformátoru
  - Doplnění vybraných parametrů
  - Optimalizace barev vodičů a vinutí vůči zobrazení oleje a pozadí obrazovky
  - Zmenšení schématické značky generátoru
  - Zmenšení šipky značící vývod z transformátoru do soustavy
  - Zrušení značky třífázové soustavy
  - Zvětšení aktivních pomocných polí
  - Doplnění odkazových polí příslušných transformátorů
- Obrazovka systému chlazení blokového transformátoru
  - Uspořádání obrazovky
  - Doplnění vybraných parametrů
  - Optimalizace barev vodičů a vinutí vůči zobrazení oleje a pozadí obrazovky
  - Doplnění označení sledu fází
  - Zvětšení aktivních pomocných polí
  - Doplnění aktivních pomocných polí do analyzátoru plynů TRANSFIX
  - Úprava analyzátoru plynů TRANSFIX

- Obrazovka teplot vinutí blokového transformátoru
  - Uspořádání obrazovky
  - Doplnění vybraných parametrů
  - Optimalizace barev vodičů a vinutí vůči zobrazení oleje a pozadí obrazovky
  - Doplnění označení sledu fází
  - Zvětšení aktivních pomocných polí
- Obrazovka průchodek blokového transformátoru
  - Uspořádání obrazovky
  - Doplnění vybraných parametrů
  - Optimalizace barev vodičů a vinutí vůči zobrazení oleje a pozadí obrazovky
  - Doplnění označení sledu fází
  - Zvětšení aktivních pomocných polí
- Obrazovka odbočkového transformátoru
  - Uspořádání obrazovky
  - Doplnění aktivního pomocného pole k přepínači odboček
  - Doplnění odkazového pole blokového transformátoru
  - Doplnění vybraných parametrů
  - Optimalizace barev vodičů a vinutí vůči zobrazení oleje a pozadí obrazovky
  - Úprava analyzátoru plynů MINITRANS
  - Odstranění táhla přepínače odboček

Další několikastupňová připomínková řízení probíhala s konečným uživatelem aktivních obrazovek, provozním personálem ČEZ EDU. V rámci těchto připomínkových řízení opět proběhly návrhy změn vizualizací, jež se postupně realizovaly.

- Obrazovka elektrických parametrů blokového transformátoru
  - Nové uspořádání obrazovky
  - Doplnění vybraných parametrů
  - Nová optimalizace barev vodičů a vinutí vůči zobrazení oleje a pozadí obrazovky
  - Změna aktivních pomocných polí
- Obrazovka systému chlazení blokového transformátoru
  - Nové uspořádání sekcí chlazení
  - Doplnění signalizace režimu provozu ventilátorů
  - Doplnění vybraných parametrů
  - Změna aktivních pomocných polí
  - Úprava analyzátoru plynů TRANSFIX
- Obrazovka teplot vinutí blokového transformátoru
  - Nové uspořádání obrazovky
  - Doplnění vybraných parametrů
  - Změna aktivních pomocných polí
- Obrazovka průchodek blokového transformátoru
  - Optimalizace celkového počtu aktivních obrazovek – zrušení a přenesení monitoringu průchodek na obrazovku elektro

- Obrazovka odbočkového transformátoru
  - Nové uspořádání obrazovky
  - Úprava analyzátoru plynů MINITRANS
  - Odstranění táhla přepínače odboček
  - Změna aktivních pomocných polí

Po realizaci všech změn a odsouhlasení na závěrečném připomínkováném řízení byla započata realizace obrazovek v nově vytvořeném testovacím prostředí WEB prostředí MSE/MST, pracující paralelně k provoznímu WEB prostředí.

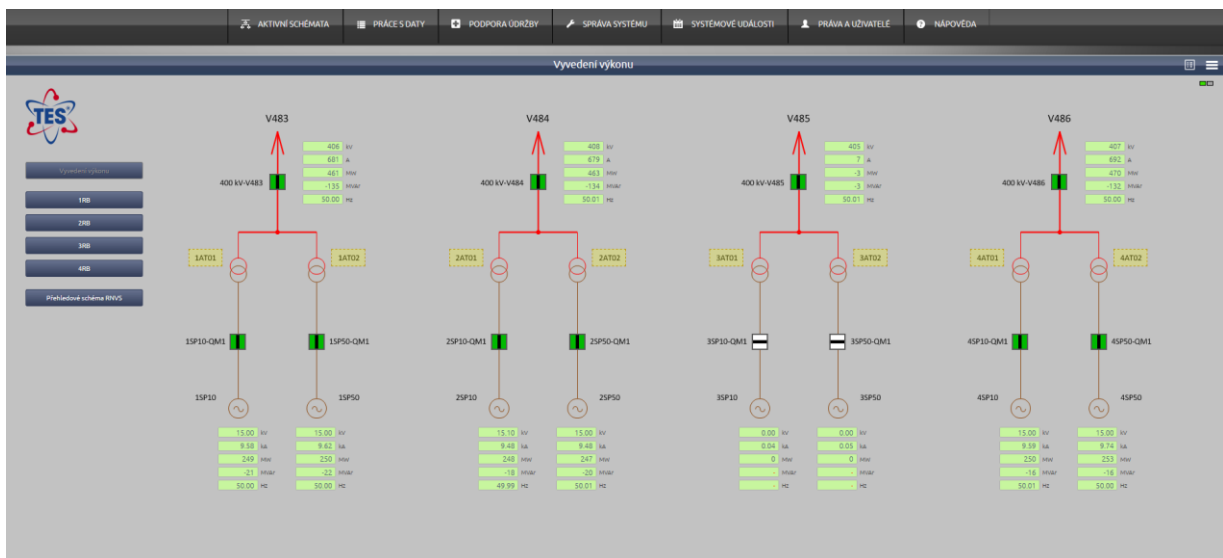
## 9 WEBOVÉ PROSTŘEDÍ

Pomocí webové aplikace jsou data celého systému MSE a MST přístupná uživatelům systému. Toto webové prostředí s novou vizualizací důležitých parametrů blokových a odbočkových transformátorů umožňuje vizuálně zobrazovat význam jednotlivých signálů a dává do souvislosti celé skupiny elektrických a technologických parametrů odrážejících reálný provozní stav monitorovaného zařízení. Vizualizace také umožňuje operativně zpřístupňovat uživatelům důležité štitkové a technické parametry výrobců zařízení v podobě informačních odkazů a dále umožňuje využívat připravené diagnostické nástroje v podobě grafických sestav záznamů signálů a porovnávacích tabulkových sestav pro snadný analytický přehled stavu zařízení.

### 9.1 Obrazovka vyvedení výkonu

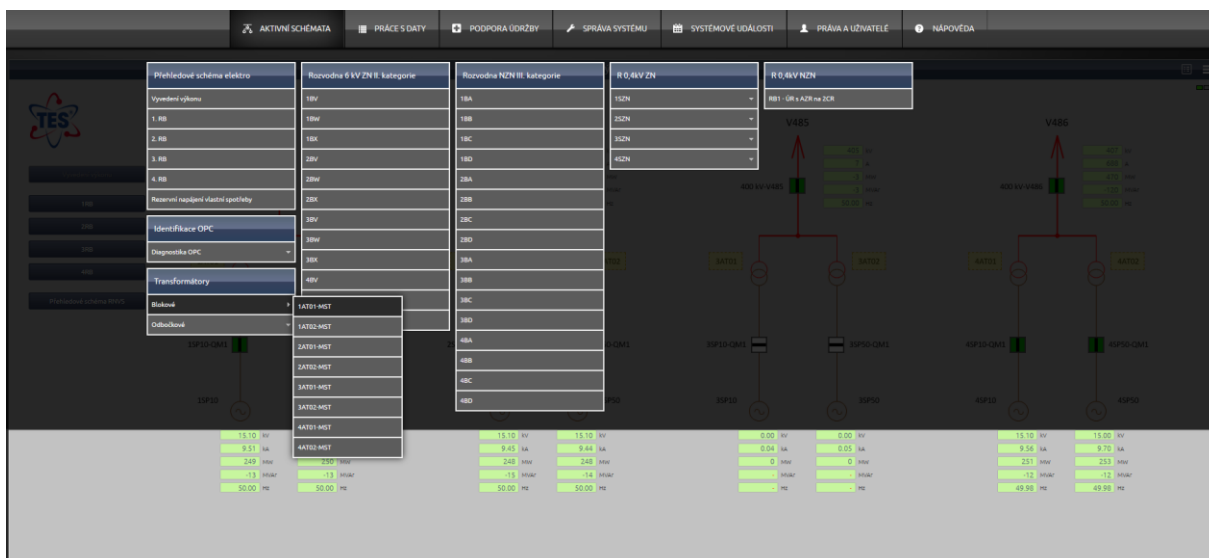
Úvodní obrazovkou webového prostředí je obrazovka vyvedení výkonu. Rychlou a přímou možností, jak se dostat na nižší úroveň blokových transformátorů, je využití aktivního odkazu (žlutý rámeček s označením blokového transformátoru – viz obr. 9-1) pro přechod na základní obrazovku blokových transformátorů.

Volby pomocí tlačítek umístěných v navigačním sektoru v levé části obrazovky (viz obr. 9-1) slouží k přepínání na příslušné navazující obrazovky.



Obr. 9-1 Vyvedení výkonu

Jinou možností přechodu na základní obrazovku blokových transformátorů je použití rozsáhlého roletového menu odkazu „AKTIVNÍ SCHÉMATA“ v horní liště obrazovky. Po jeho aktivaci se zobrací celé spektrum realizovaných aktivních obrazovek všech oblastí webového prostředí MSE a MST (viz obr. 9-2).



Obr. 9-2 Roletové menu

## 9.2 Obrazovky blokových transformátorů

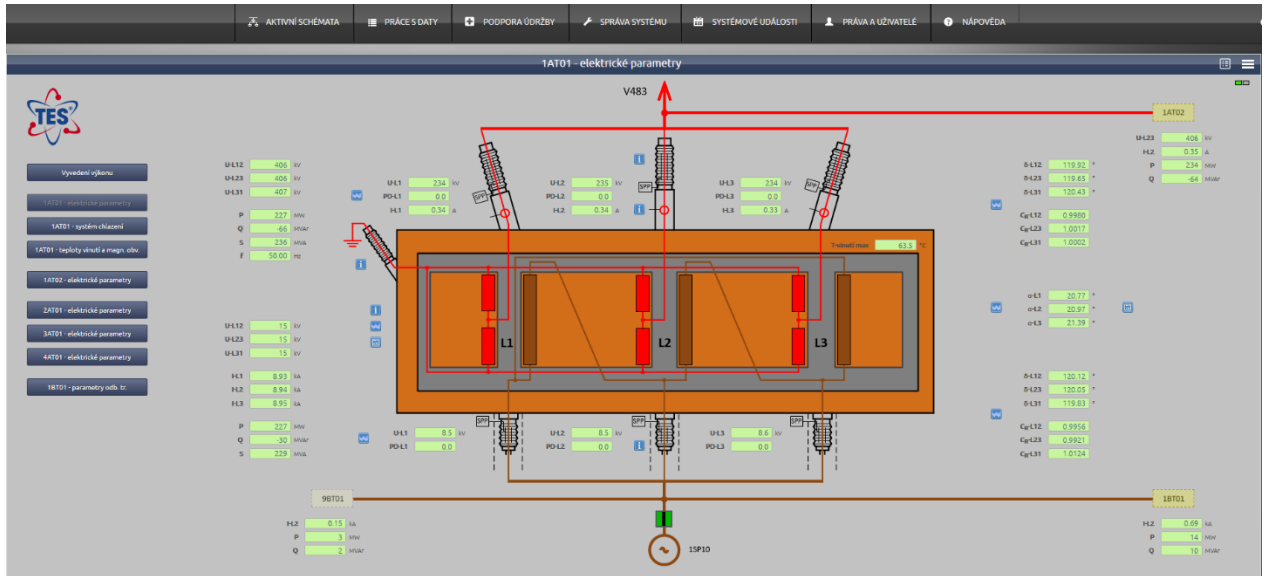
Na základě připomínkových řízení a zpracování všech relevantních návrhů došlo jednak ke grafickým změnám návrhů obrazovek a zároveň k novému seskupení zobrazovaných parametrů. Cílem všech úprav bylo dodržet a dále uplatňovat optimalizaci nejen grafickou, ale zejména optimalizaci zobrazení parametrů s důrazem na technickou správnost. Vznikl tak systém s vysokým stupněm přehlednosti zobrazovaných dat a s jednoduchým, rychlým a zejména intuitivním ovládáním.

### 9.2.1 Obrazovka elektrické parametry transformátorů

Úvodní obrazovkou pro blokové transformátory byla zvolena obrazovka elektrických parametrů (viz obr. 9-3).

Obrazovky elektrických parametrů transformátoru a průchodek transformátoru z původního návrhu byly sloučeny v jednu novou obrazovku. Struktura obrazovky zůstala zachována z hlediska umístění měřených parametrů, které jsou situovány podle napěťové hladiny a umístění jednotlivých fází.

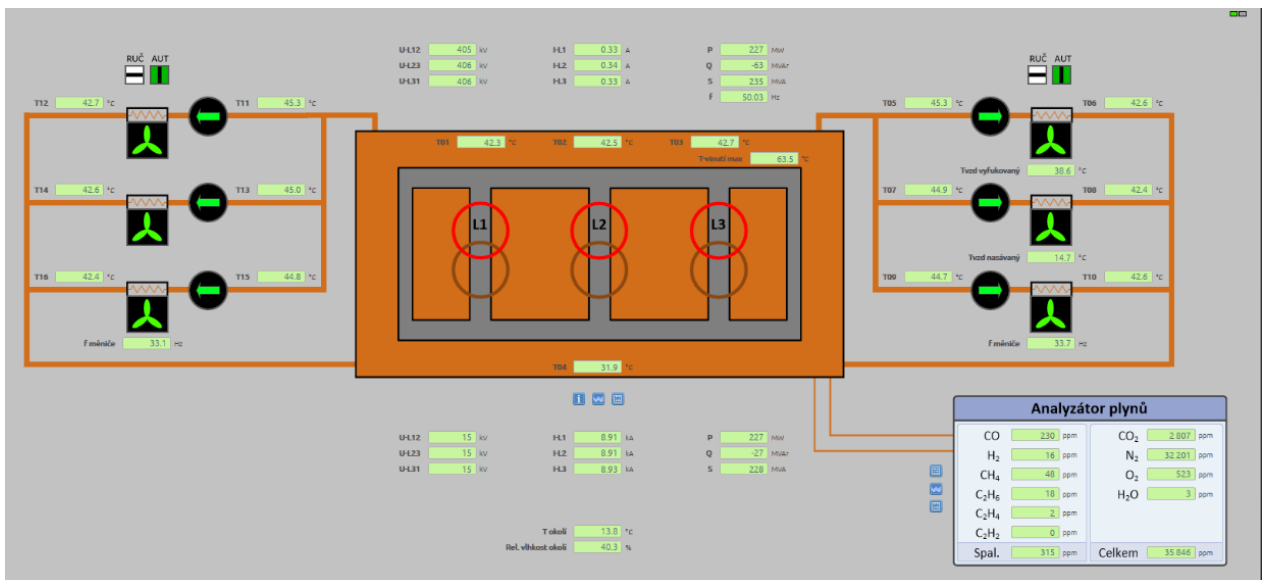
Nové změny vedly ke zvýšené přehlednosti systému. Došlo k celkové optimalizaci schématu a změně barev vodičů, vinutí a oleje transformátoru. Další změny proběhly na ikonách aktivních pomocných polí a optimalizovaném uspořádání měřených parametrů.



Obr. 9-3 Obrazovka elektrické parametry transformátoru 1AT01

## 9.2.2 Obrazovka systém chlazení transformátorů

Navazující obrazovkou je obrazovka systému chlazení transformátoru (viz obr. 9-4). Tato obrazovka je dostupná prostřednictvím aktivního odkazu v navigačním sektoru levé části obrazovky (viz obr. 9-3). K hlavním změnám na této obrazovce došlo v doplnění vybraných signálů a jejich uspořádání. Dále ke změně schématu, barev vodičů, vinutí a oleje transformátoru a ke změně ikon aktivních pomocných polí. Na obrazovce přibyly dva aktivní prvky zobrazující režim provozu ventilátorů chlazení oleje, za účelem lepší přehlednosti systému. Optimalizovala se i tabulka analyzátorů plynů TRANSFIX, kde se z hlediska přehlednosti některé parametry přesunuly na nižší úroveň zobrazení.

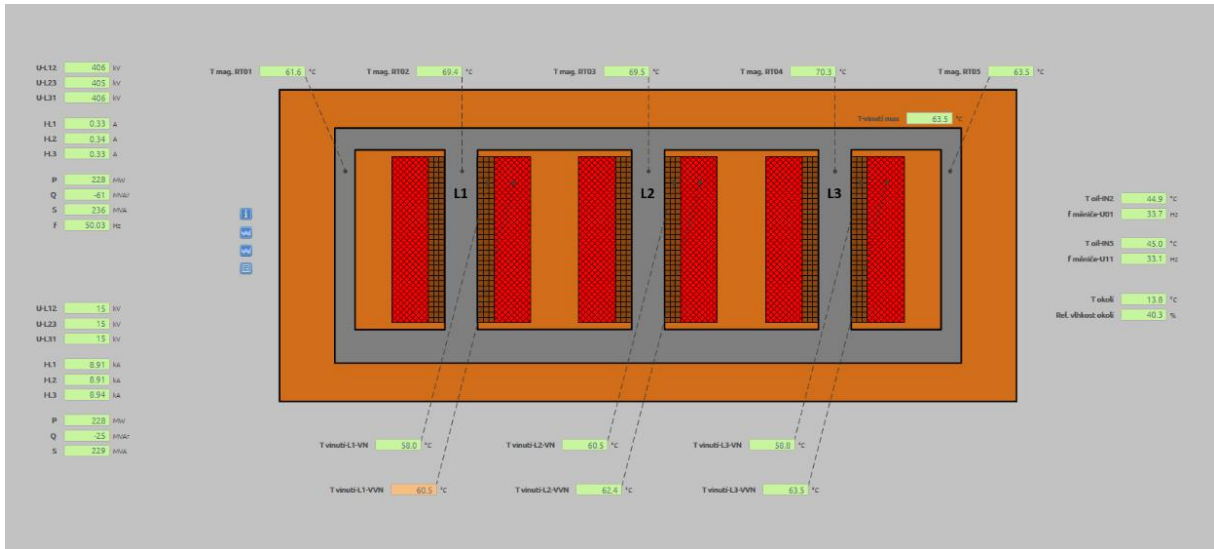


Obr. 9-4 Obrazovka systém chlazení transformátoru 1AT01

## 9.2.3 Obrazovka teplot vinutí a magnetického obvodu transformátorů

Poslední navazující obrazovkou na obrazovku elektrických parametrů je obrazovka teplot vinutí a magnetického obvodu (viz obr. 9-5). Tato obrazovka je opět dostupná prostřednictvím aktivního odkazu v navigačním sektoru levé části obrazovky (viz obr. 9-3). Struktura této

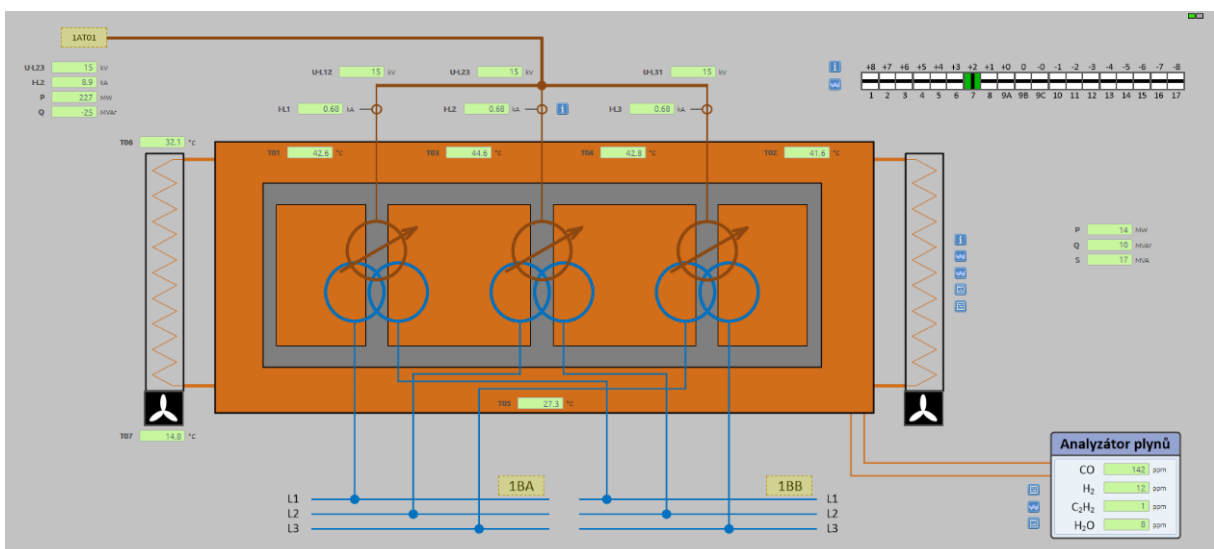
obrazovky zůstala zachována. Došlo zde k optimalizaci uspořádání signálů a doplnění nových vybraných signálů za účelem přehledného vyhodnocení stavu zařízení. Další změna byla v optimalizaci barev vodičů, vinutí a oleje. Ikony aktivních pomocných polí byly také zjednodušeny a optimalizovány jejich odkazy.



Obr. 9-5 Obrazovka teplot vinutí a magnetického obvodu transformátoru 1AT01

### 9.3 Obrazovka odbočkových transformátorů

Struktura obrazovky odbočkového transformátoru byla zachována (viz obr. 9-6). Tato obrazovka je dostupná prostřednictvím aktivního odkazu v navigačním sektoru levé části obrazovky, tentokrát v dolní části sestavy (viz obr. 9-3). Změny obrazovky byly provedeny ve schématu transformátoru, kde se odstranilo táhlo přepínače odboček, doplnilo se odkazové pole blokového transformátoru a optimalizovaly se barvy vodičů, vinutí a oleje. Další změny se provedly v doplnění a uspořádání vybraných parametrů. Dále se doplnilo aktivní pomocné pole k přepínači odboček. Všechny ikony aktivních pomocných polí byly optimalizovány.



Obr. 9-6 Obrazovka odbočkového transformátoru 1BT01



## 9.4 Zobrazovací funkce

Ikony aktivních pomocných polí sloužící k zobrazení nižší úrovně byly přepracovány. Původní návrhy ikon aktivních pomocných polí obsahovaly nepřehledné popisy. Nové ikony pomocných polí jsou provedeny graficky s následujícím intuitivním významem:



Aktivní informační tlačítko, které zobrazuje tabulku se základními technickými parametry zařízení

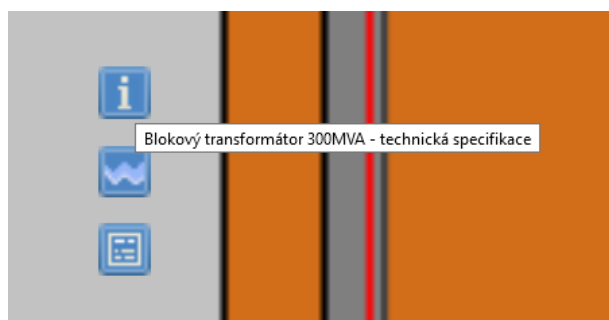


Aktivní grafické tlačítko, které naviguje a dynamicky spouští předdefinovanou diagnostickou sestavu grafického záznamu měřených parametrů



Aktivní tabulkové tlačítko, které zobrazuje srovnávací tabulku měřených parametrů na všech blokových transformátorech

V rámci zapracovávání podnětů připomínkovacího řízení jsem ve spolupráci s pracovníky vývojového oddělení firmy TES, s.r.o. vyvinul a zprovoznil v prostředí webových aktivních obrazovek novou funkci týkající se ikon aktivních pomocných polí. Při nastavení kurzoru na ikonu aktivního pomocného pole se zobrazí informační dialogové okno s názvem zobrazovaného panelu (viz obr. 9-7). Po aktivaci ikony aktivního pomocného pole se zobrazí nová úroveň vizualizace formou nového panelu (obrazovky).



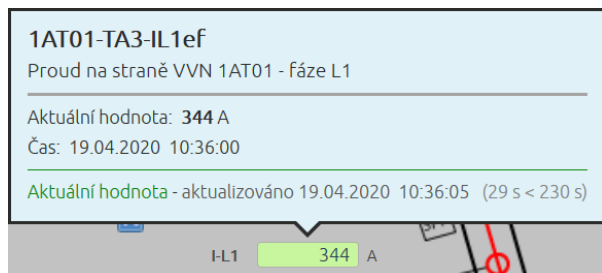
Obr. 9-7 Informace o ikoně

Využívané parametry analogových signálů na obrazovkách jsou uvozovány stručným označením parametru a ukončeny zobrazením fyzikální jednotky parametru. Při nastavení kurzoru na pole parametru se zobrazí podrobnější informace o měřeném parametru (viz obr. 9-8). Tyto informace jsou:

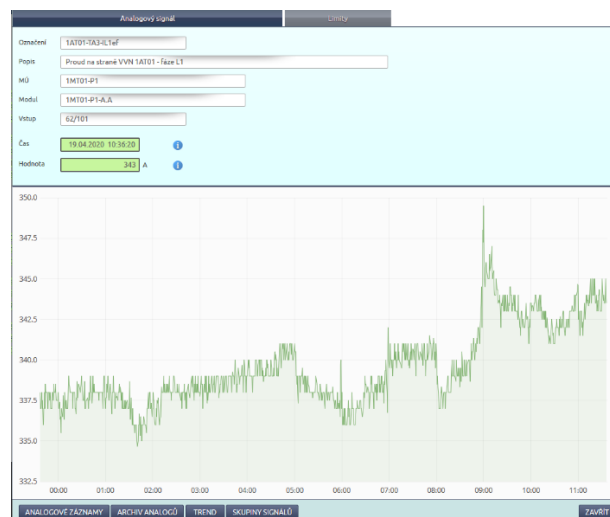
- Označení signálu v databázi MSE
- Název signálu v databázi MSE
- Stav (hodnota) signálu
- Čas změny (aktualizace hodnoty) signálu
- Čas aktualizace signálu

Po aktivaci informačního pole prvku se zobrazí (viz obr. 9-9):

- Označení signálu v databázi MSE
- Název signálu v databázi MSE
- Připojení do MSE (ústředna, modul, vstup)
- Stav (hodnota) signálu
- Čas změny (aktualizace hodnoty) signálu
- Trend signálu za posledních 12 hodin



Obr. 9-8 Základní informační tabulka analogového prvku



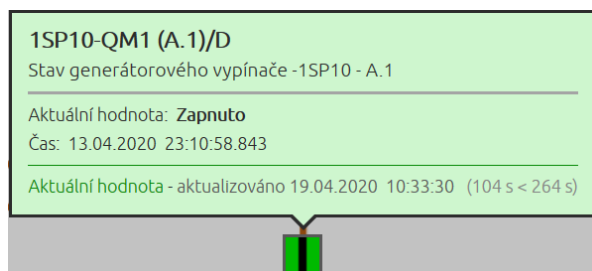
Obr. 9-9 Podrobná informační tabulka analogového prvku

Aktivní prvky DVH signálů ve schématech slouží pro rychlou identifikaci režimu provozu transformátoru pomocí podbarvení pole určitou barvou podle identifikovaného signálu. Při nastavení kurzoru na pole aktivního prvku se zobrazí tabulka s podrobnějšími informacemi o měření a stavu zařízení (viz obr. 9-10):

- Označení prvku dle SJZ
- Název signálu v databázi MSE
- Stav (hodnota) signálu
- Čas změny (aktualizace hodnoty) signálu
- Čas aktualizace signálu

Po aktivaci informačního pole se zobrazí další podrobnější informace (viz obr. 9-11):

- Označení prvku dle SJZ
- Označení signálu v databázi MSE
- Název signálu v databázi MSE
- Připojení do MSE (ústředna, modul, vstup)
- Stav (hodnota) signálu
- Čas změny (aktualizace hodnoty) signálu










Obr. 9-10 Základní informační tabulka DVH prvku



Obr. 9-11 Podrobná informační tabulka DVH prvku

V následujících tabulkách jsou shrnuty stavy signálů DVH aktivních prvků, jejich význam a přiřazené symboly.







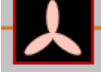
Tab. 9-1 Stavy vypínače

Stav signálu	Symbol		Význam
	Zelená – Bílá *)	Červená – Zelená *)	
Zapnuto („1“)			Vypínač zapnut
Vypnuto („0“)			Vypínač vypnut
Neměří			Neznámý stav signálu
Neaktuální hodnota			Hodnota signálu je známa, ale není aktuální (timeout)
Neplatný signál			Neplatný signál

\*) volbu použité barevné kombinace provádí uživatel individuálním nastavením webového prohlížeče







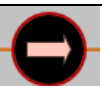
Poznámka: barevná kombinace zelená – bílá je v souladu s platnou legislativou a zněním ČSN. Barevná kombinace červená – zelená je historicky používaná kombinace v souladu s úvodním projektem EDU a v současné době povolena v souladu s dodatkem úvodního projektu EDU.

Tab. 9-2 Stavy ventilátoru

Stav signálu	Symbol		Význam
	Zelená – Bílá *)	Červená – Zelená *)	
Zapnuto („1“)			Ventilátor zapnut
Vypnuto („0“)			Ventilátor vypnut
Neměří			Signál neměří (neznámý stav)
Neaktuální hodnota			Hodnota signálu je známa ale není aktuální (timeout)
Neplatný signál			Neplatný signál

\*) volbu použité barevné kombinace provádí uživatel individuálním nastavením webového prohlížeče

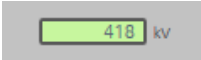

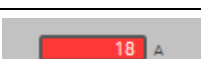


Tab. 9-3 Stavý čerpadla

Stav signálu	Symbol		Význam
	Zelená – Bílá *)	Červená – Zelená *)	
Zapnuto			Čerpadlo zapnuto
Vypnuto			Čerpadlo vypnuto
Neměří			Signál neměří (neznámý stav)
Neaktuální hodnota			Hodnota signálu je známa, ale není aktuální (timeout)
Neplatný signál			Neplatný signál

\*) volbu použité barevné kombinace provádí uživatel individuálním nastavením webového prohlížeče

Další funkcionalita, která slouží pro zvýšení přehlednosti, je podbarvování pole parametru analogových signálů určitou barvou. Stav signálů se dělí do tří kategorií. První kategorie je aktuální hodnota signálu, která je rozdělena na hodnotu splňující dané meze, hodnotu překračující mez varování a hodnotu překračující mez alarmu. Další kategorií je neplatný signál. Neplatný signál znamená, že signál neexistuje a značí poruchu na měřicí ústředně. Poslední kategorie je nově vytvořená a slouží pro identifikaci překročení timeoutu. Znamená to, že hodnota parametru není obnovena po stanoveném časovém limitu.

Tab. 9-4 Stavý analogových signálů

Stav	Symbol	Význam
Aktuální hodnota		Aktuální hodnota signálu – v mezích
Varování		Aktuální hodnota signálu – překročena mez varování
Alarm		Aktuální hodnota signálu – překročena mez alarmu
Neaktuální hodnota		Hodnota signálu je známa ale není aktuální (timeout)
Neplatný signál		Neplatný signál

## 9.5 Nižší úroveň obrazovky elektrických parametrů blokových transformátorů

Aktivní informační tlačítko, pro zobrazení tabulky se základními technickými parametry blokového transformátoru (viz obr. 9-12) se nachází na levé straně transformátoru.

Blokový transformátor 300MVA - technická specifikace	
Typ:	1E1C42Z-1 (reparovaný v roce 2011)
Výrobce:	ETD TRANSFORMÁTORY a.s.
Výrobní číslo:	0956033
Jmenovitý výkon:	300 MVA
Jmenovité napětí:	420/15,75 kV
Jmenovitý proud:	412/10997 A
Spojení:	YNd1
Jmenovitý kmitočet:	50 Hz
Napětí nakrátko:	17,5 kV ± 7,5%
Proud naprázdno:	5,48 A (0,050%)
Zkratová odolnost:	40 GVA
Nárazový zkratový proud:	5,76 kA
Ekvivalentní oteplovací proud:	2,26 kA
Ztráty naprázdno:	170 kW ± 15%
Ztráty nakrátko:	790 kW ± 15%
Součet ztrát:	960 kW ± 10%
Hmotnost kompletně ustrojeného transformátoru:	252,3 t
Transportní hmotnost (bez oleje):	186,2 t
Hmotnost oleje potřebného pro provoz:	46 t
Chlazení:	ODAF

Obr. 9-12 Informační tabulka blokového transformátoru 1A101

Tabulky se základními technickými parametry o průchodkách (viz obr. 9-13, 9-14 a 9-15) a přístrojovém transformátoru proudu (viz obr. 9-16) je možné zobrazit pomocí aktivních informačních tlačítek příslušících k jednotlivým zařízením.

Průchodky 15,75kV - technická specifikace			
Typ:	RTXF 24-24 Cu spez.		
Výrobce:	ABB Schweiz AG, Micafil		
Jmenovité napětí:	24 kV		
Provozní proud:	11 kA		
Max. provozní teplota praporku průchodky:	120°C		
Max. provozní proud:	16,5 kA		
Jmenovitý proud:	13,5 kA při teplotě vzduchu 70°C a teplotě oleje 95°C		
Hmotnost:	180 kg		
	L1	L2	L3
Výrobní číslo:	1ZCD10389521	1ZCD10389522	1ZCD10389523

Obr. 9-13 Informační tabulka průchodek 15,75 kV

Průchodka 123kV - technická specifikace	
Typ:	COT 550 - 800
Jmenovité napětí:	123 kV
Jmenovitý proud:	800 A
Hmotnost:	70 kg
Výrobní číslo:	10D3894
Proudový měnič TA2:	800/1A, 30VA, Tp=3%

Obr. 9-14 Informační tabulka průchodky 123 kV

Průchodky 420kV - technická specifikace			
Typ:	COT 1550-1000		
Výrobce:	TRENCH France		
Jmenovité napětí:	550 kV		
Jmenovitý proud:	1 kA		
Hmotnost:	990 kg		
	L1	L2	L3
Výrobní číslo:	10B4753	10B4756	10B4757
Proudové měniče 800/1A, 30VA, 5P20 - ochrany:	TA3.A-L1	TA3.A-L2	TA3.A-L3
Proudové měniče 800/1A, 30VA, 5P20 - ochrany:	TA3.B-L1	TA3.B-L2	TA3.B-L3
Proudové měniče 800/1A, 30VA, Tp=0,2% - monitorovací systém:	TA3.C-L1	TA3.C-L2	TA3.C-L3
Proudový měnič 500/2A, 10VA, 3F5S - analyzátor plynů:	-	TA3.D-L2	-

Obr. 9-15 Informační tabulka průchodek 400 kV

Přístrojový transformátor proudu - linearizovaný - technická specifikace	
Umístění:	Na průchodkách 400 kV v nádobě transformátoru
Výrobce:	EPRO Gallsbach
Typ:	JR 0,5
Konstrukční provedení:	Tříjádřový, prstencový, olejový - fáze L1, L3 Čtyřjádřový, pro fázi L2
Jmenovité napětí:	500 kV
Zkušební napětí:	1000 kV
Zkratová odolnost like1:	1100 kA
Jádro TA3.A: (ochrany)	
Převod:	800/1 A
Jmenovitý výkon:	30 VA
Třída přesnosti:	5P20
Jádro TA3.B: (ochrany)	
Převod:	800/1 A
Jmenovitý výkon:	30 VA
Třída přesnosti:	5P20
Jádro TA3.C: (dliskové měření a monitorovací systém)	
Převod:	800/1 A
Jmenovitý výkon:	30 VA
Třída přesnosti:	0,2%
Nadproudové číslo:	5
Jádro IA3.D - jen fáze L2: (analyzátor plynů)	
Převod:	500/2 A
Jmenovitý výkon:	10 VA
Třída přesnosti:	3F5S

Obr. 9-16 Informační tabulka PTP

Novou funkcí webového rozhraní systému MSE a MST je možnost zobrazit srovnávací tabulky s měřenými parametry ze všech blokových transformátorů. Toto zobrazení slouží pro přehlednost a pro rychlou diagnostiku sledovaných parametrů. Srovnávací tabulky měřených parametrů na všech blokových transformátorech lze zobrazit přes aktivní tabulkové tlačítko.

Srovnávací tabulka elektro obsahuje důležité vybrané elektrické parametry blokového transformátoru (viz obr. 9-17). V tabulce se nachází sružené a fázové hodnoty napětí, proudy a výkony. Všechny tyto parametry jsou sledované jak pro stranu VVN tak pro stranu VN. Dále je zde zobrazena frekvence strany VVN.

Blokové transformátory - elektro								
	1ATO1	1ATO2	2ATO1	2ATO2	3ATO1	3ATO2	4ATO1	4ATO2
AT...VVN-UL1-L2ef	402 kv	402 kv	403 kv	403 kv	401 kv	402 kv	402 kv	402 kv
AT...VVN-UL2-L3ef	402 kv	402 kv	403 kv	403 kv	401 kv	401 kv	401 kv	402 kv
AT...VVN-UL3-L1ef	402 kv	402 kv	405 kv	404 kv	402 kv	402 kv	403 kv	403 kv
AT...TAB-C-IL1ef	0.35 A	0.35 A	0.35 kA	0.35 kA	0.00 kA	0.00 kA	0.36 kA	0.36 kA
AT...TAB-C-IL2ef	0.35 A	0.36 A	0.35 kA	0.35 kA	0.00 kA	0.00 kA	0.36 kA	0.36 kA
AT...TAB-C-IL3ef	0.34 A	0.35 A	0.35 kA	0.35 kA	0.00 kA	0.00 kA	0.35 kA	0.35 kA
AT...P-VVN	226 MW	233 MW	232 MW	229 MW	-1 MW	-2 MW	236 MW	235 MW
AT...Q-VVN	-83 MVAr	-82 MVAr	-82 MVAr	-83 MVAr	-1 MVAr	-2 MVAr	-80 MVAr	-80 MVAr
AT...S-VVN	241 MVA	247 MVA	246 MVA	244 MVA	2 MVA	2 MVA	249 MVA	248 MVA
AT...f-VVN-L1	50.01 Hz	50.00 Hz	50.00 Hz	50.00 Hz	50.00 Hz	50.00 Hz	49.99 Hz	50.00 Hz
AT...VN-UL1-L2ef	15 kv	15 kv	15 kv	15 kv	15 kv	15 kv	15 kv	15 kv
AT...VN-UL2-L3ef	15 kv	15 kv	15 kv	15 kv	15 kv	15 kv	15 kv	15 kv
AT...VN-UL3-L1ef	15 kv	15 kv	15 kv	15 kv	15 kv	15 kv	15 kv	15 kv
AT...VN-IL1ef	9.19 kA	9.46 kA	9.37 kA	9.30 kA	0.05 kA	0.08 kA	9.51 kA	9.48 kA
AT...VN-IL2ef	9.20 kA	9.48 kA	9.44 kA	9.25 kA	0.04 kA	0.08 kA	9.58 kA	9.55 kA
AT...VN-IL3ef	9.20 kA	9.48 kA	9.43 kA	9.43 kA	0.05 kA	0.08 kA	9.55 kA	9.52 kA
AT...P-VN	226 MW	236 MW	234 MW	231 MW	-1 MW	-2 MW	238 MW	237 MW
AT...Q-VN	-45 MVAr	-42 MVAr	-43 MVAr	-39 MVAr	-1 MVAr	-1 MVAr	-40 MVAr	-39 MVAr
AT...S-VN	230 MVA	240 MVA	238 MVA	235 MVA	1 MVA	2 MVA	241 MVA	240 MVA
AT...VVN-PD-UL1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.8
AT...VVN-PD-UL2	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	3.2
AT...VVN-PD-UL3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0
AT...VN-PD-UL1	0.0	4.0	34.1	9.4	0.0	0.0	13.2	1 221.8
AT...VN-PD-UL2	0.0	2.6	6.3	4.9	0.0	0.0	12.5	14 025.3
AT...VN-PD-UL3	0.0	17.9	3.1	27.8	0.0	0.0	10.9	194 450.6

Obr. 9-17 Srovnávací tabulka elektrických parametrů blokových transformátorů

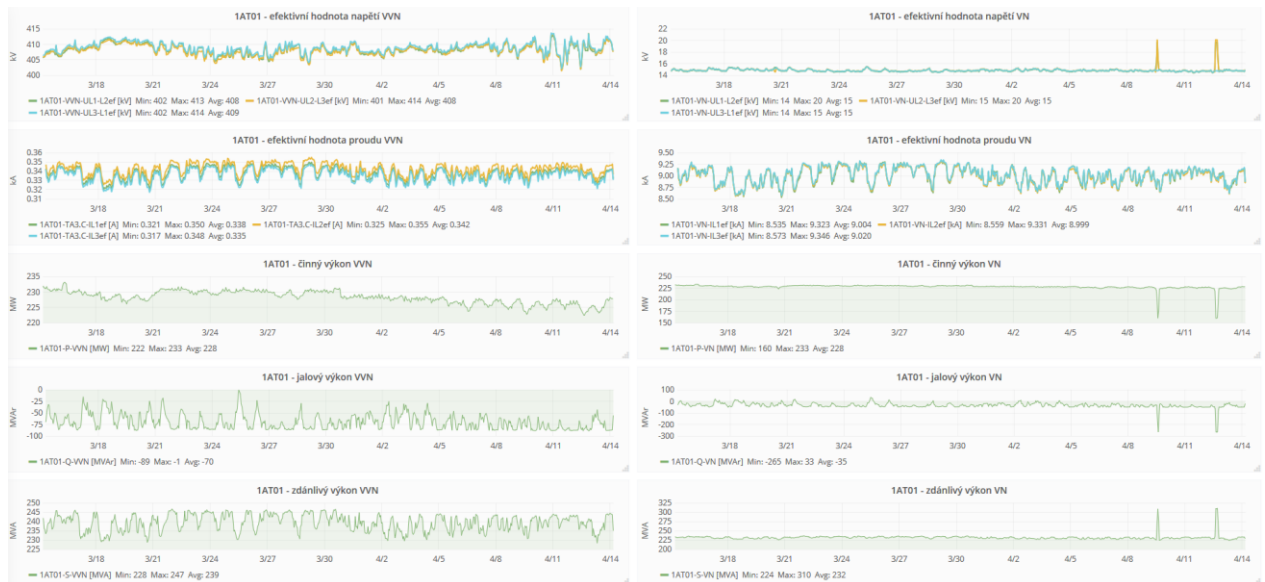
Srovnávací tabulka úhly (viz obr. 9-18) zobrazuje relativní změny ztrátového činitele izolačního systému průchodek, fázový posun napětí  $\alpha$  mezi napětími VVN a VN a relativní změny kapacity průchodek. Dále tabulka obsahuje sružené hodnoty napětí mezi fázemi L2 a L3 pro obě napěťové hladiny a výkony na straně VVN.

Blokové transformátory - úhly								
	1ATO1	1ATO2	2ATO1	2ATO2	3ATO1	3ATO2	4ATO1	4ATO2
AT...DELTA-VVN-UL1-L2	119.87 °	119.77 °	119.85 °	119.83 °	119.78 °	120.23 °	120.11 °	119.83 °
AT...DELTA-VVN-UL2-L3	119.68 °	119.86 °	119.59 °	119.75 °	119.87 °	119.42 °	119.83 °	119.97 °
AT...DELTA-VVN-UL3-L1	120.44 °	120.38 °	120.57 °	120.41 °	120.37 °	120.36 °	120.07 °	120.21 °
AT...DELTA-VN-UL1-L2	120.12 °	119.94 °	119.86 °	119.93 °	118.67 °	120.07 °	119.92 °	120.15 °
AT...DELTA-VN-UL2-L3	120.06 °	120.14 °	120.03 °	120.18 °	123.03 °	119.76 °	119.98 °	119.90 °
AT...DELTA-VN-UL3-L1	119.83 °	119.93 °	120.11 °	119.90 °	118.30 °	120.17 °	120.11 °	119.96 °
AT...ALFA-VVN-VN-L1	20.57 °	20.53 °	20.77 °	20.79 °	29.66 °	29.63 °	20.88 °	20.44 °
AT...ALFA-VVN-VN-L2	20.81 °	20.71 °	20.77 °	20.89 °	28.55 °	29.46 °	20.67 °	20.75 °
AT...ALFA-VVN-VN-L3	21.20 °	20.96 °	21.22 °	21.30 °	31.72 °	29.82 °	20.84 °	20.71 °
AT...VVN-Cr12	0.9981	0.9981	0.9992	1.0009	0.9989	0.9986	1.0012	0.9998
AT...VVN-Cr23	1.0024	1.0016	1.0006	0.9990	1.0020	1.0029	1.0011	1.0018
AT...VVN-Cr31	0.9995	1.0004	1.0002	1.0002	0.9990	0.9984	0.9978	0.9984
AT...VN-Cr12	0.9956	0.9960	0.9968	1.0002	1.0430	0.9939	0.9953	0.9974
AT...VN-Cr23	0.9920	1.0060	1.0015	1.0052	1.0042	1.0023	1.0023	0.9985
AT...VN-Cr31	1.0123	0.9980	1.0018	0.9948	0.9548	1.0037	1.0027	1.0041
AT...VVN-UL2-L3ef	403 kv	403 kv	404 kv	404 kv	403 kv	403 kv	403 kv	403 kv
AT...VN-UL2-L3ef	15 kv	15 kv	15 kv	15 kv	15 kv	15 kv	15 kv	15 kv
AT...P-VVN	226 MW	233 MW	232 MW	229 MW	-1 MW	-2 MW	236 MW	235 MW
AT...Q-VVN	-86 MVAr	-83 MVAr	-84 MVAr	-84 MVAr	-1 MVAr	-2 MVAr	-82 MVAr	-82 MVAr
AT...S-VVN	242 MVA	248 MVA	247 MVA	244 MVA	2 MVA	2 MVA	249 MVA	249 MVA

Obr. 9-18 Srovnávací tabulka úhlů blokových transformátorů

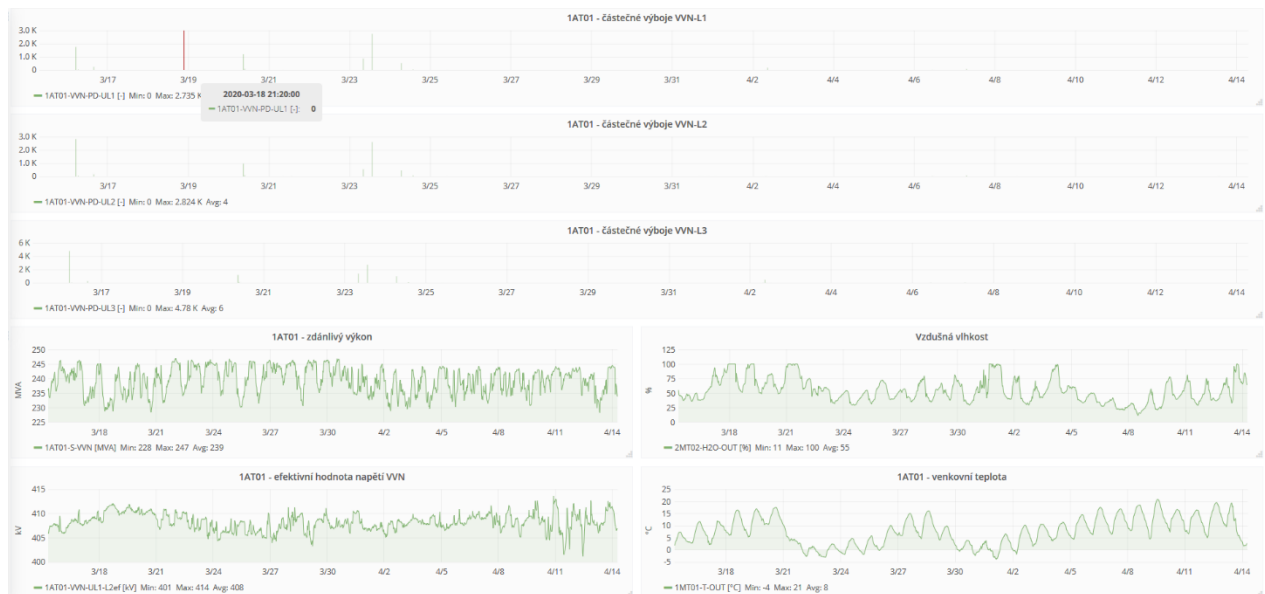
Sestavy grafů nám umožňují sledovat časové trendy důležitých vybraných parametrů a na základě toho diagnostikovat provoz sledovaného zařízení. Grafy jsou cíleně seřazeny podle diagnostického a analytického postupu v souladu se zprávami komplexního hodnocení [7], [17], [18]. Seřazení je provedeno tak, aby vzájemná korelace zobrazovaných časových záznamů poskytovala ucelenou informaci o provozním stavu zařízení.

Sestava grafů elektrických parametrů (viz obr. 9-19) zobrazuje efektivní hodnoty napětí, proudů a výkonů pro obě napěťové hladiny.



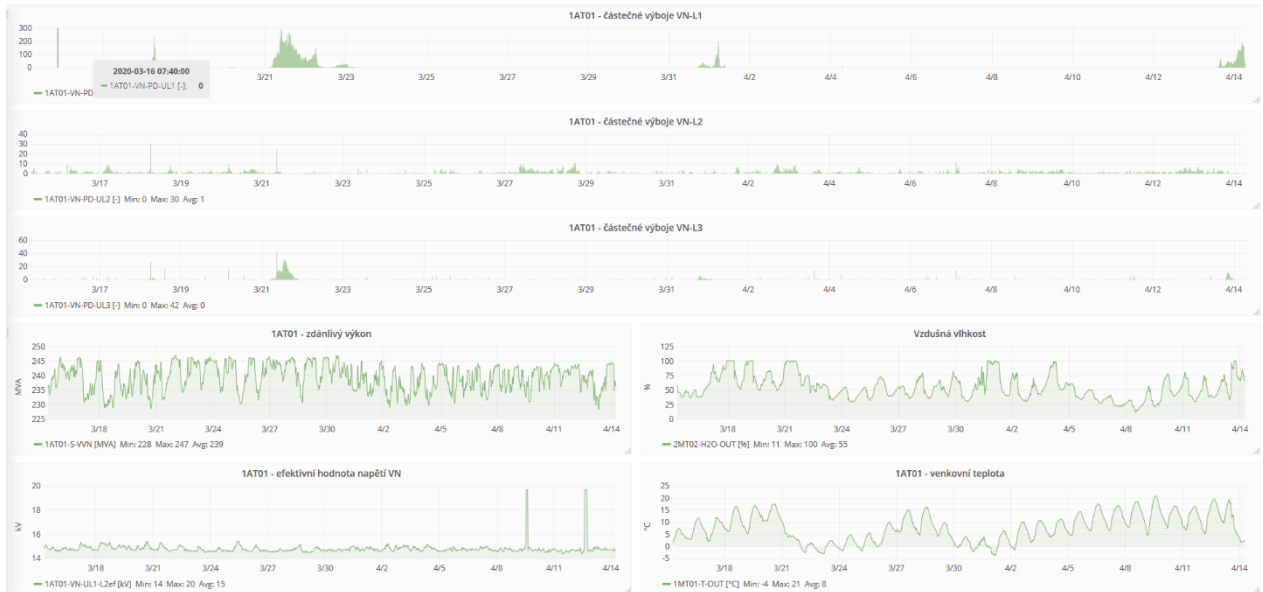
Obr. 9-19 Grafický záznam elektrických parametrů

Částečné výboje v průchodkách transformátorů závisí na provozním napětí, zatížení transformátoru a podmínkách systému chlazení. První sestava signálů částečných výbojů (viz obr. 9-20) jsou signály na straně VVN, a to: částečné výboje všech fází, zdánlivý výkon, efektivní hodnota napětí mezi fázemi L1 a L2, vzdušná vlhkost a venkovní teplota.



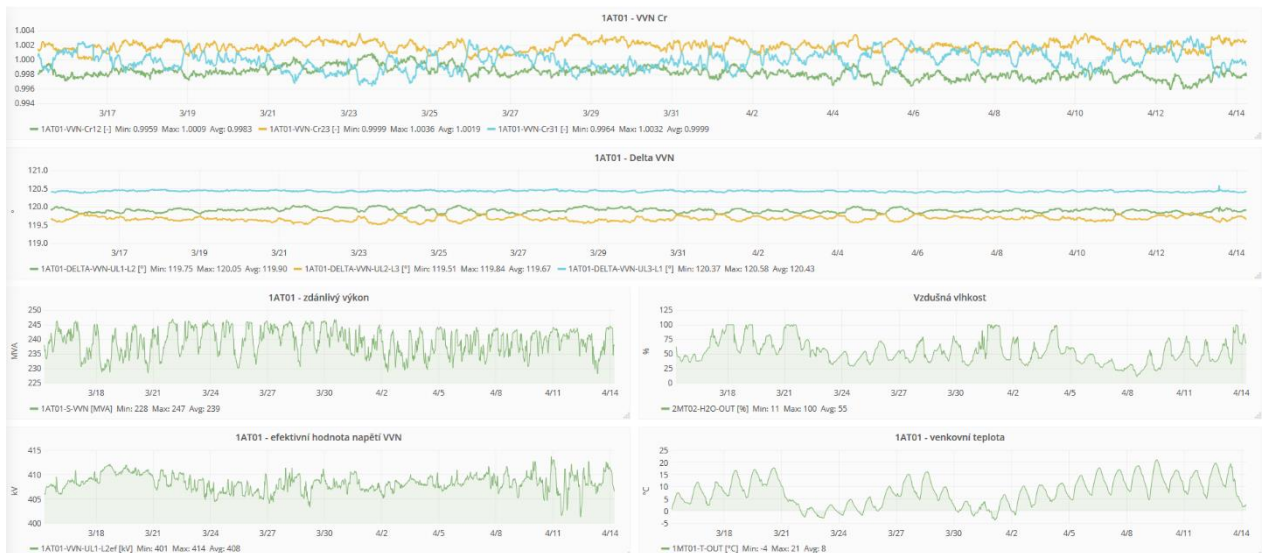
Obr. 9-20 Grafický záznam částečných výbojů na straně VVN

Druhá sestava signálů částečných výbojů v průchodkách transformátorů (viz obr. 9-21) jsou signály na straně VN. Grafické záznamy obsahují částečné výboje všech fází, zdánlivý výkon, efektivní hodnotu napětí mezi fázemi L1 a L2, vzdušnou vlhkost a venkovní teplotu.



Obr. 9-21 Grafický záznam částečných výbojů na straně VN

Relativní změna ztrátového činitele izolačního systému průchodek je monitorována jako fázový posun mezi fázemi téže napěťové úrovně. Grafický záznam první sestavy určený k diagnostice úhlu napětí delta obsahuje signály strany VVN (viz obr. 9-22). Vybrané signály jsou: relativní změny kapacity průchodek, relativní změny ztrátového činitele izolačního systému průchodek, zdánlivý výkon, efektivní hodnotu napětí mezi fázemi L1 a L2, vzdušnou vlhkost a venkovní teplotu.



Obr. 9-22 Grafický záznam úhlů napětí  $\delta$  na straně VVN



Druhá sestava určená k diagnostice úhlu delta obsahuje stejné signály jako první sestava s rozdílem sledování napěťové strany VN (viz obr. 9-23).



Obr. 9-23 Grafický záznam úhlů napětí  $\delta$  na straně VN

Grafický záznam úhlů napětí alfa mezi napětími strany VVN a VN téže fáze (viz obr. 9-24) obsahuje sledované signály: fázové posuny napětí alfa, efektivní hodnotu napětí mezi fázemi L1 a L2 pro stranu VVN i VN, zdánlivý výkon, vzdušnou vlhkost a venkovní teplotu.



Obr. 9-24 Grafický záznam úhlů napětí  $\alpha$  mezi stranami VVN a VN

## 9.6 Nižší úroveň obrazovky systému chlazení blokových transformátorů

Tabulka pro porovnání teplot chladicího oleje (viz obr. 9-25) obsahuje teploty oleje pod víkem nádoby transformátoru, teplotu oleje u dna nádoby transformátoru a teploty oleje na vstupu a výstupu chladiče jednotlivých větví chladicích jednotek. Dále se v tabulce nachází teplota vzduchu pod chladičem (nasávaný vzduch) a nad chladičem (vyfukovaný vzduch). Z elektrických parametrů tabulka obsahuje sdruženou hodnotu napětí VVN mezi fázemi L2 a L3, proud ve fázi L2, výkony na straně VVN a zejména frekvence měničů. Tento signál reprezentuje skutečné otáčky chladicích ventilátorů napájených z frekvenčních měničů v závislosti na měřené teplotě oleje pod víkem nádoby transformátoru.

Blokové transformátory - teploty								
	1AT01	1AT02	2AT01	2AT02	3AT01	3AT02	4AT01	4AT02
AT...T-OIL-COVER1	44.9 °C	45.6 °C	46.8 °C	45.8 °C	32.1 °C	32.6 °C	46.6 °C	48.3 °C
AT...T-OIL-COVER2	45.3 °C	49.1 °C	46.9 °C	45.8 °C	33.3 °C	32.4 °C	46.4 °C	49.7 °C
AT...T-OIL-COVER3	45.2 °C	44.3 °C	47.1 °C	45.2 °C	31.8 °C	32.1 °C	45.6 °C	47.6 °C
AT...T-OIL-DOWN	34.8 °C	36.4 °C	45.2 °C	41.6 °C	26.6 °C	27.1 °C	38.0 °C	36.2 °C
AT...T-OIL-IN1	47.7 °C	47.9 °C	51.0 °C	49.6 °C	32.7 °C	33.2 °C	48.5 °C	49.2 °C
AT...T-OIL-OUT1	44.9 °C	45.3 °C	48.7 °C	47.0 °C	31.8 °C	32.3 °C	46.1 °C	46.4 °C
AT...T-OIL-IN2	47.3 °C	47.7 °C	51.0 °C	50.0 °C	32.8 °C	33.3 °C	48.6 °C	49.1 °C
AT...T-OIL-OUT2	44.6 °C	44.8 °C	48.8 °C	47.3 °C	31.8 °C	32.4 °C	46.4 °C	46.5 °C
AT...T-OIL-IN3	47.1 °C	47.4 °C	50.9 °C	50.3 °C	32.6 °C	33.2 °C	49.0 °C	49.1 °C
AT...T-OIL-OUT3	44.9 °C	44.7 °C	47.9 °C	47.4 °C	31.8 °C	32.5 °C	46.2 °C	46.6 °C
AT...T-OIL-IN4	47.6 °C	47.8 °C	51.1 °C	49.4 °C	32.8 °C	33.3 °C	48.3 °C	49.1 °C
AT...T-OIL-OUT4	45.0 °C	45.2 °C	48.7 °C	47.0 °C	31.9 °C	32.7 °C	45.8 °C	46.6 °C
AT...T-OIL-IN5	47.4 °C	47.8 °C	51.0 °C	49.7 °C	32.8 °C	33.4 °C	48.6 °C	49.2 °C
AT...T-OIL-OUT5	44.9 °C	44.9 °C	48.4 °C	47.2 °C	31.9 °C	32.5 °C	46.1 °C	46.4 °C
AT...T-OIL-IN6	47.1 °C	47.5 °C	50.7 °C	50.3 °C	32.6 °C	33.4 °C	49.0 °C	49.1 °C
AT...T-OIL-OUT6	44.7 °C	44.9 °C	47.9 °C	47.6 °C	31.9 °C	32.6 °C	46.2 °C	46.3 °C
AT...T-AIR-TOP	40.3 °C	41.1 °C	44.4 °C	43.4 °C	31.2 °C	31.1 °C	45.0 °C	42.2 °C
AT...T-AIR-DOWN	16.3 °C	16.1 °C	16.6 °C	16.2 °C	15.7 °C	15.5 °C	16.0 °C	16.1 °C
AT...U01.f	36.0 Hz	35.6 Hz	40.0 Hz	38.4 Hz	20.9 Hz	21.9 Hz	36.8 Hz	36.7 Hz
AT...U11.f	35.4 Hz	36.0 Hz	37.8 Hz	37.3 Hz	20.7 Hz	20.7 Hz	36.5 Hz	36.0 Hz
AT...VVN-U12-L3ef	402 kv	402 kv	403 kv	403 kv	401 kv	401 kv	401 kv	402 kv
AT...TA3.C-I12ef	0.35 A	0.36 A	0.35 kA	0.35 kA	0.00 kA	0.00 kA	0.36 kA	0.36 kA
AT...P-VVN	226 MW	233 MW	232 MW	229 MW	-1 MW	-2 MW	236 MW	235 MW
AT...Q-VVN	-86 MVar	-81 MVar	-81 MVar	-82 MVar	-1 MVar	-2 MVar	-80 MVar	-81 MVar
AT...S-VVN	241 MVA	247 MVA	245 MVA	243 MVA	2 MVA	2 MVA	249 MVA	248 MVA

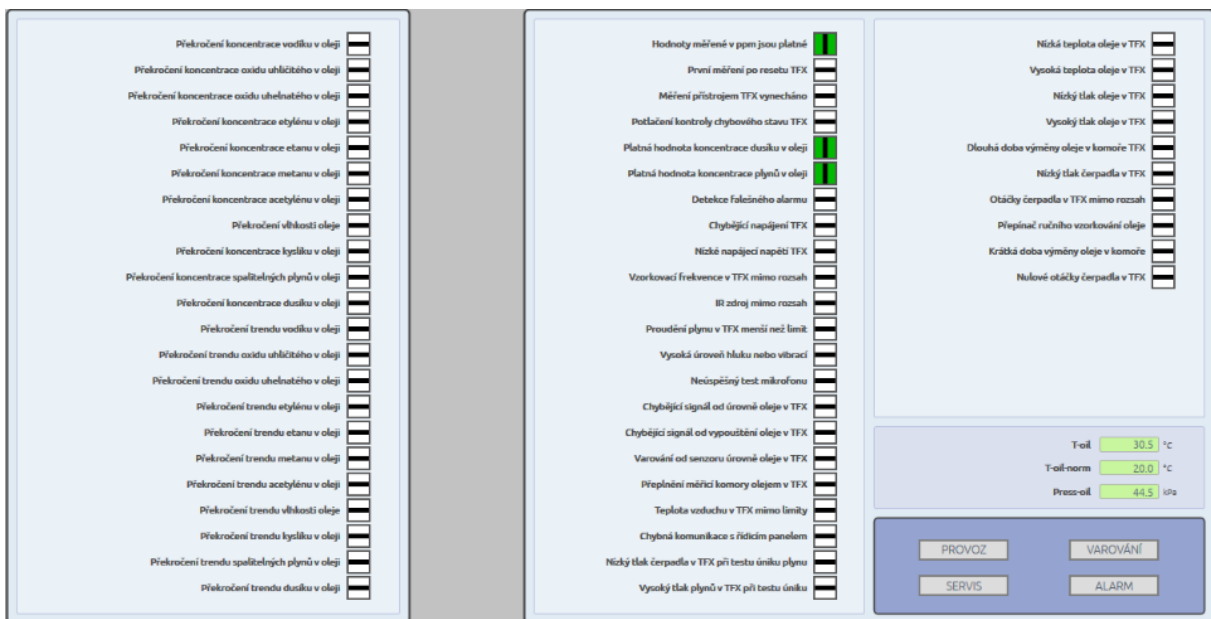
Obr. 9-25 Srovnávací tabulka chlazení blokových transformátorů

Srovnávací tabulka analyzátoru plynů (viz obr. 9-26) informuje o koncentracích vodíku, oxidu uhličitého, oxidu uhelnatého, etylénu, etanu, metanu, acetylénu, kyslíku, dusíku, vlhkosti, obsahu spalitelných plynů a celkového obsahu plynů rozpuštěných v oleji. Z provozních parametrů analyzátoru TRANSIX je uvedena skutečná teplota nabíraného oleje, normalizovaná teplota oleje a tlak na výstupu podávacího čerpadla. Jako doplňující informace jsou ve srovnávací tabulce dále uvedeny teploty oleje na vstupu chladiče větví 2 a 5. Z elektrických parametrů tabulka obsahuje sdruženou hodnotu napětí VVN mezi fázemi L2 a L3, proud ve fázi L2, výkony na straně VVN a výstupní frekvence měničů. Na úvod tabulky jsou uvedeny dva diagnostické signály o validitě naměřených dat a stavu analyzátoru (uváděné kódy znamenají různé provozní a poruchové stavy analyzátoru).

Blokové transformátory - plyny								
	1AT01	1AT02	2AT01	2AT02	3AT01	3AT02	4AT01	4AT02
AT_DATA-VALID	1	1	1	1	0	1	1	1
AT_PGA-STATE	0	0	0	0	17	0	0	0
AT_CO	238 ppm	362 ppm	366 ppm	292 ppm	0 ppm	228 ppm	351 ppm	391 ppm
AT_H2	16 ppm	12 ppm	15 ppm	6 ppm	0 ppm	12 ppm	40 ppm	9 ppm
AT_CH4	50 ppm	89 ppm	50 ppm	33 ppm	0 ppm	60 ppm	20 ppm	62 ppm
AT_C2H6	18 ppm	32 ppm	21 ppm	17 ppm	0 ppm	20 ppm	12 ppm	23 ppm
AT_C2H4	2 ppm	2 ppm	46 ppm	30 ppm	0 ppm	2 ppm	19 ppm	16 ppm
AT_C2H2	0 ppm	0 ppm	0 ppm	2 ppm	0 ppm	0 ppm	1 ppm	1 ppm
AT_COMB	325 ppm	498 ppm	497 ppm	379 ppm	0 ppm	322 ppm	443 ppm	501 ppm
AT_CO2	2 876 ppm	4 300 ppm	3 608 ppm	4 255 ppm	0 ppm	2 311 ppm	3 069 ppm	3 929 ppm
AT_N2	23 572 ppm	46 115 ppm	38 587 ppm	62 663 ppm	0 ppm	32 490 ppm	47 541 ppm	55 832 ppm
AT_O2	538 ppm	668 ppm	134 ppm	154 ppm	0 ppm	393 ppm	138 ppm	519 ppm
AT_H2O	3 ppm	2 ppm	2 ppm	2 ppm	0 ppm	2 ppm	2 ppm	3 ppm
AT_TOTAL	27 312 ppm	51 581 ppm	42 826 ppm	67 451 ppm	0 ppm	35 516 ppm	51 191 ppm	60 782 ppm
AT_PRESS-OIL-TRANSFIX	44.5 kPa	42.9 kPa	43.3 kPa	44.1 kPa	0.0 kPa	38.7 kPa	51.1 kPa	41.2 kPa
AT_T-OIL-TRANSFIX	30.5 °C	30.3 °C	31.0 °C	29.3 °C	16.8 °C	25.5 °C	30.0 °C	28.6 °C
AT_T-AIR-TRANSFIX	17.1 °C	16.6 °C	15.6 °C	16.5 °C	6.0 °C	8.9 °C	15.6 °C	14.9 °C
AT_T-NORM-TRANSFIX	20.0 °C	20.0 °C	20.0 °C	20.0 °C	20.0 °C	20.0 °C	20.0 °C	20.0 °C
AT_T-OIL-IN2	47.3 °C	47.7 °C	51.0 °C	50.0 °C	32.8 °C	33.3 °C	48.6 °C	49.1 °C
AT_T-OIL-IN5	47.4 °C	47.8 °C	51.0 °C	49.7 °C	32.8 °C	33.4 °C	48.6 °C	49.2 °C
AT_U01-F	36.0 Hz	35.6 Hz	40.0 Hz	38.4 Hz	20.9 Hz	21.9 Hz	36.8 Hz	36.7 Hz
AT_U11-F	35.4 Hz	36.0 Hz	37.8 Hz	37.3 Hz	20.7 Hz	20.7 Hz	36.5 Hz	36.0 Hz
AT_VVN-UL2-3ef	403 kV	402 kV	404 kV	403 kV	401 kV	402 kV	402 kV	402 kV
AT_TA3-C-IL2ef	0.35 A	0.36 A	0.35 kA	0.35 kA	0.00 kA	0.00 kA	0.36 kA	0.36 kA
AT_P-VVN	226 MW	233 MW	232 MW	229 MW	-1 MW	-2 MW	235 MW	235 MW
AT_Q-VVN	-86 MVar	-83 MVar	-83 MVar	-83 MVar	-1 MVar	-2 MVar	-82 MVar	-83 MVar
AT_S-VVN	242 MVA	248 MVA	246 MVA	244 MVA	2 MVA	2 MVA	249 MVA	249 MVA

Obr. 9-26 Srovnávací tabulka plynů v oleji blokových transformátorů

Dalším aktivním odkazem z obrazovky systému chlazení blokových transformátorů je provozní obrazovka analyzátoru plynů TRANSFIX (viz obr. 9-27). V levém panelu obrazovky jsou zobrazeny aktivní prvky poskytující informaci o překročení limit koncentrací či trendů koncentrací analyzovaných plynů (hodnoty nastaveny lokálně v analyzátoru) pomocí DVH aktivních prvků. V pravém panelu obrazovky jsou uvedeny aktivní prvky vnitřní autodiagnostiky analyzátoru plynů TRANSFIX, poskytující ucelenou informaci o provozních a poruchových stavech analyzátoru. Dále se v tomto panelu nachází monitorování skutečné teploty odebíraného oleje, normalizované teploty analyzovaného oleje a tlaku oleje na výstupu podávacího čerpadla analyzátoru. Pro rychlou a přehlednou identifikaci provozního stavu analyzátoru plynů TRANSFIX se v pravém panelu obrazovky také nachází pole provozní signalizace analyzátoru „Provoz“, „Servis“, „Varování“ a „Alarm“.



Obr. 9-27 Provozní obrazovka analyzátoru plynů TRANSFIX

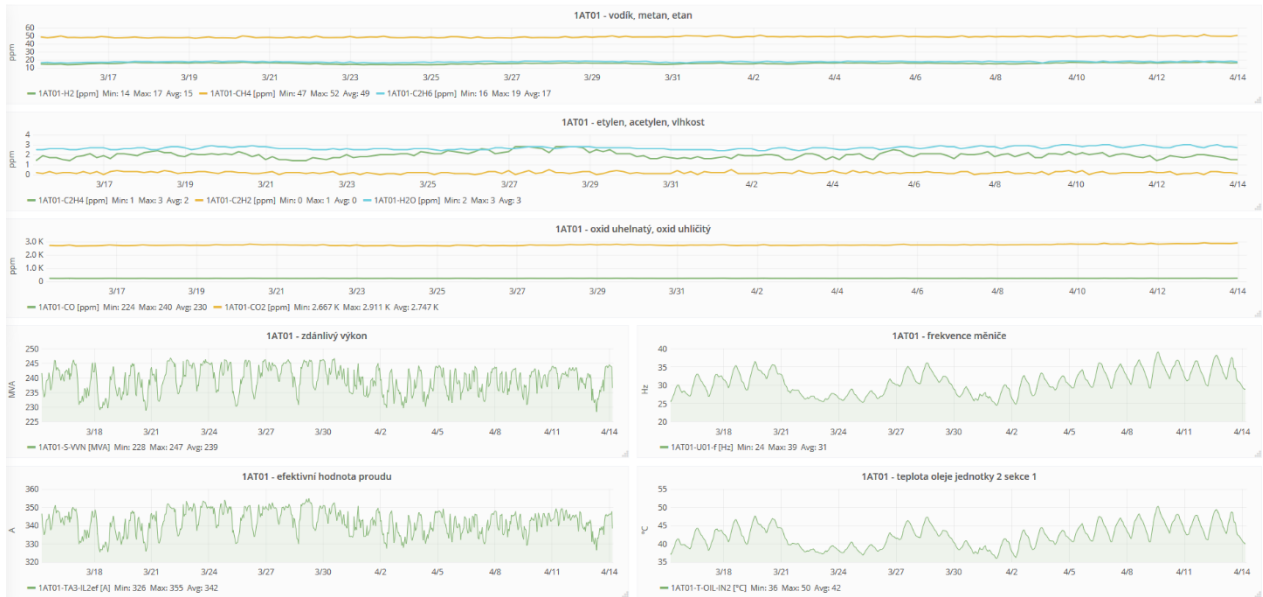
Aktivní obrazovky webového prostředí monitorovacího systému transformátorů jsou doplněny o některé diagnostické nástroje. Jedním z nich jsou grafické sestavy monitorovaných signálů, které jsou předpřipraveny v samostatném grafickém prostředí Grafana. Příslušná sestava je aktivována aktivní ikonou.

Jelikož teplota oleje závisí na zatížení transformátoru, podmínkách chlazení a podmínkách okolního prostředí, tak zobrazované signály jsou frekvence měničů, teplota oleje druhé jednotky sekce 1 a páté jednotky sekce 3, zdánlivý výkon, efektivní hodnota napětí mezi fázemi L1 a L2, vzdušná relativní vlhkost a venkovní teplota okolního prostředí (viz obr. 9-28).



Obr. 9-28 Grafický záznam parametrů chlazení

Hlavními monitorovanými parametry pro grafický záznam koncentrací plynů (viz obr. 9-29) jsou koncentrace jednotlivých plynů rozpuštěných v oleji. Tyto koncentrace jsou sdruženy podle měřeného rozsahu daného plynu do třech grafů. První graf obsahuje vodík, metan a etan, v druhém grafu se nachází etylen, acetylen a vlhkost a v posledním grafu je oxid uhelnatý s oxidem uhličitým. Tvorba plynů závisí od výkonu a chlazení transformátoru, proto dalšími zobrazenými parametry jsou zdánlivý výkon, efektivní hodnota proudu ve fázi L2, výstupní frekvence měničů a teplota oleje druhé jednotky sekce 1.



Obr. 9-29 Grafický záznam koncentrací plynů rozpuštěných v oleji

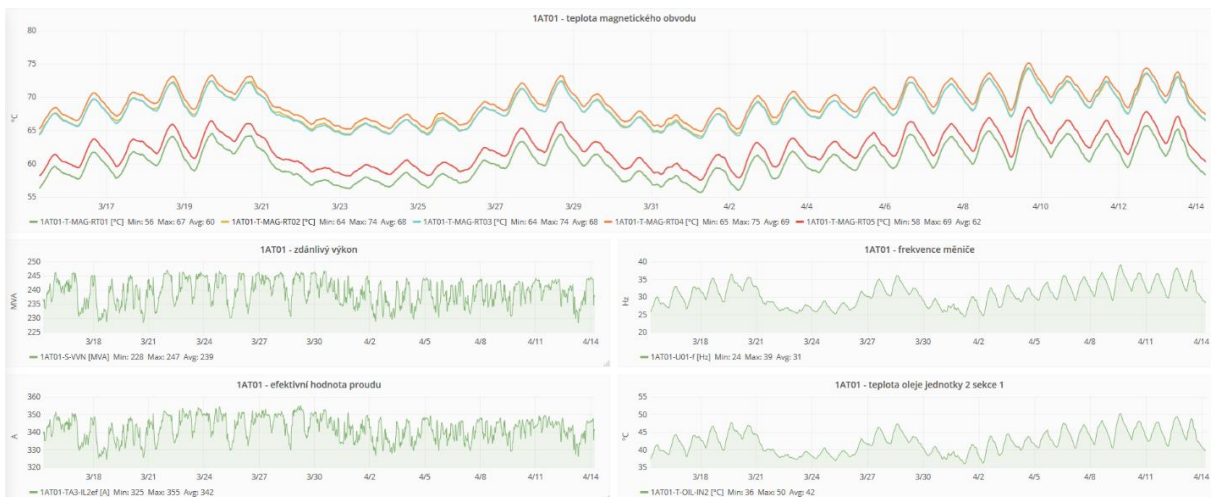
## 9.7 Nižší úroveň obrazovky teplot vinutí a magnetického obvodu blokových transformátorů

Srovnávací tabulka teplot vinutí a magnetického obvodu (viz obr. 9-30) obsahuje teploty vinutí na straně VVN a VN pro všechny fáze a teploty magnetického obvodu měřené na všech pěti sloupcích. Z elektrických parametrů tabulka obsahuje sdruženou hodnotu napětí VVN mezi fázemi L2 a L3, proud ve fázi L2 a výkony na straně VVN

Blokové transformátory – teploty vinutí a magnetického obvodu								
	1AT01	1AT02	2AT01	2AT02	3AT01	3AT02	4AT01	4AT02
AT...T-VVN-L1.A	63.5 °C	69.2 °C	65.5 °C	64.0 °C	33.1 °C	32.7 °C	63.0 °C	68.9 °C
AT...T-VVN-L2.A	65.5 °C	72.2 °C	64.6 °C	65.5 °C	31.7 °C	32.3 °C	61.5 °C	69.7 °C
AT...T-VVN-L3.A	66.5 °C	69.1 °C	67.5 °C	73.5 °C	31.3 °C	31.3 °C	61.3 °C	66.6 °C
AT...T-VN-L1.A	61.1 °C	67.6 °C	64.9 °C	63.2 °C	32.4 °C	31.6 °C	55.5 °C	65.1 °C
AT...T-VN-L2.A	63.3 °C	56.4 °C	68.3 °C	63.7 °C	32.1 °C	31.3 °C	49.2 °C	65.0 °C
AT...T-VN-L3.A	62.0 °C	66.8 °C	71.0 °C	65.5 °C	32.0 °C	32.0 °C	49.5 °C	63.8 °C
AT...T-MAG-RT01	63.2 °C	62.3 °C	58.2 °C	57.6 °C	47.9 °C	50.5 °C	55.0 °C	63.6 °C
AT...T-MAG-RT02	70.8 °C	67.0 °C	63.9 °C	63.9 °C	54.5 °C	51.6 °C	45.5 °C	71.7 °C
AT...T-MAG-RT03	71.1 °C	72.4 °C	66.8 °C	66.8 °C	52.7 °C	56.7 °C	38.4 °C	71.9 °C
AT...T-MAG-RT04	71.6 °C	72.4 °C	67.4 °C	67.3 °C	52.7 °C	59.6 °C	64.1 °C	73.1 °C
AT...T-MAG-RT05	65.2 °C	64.3 °C	62.0 °C	59.4 °C	48.1 °C	52.8 °C	57.9 °C	65.7 °C
AT...VVN-U12-L3ef	402 kv	403 kv	404 kv	404 kv	402 kv	402 kv	402 kv	403 kv
AT...TA3.C-IL2ef	0.35 A	0.36 A	0.35 A	0.35 A	0.00 kA	0.00 kA	0.36 kA	0.36 kA
AT...P-VVN	226 MW	233 MW	232 MW	229 MW	-1 MW	-2 MW	236 MW	235 MW
AT...Q-VVN	-86 MVar	-84 MVar	-84 MVar	-85 MVar	-1 MVar	-2 MVar	-82 MVar	-83 MVar
AT...S-VVN	242 MVA	248 MVA	247 MVA	244 MVA	2 MVA	2 MVA	250 MVA	250 MVA

Obr. 9-30 Srovnávací tabulka teplot vinutí a magnetického obvodu blokového transformátoru 1AT01

Sestava grafů pro sledování trendů teplot magnetického obvodu (viz obr. 9-31) obsahuje tyto signály: teploty magnetického obvodu, zdánlivý výkon, efektivní hodnotu proudu ve fázi L2, frekvenci měničů a teplotu oleje druhé jednotky sekce 1.



Obr. 9-31 Grafický záznam teplot magnetického obvodu

Teplota vinutí závisí na výkonu a proudu procházející transformátorem. Na grafickém záznamu teplot vinutí (viz obr. 9-32) jsou zobrazeny signály teploty vinutí strany VN a VVN a dále související zdánlivý výkon s efektivní hodnotou proudu ve fázi L2.



Obr. 9-32 Grafický záznam teplot vinutí

## 9.8 Nižší úroveň obrazovky odbočkových transformátorů

Aktivní informační tlačítko (ikona), pro zobrazení tabulky se základními technickými parametry odbočkového transformátoru (viz obr. 9-33) se nachází na pravé straně transformátoru.

Odbočkový transformátor 32MVA - technická specifikace	
Typ:	60 T 189 / 122
Výrobce:	ČKD Praha
Výrobní číslo:	1207866
Jmenovitý výkon:	32 / 16 / 16 MVA
Jmenovité napětí:	15,75 ± 8 x 2% / 6,3 / 6,3 kV
Jmenovitý proud:	1396-1173-1012 / 1466,5 / 1466,5 A
Spojení:	D / d0 / d0
Ztráty nakrátko (na střední odbočce):	149 kW
Ztráty naprázdno:	41 kW
Napětí nakrátko vztaženo na výkon 16 MVA:	8% ± 5% / 8% ± 15% / 16% ± 20%
Jmenovitý kmitočet:	50 Hz
Celková hmotnost:	85 t
Transportní hmotnost:	75 t
Hmotnost oleje:	29 t
Zkratová odolnost:	3,6 GVA
Typ chlazení:	ONAN / ONAF

Obr. 9-33 Informační tabulka odbočkového transformátoru 1BT01

Tabulku se základními technickými parametry přístrojového transformátoru proudu (viz obr. 9-34) nalezneme na fázi L2 nad nádobou transformátoru a tabulka se základními technickými parametry přepínače odboček (viz obr. 9-35) se nachází na levé straně od aktivních prvků (symbol vypínače) sloužících k identifikaci sepnuté odbočky.

Přístrojový transformátor proudu - lineární - technická specifikace	
Umístění:	Nasunutý na průchozích CBT 22/3150 pod víkem transformátoru v oleji, na straně 15,75 kV
Výrobce:	ČKD Praha
Typ:	1 OBL 55
Konstrukční provedení:	Průhledový, Utlídací, olejový
Jmenovité napětí:	22 kV
Zkušební napětí:	55 kV
Zkratová odolnost I <sub>kt1</sub> :	110 kA
Hmotnost:	174 kg
<b>Jádro TA1.A: (dálkové měření a monitorovací systém)</b>	
Převod:	1250/5 A
Jmenovitý výkon:	30 VA
Třída přesnosti:	0,5%
Nadproudivé číslo:	5
<b>Jádro TA1.B: (ochrana)</b>	
Převod:	1250/5 A
Jmenovitý výkon:	60 VA
Třída přesnosti:	1%
Nadproudivé číslo:	10
<b>Jádro TA1.C: (ochrana)</b>	
Převod:	1250/5 A
Zátížitelnost:	0,134 Ω
Třída přesnosti:	3%
Nadproudivé číslo:	150

Obr. 9-34 Informační tabulka PTP

Přepínač odboček napětí - technická specifikace	
Typ:	VACUTAP VV III 600D 40 10 193 W
Výrobce:	MR Regensburg, Německo
Maximální provozní proud:	600 A
Maximální stupňovací napětí:	1000 V
Izolační napětí voliče a výk. spínače:	40 kV
Zkratový proud 5 s:	6000 A
Dynamický zkratový proud:	15000 A
Přepínací odpor na stupni:	10 Ω
Počet poloh motorového pohonu:	19
Počet stupňů přepínače:	17
Počet přepínačů / transformátor:	2 ks vzájemně propojené kardanovou hřídelí
Minimální teplota oleje pro spínání pod zátěží:	-10 °C
Hmotnost výk. spínače bez oleje:	240 kg
Vysoušeč vzduch:	1 společný pro oba přepínače na jednom transformátoru
Typ motorového pohonu:	ED200S
Ovládací napětí:	230 V
Jmenovitá frekvence:	50 Hz
Typ motoru:	ED200S
Napětí motoru:	3 x 400 V
Výkon motoru:	2,0 kW
Počet otáček klikou na 1 přeprnutí:	33
Hmotnost pohonu:	80 kg
Počet pohonů / transformátor:	1 společný pohon pro oba přepínače na jednom transformátoru

Obr. 9-35 Informační tabulka přepínače odboček

Srovnávací tabulka elektrických parametrů (viz obr. 9-36) obsahuje sdružené hodnoty napětí, proudy a výkony měřené na straně vyššího napětí.

Odbočkové transformátory – elektro								
	1BT01	1BT02	2BT01	2BT02	3BT01	3BT02	4BT01	4BT02
AT...VN-UL3-L3ef	14 kv	15 kv	15 kv	15 kv	15 kv	15 kv	15 kv	15 kv
AT...VN-UL2-L3ef	15 kv	15 kv	15 kv	15 kv	15 kv	15 kv	15 kv	15 kv
AT...VN-UL3-L3ef	15 kv	15 kv	15 kv	15 kv	15 kv	15 kv	15 kv	15 kv
BT...TA1.A-I12ef	0,71 kA	0,59 kA	0,59 kA	0,73 kA	0,05 kA	0,08 kA	0,57 kA	0,73 kA
BT...TA1.A-I12ef	0,71 kA	0,59 kA	0,59 kA	0,64 kA	0,04 kA	0,08 kA	0,57 kA	0,73 kA
BT...TA1.A-I12ef	0,71 kA	0,59 kA	0,59 kA	0,63 kA	0,04 kA	0,08 kA	0,57 kA	0,73 kA
BT...P-VN	14 MVA	12 MVA	12 MVA	14 MVA	1 MVA	2 MVA	11 MVA	15 MVA
AT...Q-VN	-46 MVA	-42 MVA	-42 MVA	-38 MVA	-1 MVA	-1 MVA	-40 MVA	-40 MVA
AT...S-VN	230 MVA	240 MVA	238 MVA	234 MVA	1 MVA	2 MVA	242 MVA	241 MVA

Obr. 9-36 Srovnávací tabulka elektrických parametrů odbočkových transformátorů

Tabulka pro porovnání teplot chladicího oleje (viz obr. 9-37) obsahuje teploty oleje pod víkem nádoby transformátoru, teplotu oleje u dna nádoby a teploty oleje na víku přepínače odboček 1 a 2. Dále se v tabulce nachází teplota vzduchu nad a pod chladičem oleje. Z elektrických parametrů tabulka obsahuje sdruženou hodnotu napětí mezi fázemi L2 a L3 na straně vyššího napětí, proud ve fázi L2 a výkony na straně vyššího napětí.

Odbočkové transformátory – teploty								
	1BT01	1BT02	2BT01	2BT02	3BT01	3BT02	4BT01	4BT02
BT...T-OIL-SWITCH1	43,0 °C	36,2 °C	39,6 °C	42,2 °C	31,8 °C	33,5 °C	37,8 °C	42,3 °C
BT...T-OIL-SWITCH2	42,6 °C	36,2 °C	39,6 °C	42,6 °C	32,0 °C	33,8 °C	38,1 °C	42,2 °C
BT...T-OIL-COVER1	45,5 °C	38,2 °C	43,1 °C	45,6 °C	35,2 °C	37,2 °C	42,6 °C	46,5 °C
BT...T-OIL-COVER2	43,8 °C	38,9 °C	42,5 °C	45,6 °C	33,9 °C	36,8 °C	41,4 °C	46,3 °C
BT...T-OIL-DOWN	30,1 °C	25,8 °C	25,2 °C	29,8 °C	16,6 °C	16,4 °C	26,6 °C	29,6 °C
BT...T-AIR-TOP	32,6 °C	27,1 °C	26,4 °C	31,8 °C	23,3 °C	21,9 °C	27,8 °C	28,2 °C
BT...T-AIR-DOWN	17,2 °C	16,9 °C	16,6 °C	17,3 °C	16,0 °C	16,0 °C	16,6 °C	17,0 °C
AT...VN-UL2-L3ef	15 kv	15 kv	15 kv	15 kv	15 kv	15 kv	15 kv	15 kv
BT...TA1.A-I12ef	0,71 kA	0,59 kA	0,59 kA	0,64 kA	0,04 kA	0,08 kA	0,56 kA	0,73 kA
BT...P-VN	14 MVA	12 MVA	12 MVA	14 MVA	1 MVA	2 MVA	11 MVA	15 MVA
AT...Q-VN	11 MVA	9 MVA	9 MVA	9 MVA	1 MVA	1 MVA	9 MVA	11 MVA
AT...S-VN	18 MVA	15 MVA	15 MVA	17 MVA	1 MVA	2 MVA	14 MVA	18 MVA

Obr. 9-37 Srovnávací tabulka chlazení odbočkových transformátorů

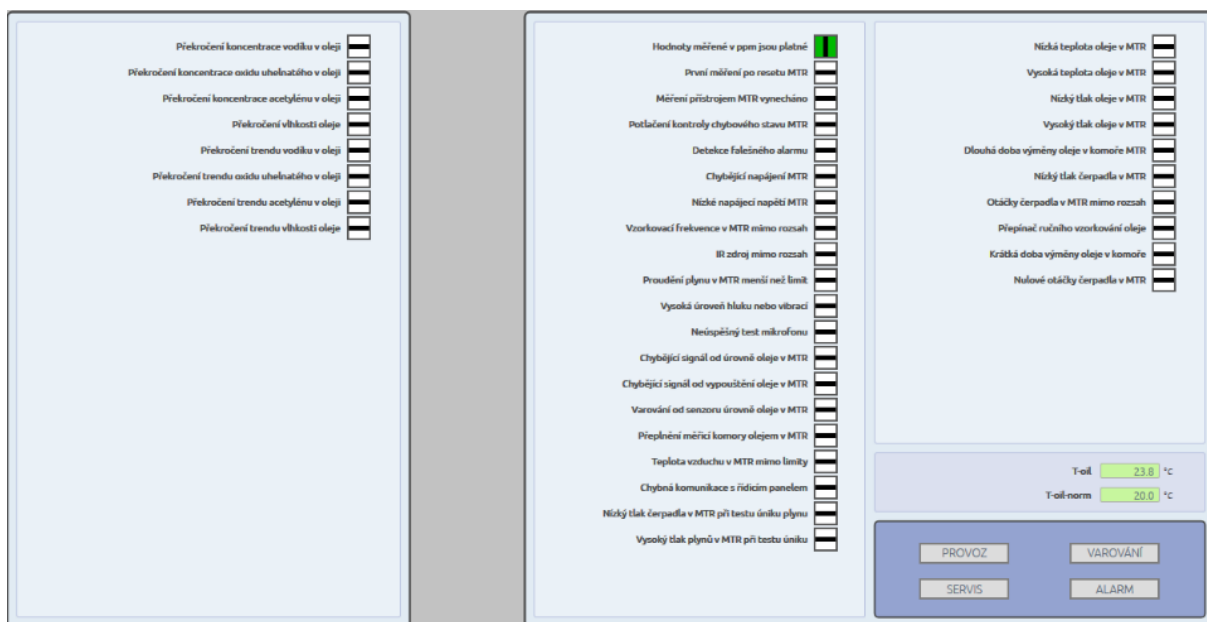
Srovnávací tabulka analyzátoru plynů (viz obr. 9-38) informuje o koncentracích vodíku, oxidu uhelnatého, acetylenu a vlhkosti rozpuštěných v oleji. Z provozních parametrů analyzátoru MINITRANS je uvedena skutečná teplota nabíraného oleje a normalizovaná teplota oleje. Jako

doplňující informace jsou ve srovnávací tabulce dále uvedeny teploty oleje pod víkem nádoby transformátoru. Z elektrických parametrů tabulka obsahuje sdruženou hodnotu napětí mezi fázemi L2 a L3 na straně vyššího napětí, proud ve fázi L2 a výkony na straně vyššího napětí. Na úvod tabulky jsou uvedeny dva diagnostické signály o validitě naměřených dat a stavu analyzátoru (uváděné kódy znamenají různé provozní a poruchové stavy analyzátoru).

Odbočkové transformátory - plyny																
	1BT01		1BT02		2BT01		2BT02		3BT01		3BT02		4BT01		4BT02	
BT_DATA-VALID	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
BT_PGA-STATE	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
BT_CO	161 ppm	96 ppm	157 ppm	189 ppm	255 ppm	105 ppm	115 ppm	124 ppm	70 ppm	116 ppm	66 ppm	43 ppm	3 ppm	2 ppm	2 ppm	7 ppm
BT_H2	0 ppm	2 ppm	4 ppm	0 ppm	1 ppm	2 ppm	3 ppm	2 ppm	0 ppm	2 ppm	9 ppm	3 ppm	3 ppm	3 ppm	3 ppm	7 ppm
BT_C2H2	9 ppm	7 ppm	4 ppm	9 ppm	7 ppm	6 ppm	7 ppm	9 ppm	7 ppm	6 ppm	9 ppm	9 ppm	9 ppm	9 ppm	9 ppm	7 ppm
BT_T-OIL-MINTRANS	23.8 °C	25.9 °C	19.5 °C	18.9 °C	26.1 °C	31.8 °C	23.7 °C	24.2 °C	7.6 °C	10.0 °C	15.6 °C	15.7 °C	20.0 °C	20.0 °C	20.0 °C	20.0 °C
BT_T-AIR-MINTRANS	15.5 °C	15.9 °C	14.7 °C	14.7 °C	20.0 °C	20.0 °C	20.0 °C	20.0 °C	20.0 °C	20.0 °C	20.0 °C	20.0 °C	20.0 °C	20.0 °C	20.0 °C	20.0 °C
BT_T-NORM-MINTRANS	20.0 °C	20.0 °C	20.0 °C	20.0 °C	20.0 °C	20.0 °C	20.0 °C	20.0 °C	20.0 °C	20.0 °C	20.0 °C	20.0 °C	20.0 °C	20.0 °C	20.0 °C	20.0 °C
BT_T-OIL-COVER1	45.5 °C	38.2 °C	43.1 °C	45.6 °C	35.2 °C	37.2 °C	42.6 °C	46.5 °C	33.9 °C	36.8 °C	41.4 °C	46.3 °C	46.3 °C	46.3 °C	46.3 °C	46.3 °C
BT_T-OIL-COVER2	43.8 °C	38.9 °C	42.5 °C	45.6 °C	33.9 °C	36.8 °C	41.4 °C	46.3 °C	33.9 °C	36.8 °C	41.4 °C	46.3 °C	46.3 °C	46.3 °C	46.3 °C	46.3 °C
AT_VN-U12-L3ef	15 kV	15 kV	15 kV	15 kV	15 kV	15 kV	15 kV	15 kV	15 kV	15 kV	15 kV	15 kV	15 kV	15 kV	15 kV	15 kV
BT_TAL-A-IL2ef	0.71 kA	0.59 kA	0.59 kA	0.64 kA	0.04 kA	0.08 kA	0.56 kA	0.73 kA	0.04 kA	0.08 kA	0.56 kA	0.73 kA	0.56 kA	0.73 kA	0.73 kA	0.73 kA
BT_PAVN	14 MW	12 MW	12 MW	14 MW	1 MW	2 MW	11 MW	15 MW	1 MW	2 MW	11 MW	15 MW	11 MW	15 MW	15 MW	15 MW
BT_QVn	11 MVA	9 MVA	9 MVA	9 MVA	1 MVA	1 MVA	9 MVA	11 MVA	1 MVA	1 MVA	9 MVA	11 MVA	9 MVA	11 MVA	11 MVA	11 MVA
BT_SVn	18 MVA	15 MVA	15 MVA	17 MVA	1 MVA	2 MVA	14 MVA	18 MVA	1 MVA	2 MVA	14 MVA	18 MVA	14 MVA	18 MVA	18 MVA	18 MVA

Obr. 9-38 Srovnávací tabulka plynů v oleji odbočkových transformátorů

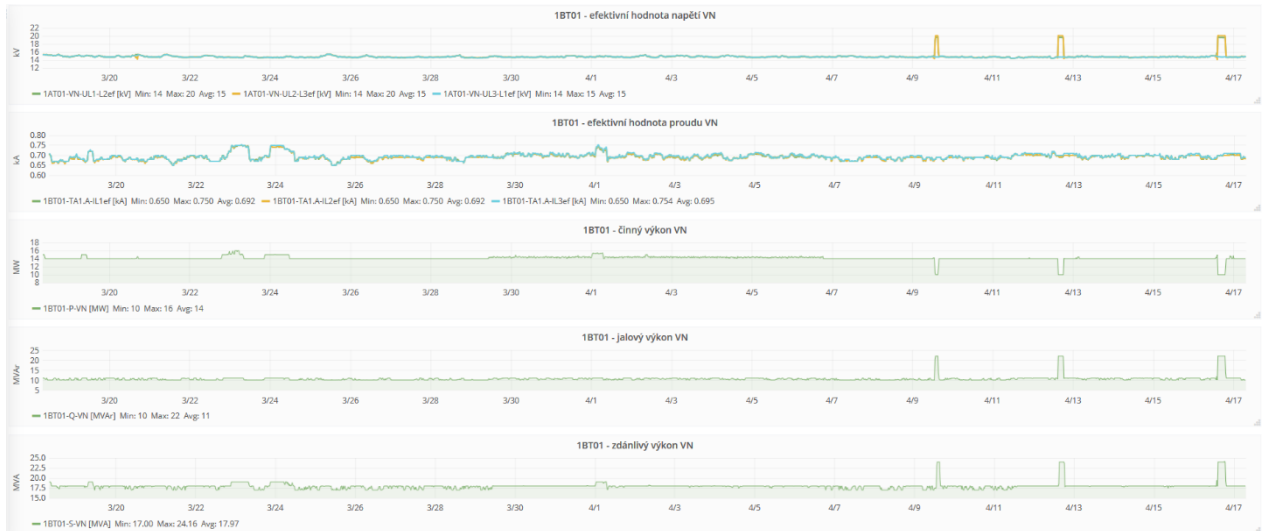
Dalším aktivním odkazem z obrazovky systému chlazení odbočkových transformátorů je provozní obrazovka analyzátoru plynů MINITRANS (viz obr. 9-39). V levém panelu obrazovky jsou zobrazeny aktivní prvky poskytující informaci o překročení limit koncentrací či trendů koncentrací analyzovaných plynů (hodnoty nastaveny lokálně v analyzátoru) pomocí DVH aktivních prvků. V pravém panelu obrazovky jsou uvedeny aktivní prvky vnitřní autodiagnostiky analyzátoru plynů MINITRANS, poskytující ucelenou informaci o provozních a poruchových stavech analyzátoru. Dále se v tomto panelu nachází monitorování skutečné teploty odebíraného oleje a normalizované teploty analyzovaného oleje. Pro rychlou a přehlednou identifikaci provozního stavu analyzátoru plynů MINITRANS se v pravém panelu obrazovky také nachází pole provozní signalizace analyzátoru „Provoz“, „Servis“, „Varování“ a „Alarm“.



Obr. 9-39 Provozní obrazovka analyzátoru MINITRANS

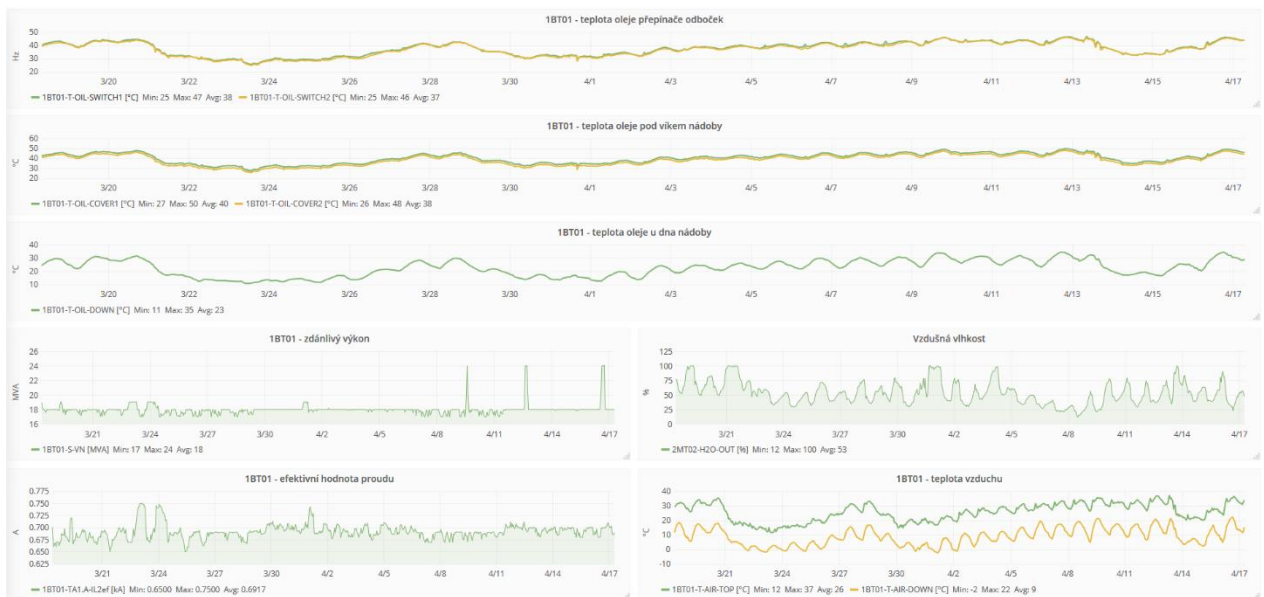
V grafickém záznamu elektrických parametrů (viz obr. 9-40) se zobrazují tyto důležité parametry: efektivní hodnoty napětí, proudů a výkonů pro obě napěťové hladiny.





Obr. 9-40 Grafický záznam elektrických parametrů

Hlavními důležitými monitorovanými parametry pro grafický záznam chlazení transformátoru (viz obr. 9-41) jsou: teplota oleje přepínače odboček, teplota oleje pod víkem nádoby a teplota oleje u dna nádoby. Jelikož teplota oleje závisí na zatížení transformátoru, chlazení a okolních podmínkách, tak dalšími sledovanými parametry jsou: zdánlivý výkon, efektivní hodnota proudu ve fázi L2, vzdušná relativní vlhkost a teplota vzduchu okolního prostředí.



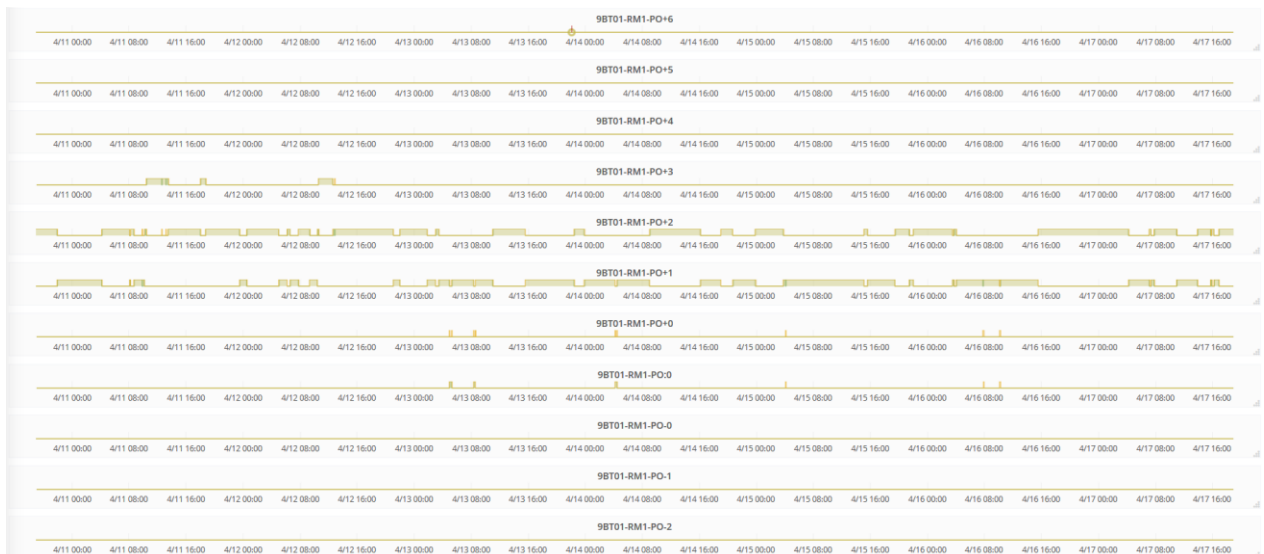
Obr. 9-41 Grafický záznam parametrů chlazení

Důležitými monitorovanými parametry pro grafický záznam koncentrací plynů (viz obr. 9-42) jsou koncentrace jednotlivých plynů rozpuštěných v oleji. Analyzátor MINITRANS vyhodnocuje pouze koncentrace vodíku, acetyleny, oxid uhelnatého a vlhkosti. Tvorba plynů závisí na výkonu transformátoru, proto je dále v záznamech zdánlivý výkon a efektivní hodnota proudu ve fázi L2.



Obr. 9-42 Grafický záznam koncentrací plynů rozpuštěných v oleji

Pro grafické sledování signálů z přepínače odboček byl vytvořen graf dvouhodnotových signálů (viz obr. 9-43). V grafech se zobrazují pouze binární stavy signálů u jednotlivých odbočkových stupňů. Každý odbočkový stupeň hlásí stav zařazen/nezařazen pomocí náběžných a sestupných hran.



Obr. 9-43 Grafický záznam dvouhodnotových signálů z přepínače odboček

## 10 NÁVRH KRITÉRIÍ A LIMIT DŮLEŽITÝCH MONITOROVANÝCH PARAMETRŮ SYSTÉMU MST

Jedním ze stěžejních témat diplomové práce je návrh kritérií a limit důležitých monitorovaných elektrických a technologických parametrů systémem MST. Tyto parametry jsou různými způsoby zobrazovány na aktivních obrazovkách webového rozhraní, avšak bez aktivní varovné či alarmové signalizace. Účelem limitačního systému je tedy doplnění vizualizace monitorovacího systému o diagnostický nástroj automatického strážního charakteru, který bude působit při zhoršení vybraných parametrů v předstihu před působením technologických omezovačů nebo ochran. Cílem limitačního systému je tedy nastavit kritéria a limity tak, aby systém plnil funkci včasného varování s maximálním omezením falešného hlášení.

Před plněním tohoto zadání bylo důležité provést analýzu jednotlivých monitorovaných parametrů s důrazem na tyto hlediska:

- Důležitost elektrického nebo technologického parametru z hlediska sledování provozního stavu a životnosti monitorovaného zařízení (informativní, provozní, signální).
- Vliv provozního stavu okolních zařízení na sledování provozního stavu a životnosti monitorovaného zařízení (např. provozní oblast generátoru na dovolené provozní parametry transformátorů).
- Jedinečnost monitorovaného parametru – vysoká vypovídací hodnota parametru, který nepůsobí do systému omezovačů a ochran.
- Odstranění možné duplicity signalizace monitorovaného parametru – prioritou limitačního systému je signalizovat v předstihu před zásahem omezovačů a působení ochran.

Z uvedených hledisek vyplývá, že je velmi účelné identifikovat jen vybrané monitorované parametry, na kterých budou nastavena kritéria limitačního systému. Kritériem pro spolehlivost limitačního systému je pak včasná a přesná signalizace monitorovaných signálů bez vzniku záplavy falešné a matoucí signalizace při zhoršení provozních parametrů nebo možném rozvoji poruchové události.

Výchozím vodítkem pro stanovení kritérií limitačního systému jsou normy, doporučení výrobce (průvodní technická dokumentace) a provozní předpisy provozovatele. Zásadním zpřesněním kritérií pak je analyzování historických záznamů monitorovaných parametrů, a nastavení kritérií podle skutečných provozních hodnot zaznamenaných on-line monitoringem.

### 10.1 Kritéria a limity elektrických parametrů

Výchozími dokumenty pro hledání kritérií elektrických parametrů jsou provozní předpisy [19] a [20], které zohledňují také doporučení výrobců zařízení uvedená v příslušné průvodní technické dokumentaci z období modernizace zařízení v letech 2008–2012 [21] a [22]. Kromě popisu zařízení (generátoru a vyvedení výkonu) jsou v dokumentech uvedeny mezní limity provozních stavů. Základní provozní charakteristiky celého systému vyvedení výkonu výrobního bloku jsou dány provozním PQ diagramem generátoru. Ten zohledňuje nejen zatížení generátoru, ale také výkonový tok přes blokový transformátor s respektováním poměrů činného a jalového výkonu v závislosti na požadavcích sekundární regulace napětí v uzlové rozvodně Slavětice. Z toho vyplývá, že nastavení kritérií pro hodnoty proudu, činného a jalového výkonu je velmi obtížné. S přihlédnutím k vícestupňovému hlídání těchto parametrů na úrovni generátoru ve formě omezovačů, včetně dynamicky proměnných kompozitních hodnot (v závislosti na aktuálním

provozním bodě PQ diagramu generátoru a požadavcích sekundární a terciální regulace uzlu ES), není účelné vytvářet duplicitní systém ve formě prostých limit na úrovni blokových transformátorů. Navíc mezní provozní hodnoty proudu a výkonů generátoru jsou nižší než limitní hodnoty blokových transformátorů.

Z hlediska stanovení kritérií pro zatížení transformátorů je rozhodující nesledovat samotné elektrické parametry, ale technologické parametry charakterizující projevy zatížení (teplota vinutí, teplota magnetického obvodu, teplota oleje), které přímo ovlivňují životnost transformátorů. Těmto však budou věnovány samostatné kapitoly.

Jediným elektrickým parametrem, který je pro blokový transformátor z hlediska spolehlivého provozu životně důležitý je napětí. Kromě namáhání izolačního systému vinutí, je také namáhán izolační systém průchodek. Proto pro napětí je velmi důležité kontrolovat úroveň napětí jak na sekundární straně, tak také na primární straně.

Pro stanovení kritérií napětí na sekundární straně blokových transformátorů byl výchozím dokumentem provozní předpis [19], kde je uvedeno jednak jmenovité napětí generátoru 15,75 kV, ale také dovolená provozní tolerance napětí  $\pm 5\%$   $U_n$ , tedy 14,96 – 16,54 kV. S ohledem na účel limitačního systému MST je návrh limit pro napětí na sekundární straně blokových transformátorů následující a primární straně odbočkových transformátorů:

Tab. 10-1 Limity pro napětí na sekundární straně blokových transformátorů a primární straně odbočkových transformátorů

Dolní alarmová mez	Dolní varovná mez	Provozní oblast	Horní varovná mez	Horní alarmová mez
$\leq 15,0$ kV	$\leq 15,2$ kV		$\geq 16,3$ kV	$\geq 16,5$ kV

Pro stanovení kritérií napětí na primární straně blokových transformátorů byl výchozím dokumentem kodex přenosové soustavy [23], který v souladu s ČSN EN 60038 [24] stanovuje jmenovitou hodnotu napětí přenosové soustavy 400 kV včetně dovolené tolerance  $\pm 5\%$   $U_n$ , tedy 380 – 420 kV. S ohledem na účel limitačního systému MST je návrh limit pro napětí na primární straně blokových transformátorů následující:

Tab. 10-2 Limity pro napětí na primární straně blokových transformátorů

Dolní alarmová mez	Dolní varovná mez	Provozní oblast	Horní varovná mez	Horní alarmová mez
$\leq 380$ kV	$\leq 382$ kV		$\geq 418$ kV	$\geq 420$ kV

Pro kontrolu historických záznamů signálů monitorovacího systému transformátorů bylo rozhodujícím kritériem, aby za sledované období 2017 – 2019 platilo, že v 95 % záznamů nebyla splněna podmínka varovné meze a 98 % záznamů nebyla splněna podmínka alarmové meze.

## 10.2 Stanovení kritérií a limit systému chlazení transformátorů

Vodítkem pro stanovení provozních a limitních kritérií byl zejména provozní předpis [4]. Mezní provozní teploty oleje v nádobě transformátoru uvedené v provozním předpise vychází z limit a doporučení výrobce transformátorů, jež jsou souhrnně uvedené v průvodní technické dokumentaci [21] a [22].

Z hlediska provozu limitačního systému je smyslem stanovit limity pro parametry měření teploty oleje v místě s dlouhodobě nejvyšší provozní teplotou. Na základě sledování historických záznamů jsou tím místem teploty oleje na vstupu do chladicích jednotek. Z těchto záznamů je možné vysledovat, že nejvyšších teplot oleje je dosahováno v letním období, kdy s rostoucí teplotou roste také výstupní frekvence napájecího napětí ventilátorů chladicích jednotek.

Limitní hodnoty pro teploty oleje na vstupu do chladicích jednotek je vhodné stanovit:

Tab. 10-3 Limity teplot oleje na vstupu do chladicích jednotek

Dolní alarmová mez	Dolní varovná mez	Provozní oblast	Horní varovná mez	Horní alarmová mez
-	-		$\geq 70^{\circ}\text{C}$	$\geq 80^{\circ}\text{C}$

Zároveň pro výstupní frekvence napájecího napětí ventilátorů chladicích jednotek je vhodné stanovit limity:

Tab. 10-4 Limity výstupní frekvence napájecího napětí ventilátorů chladicích jednotek

Dolní alarmová mez	Dolní varovná mez	Provozní oblast	Horní varovná mez	Horní alarmová mez
-	-		$\geq 48\text{ Hz}$	$\geq 50\text{ Hz}$

Protože signalizace limitačního systému má signalizovat obecně až v případě nedostatečné provozní schopnosti chladicího systému je vhodné podmínit signalizaci překročením navržených mezí po dobu delší než 4 hodiny. Na základě sledování historických záznamů vyplývá, že bez této podmínky právě v letním období reálně hrozí falešná a matoucí signalizace.

Pro odbočkové transformátory vlastní spotřeby bloku je účelné stanovit limitní hodnoty pro teploty oleje olejové náplně nádoby pod víkem transformátoru. Důležité je však také stanovit limity pro teploty oleje pod víkem přepínače odboček transformátoru. Na základě doporučení v provozním předpise [4] jsou v obou případech limitní hodnoty totožné, a to:

Tab. 10-5 Limity teplot oleje pod víkem transformátoru a pod víkem přepínače odboček

Dolní alarmová mez	Dolní varovná mez	Provozní oblast	Horní varovná mez	Horní alarmová mez
-	-		$\geq 70^{\circ}\text{C}$	$\geq 80^{\circ}\text{C}$

### 10.3 Kritéria a limity koncentrací rozpuštěných plynů v oleji

Inspirací pro stanovení provozních a limitních kritérií byly zejména normy ČSN EN 60567 [25] a ČSN EN 60599 [26], a dále pak metodika ČEZ [27]. Tyto dokumenty ale popisují postupy a interpretaci výsledků off-line diagnostiky plynové chromatografie. Výsledky této analýzy jsou však rozdílné v porovnání se záznamy analyzátorů TRANSFIX a MINITRANS, což dokládá také analýza porovnání obsahu plynů ve výkonových olejových transformátorech EDU [28].

Rozhodující proto pro stanovení provozních a limitních kritérií byly historické záznamy analyzátorů TRANSFIX a MINITRANS, které přesně vystihují výsledky fotoakustické spektroskopie. Navržené limitní hodnoty koncentrací rozpuštěných plynů v oleji blokových transformátorů jsou:

Tab. 10-6 Limity koncentrací rozpuštěných plynů v oleji blokových transformátorů

Dolní alarmová mez	Dolní varovná mez	Provozní oblast	Horní varovná mez	Horní alarmová mez
-	-	H <sub>2</sub> – vodík	≥ 150 ppm	≥ 350 ppm
-	-	CH <sub>4</sub> – metan	≥ 130 ppm	≥ 300 ppm
-	-	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> – etan	≥ 90 ppm	≥ 180 ppm
-	-	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> – etylen	≥ 70 ppm	≥ 210 ppm
-	-	C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> – acetylen	≥ 50 ppm	≥ 150 ppm
-	-	CO – oxid uhelnatý	≥ 1000 ppm	≥ 2000 ppm
-	-	CO <sub>2</sub> – oxid uhličitý	≥ 6000 ppm	≥ 14000 ppm
-	-	O <sub>2</sub> – kyslík	≥ 10000 ppm	≥ 15000 ppm
-	-	N <sub>2</sub> – dusík	≥ 80000 ppm	≥ 160000 ppm
-	-	H <sub>2</sub> O – vlhkost	≥ 20 ppm	≥ 25 ppm

Obdobně pro odbočkové transformátory s omezeným rozsahem analyzovaných plynů platí:

Tab. 10-7 Limity koncentrací rozpuštěných plynů v oleji odbočkových transformátorů

Dolní alarmová mez	Dolní varovná mez	Provozní oblast	Horní varovná mez	Horní alarmová mez
-	-	H <sub>2</sub> – vodík	≥ 150 ppm	≥ 350 ppm
-	-	C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> – acetylen	≥ 50 ppm	≥ 150 ppm
-	-	CO – oxid uhelnatý	≥ 1000 ppm	≥ 2000 ppm
-	-	H <sub>2</sub> O – vlhkost	≥ 20 ppm	≥ 25 ppm

Protože v minulosti docházelo k častým poruchám měření koncentrací analyzátory TRANSFIX a MINITRANS bylo by vhodné podmínit signalizaci překročení navržených mezí signálem „-DATA-VALID“ s hodnotou „1“, která potvrzuje validní měření parametrů bez procesních chyb.

I když bylo výše uvedeno, že výsledky plynové chromatografie jsou rozdílné v porovnání se záznamy analyzátorů TRANSFIX a MINITRANS, zároveň platí dle analýzy [28], že porovnatelné jsou případné trendy nárůstu koncentrací jednotlivých plynů. Proto pro čtvrtletní trendy koncentrací bude platit:

Tab. 10-8 Limity čtvrtletních trendů koncentrací rozpuštěných plynů v oleji blokových transformátorů

Dolní alarmová mez	Dolní varovná mez	Provozní oblast	Horní varovná mez	Horní alarmová mez
-	-	H <sub>2</sub> – vodík	≥ 50 ppm	≥ 100 ppm
-	-	CH <sub>4</sub> – metan	≥ 30 ppm	≥ 80 ppm
-	-	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> – etan	≥ 15 ppm	≥ 30 ppm
-	-	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> – etylen	≥ 15 ppm	≥ 30 ppm
-	-	C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> – acetylen	≥ 10 ppm	≥ 25 ppm
-	-	CO – oxid uhelnatý	≥ 100 ppm	≥ 200 ppm
-	-	CO <sub>2</sub> – oxid uhličitý	≥ 500 ppm	≥ 1000 ppm
-	-	O <sub>2</sub> – kyslík	≥ 500 ppm	≥ 1000 ppm
-	-	N <sub>2</sub> – dusík	≥ 750 ppm	≥ 1300 ppm
-	-	H <sub>2</sub> O – vlhkost	≥ 10 ppm	≥ 20 ppm

Opět obdobně pro odbočkové transformátory s omezeným rozsahem analyzovaných plynů platí:

Tab. 10-9 Limity čtvrtletních trendů koncentrací rozpuštěných plynů v oleji odbočkových transformátorů

Dolní alarmová mez	Dolní varovná mez	Provozní oblast	Horní varovná mez	Horní alarmová mez
-	-	H <sub>2</sub> – vodík	≥ 50 ppm	≥ 100 ppm
-	-	C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> – acetylen	≥ 10 ppm	≥ 25 ppm
-	-	CO – oxid uhelnatý	≥ 100 ppm	≥ 200 ppm
-	-	H <sub>2</sub> O – vlhkost	≥ 10 ppm	≥ 20 ppm

## 10.4 Stanovení kritérií a limit teplot vinutí blokových transformátorů

Pro stanovení kritérií teplot vinutí blokových transformátorů neexistuje přesný normativní dokument, ani metodika. Všechny dokumenty jsou totiž vztaženy na běžnější kritéria teplot oleje. Z tohoto důvodu jediným vodítkem pro určení limit teplot vinutí jsou hraniční meze tepelného namáhání papírové izolace vinutí uvedené v [8] a [29]. Z dokumentů vyplývá, že polymerní řetězce pevných celulósových izolací (papíru, lepenky a dřevěných bloků) obsahující velké množství anhydroglukózových jednotek, slabých molekulových vazeb C-O a glykosidických vazeb se začínají rozkládat při teplotách přibližně od 80°C. Při teplotách vyšších než 105 °C dochází k rozsáhlým štěpením polymerních řetězců a zrychlené degradaci celulósových izolací. Při zachování principů limitačního systému budou navržené limity následující:

Tab. 10-10 Limity teplot vinutí blokových transformátorů

Dolní alarmová mez	Dolní varovná mez	Provozní oblast	Horní varovná mez	Horní alarmová mez
-	-		$\geq 80^{\circ}\text{C}$	$\geq 100^{\circ}\text{C}$

Při analýze historických záznamů signálů teplot vinutí blokových transformátorů nebyl nalezen ani jeden případ splnění limitních podmínek, což svědčí o výtečné kondici izolačního systému transformátorů.

## 10.5 Kritéria a limity teplot magnetického obvodu blokových transformátorů

Podobně jako v předchozí kapitole pro stanovení kritérií teplot magnetického obvodu blokových transformátorů neexistuje přesný normativní dokument, ani metodika. Všechny dokumenty jsou totiž vztaženy na běžnější kritéria teplot oleje. Z tohoto důvodu jediným vodítkem pro určení limit teplot vinutí jsou opět hraniční meze tepelného namáhání papírové izolace uvedené v [8] a [29]. Proto navržené limity teplot magnetického obvodu budou následující:

Tab. 10-11 Limity teplot magnetického obvodu blokových transformátorů

Dolní alarmová mez	Dolní varovná mez	Provozní oblast	Horní varovná mez	Horní alarmová mez
-	-		$\geq 80^{\circ}\text{C}$	$\geq 100^{\circ}\text{C}$

Při analýze historických záznamů signálů teplot magnetických obvodů transformátorů nebyl nalezen ani jeden případ splnění limitních podmínek, což svědčí o dobré kondici izolačního systému transformátorů.

V záznamech [7], [18] však byla nalezena odchylka od předpokladu ideálního rozložení teplot magnetického obvodu, a to na transformátoru 3AT02. Při správném rozložení magnetického toku v pětijádrovém magnetickém obvodu blokových transformátorů bude pro teploty platit:

$$RT01 < RT02 \text{ nebo } RT03 \text{ nebo } RT04 > RT05$$

a zároveň

$$RT02 \approx RT03 \approx RT04$$

$$RT01 \approx RT05$$

Kde  $RT_x$  je teplota magnetického obvodu s číslem značící dané magnetické jádro obvodu.

Z historických záznamů dat však dlouhodobě vyplývá zcela jiné rozložení teplot.

$$RT01 < RT02 < RT03 < RT04 >> RT05$$

a zároveň

$$RT01 < RT05 \text{ a dokonce } RT02 < RT05$$

Za dobu monitorování teplot magnetických obvodů transformátorů však ani v jednom případě nedošlo k překročení navržených limitních hodnot. Stav magnetického obvodu transformátoru 3AT02 je tedy možné hodnotit jako mírně zhoršený, avšak stabilizovaný, protože nebyl zaznamenán žádný rostoucí trend rozdílů teplot.



Z hlediska limitačního systému by tedy bylo vhodné doplnit limitní hodnoty i pro rozdíly teplot mezi jednotlivými sloupky magnetického obvodu. Proto ČEZ EDU ve spolupráci s TES, s.r.o. požádal výrobce transformátorů ETD TRANSFORMÁTORY, a.s. Plzeň o konzultaci a spolupráci pro doplnění nových limitních podmínek teplot magnetických obvodů blokových transformátorů na EDU.

## 10.6 Stanovení kritérií a limit relativních změn ztrátového činitele průchodek blokových transformátorů

Pro stanovení kritérií relativních změn ztrátového činitele průchodek blokových transformátorů neexistuje přesný normativní dokument, ani metodika. Všechny dokumenty pro měření ztrátového činitele průchodek transformátorů jsou totiž vztaženy na běžnější metody off-line diagnostiky realizované na odstaveném transformátoru. Na provozovaném transformátoru nelze tyto metody použít, proto pro potřeby on-line diagnostiky se sledují změny elektrických parametrů, které se změny při rozvoji případné závady.

Změna ztrátového činitele průchodek je vyvolaná zhoršením kvality izolačního systému průchodek, které se projeví jen malou změnou příčné susceptance v náhradním schématu průchodky. Proto změna elektrických parametrů bude také těžce identifikovatelná. Aby změna byla lépe výrazná, monitoruje se v MST fázový posun napětí dvou sousedních fází téže napěťové úrovně. Změna ztrátového činitele průchodky se v konečném důsledku projeví změnou fázového posunu postižené fáze vůči ostatním dvěma fázím.

Při měření fázového napětí pomocí snímacích průchodkových prvků a správném souměrném provozu transformátoru jsou fázové posuny mezi fázovými napětími vždy  $120^\circ$ . Při změně ztrátového činitele dojde k „rozvážení“ soustavy měřících obvodů, která se projeví změnou fázového posunu typicky u dvou signálů, ovšem v opačném smyslu. Jeden fázový posun zůstane  $120^\circ$ , u jednoho fázového posunu dojde k nárůstu a u jednoho fázového posunu dojde k poklesu. Tímto typickým souměrným projevem je jasně rozlišená změna ztrátového činitele průchodky od závad měření nebo drobných nesouměrných projevů v elektrizační soustavě.

Aby nedošlo k falešné signalizaci od drobných změn fázových posunů, byly navrženy mezní hodnoty ověřeny analýzou historických záznamů dat. Z provedené analýzy vyplynuly následující limitní hodnoty:

Tab. 10-12 Limity relativních změn ztrátového činitele průchodek blokových transformátorů

Dolní alarmová mez	Dolní varovná mez	Provozní oblast	Horní varovná mez	Horní alarmová mez
$\leq 119,00^\circ$	$\leq 119,50^\circ$		$\geq 120,50^\circ$	$\geq 121,00^\circ$

## 10.7 Kritéria a limity relativních změn kapacit průchodek blokových transformátorů

Pro stanovení kritérií relativních změn kapacit průchodek blokových transformátorů neexistuje opět přesný normativní dokument, ani metodika. Všechny dokumenty pro měření kapacity průchodek transformátorů jsou totiž vztaženy na běžnější metody off-line diagnostiky realizované na odstaveném transformátoru. Na provozovaném transformátoru nelze tyto metody použít, proto pro potřeby on-line diagnostiky se sledují změny elektrických parametrů, které se změny při rozvoji případné závady.

Typickou změnou kapacity průchodky je průraz polepu kondenzátorové průchodky. Tato závada se projeví malou změnou kapacity průchodky. Využívá-li se kondenzátorová průchodka jako kapacitní dělič pro měření fázových napětí pomocí snímacích průchodkových prvků, je možné tuto změnu identifikovat pomocí poměru efektivních hodnot napětí sousedních fází téže napěťové úrovně.

Při správném souměrném provozu transformátoru jsou poměry efektivních hodnot fázových napětí sousedních fází vždy rovny 1. Při změně kapacity průchodky dojde k „rozvážení“ soustavy, která se projeví změnou poměrů fázových napětí typicky u dvou signálů, ovšem v opačném smyslu. Jeden poměr napětí zůstane 1, u jednoho poměru napětí dojde k nárůstu a u jednoho poměru napětí dojde k poklesu. Tímto typickým souměrným projevem dvou poměrů je jasně rozlišená relativní změna kapacity průchodky od závad měření nebo drobných nesouměrných projevů v elektrizační soustavě.

Aby nedošlo k falešné signalizaci od drobných odchylek napětí, byly navrženy mezní hodnoty ověřeny analýzou historických záznamů dat. Z provedené analýzy vyplynuly následující limitní hodnoty:

Tab. 10-13 Limity relativních změn kapacit průchodek blokových transformátorů

Dolní alarmová mez	Dolní varovná mez	Provozní oblast	Horní varovná mez	Horní alarmová mez
$\leq 0,93$	$\leq 0,97$		$\geq 1,03$	$\geq 1,07$

## 11 ZÁVĚR

Diplomová práce se zabývá návrhem vizualizace a on-line kontroly důležitých parametrů blokových a odbočkových transformátorů na Jaderné elektrárně Dukovany. Před začátkem zpracování návrhu mi byl poskytnut odborný výklad pracovníky firmy TES, s.r.o. přímo v EDU s možností nahlédnutí do všech přístupných částí systému MST. Během zpracování práce jsem se účastnil konzultací a některých připomínkových řízení.

Pro tvorbu úvodní popisné části a splnění požadavků zadání je v diplomové práci uveden popis blokových a odbočkových transformátorů, které jsou součástí systému vyvedení výkonu bloků Jaderné elektrárny Dukovany. Pro účely monitorování provozních stavů a přechodových dějů byl na výkonových transformátorech při modernizaci instalován monitorovací systém transformátorů MST, který využívá infrastrukturu již dříve provozovaného monitorovacího systému elektro MSE. Popis a instrumentace systému MST včetně stručného popisu struktury měřicích řetězců je rovněž součástí úvodní části diplomové práce. Popisná část diplomové práce je zpracovaná v kapitolách 3. – 7.

Po instalaci systému MST byly velké objemy dat a informací zpracovávány pouze formou rozsáhlých tabulek, ve kterých bylo dohledávání aktuálních dat velmi obtížné. Další možností zpracování záznamů byl už jen export dat do jiné grafické analytické aplikace. Přechodem na jinou databázovou strukturu MSE v roce 2018 bylo umožněno zpracovávat data formou vizualizace aktivních obrazovek přístupných prostřednictvím webového rozhraní.

Hlavní částí práce je praktický návrh a konečně zpracování aktivních obrazovek MST, kde hlavními kritérii byla technická správnost, vysoká přehlednost, intuitivní ovládání a vysoce efektivní zobrazování údajů na optimalizovaném počtu schémat. Protože u navrhovaných obrazovek byl požadavek na jejich široké užívání personálem ČEZ EDU, byl návrh (rozpracován v kapitole 8.) podroben vícekolovému připomínkovému řízení a postupně byly zapracovávány relevantní připomínky. Vzhledem k velkému počtu zpracovávaných obrazovek, nejen tedy z MST, vyvstal požadavek na standardizaci jednotlivých prvků obrazovek a systém tvorby schémat. Jedním z dílčích přínosů této diplomové práce je tedy podíl na tvorbě metodiky obrazovek WEB MSE včetně návrhu nových zobrazovacích prvků a zavedení nových principů zobrazování parametrů.

Po ukončení připomínkového řízení a zpracování optimalizovaného návrhu obrazovek, včetně vyjasnění zobrazování původních i nově navržených diagnostických nástrojů bylo přistoupeno k zavedení všech dílčích částí nově navržených obrazovek do webového rozhraní. Optimalizovaný návrh aktivních obrazovek monitorovacího systému výkonových olejových transformátorů je popsán v kapitole 9.

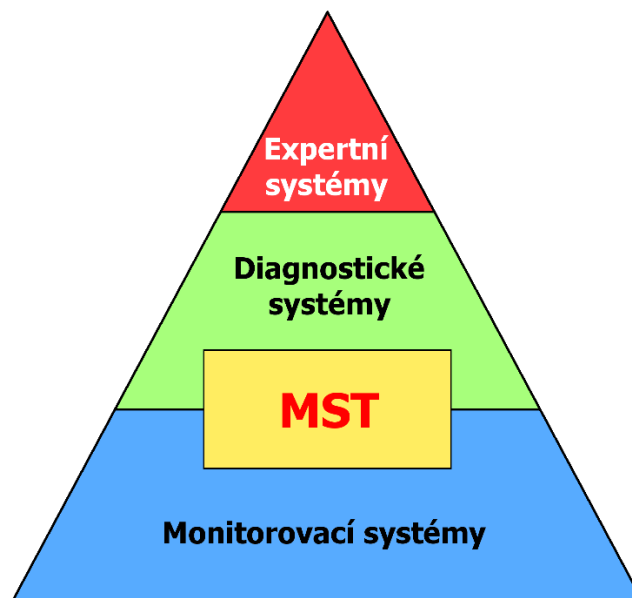
Další důležitou částí diplomové práce byl technicko – analytický návrh limit vybraných monitorovaných signálů. Účelem limitačního systému je doplnění vizualizace monitorovacího systému o diagnostický nástroj automatického strážního charakteru, který bude působit při zhoršení vybraných parametrů v předstihu před působením technologických omezovačů nebo technologických a elektrických ochranných. Cílem limitačního systému je nastavit kritéria a limity tak, aby systém plnil funkci včasného varování s maximálním omezením falešného hlášení. Výchozím materiálem pro zpracování návrhu limit parametrů byly normy, provozní předpisy, metodiky a v některých případech i průvodní technická dokumentace. Při zpracování se ukázalo, že všechny materiály jsou navrženy a zaměřeny pro vyhodnocení metod off-line diagnostiky olejových transformátorů. Proto nedílnou součástí návrhu limitních hodnot byla jeho optimalizace

analyzováním historických záznamů dat on-line monitorovacího systému transformátorů. Konečný návrh limitních hodnot vybraného rozsahu monitorovaných signálů je uveden v kapitole 10.

Zpracovaná diplomová práce respektovala požadavky zadání a jejich splnění je doloženo praktickou realizací aktivních obrazovek monitorovaných výkonových olejových transformátorů. Přínosem diplomové práce kromě samotných optimalizovaných aktivních obrazovek a návrhu limitních hodnot vybraných signálů je:

- Podíl na tvorbě metodiky obrazovek WEB MSE včetně návrhu nových zobrazovacích prvků
- Zavedení nových principů zobrazování technických parametrů zařízení
- Nové provedení zobrazování diagnostických porovnávacích tabulkových sestav elektrických a technologických parametrů
- Začlenění zobrazování diagnostických grafických sestav analogových signálů pomocí aktivních odkazů
- Nový návrh zobrazování grafických sestav dvouhodnotových signálů aplikovaný na záznam činnosti přepínače odboček transformátorů vlastní spotřeby
- Návrh limitních hodnot vybraných signálů s principem včasné signalizace před působením technologických omezovačů nebo technologických a elektrických ochran z důvodu získání časového prostoru pro efektivní servisní zásah

Z uvedeného vyplývá, že realizací aktivních obrazovek byl původní monitorovací systém doplněn o diagnostické nástroje, které podstatně rozšiřují funkcionalitu webového prostředí a zvyšují využitelnost aplikace provozním personálem ČEZ EDU. Důsledkem je zcela nové začlenění systému MST uvedené na následujícím obrázku.



Obr. 11-1 Nové začlenění systému MST

Realizací aktivních obrazovek systému MST byl vytvořen nový prostor pro aplikace rozšiřující využití naměřených dat pro diagnostické a analytické informace pro aplikovanou preventivní údržbu.

---

Jedním z nových směrů využití webového rozhraní je návrh databázového zpracování záznamů off-line diagnostiky a porovnávání se záznamy on-line monitoringu. Toto jsou zcela nové přístupy diagnostiky výkonových transformátorů doporučené i komitétem A2 CIGRE.

Dalším novým směrem využívání webového rozhraní je možnost zdokonalit jednoduchý limitační systém rozpracováním systému včasného varování EWS využíváním vzájemné korelace různých technologických a elektrických parametrů. Takovým příkladem je model energetické bilance blokových transformátorů, který na základě korelace různých technologických a elektrických signálů porovnává vypočítanou předpokládanou se skutečnou změřenou teplotou oleje a tím hlídá efektivitu chladicího systému. Správné nastavení signalizačních úrovní porovnání s výpočtovým modulem umožní naplánovat včasný servisní zásah, před vznikem rychlého rozvoje poruchové události. Tím se systém MST může stát velmi efektivním nástrojem prediktivní údržby olejových výkonových transformátorů.

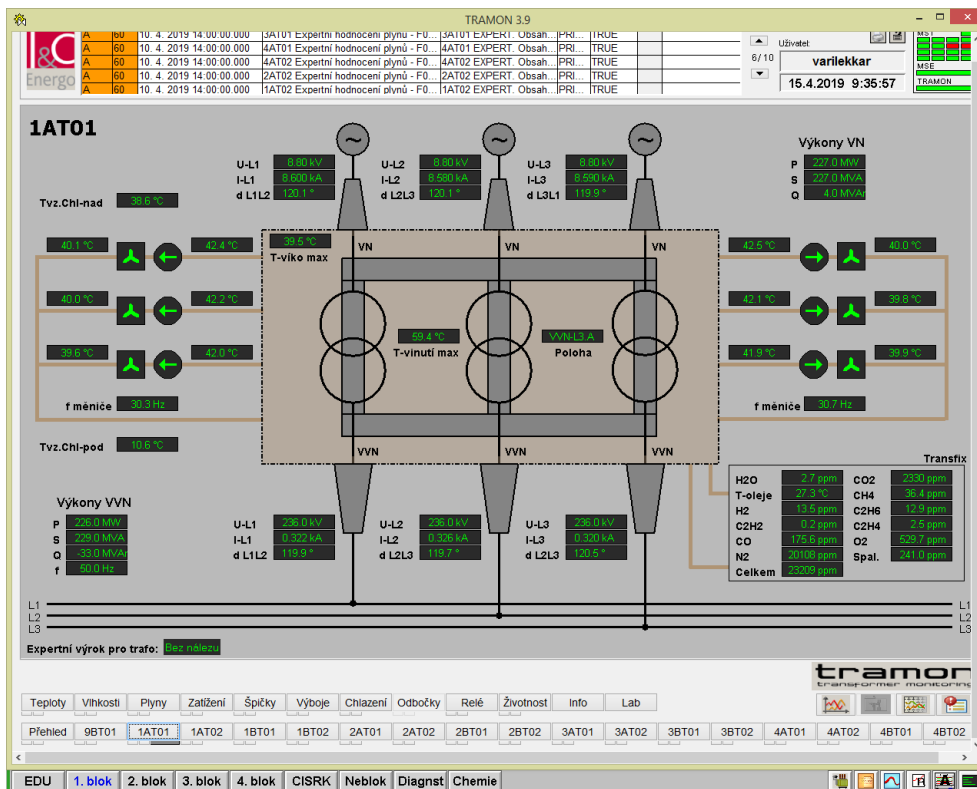
## POUŽITÁ LITERATURA

- [1] *Jaderná elektrárna Dukovany*. ČEZ, a. s. [online]. [cit. 2019-12-06]. Dostupné z: <https://www.cez.cz/cs/o-cez/vyrobní-zdroje/jaderna-energetika/jaderna-energetika-v-ceske-republice/edu>
- [2] *Jaderná energetika v České republice*. ČEZ, a. s. [online]. [cit. 2019-12-06]. Dostupné z: <https://www.cez.cz/cs/o-cez/vyrobní-zdroje/jaderna-energetika/jaderna-energetika-v-ceske-republice>
- [3] *Elektrická část JE VVER 440: 1. část*. Jaderná elektrárna Dukovany, 2019.
- [4] DIVIŠ, Jaroslav. *Venkovní olejové transformátory: Provozní předpis P096p*. Revize č. 5. Jaderná elektrárna Dukovany, 2019.
- [5] KASÁRNÍK, Milan. *Fotografie MST EDU: Jaderná elektrárna Dukovany*, 2019.
- [6] JAŠA, Radomil. *Monitorovací systém elektro: TES-Z-19-315*. TES, s.r.o., 2019.
- [7] KASÁRNÍK, Milan, Luděk KAMENÍK a Radomil JAŠA. *Vyhodnocení ročního provozu olejových výkonových transformátorů na EDU - 2018: TES-Z-18-255*. TES, s.r.o., 2019.
- [8] *Základy metod řízení životnosti výkonových transformátorů: CIGRE WG A2.18*. 2003.
- [9] KULVÁNEK, Martin. *Modul pro přizpůsobení analogových signálů PAM5-H: ZT08065*. TES, s.r.o., 2008.
- [10] ŠÁLEK, Milan. *Kontrola obvodů snímacích průchodkových prvků průchodek 400 kV: TES-Z-09-125*. TES, s.r.o., 2009.
- [11] KULVÁNEK, Martin. *MOSAD<sup>®</sup>-MST01 Zařízení pro zpracování signálu z diagnostických výstupů průchodek VN a VVN: ZT08066*. TES, s.r.o., 2008.
- [12] *Uživatelská příručka: T/Guard<sup>™</sup> Optovláknové systémy měření teploty Pro průmyslové aplikace a aplikace v transformátorech VVN*. Neoptix, Inc., 2008.
- [13] KLUG, Zdeněk. *Doplnění monitoringu teplot magnetického obvodu transformátorů: TES-Z-18-089*. TES, s.r.o., 2018.
- [14] KULVÁNEK, Martin, Ivo a Ivo BRHLÍK. *Návod na obsluhu, provoz, opravy a údržbu monitorovacího systému transformátorů MOSAD<sup>®</sup>-MST01: ZT08063*. TES, s.r.o., 2008.
- [15] KULVÁNEK, Martin, Michal DOBEŠ a Karel RADKOVSKÝ. *Měřicí ústředna MOSAD<sup>®</sup>-MST01 Popis ústředny: ZT08064*. TES, s.r.o., 2008.
- [16] *PNE 18 4311: Zásady jednotného grafického, písmenného a barevného kódování elektrických prvků a zařízení elektrizační soustavy*. 2. vydání. ÚJV Řež, a.s.; Divize Energoprojekt Praha, 2009.
- [17] KASÁRNÍK, Milan, Luděk KAMENÍK a Radomil JAŠA. *Vyhodnocení ročního provozu olejových výkonových transformátorů na EDU - 2017: TES-Z-17-080*. TES, s.r.o., 2018.
- [18] KASÁRNÍK, Milan, Luděk KAMENÍK a Radomil JAŠA. *Vyhodnocení ročního provozu olejových výkonových transformátorů na EDU - 2019: TES-Z-19-279*. TES, s.r.o., 2020.
- [19] NEČAS, Pavel. *Generátor 300 MVA: P200p*. ČEZ, a. s., 2015.
- [20] HAVRÁNEK, Martin, Josef BOBEK a Václav ULČ. *Vyvedení výkonu generátoru: P202p*. ČEZ, a. s., 2001.

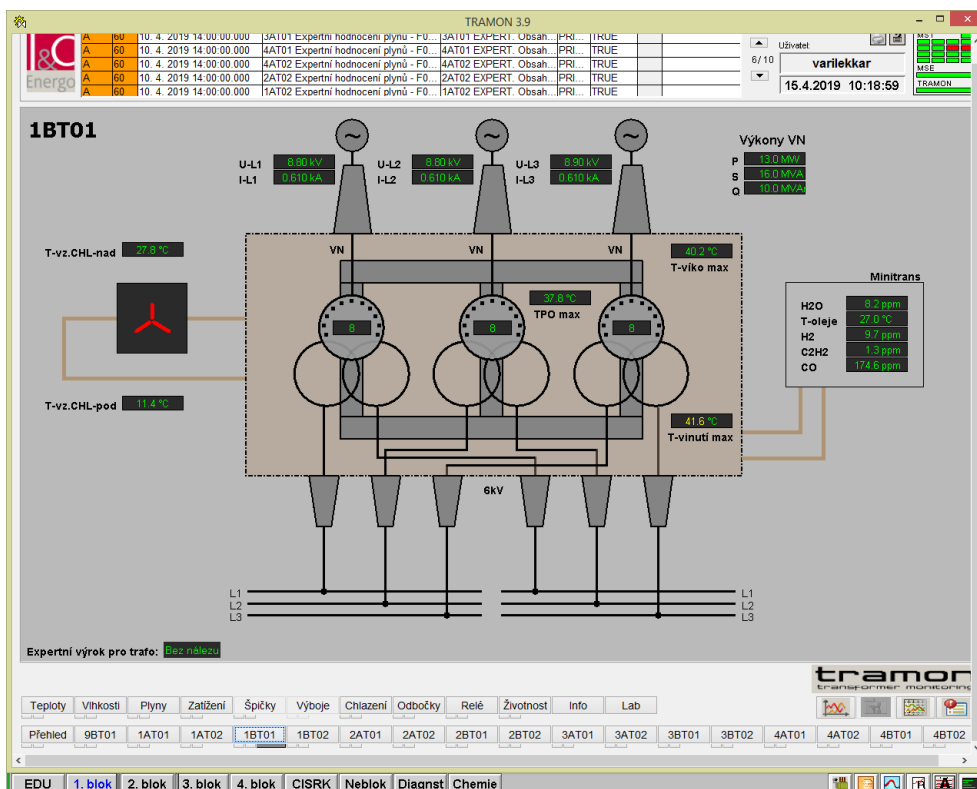
- [21] *Průvodní technická dokumentace H02: ZL5628 - Modernizace blokových transformátorů, technické popisy 2. část - Popisy 3AT01 a 3AT02.* ČRD ČEZ-EDU, č. svazku 2T07208, 2009.
- [22] *Průvodní technická dokumentace H02: ZL3709 - Technický popis transformátorů 60T189/122 3BT01.* ČRD ČEZ-EDU, č. svazku 2T05970, 2009.
- [23] *Kodex přenosové soustavy: část VIII., Standardy PS.* Revize 15. ČEPS, a.s., 2015. [cit. 2020-4-29]. Dostupné z: <https://www.ceps.cz/cs/kodex-ps>
- [24] *ČSN EN 60 038: Jm. U CENELEC.* 2012.
- [25] *ČSN EN 60 567: Olejem plněná elektrická zařízení - Odběr vzorků plynů a analýza volných a rozpuštěných plynů: Návod.* Ed. 3. 2011.
- [26] *ČSN EN 60 599: Elektrická zařízení v provozu plněná minerálním olejem - Návod pro interpretaci výsledků analýz rozpuštěných a volných plynů.* Ed. 2. 2016.
- [27] LIPUS, Jan. *Výkonové olejové transformátory JE - analýza plynů rozpuštěných v izolačním oleji: ČEZ\_ME\_1116r00.* ČEZ, a. s., 2019.
- [28] KASÁRNÍK, Milan. *Porovnání obsahu plynů ve výkonových olejových transformátorech EDU: TES-Z-19-329.* TES, s.r.o., 2019.
- [29] *ČSN IEC 60076-7: Výkonové transformátory - část 7: Směrnice pro zatěžování olejových výkonových transformátorů.* 2007.

# PŘÍLOHY

Příloha A – Příklady obrazovek Tramon pro blokový transformátor 1AT01 a pro odbočkový transformátor 1BT01



Obr. A-1 Hlavní obrazovka blokového transformátoru 1AT01



Obr. A-2 Hlavní obrazovka odbočkového transformátoru 1BT01