

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ
KATEDRA TECHNOLOGIÍ A MĚŘENÍ

DISERTAČNÍ PRÁCE

**Monitoring výkonových transformátorů
přenosové soustavy**

PLZEŇ, 2014

Ing. Jan Dončuk

Západočeská univerzita v Plzni
Fakulta elektrotechnická

DISERTAČNÍ PRÁCE

k získání akademického titulu doktor
v oboru

Elektrotechnika

Ing. Jan Dončuk

**Monitoring výkonových transformátorů
přenosové soustavy**

Školitel: prof. Ing. Václav Mentlík, CSc.

Datum státní doktorské zkoušky: 11. 7. 2011

Datum odevzdání práce: 20. 10. 2014

V Plzni, 2014

Prohlášení o duševním vlastnictví

Tímto předkládám k posouzení a obhajobě disertační práci na téma „Monitoring výkonových transformátorů přenosové soustavy“ zpracovanou během doktorského studia na Fakultě elektrotechnické Západočeské univerzity v Plzni pod vedením prof. Ing. Václava Mentlíka, CSc.

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

V Plzni, 20. 10. 2014

.....

Jan Dončuk

Poděkování

Na tomto místě bych rád upřímně poděkoval svému školiteli prof. Ing. Václavu Mentlíkovi, CSc. za podporu, systematické vedení a cenné rady během zpracování disertační práce.

Dále bych rád poděkoval kolegům z ČEPS, a.s., jmenovitě Ing. Jiřímu Velkovi a Ing. Františku Střískovi, za morální podporu při studiu, rady a zkušenosti týkající se monitoringu výkonových transformátorů. V neposlední řadě také kolegům z oddělení Elektrotechnologie KET FEL ZČU v Plzni a kolegům z oddělení Competence Center Monitoring Systems, Alstom Grid, Moenchengladbach, za inspirativní diskuse o problematice monitoringů výkonových transformátorů.

Zároveň velmi děkuji svojí rodině za velkou podporu a trpělivost po celou dobu mého studia.

Monitoring výkonových transformátorů přenosové soustavy

Monitoring transformátorů je perspektivní cestou k dosažení a zajištění informací o aktuálním stavu klíčových komponent transformátorů za provozu. Předložená disertační práce je zaměřena zejména na zlepšení spolehlivosti, věrohodnosti a využitelnosti informací poskytovaných monitorovacími systémy výkonových transformátorů přenosové soustavy.

V práci jsou popsány parametry vhodné ke sledování za účelem určení stavu jednotlivých podsystémů transformátoru. Dále je představena metodika analýzy a provedena samotná analýza generování hlášení z pohledu výskytu a překročení mezí monitorovaných veličin. V práci je podrobně diskutováno a stanoveno nastavení limitních hodnot hlášení jednotlivých veličin monitoringu pro typický transformátor instalovaný v přenosové soustavě dle skutečných podmínek provozu. Nedílnou součástí práce je i vytvořená expertní databáze znalostí a interpretací dat monitoringů vedoucí k užitečným informacím o aktuálním stavu důležitých komponent transformátoru. Dále je proveden návrh využívání výstupů z monitorovacích systémů k zajištění správných informací o stavu výkonových transformátorů přenosové soustavy pro podporu rozhodovacího procesu kompetentních pracovníků. Závěrem jsou představeny možné směry vývoje aktivit v oblasti monitoringů výkonových transformátorů.

Tato práce vznikla ve spolupráci s provozovatelem přenosové soustavy ČEPS, a.s. v rámci projektu „*Diagnostika a Life Cycle Management transformátorů*“, jehož je autor disertační práce jedním z hlavních řešitelů, a byla podpořena grantem Studentské grantové soutěže ZČU SGS 2012-026 „*Materiálové a technologické systémy v elektrotechnice*“.

Monitoring of Power Transmission Transformers

Monitoring of power transformers is a perspective way how to gather information about the actual condition of the power transformer critical components during operation. The submitted dissertation thesis is mainly focused on improvement of reliability, plausibility and utilization of information provided by monitoring systems installed on power transmission transformers.

Parameters for condition monitoring of power transformers are described in the first part of this work. Methodology for analysis of the message generation from the point of view of frequency of their occurrence based on exceeding the pre-set thresholds as well as the analysis itself are presented in the second part of the thesis. Detailed configuration of the monitored parameters thresholds in order to trigger particular messages for a typical power transformer installed in the transmission network and working in real operational condition is discussed and proposed. Important part of this thesis is the expert knowledge and interpretation database of transformer monitoring data resulted in useful information about actual condition of the power transformer critical components. Furthermore, the concept of the monitoring outputs utilization is proposed, that can provide the qualified person with correct information about the power transformer's condition in time as a support for his decision making. Finally, the potential trends of the power transformer monitoring further development are mentioned.

This thesis was carried out in co-operation with the Czech Transmission System Operator ČEPS, a. s. within the project „*Diagnostics and Lifecycle Management of Transformers*“. The author of this thesis is one of the main researchers of this project. The thesis was supported by the Student Grant Agency of the University of West Bohemia in Pilsen, grant No. SGS-2012-026 „*Material and Technology Systems in Electrical Engineering*“.

Monitoring der Transformatoren im Energieübertragungsnetz

Das Monitoring der Transformatoren ist ein perspektiver Weg zur Besorgung der notwendigen Informationen über den aktuellen Zustand der Schlüsselkomponenten der Transformatoren im Betrieb (unter Spannung). Die vorliegende These orientiert sich besonders an Erhöhung der Zuverlässigkeit, Plausibilität und Benutzung der durch Monitorsysteme der Energieübertragungstransformatoren gewonnenen Informationen.

Die These beschreibt die zur Beurteilung des Zustandes einzelner Transformatorensysteme notwendigen Parameter. Weiter wird in der These eine Methodologie der Analyse vorgestellt und die Analyse der Meldungsausgabe von der Sicht der Überschreitung der Grenzwerte der überwachten Größen wird beschrieben. Die Arbeit diskutiert auch die Einstellung der Meldungsgrenzwerte einzelner Größen für einen typischen Transformator des Übertragungsnetzes, der sich in den realen Betriebsbedingungen befindet. Zum Teil der These wurde auch die Expertendatenbank der Kenntnisse und der Auswertungen der gemessenen Daten genommen. Diese Auswertung bietet nützliche Informationen über den realen Zustand der Transformatoren und deren Komponenten. Weiter ist im Rahmen der These ein Entwurf für Benutzung der Monitorausgänge zur Besorgung richtiger Informationen über Zustand der Leistungstransformatoren des Übertragungsnetzes als Unterstützung der Entscheidungsprozesse der kompetenten Personen entstanden. Zum Schluss der These werden mögliche weitere Richtungen der Weiterentwicklung der Monitorsysteme für Leistungstransformatoren vorgestellt.

Diese These ist in Zusammenarbeit mit dem Betreiber des tschechischen Energieübertragungsnetzes ČEPS, a. s. im Rahmen des Projektes „*Diagnostik und Lebenszyklusmanagement der Transformatoren*“ entstanden. Der Autor der These ist einer der Hauptforscher des Projektes und seine Arbeit ist durch einen Grant des Studentenwettbewerbes der Westböhmisches Universität SGS 2012-026 „*Material und Technologie in Elektrotechnik*“ unterstützt worden.

Obsah

Seznam použitých zkratek	10
Seznam použitých symbolů	11
Úvod	13
1 Současný stav problematiky	14
1.1 Spolehlivostní aspekty výkonových transformátorů.....	15
1.2 Life cycle management transformátorů	21
1.3 Monitorovací systémy výkonových transformátorů.....	28
2 Cíle disertační práce	32
3 Monitoring transformátorů přenosové soustavy	34
3.1 Koncepce nasazování monitorovacích systémů na transformátory přenosové soustavy	34
3.2 Architektura monitorovacích systémů transformátorů PS.....	35
3.3 Měřené parametry využívané ke sledování aktuálního stavu jednotlivých komponentů transformátorů přenosové soustavy	39
4 Analýza výstupů monitoringu transformátorů přenosové soustavy	50
4.1 Metodika rozboru generování hlášení monitorovacími systémy nasazenými na transformátorech přenosové soustavy	50
4.2 Rozbor generovaných hlášení monitorovacími systémy 2. generace (MST2) nasazených na transformátorech přenosové soustavy	53
4.3 Rozbor generovaných hlášení monitorovacími systémy 3. generace (MST3) nasazených na transformátorech přenosové soustavy	62
4.4 Porovnání monitorovacích systémů 2 generací (MST2, MST3) nasazených na transformátorech přenosové soustavy z hlediska rozboru generovaných hlášení	72
5 Expertní databáze znalostí z monitoringů transformátorů přenosové soustavy	74
5.1 Nesprávný scaling sekundárního napětí	74
5.2 Nesprávný scaling teploty oleje přepínače odboček	75
5.3 Nefunkčnost senzoru obsahu plynu v Buchholzově relé	76
5.4 Algoritmus generování hlášení o stavu chladiče	77
5.5 Algoritmus generování hlášení o stavu přepínače odboček.....	78
5.6 Nedostatečné spojení vazebního členu a teplotního senzoru	80
5.7 Algoritmus generování hlášení o stavu průchodek.....	81

5.8	Shrnutí typických příčin chybových událostí a špatných interpretací dat monitorovacích systémů transformátorů PS	85
6	Definice nastavení mezí pro typický výkonový transformátor přenosové soustavy.....	87
7	Návrh využití výstupů monitorovacích systémů nasazených na výkonových transformátorech přenosové soustavy	100
8	Přínosy disertační práce a výstupy pro praxi	110
9	Doporučení pro další postup v oblasti monitorovacích systémů výkonových transformátorů	112
10	Závěr	114
	Seznam použité literatury	116
	Seznam příloh.....	119
	Publikační činnost autora.....	120

Seznam použitých zkratk

BCD	Binary Code Decimal (binárně dekadický kód)
BIN_0	Překročena binární hodnota
BIN_0_QUIT	Kvitace hlášení binární hodnoty
CBM	Condition Based Maintenance (údržba prováděná dle aktuálního stavu)
CIGRE	Conseil International des Grands Réseaux Électriques (mezinárodní rada velkých elektrizačních soustav)
CMT	Centrální Monitoring Transformátorů
ČEPS	Česká Elektroenergetická Přenosová Soustava
DB	Databáze
DC	Direct Current (stejnoseměrný proud)
DGA	Dissolved Gas-in-oil Analysis (analýza plynů rozpuštěných v oleji)
EMC	Electromagnetic Compatibility (elektromagnetická kompatibilita)
FAT	Factory Acceptance Tests (přejímací testy)
GE	General Electric
HI0_SET	Překročena nastavená hodnota varování
HI1_SET	Překročena nastavená hodnota alarmu
IEC	International Electrotechnical Commission (mezinárodní elektrotechnická komise)
IED	Intelligent Electronic Device (inteligentní elektronické zařízení)
LAN	Local Area Network (lokální síť)
MR	Maschinenfabrik Reinhausen
MST	Monitorovací Systém Transformátorů
MST2	Monitorovací Systém Transformátorů 2. generace
MST3	Monitorovací Systém Transformátorů 3. generace
NN	Nižší Napětí (low voltage)
NORMAL	Normální činnost
NTC	Negative Temperature Coefficient (záporný teplotní koeficient)
ODAF	Oil Directed Air Forced (řízený oběh oleje, nucený oběh vzduchu)
OFAF	Oil Forced Air Forced (nucený oběh oleje, nucený oběh vzduchu)
OLTC	On-Load Tap Changer (přepínač odboček pod zatížením)
ONAN	Oil Natural Air Natural (přirozený oběh oleje, přirozený oběh vzduchu)
PC	Počítač

PC TEK	Průmyslový Počítač TEK
PPS	Průměrný Polymerační Stupeň
PS	Přenosová Soustava
PST	Phase Shifting Transformer (transformátor s řízeným posuvem fáze)
PTN	Přístrojový Transformátor Napětí
PTP	Přístrojový Transformátor Proudů
RANGE	Překročen nastavený rozsah hodnot
RTD	Resistor Temperature Detector (odporově-teplotní detektor)
RTU	Remote Terminal Unit (vzdáleně přístupná jednotka)
SFRA	Sweep Frequency Response Analysis (impulsní frekvenční analýza odezvy)
TBM	Time Based Maintenance (časově prováděná údržba)
TGDC	Total Dissolved Combustible Gasses (celkové rozpuštěné hořlavé plyny)
TN	Terciární Napětí
TR2_X	X-tý Transformátor osazený MST2
TR3_X	X-tý Transformátor osazený MST3
UPS	Uninterruptable Power Supply (nepřerušitelný zdroj napájení)
VN	Vyšší Napětí (high voltage)
VYP	Vypnuto
ZAP	Zapnuto
ZVN	Zvlášť Vysoké Napětí

Seznam použitých symbolů

a_i	Poloměr vnitřního polepu průchodky	[m]
b_i	Poloměr vnějšího polepu průchodky	[m]
C_i	Kapacita mezi sousedícími polepy průchodky	[pF]
C_1	Kapacita C_1 průchodky	[pF]
C_2	Kapacita C_2 průchodky	[pF]
C_M	Kapacita C_M čidla napětí	[pF]
ϵ	Permitivita izolace	[F/m]
I_c	Kapacitní proud	[A]
l_i	Délka polepu průchodky	[m]

n	Počet polepů průchodky	[-]
U	Jmenovité fázové napětí transformátoru	[kV]
U_i	Napětí mezi sousedícími polepy průchodky	[V]
U_s	Jmenovité sdružené napětí transformátoru	[kV]
ω	Úhlová frekvence	[rad/s]

Úvod

V době stále se zvyšujících nároků na zajištění bezpečnosti a spolehlivosti dodávky elektrické energie je nesporné, že výkonové transformátory přenosové soustavy patří mezi kritickou infrastrukturu České republiky, a proto je kladen velký akcent na udržení jejich dlouhodobé provozuschopnosti. Ta je zajištěna správnou aplikací diagnostických metod a využíváním monitoringu k určení aktuálního stavu transformátoru, a následným doporučením k provedení patřičných údržbářských zásahů. Cílem je dosažení vysoké úrovně provozuschopnosti transformátoru při minimálním riziku poruchy. Monitorinky patří mezi velmi progresivní a perspektivní systémy, patřící do projektů realizace „Smart Grid“ sítí, a proto je nutné tuto oblast neustále prohlubovat a rozšiřovat její možnosti.

Z výše uvedených důvodů je velmi žádoucí se věnovat problematice monitorovacích systémů nasazených na transformátorech přenosové soustavy. Předkládaná práce je zaměřena zejména na rozbor současného stavu vědění v oblasti monitorovacích systémů transformátorů a problematiku generování hlášení v případě překročení nastavených mezí jednotlivých veličin. Další záležitosti, které jsou v této práci řešeny, jsou omezení nadbytečných hlášení a popis expertní databáze znalostí a interpretací dat, jež jsou následně transformovány v užitečné informace o aktuálním stavu důležitých komponent transformátoru. Součástí předkládané práce je i návrh využívání výstupů z monitoringů tak, aby byly plně a efektivně využity nemalé prostředky do nich investované i do celé technické infrastruktury. Výsledkem tohoto návrhu by měla být skutečnost, že odpovědní pracovníci dostávají správné informace o stavu transformátoru včas, a na jejichž základě mohou provádět rozhodnutí o dalších činnostech týkajících se transformátoru.

Očekávaným přínosem této práce pak bude zlepšení věrohodnosti, výpovědischopnosti a využitelnosti dat a informací poskytovaných monitorovacími systémy výkonových transformátorů přenosové soustavy.

1 Současný stav problematiky

Ve světě dlouhodobě roste spotřeba elektrické energie a celá společnost je na ní čím dál více závislá. V případě nedostatku elektrické energie začíná kolabovat doprava, nemocnice, letiště a další veřejné budovy, což má nedostižný dopad na psychicko-sociální situaci lidské společnosti. Bez elektrické energie si dnes již svět nedokážeme ani představit. Zároveň je proces výroby, přenosu, distribuce a spotřeby elektrické energie značně rozsáhlý a v současné době v něm dochází k velkým výzvám a změnám, se kterými je nutné se vyrovnat. Jednou z hlavních výzev v sektoru elektroenergetiky je liberalizace trhu s elektřinou, s cílem volného obchodování na burze s elektřinou, jakožto další komoditou. S tímto krokem souvisí propojení jednotlivých elektrizačních soustav států Evropské unie za účelem spolupráce při přenosu elektrické energie např. při řešení problémů s jejím nedostatkem či nadbytkem. Velice podstatná výzva byla iniciována katastrofou jaderné elektrárny ve Fukušimě. Po ní dochází ke změně výrobního energetického mixu některých států Evropy, kdy jsou odstavovány v základním zatížení pracující jaderné elektrárny a je instalováno velké množství intermitentních obnovitelných zdrojů, zejména větrných a solárních elektráren. Další neméně důležitou oblastí, která ovlivňuje oblast elektroenergetiky, je realizace projektů "Smart Grid", kdy je instalováno velké množství inteligentních elektronických zařízení, ať už jak k zajištění spolehlivosti přenosu a transformace elektrické energie, tak i k řízení spotřeby na straně spotřebitelů. Všechny tyto změny výrazně ovlivňují jednotlivé prvky v elektrizační soustavě.

K zajištění nepřetržité, spolehlivé a bezpečné dodávky elektrické energie je nutné ji přenést od výrobních bloků až ke koncovým uživatelům. Z důvodu omezení Jouleových ztrát je elektrická energie transformována pomocí blokového transformátoru na velmi vysoké napětí (v ČR nejčastěji 400 nebo 220 kV) a přenášena na velké vzdálenosti po vysokonapěťových vedeních přenosové soustavy. V elektrických stanicích přenosové soustavy je část elektrické energie dále rozváděna do vzdálenějších míst spotřeby, a část je transformována na hladiny nižšího elektrického napětí do distribuční soustavy. Ta pak zajišťuje její distribuci a rozvod až ke koncovým zákazníkům.

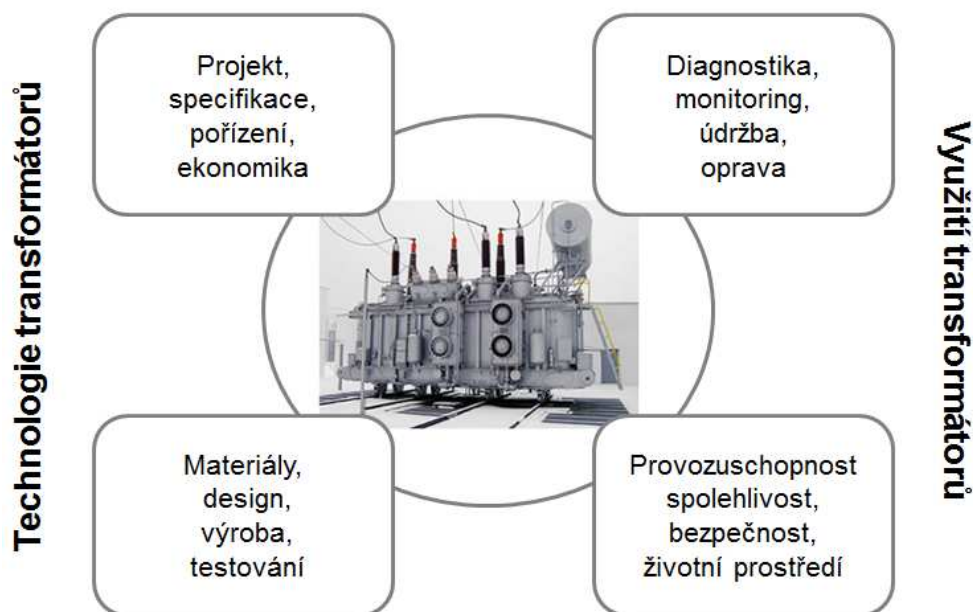
Je nesporné, že výkonové transformátory přenosové soustavy patří, na základě jejich důležitosti, mezi kritické prvky infrastruktury každého státu. Jde

o netočivé elektrické stroje, které transformují elektrickou energii na hladinu nižšího napětí (při zachování frekvence) do distribuční soustavy. Většina poruch transformátorů má značný dopad na bezpečnost lidí pohybujících se v blízkosti stroje. Dále pak na životní prostředí, kdy dochází ke kontaminaci půdy v okolí stroje olejem, a do ovzduší unikají škodliviny vzniklé při požáru transformátoru. Poruchy stroje mají také nežádoucí dopady na samotnou přenosovou elektroenergetickou soustavu, která musí být provozována za plnění základního spolehlivostního kritéria „N-1“¹, tedy s nutností částečného zálohování systémů. Značného finančního objemu mohou pak být ekonomické ztráty, nejenom z důvodu nedodávky elektrické energie, za níž dochází k finanční penalizaci, ale i z důvodu následné drahé obnovy místa stání a pořízení nového stroje. Z hlediska pořízení a následného provozu je transformátor nejnákladnějším prvkem přenosové soustavy. Současně je jeho dodací lhůta dlouhá a blíží se až jednomu roku od poptání. Očekávaná technická životnost a s tím spojené i efektivní ekonomické využití investice se nejčastěji pohybuje mezi 30 až 40 lety, se snahou ji ještě prodloužit, při udržení minimálního rizika a vysokého stupně spolehlivosti a bezpečnosti [1]. Za účelem analýzy nutnosti monitoringu transformátoru jsou níže rozebrány jeho spolehlivostní aspekty, životní cyklus a aktuální komerčně dostupné monitorovací systémy transformátorů.

1.1 Spolehlivostní aspekty výkonových transformátorů

V průběhu technického života transformátoru dochází k vzájemné interakci jednotlivých degradačních, provozních a okolních podmínek s klíčovými podsystémy transformátoru. To má za následek jejich zvýšené namáhání, často ústící v deterioraci jednotlivých celků a vedoucí k následnému rozvoji dějů končících poruchou a ztrátou provozuschopnosti stroje. Na obrázku 1 je vidět celý životní cyklus a procesy, které mají vliv na spolehlivost transformátoru [2], [3].

¹ Kritérium „N-1“ – Schopnost elektrizační soustavy udržet dovozené parametry chodu i po výpadku libovolného prvku (např. vedení, transformátoru, bloku apod.), přičemž může dojít ke krátkodobému lokálnímu omezení spotřeby. Zdroj: Kodex Přenosové soustavy ČR, ČEPS, a.s.



Obr. 1: Životní cyklus transformátorů [3]

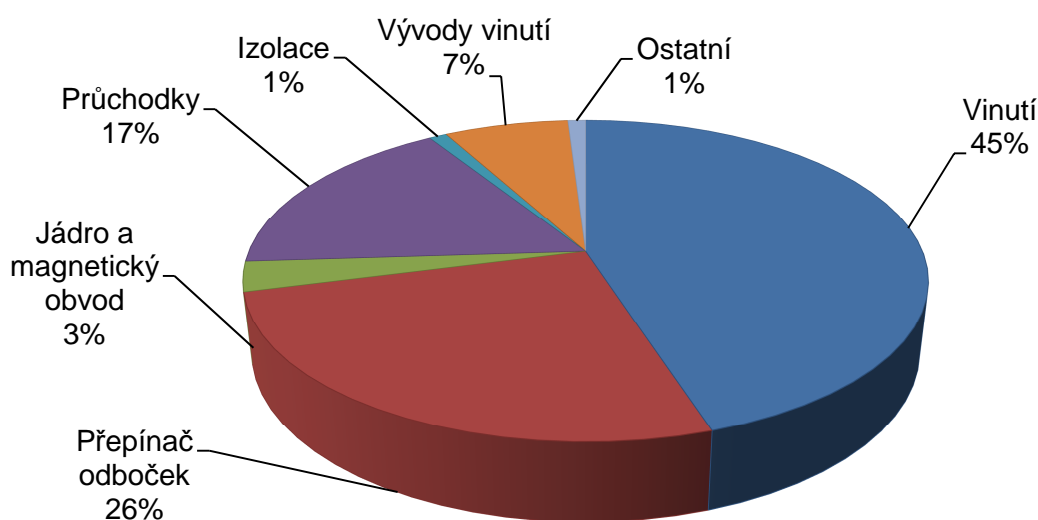
Je zřejmé, že poruchy transformátorů mají velmi negativní dopad na lidskou společnost. Jeden ze způsobů, jak minimalizovat pravděpodobnost poruchy, je analýza vzniklých poruch, porozumění důvodů jejich výskytu a tím zajištění důležitých informací zpětné vazby pro výrobce a provozovatele transformátorů. Z tohoto důvodu byla v roce 2000 ustanovena poradní skupina CIGRE studijní komise A2 "Transformátory" pro oblast spolehlivosti transformátorů, jejíž výsledky a doporučení jsou prezentovány v [4]. V návaznosti na tato doporučení byla následně v roce 2008 vytvořena pracovní skupina A2.37 "Transformer Reliability Survey". Tato skupina pod vedením profesora Tenbohlena (Univerzita Stuttgart) má za úkol provést spolehlivostní analýzu transformátorů z rozboru poruch na základě jejich lokalizace, příčiny, druhu, následků či akce, která byla následně provedena. Částečné výsledky této skupiny byly již prezentovány na několika konferencích, např. [5], [6] a [7]. Pro správnou interpretaci dat, která byla posbírána od provozovatelů výkonových transformátorů, bylo třeba je rozdělit na síťové (snižující = step down, pracující v přenosové a distribuční soustavě) a blokové (zvyšující = step up, pracující na výstupu generátoru elektrárny) z důvodu odlišnosti jejich provozu a konstrukce. Další rozdělení je na základě velikosti napěťových hladin pod a nad 100 kV, tedy na transformátory pracující v nebo do distribuční či přenosové soustavy. Jelikož je tato práce zaměřena zejména na transformátory přenosové soustavy, budou se některé rozborů a výsledky týkat výhradně těchto transformátorů. Celkem byla získána data

od 48 uživatelů z 16 států celého světa. V tabulce 1 je vidět poruchovost jednotlivých síťových a blokových transformátorů v závislosti na velikosti napětí [5].

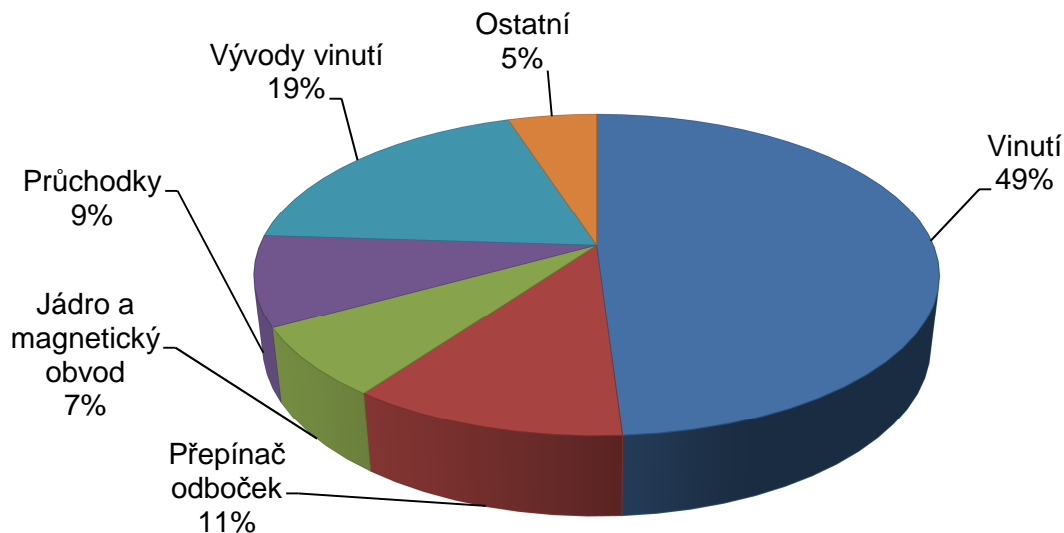
Tab. 1: Poruchovost síťových a blokových transformátorů dle velikosti napětí [5]

Informace o populaci a poruchách	Síťové			Blokové		
	< 100 kV	> 100 kV	Celkem	< 100 kV	> 100 kV	Celkem
Poruchy	145	444	589	0	96	96
Transformátory x roky	15077	118443	135491	143	20552	20695
Poruchovost [%porucha/ (transformátor.rok)]	0,96	0,37	0,43	0,00	0,47	0,46

Z výsledků je zřejmé, že transformátory jsou velice spolehlivá zařízení, protože se jejich celková poruchovost pohybuje okolo 0,5 %. Na základě předpokladu, že blokové transformátory jsou více zatížené, velmi často až na jmenovitý výkon, oproti síťovým transformátorům, tak z tabulky 1 také vyplývá, že jejich doba provozu před poruchou (technická životnost je odhadována na 25 let) je poměrně kratší než u síťových. Bohužel však z prozatím uveřejněných výsledků analýzy nelze určit dobu provozu před poruchou a tím definovat poruchovost v průběhu technického života transformátoru. Součástí [5] je i rozbor všech poruch síťových a blokových transformátorů z hlediska lokalizace poruchy, což je vidět na obrázcích 2 a 3.



Obr. 2: Lokalizace poruch síťových transformátorů - zdroj [5]



Obr. 3: Lokalizace poruch blokových transformátorů - zdroj [5]

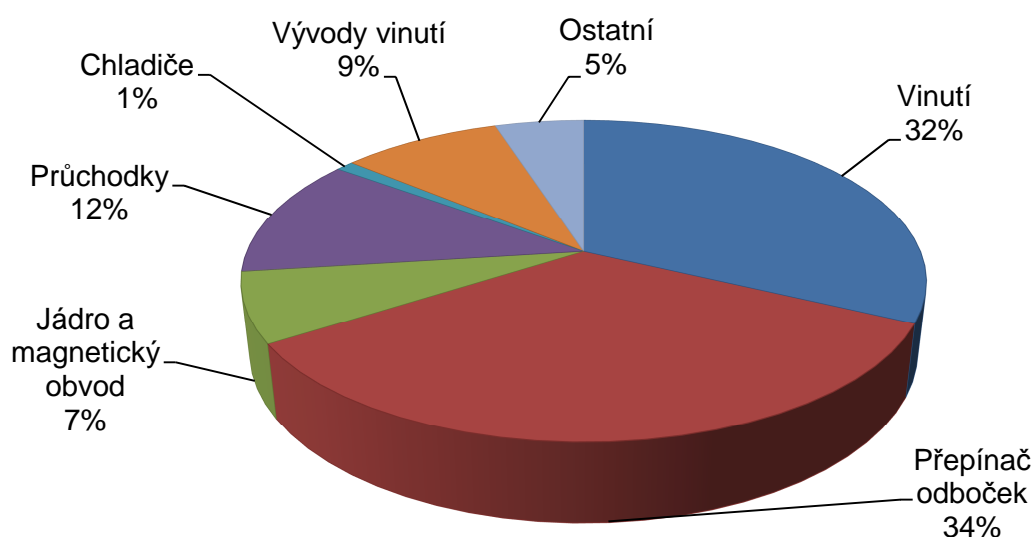
Z výše uvedeného obrázku 2 je zřejmé, že nejvíce poruch síťových transformátorů souvisí s vinutím, přepínačem odboček a s průchodkami. Tyto tři komponenty jsou u síťových transformátorů zvláště kritické, protože jsou dohromady zodpovědné za téměř 90 % všech poruch. V případě blokových transformátorů jsou nejkritičtějšími prvky vinutí a jejich vývody. Na přibližně stejné úrovni jsou průchodky, přepínač odboček a jádro. Detailní analýza a interpretace výsledků bude uvedena v technické brožuře A2.37 "Transformer Reliability Survey", jejíž publikace se očekává koncem roku 2014 po kompletaci všech předpokládaných výstupů pracovní skupiny [5].

V publikaci [6] jsou uveřejněny kompletní výsledky vybraných členů zmíněné pracovní skupiny A2.37 "Transformer Reliability Survey", od 20 provozovatelů z Německa, Švýcarska, Rakouska a Nizozemí. Analýza brala v potaz 112 poruch, které se vyskytly v letech 2000 - 2010 v celkové populaci 23 811 transformátorů-roků. V tabulce 2 je vidět poruchovost síťových transformátorů dle hladiny napětí. Z celkových 112 poruch jich bylo 94 u síťových transformátorů o celkové populaci 20 986 transformátorů-roků. Je tedy zřejmé, že statistika poruch u blokových transformátorů je díky nízkému počtu poruch (18) a malému počtu transformátorů-roků (2825) neprůkazná. Poruchovost síťových transformátorů se pohybuje opět okolo 0,5 %.

Tab. 2: Poruchovost síťových transformátorů v závislosti na velikosti napětí [6]

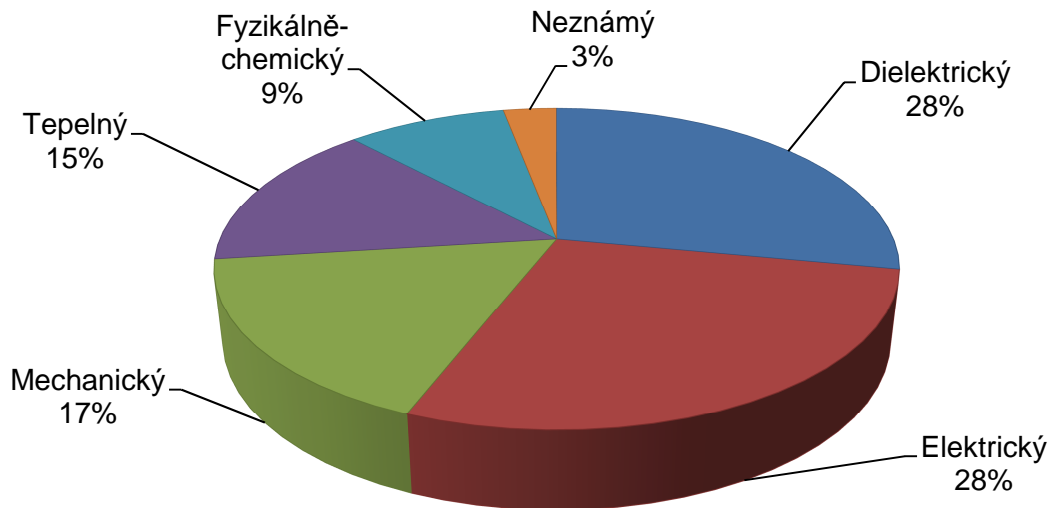
Napěťová hladina	110 kV	220 kV	380 kV
Poruchy	34	40	20
Transformátory x roky	10748	5756	4482
Poruchovost [%porucha/ (transformátor.rok)]	0,31	0,69	0,45

Dále jsou uváděny výsledky rozboru všech 112 poruch, které byly analyzovány v publikaci [6]. Tím budou výsledky očekávané pouze pro síťové transformátory trochu zkreslené, avšak při nízkém počtu poruch a transformátorů-roků blokových transformátorů, ne tak významně, aby z nich nebylo možné vyvodit závěry týkající se zejména síťových transformátorů. Jelikož se dá předpokládat, že systém provozu transformátoru, jeho konstrukční uspořádání, elektrické a další charakteristické parametry, stejně jako klimatické prostředí instalace, jsou v Německu, Rakousku, Švýcarsku a Nizozemí velmi podobné jako v ČR, tak jsou následující výsledky velmi zajímavé i pro českou elektroenergetickou přenosovou soustavu ČEPS, a.s. Z obrázku 4 je patrné, že nejčastější místa poruch transformátorů jsou vinutí, přepínač odboček, a přibližně na stejné úrovni se drží průchodky a vývody vinutí. Tyto údaje jenom potvrzují výsledky publikace [5] a také výsledky uvedené v publikaci [7], které se týkají analýzy poruch síťových přenosových transformátorů ve Velké Británii.



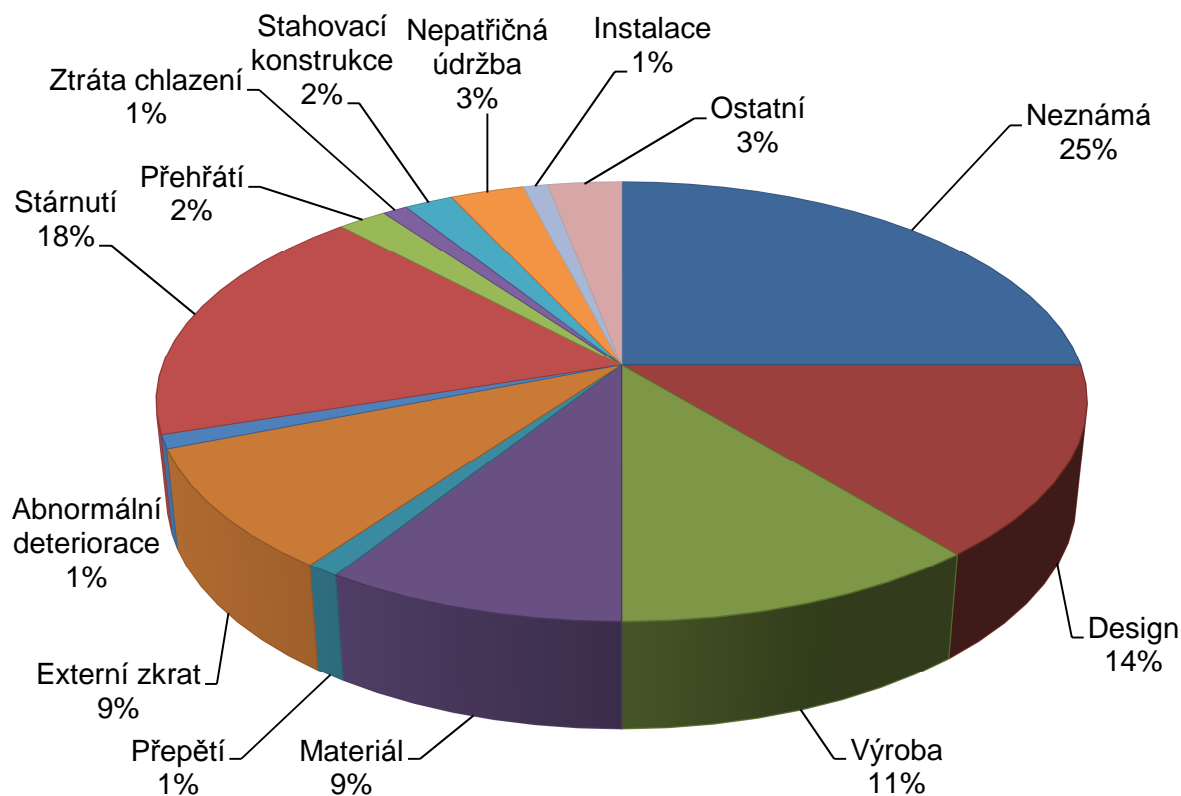
Obr. 4: Lokalizace poruch transformátorů dle analýzy 112 poruch z [6]

Na obrázku 5 je zobrazen druh (původ) poruchy transformátoru. Nejčastějšími druhy poruchy jsou dielektrický (částečné výboje, propojení vodivou cestou či přeskok) a elektrický (zkrat, rozpojení, špatné propojení či kontakt, plovoucí potenciál).



Obr. 5: Druhy poruch transformátorů dle analýzy v [6]

Příčiny poruch dle výsledků v [6] jsou vidět na obrázku 6. Z něj je evidentní, že v případě poruchy je velmi těžké zjistit základní podstatu poruchy (25 % neznámý důvod). Jako velmi zajímavá se jeví skutečnost, že až 34 % příčin poruch je způsobeno designem, výrobou a použitým materiálem, tedy procesy, za které je zodpovědný výrobce transformátoru. Pouze 4 % všech příčin jdou na vrub provozovateli a to díky nepatřičné údržbě či instalaci. Až ve 20 % případů všech příčin poruch bylo uváděno stárnutí, přehřívání či abnormální deteriorace. Jelikož jsou téměř všechny transformátory, které byly brány v potaz, chráněny svodičem přepětí, jsou příčiny typu přepětí či atmosférické impulsy zanedbatelné. Zato téměř každá desátá porucha je způsobena externím zkratem v soustavě. Dané výsledky jsou velmi podobné výsledkům v publikaci [7], kde jsou uveřejněny příčiny poruch síťových přenosových transformátorů Velké Británie.



Obr. 6: Příčiny poruch transformátorů dle analýzy v [6]

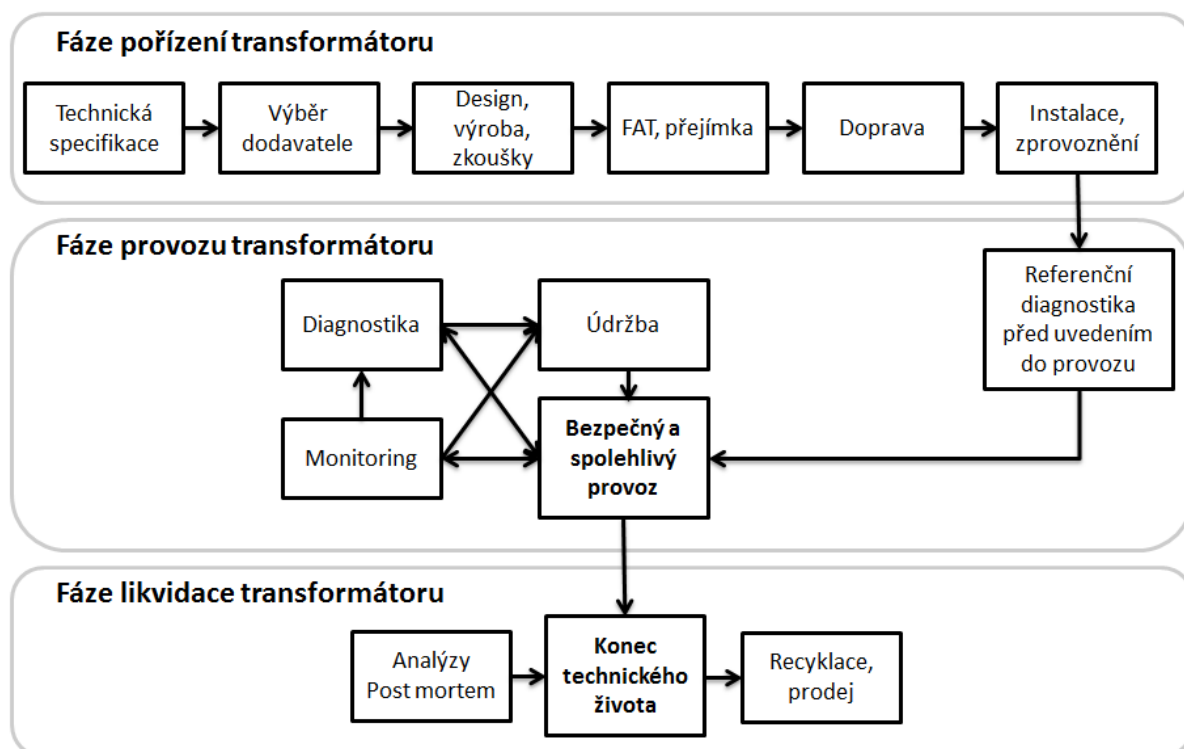
Dle údajů v [6] byl následek poruchy na okolí či soustavu v 6 % požár, ve 3 % exploze stroje a ve 2 % velký únik oleje. V téměř 90 % nebyl následek poruchy takřka žádný (kromě výpadku dodávky el. energie). Z hlediska akce provedené po poruše bylo 36 % transformátorů sešrotováno, ve 39 % případů byl transformátor odvezen a opraven u výrobce, a ve 24 % případů byla jednotka opravena na místě.

Z výše uvedeného je patrné, že v současné době je většina transformátorů v provozu mnohem déle, než je jejich morální život. Velmi často nejsou známi či již neexistují výrobci, dále mnohdy nejsou dostupné ani náhradní díly k těmto transformátorům. Zároveň je nesporné, že za mnoho poruch je z velké části zodpovědný výrobce transformátoru díky nekvalitnímu designu, výrobě a použitým materiálům.

1.2 Life cycle management transformátorů

Je evidentní, že plán obnovy či pořízení nového transformátoru, společně s jeho následným provozem a stárnutím jednotlivých komponentů mají zásadní vliv na spolehlivost a bezpečnou provozuschopnost transformátoru v průběhu jeho

celého technického života. Proto je žádoucí sledovat stav transformátoru a řídit procesy ovlivňující jej již v průběhu jeho pořízení, výroby, zkoušek, přes dopravu a instalaci, následný provoz a v závěrečné fázi i při jeho ekologické likvidaci. Souhrn těchto procesů je znám pod pojmem „Life cycle management transformátorů“ [1], [8]. Jeho cílem je maximálně efektivní využití investice do transformátoru, zajištění vysoké spolehlivosti a bezpečnosti provozu, za udržení minimálního rizika poruchy a minimálních provozních nákladů. Jednotlivé fáze a procesy life cycle managementu transformátorů jsou vidět na obrázku 7. Jde o fázi pořízení, následný provoz a ukončení technického života transformátoru.



Obr. 7: Fáze Life cycle managementu výkonových transformátorů

Fáze pořízení transformátoru

Pořízení transformátoru je značně náročný a komplexní proces, který významně ovlivní jeho následnou efektivní využitelnost a provozuschopnost po celý jeho technický život.

Základním dokumentem pro poptání transformátoru je jeho technická specifikace, kde je nutné popsat konkrétní požadavky na zařízení. Není však vhodné přesně určit výrobce, což pozitivně ovlivňuje konkurenceschopnost a schopnost inovovat výrobky a služby dodavatelů [8], [9]. Samotná technická specifikace, psaná

dle aktuálních norem, musí obsahovat základní požadavky na transformátor, jako jsou provedení (např. autotransformátor/ transformátor, plášťový nebo jádrový), napěťové a izolační hladiny, výkon, kmitočet, počet a zapojení vinutí, způsob uzemnění soustavy, klimatické podmínky, přípustné ztráty naprázdno a nakrátko, maximální přípustný hluk, typ oleje, rozměry a váhy pro instalaci do stanice aj. Dále je nutné uvést požadavky na komponenty transformátorů - přepínač odboček a jeho příslušenství, průchodky s připojovacími místy, chladič systém (způsob chlazení (ONAN, ODAF), jednotlivé sledované veličiny monitoringu a příslušenství jako jsou stavoznaky, přetlaková relé, ventily, přírubby, Buchholzovo relé a jiné prvky stroje. Nedílnou součástí technické specifikace je i předpis kusových a speciálních zkoušek, které musí výrobce doložit protokoly stejně jako při převěření a zkoušky před uváděním do provozu. Dalším požadavkem je definice požadavků na pravidelnou diagnostiku, revizi a údržbu, společně s limitními hodnotami parametrů pro diagnostická šetření. Zvláštní pozornost je věnována přepravě a dokumentaci stroje. [8], [10].

Výsledkem výběrového řízení je určení dodavatele transformátoru na základě splnění technických a komerčních požadavků (princiálně existují dva přístupy - výběr dle kvality nebo nejlevnější ceny) [8]. Po výběru dodavatele transformátoru je velice důležitá kvalitní komunikace mezi zákazníkem a výrobcem kvůli odstranění a omezení budoucích nedostatků či nedorozumění.

V průběhu výroby a konstrukce jsou všechny komponenty a procesy kontrolovány systémem řízení jakosti. Tento proces zahrnuje zejména kontrolu kvality designu (výpočetními programy a ověření laboratorními testy), audit subdodavatelů, vstupní kontrolu materiálů, jednotlivých výrobních suboperací a následnou kompletaci s výstupním testováním stroje [8], [11]. Oblast výroby, designu a řízení jejich jakosti je však nad rámec této disertační práce.

Před předáním samotného transformátoru provozovateli jsou prováděny kusové zkoušky a dále pak vybrané testy pro převěření stroje FAT (Factory Acceptance Tests) za účelem ověření kvalitativních technických parametrů stroje ve výrobním závodě. Během FAT je zkušeným odborníkem prováděna interpretace dosažených výsledků zkoušek, vizuální kontrola stroje a jeho příslušenství, kontrola dokumentace a výsledkem je rozhodnutí o akceptování či odmítnutí dodávky [8], [9].

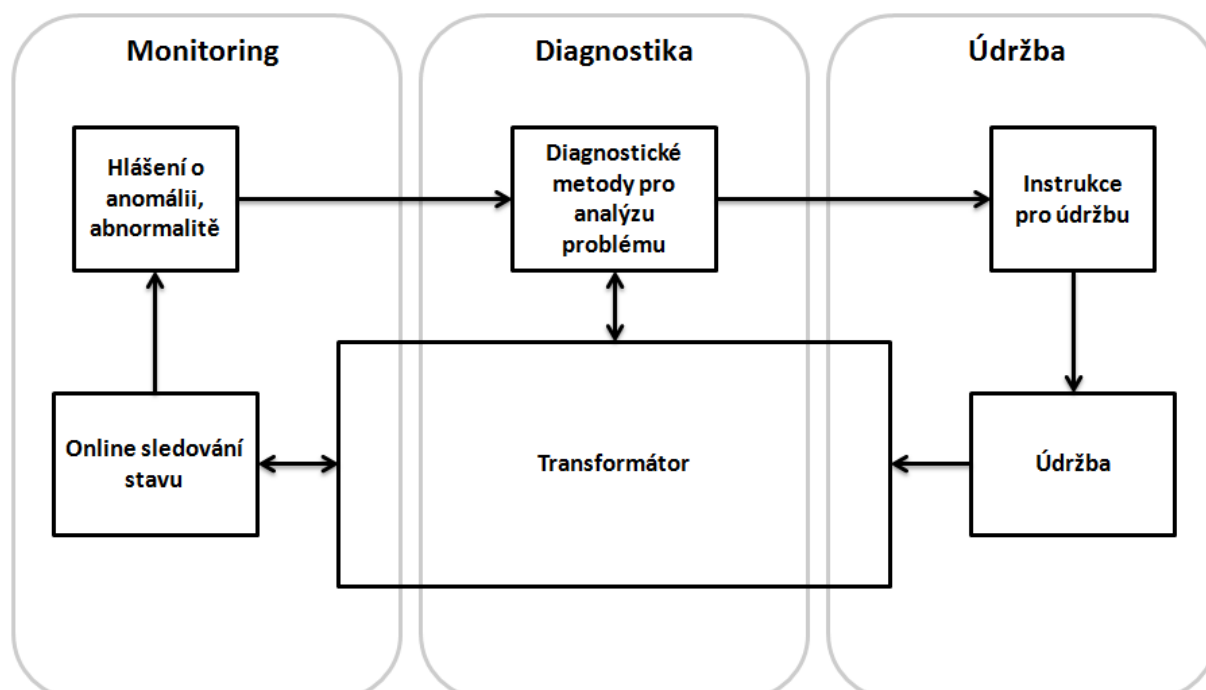
Po výrobě a testování transformátoru u výrobce je nutné dopravit hotový transformátor na místo instalace. V závislosti na rozměrech, váze a limitech

dopravního profilu se velmi často transformátor dopravuje rozmontovaný a bez oleje. Proto je nutné transformátor po testování pečlivě rozmontovat (průchodky, chladiče), odčerpat olej a naplnit dusíkem nebo suchým vzduchem. V současné době se při přepravě, díky v minulosti nebezpečným incidentům s dusíkem, nejčastěji používá horký suchý vzduch. Transformátory se dopravují na speciálních vagonech po železnici, na víceosých podvalnicích po silnici nebo po moři na nákladních lodích. Pro vyhodnocení stavu dopravy, zdali proběhla bez komplikací, se části transformátoru, stejně jako dopravní prostředek, osazují impakt rekordéry (záznamníky otřesů). Po dopravení na místo jsou tyto rekordéry zkontrolovány odpovědným pracovníkem, čímž se zajistí, že během cesty nedošlo k výraznému mechanickému namáhání jednotlivých částí transformátoru. Následuje pečlivá kontrola všech dopravených částí a smontování transformátoru pod dohledem šéfmontéra. Po smontování je nádoba transformátoru plněna ošetřeným a přefiltrovaným olejem pomocí speciálního zařízení. Dalším krokem, před uvedením do provozu, je kontrola správné instalace, zapojení a referenční měření (fingerprint) pro budoucí srovnávání s pravidelnou diagnostikou, např. SFRA, tg δ stroje, izolační odpor, převody na všech odbočkách a fázích, DGA a fyzikálně-chemické parametry oleje, atd. [2], [8], [12]

Fáze provozu transformátoru

V průběhu provozu transformátoru dochází k interakci s provozními činiteli soustavy (zatížení, přetěžování, externí zkraty, přepětí), s faktory urychlujícími stárnutí (teplota, vlhkost, oxidace, pevné částice, atd. - popsané v **příloze 1**), a s okolním prostředím (klimatické podmínky). Tím dochází k degradaci jednotlivých podsystémů transformátoru, což může vyústit k rozvoji poruchy a až ke ztrátě jeho provozuschopnosti. Těmto nežádoucím stavům lze předcházet průběžným sledováním aktuálního stavu stroje monitoringem a pravidelnou preventivní diagnostikou. Výsledkem jsou pak doporučení pro včasnou a patřičnou údržbu k zajištění provozuschopnosti transformátoru a tím zabránění nežádoucím výpadkům či neplánovaným odstávkám strojů v případě poruchy [13]. Ideální přístup ke sledování stavu transformátoru a udržení jeho provozuschopnosti je na obr. 8, kdy na základě údajů z monitoringu je provedena diagnostika k potvrzení a analýze problému. Na jejím základě jsou pak dána doporučení pro provedení údržby. Nicméně ve světě a v ČR se využívá kombinace monitoringu, preventivní časové

diagnostiky a preventivní údržby (TBM – time based maintenance), což je považováno za správný přístup za účelem minimalizace rizika neplánované odstávky či poruchy důležitých transformátorů [6], [7] a [8]. Prozatím se plně nevyužívá potenciálu monitoringu, který často funguje jen jako podpůrný nástroj k diagnostice. Nejtěžší otázka v případě periodické diagnostiky je definice intervalů k maximalizaci výsledků a minimalizaci nákladů. Dalšími aspekty k provedení kvalitní diagnostiky je zkušený personál, výběr vhodných metod a hlavně správná interpretace dat, ať už jak z hlediska nastavených limitů, tak v případě trendů vývoje diagnostických veličin. V současnosti se všichni provozovatelé transformátorů zaměřují na implementaci a přechod na systém údržby podle aktuálního stavu (CBM – condition based maintenance). Jde o přístup, kdy monitoringu společně s pravidelnou diagnostikou přispívají k optimalizaci doby využití transformátorů a k omezení vyřazování technicky funkčních strojů na základě překročení jejich plánované časové životnosti. Vizí CBM přístupu je, že transformátory nebudou odstavovány podle zažitých zkušeností s předem danou časovou periodou, a že offline diagnostické metody budou využity pouze jako korektivní, pro potvrzení vývoje či vzniku závady a provedení následné údržby. Tím dojde k redukci a efektivnímu využití nákladů spojených s údržbou a odstávkou transformátoru.



Obr. 8: Sledování aktuálního stavu transformátoru s výstupy pro údržbu k zajištění provozuschopnosti stroje

V současnosti je k dispozici široké spektrum diagnostických metod používaných k hodnocení stavu transformátorů. V publikacích [2], [12], [13] a [14] jsou prezentovány nejčastější offline testy pro hodnocení stavu transformátorů. Mezi nepoužívanější diagnostické zkoušky patří např. měření převodu vinutí typicky po údržbě OLTC, odpor vinutí, odpor izolace, ztrátový činitel, kapacity, SFRA. Mezi nepříliš rozšířené metody patří dle [8] měření magnetizačních proudů, měření dynamického odporu k odhalení problémů u OLTC, kontrola izolace jádra k odhalení cirkulujících proudů či problému při dopravě, frekvenční dielektrická spektroskopie (dielektrická odezva v rámci širokého frekvenčního pásma) umožňující odhadnout vlhkost v papíru a konduktivitu oleje. V případě podezření na závadu stroje je možné ji odhalit a potvrdit použitím kombinace různých offline diagnostických metod, společně s testy oleje a záznamy z monitorovacích systémů a samozřejmě se znalostí konstrukce transformátoru. V návaznosti na zjištěné skutečnosti, je pak nutné provést patřičné zásahy korektivní údržby, která vrátí transformátor na vysokou úroveň provozuschopnosti a minimalizuje riziko vzniku nebo rozvoje poruchy.

Nedílnou součástí preventivní údržby jsou i pravidelná pochůzková kontrola a pravidelná prohlídka stroje. V průběhu pochůzkové kontroly se nejčastěji provádí pohledová kontrola ukazatelů hladin olejových náplní průchodek a dilatačních nádob stroje a přepínače, kontrola stavu vysoušečů dilatačních nádob stroje a přepínače, kontrola stanoviště stroje z hlediska úniků oleje či stavu připojovacích míst. V případě pravidelné prohlídky se provádí kontrola funkce přepínače (zejména koncových poloh), plynového relé, signalizace, ovládání chladičů, kontrola stavu skříně přepínače, stroje, atd. [8]

O online monitoringu se první zmínky objevují někdy v polovině 90. let, kdy se začalo přemýšlet o možnostech průběžného (online) měření jednotlivých parametrů stavu transformátoru [15]. V současné době je monitoring čím dál více aplikován, zejména na klíčových transformátorech, jako jsou blokové, síťové či speciální (např. PST). Očekávanou výhodou monitoringu je zajištění zvýšené spolehlivosti transformátoru, redukce nákladů na pojištění, maximální prodloužení životnosti transformátoru s přiměřenou mírou rizika či řízení případného přetěžování transformátorů, které jde ruku v ruce s dynamickým zatěžováním vedení a rozveden [16]. Další výhodou monitoringu je možnost srovnání a korelace jednotlivých veličin v rámci jednoho či více transformátorů. Jedním z cílů monitoringu je sledovat veličiny

určující stav transformátoru, které při překročení nastavených limitů generují hlášení dávající informace o vyvíjející se závadě před tím, než se rozvine do poruchy. Monitoring (zejména jeho historická databáze veličin) má značný význam i při analýze poruchových stavů, výpadků či zjišťování příčin nastalých poruch. Při hodnocení stavu transformátoru poskytují online monitoringy pouze částečné informace, dalšími jsou např. historie typu, štítkové údaje, umístění, rezervy, teplotní třída, důležitost v síti či informace z pravidelných diagnostik a údržeb. V současné době monitoringy poskytují velké množství dat. Tato data je však nutné využít k transformaci v užitečné informace pro údržbu, „asset management“ či dispečery. Potenciál monitoringů transformátorů je v odhalení závad bez nutnosti vypnout transformátor a v hlášení těchto závad dispečerům. Hlavní benefit monitoringu je tedy v rozhodnutí a akčním plánu s doporučením na preventivní či korektivní zákrok, když jsou zjištěny problémy. V současné době však monitoringy často poskytují velké množství falešných hlášení, která mohou zavdat příčinu k nadbytečnému vypnutí transformátoru, čímž snižují věrohodnost dostupných informací. Je to dáno zejména tím, že monitor pracuje uvnitř elektrické stanice na transformátoru a je často vystaven účinkům silného elektromagnetického rušení při spínacích pochodech ve stanici a vibracím od vlastního transformátoru. Je tedy vhodné omezit tato falešná hlášení a definovat akční plán s doporučením na provedení patřičných akcí. Mezi často zmiňované nevýhody monitoringu patří kratší životnost a nižší spolehlivost monitoringu než samotného transformátoru a s tím spojené náklady na instalaci a údržbu monitorovacích systémů.

Fáze likvidace transformátoru

Nejen při poruše (neplánované likvidaci), ale i při plánované likvidaci starého transformátoru je vhodné využít příležitosti, rozebrat transformátor a provést Post mortem analýzu. Je možné jednoduše vidět konstrukci transformátoru, stav jednotlivých částí, identifikovat problémy či slabá místa v konstrukci. Pro určení stavu zestárnutí pevné izolace je žádoucí odebrat vzorky pro měření průměrného polymeračního stupně izolace PPS. Jde o kvalitativní ukazatel zbytkové životnosti pevné izolace a vzorek se odebírá v různých vinutích (sekundární, primární), v různé výšce (nahore, uprostřed, dole), z vnitřního a vnějšího závitu příslušného vinutí [17], [18]. Výsledkem analýzy PPS těchto vzorků jsou velice cenné informace o zestárnutí pevné izolace v závislosti na geometrii vinutí. U neharvarované jednotky poskytuje

Post mortem analýza informace např. o slabém designu či zvýšeném přehřívání některých míst vinutí, což může být využito pro prevenci poruch u sesterských jednotek. Rozebrání a podrobné prozkoumání stavu transformátoru po poruše umožňuje odhalit např. její původní příčinu, z níž je možné se poučit a využít jí k prevenci u transformátorů stejného typu a podobného zatížení [8].

Všechny fáze likvidace (demontáž, třídění, doprava i recyklace) transformátorů musí být prováděny dle aktuálních legislativních, bezpečnostních a k životnímu prostředí šetrných postupů. Snahou je všechny materiály efektivně zhodnotit, ať už ve formě dalšího použití (např. magnetické plechy), recyklovaných produktů pro nové výrobky, využití materiálů a energie pro další zpracování nebo ekologické likvidace odpadu do skládky. Tento komplexní proces přispívá k omezení zbytečného plýtvání primárních zdrojů materiálů a energie [8].

1.3 Monitorovací systémy výkonových transformátorů

Počátek monitorovacích systémů výkonových transformátorů se datuje do poloviny 90. let 20. století, kdy se začalo uvažovat o online sledování stavu transformátoru měřením jeho jednotlivých parametrů. Z hlediska robustnosti monitoringu a důležitosti stroje, na který je daný systém nainstalován, existují dva odlišné přístupy k monitorování stavu jednotek. Výkonové transformátory a olejové kompenzační tlumivky, které nejsou v elektrizační soustavě tak důležité, jsou nejčastěji osazeny jednoduchými senzory, z nichž jsou data posílána do databáze a uživatelům. Tyto jednoduché senzory nejčastěji detekují plyny rozpuštěné v oleji a vlhkost oleje. Nejpoužívanější jednoduché senzory plynů jsou např. Hydran (GE Energy), Calisto (Morgan Schaffer). Druhý přístup k monitorování stavu stroje je použitím komplexního monitorovacího systému, který sleduje a dopočítává charakteristické veličiny o jednotlivých komponentech transformátoru. Tyto komplexní monitoringy jsou obvykle připojeny k síti LAN (Local Area Network) a data je možné zobrazit na kterémkoliv počítači připojeného do této sítě. Tím velmi často vzniká nadřazený systém (software s databázovým serverem), umožňující sledovat aktuální stav všech výkonových transformátorů daného provozovatele.

Jelikož se trh monitorovacích systémů velmi dynamicky rozvíjí a je v něm velký potenciál, je v současnosti nabízeno velké množství jednoduchých senzorů, stejně tak, jako komplexních monitorovacích systémů. Mezi nejvýznamnější

dodavatele jednoduchých senzorů patří firma GE Energy [19]. Ta má ve svém portfoliu výše zmíněné jednoduché senzory plynů Hydran, multi-gas DGA senzory typu Transfix, Taptrans, Multitrans (dříve společnost Kelman) sledující široké spektrum v oleji rozpuštěných plynů. Dalším produktem je Intellix, modul pro sbírání dat o teplotách jednotlivých částí transformátoru, umožňující výpočtové moduly typu hot-spot teploty, účinnosti chlazení, stárnutí transformátoru aj. Dalšími známými dodavateli samostatných senzorů jsou společnosti Morgan Schaffer (jednotlivé modely čidla Calisto), Meter Test Equipment (jednoduché i multi-gas senzory Hydrocal), Serveron (multi-gas senzory Serveron TM8) [20]. Nejznámější dodavatel přepínačů odboček MR (Maschinenfabrik Reinhausen) nabízí monitorovací systém TRAFUGUARD® sledující charakteristické veličiny OLTC (On-Load Tap Changer). Neopomenutelným fenoménem, diskutovaným na všech možných vědeckých plénech a konferencích, je monitorování částečných výbojů. Nejznámějšími dodavateli senzorů online detekující odezvu částečných výbojů jsou Doble Engineering nebo Omicron.

Nejznámějšími výrobci komplexních monitorovacích systémů jsou Siemens, dříve Elin (systém Diatech, Weiz, Rakousko), ABB (systém TEC, Ludvika, Švédsko) a Alstom (systémy MS2000 a MS 3000, Moenchengladbach, Německo), tedy dodavatelé samotných výkonových transformátorů. Všichni tito výrobci mají připraven typový a modulově orientovaný monitorovací systém, jehož základy vychází z doporučení technické brožury "*Recommendations for Condition Monitoring and Condition Assessment Facilities for Transformers*" pracovní skupiny CIGRE A2.27 [15], a dodávají tak monitoring ušitý na míru požadavkům provozovatelů transformátorů. Z lokálních dodavatelů monitorovacích systému je vhodné zmínit dnes už neexistující firmu Hesla (systém Maistr), která byla spolu s EGÚ Praha Engineering, a.s. jakýmsi zakladatelem monitoringu transformátorů v ČR. V současnosti je asi nejvýznamnější firmou dodávající komplexní monitorovací systém mstTEK společnost Techsys - HW a SW, a.s. Komplexní monitorovací systém obsahuje soubor senzorů, které sledují stav jednotlivých komponentů (aktivní část, přepínač odboček, průchodky, chladiče), a tím je získán celkový obraz stavu transformátoru. V tab. 3 je vidět přehled dodavatelů komplexních monitorovacích systémů, včetně nejdůležitějších parametrů definujících stav jednotlivých komponentů transformátoru. V současnosti se stále vyvíjí nové typy senzorů,

programují se nové výpočetní moduly, které napomohou určit aktuální stav transformátoru, snížit riziko jeho poruchy a tím zvýšit spolehlivost jeho provozu.

Existuje tedy mnoho přístupů k monitorování stavu transformátorů a nedá se říci, že jeden jediný přístup je nejlepší. Rozhodování o aplikaci monitorovacích systémů plně závisí na strategii a koncepci provozovatele jednotlivých transformátorů. Pro lepší využitelnost monitoringu byla v roce 2011 vytvořena pracovní skupina CIGRE A2.44 "*Transformer Intelligent Condition Monitoring*", která se zabývá identifikací nejlepších praktik, demonstrací přínosů, které mohou plynout z aplikace monitoringu a integrací monitoringu do celkového systému hodnocení stavu transformátorů. Technická brožura této pracovní skupiny, jejímž členem je i český zástupce ze společnosti ČEPS, a.s., se očekává koncem roku 2014.

Tab. 3: Přehled výrobců komplexních monitoringů, včetně sledovaných parametrů

Údaje o monitoringu	Výrobce Stát výrobce Město výrobce	Siemens Rakousko Weiz	ABB Švédsko Ludvika	Techsys ČR Praha	Alstom Německo M'gladbach	Alstom Německo M'gladbach
Komponenty	Název monitoringu	Diatech	TEC	mstTEK	MS2000	MS3000
	Veličiny					
Provoz	Proudy VN	3 fáze	1 fáze	3 fáze	3 fáze	3 fáze
	Proudy NN	3 fáze	1 fáze	3 fáze	3 fáze	3 fáze
	Proudy TN	-	1 fáze	3 fáze	3 fáze	3 fáze
	Napětí VN	3 fáze	-	3 fáze	3 fáze	3 fáze
	Napětí NN	-	3 fáze	3 fáze	3 fáze	3 fáze
	Teplota okolí	x	x	x	x	x
Izolační systém aktivní části	Teplota vrchní vrstvy oleje	x	x	x	x	x
	Teplota spodní vrstvy oleje	x	x	x	-	-
	Plyny rozpuštěné v oleji	Calisto/ Hydran	Hydran	Calisto/ Hydran	Hydran	Hydran
	Vlhkost oleje	x	x	x	x	x
	Plyn v Buchholzově relé	-	-	-	x	x
OLTC Přepínač odboček	Pozice odbočky	x	x	x	x	x
	Počet provedených operací	x	x	x	x	x
	Teplota oleje OLTC	x	x	x	x	x
	Vlhkost oleje OLTC	x	x	-	x	x
	Součet naspínaných proudů	x	-	x	x	x
	Průběh výkonu motorem pohonu	-	-	-	x	x

Průchodky	Změna kapacity průchodky	-	-	x	x	x
Chladicí systém	Teplota oleje na vstupu chladiče	x	-	x	x	x
	Teplota oleje na výstupu chladiče	x	-	x	x	x
	Chod čerpadla ZAP/VYP	x	x	x	x	x
	Chod ventilátoru ZAP/VYP	x	-	x	x	x

„x“ – je součástí monitorovacího systému

„-“ – není součástí monitorovacího systému

2 Cíle disertační práce

Výhody nasazení monitorovacích systémů na výkonové transformátory přenosové soustavy spočívají zejména v soustavném dohledu nad jejich provozem a ve významném přínosu pro jejich diagnostiku a údržbu. Tím přispívají ke zvýšení provozní spolehlivosti a bezpečnosti celé elektrizační soustavy. Mezi nesporné klady monitoringu transformátoru patří jednoduché a přímé zjišťování jeho aktuálního stavu a možnosti nastavení limitních hodnot, po jejichž překročení se automaticky generují hlášení, která indikují možnou rozvíjející se poruchu. Další výhodou je ukládání dat a hlášení s možností následného statistického zpracování a korelace mezi jednotlivými veličinami v rámci jednoho transformátoru či v porovnání s dalšími transformátory v síti. Grafická vizualizace sledovaných veličin významně přispívá při analýze příčin událostí. K zajištění aktuálnosti a dostatečné věrohodnosti dat monitorovacích systémů transformátorů je nutné provádět jejich neustálou údržbu v elektrických stanicích.

V současné době poskytují monitoringy velké množství dat. Tato data je však nutné využít k transformaci v užitečné informace odpovědným pracovníkům (údržba, „asset management“ či dispečer). Hlavní benefit monitoringu je tedy v informaci a následném rozhodnutí s doporučením na preventivní, či korektivní zákrok, když jsou zjištěny problémy. Jako největší handicap monitoringu se jeví nižší výpovědischopnost a spolehlivost monitoringů a jednotlivých čidel, jež často generují více nadbytečných než pravých alarmů. Toto se často kritizuje, je však nutné si uvědomit, že pravý a včasný alarm může přispět k záchraně stroje za desítky miliónů Kč.

Podle současného stavu vědění a na základě osobní diskuse s experty transformátorů na několika mezinárodních konferencích (zejména na CIGRE Session 2014 v Paříži, CIGRE SC A2&C4 Joint Colloquium 2013 v Curychu, Life of a Transformer Seminar 2013 a 2014 v Amsterdamu a v Padově, EuroDoble Colloquium 2012 a 2013 v Manchesteru a Barceloně, Asset Management Forum 2013 v Římě a 2014 v Praze) nebyla ještě řešena problematika omezení nadbytečných hlášení monitoringy, interpretace dat poskytovaných monitoringy a jejich transformace v užitečné informace, a zejména využívání výstupů z monitoringů pro podporu rozhodování odpovědných pracovníků. Proto je nutné se těmito aspekty monitorovacích systémů transformátorů PS zabývat.

Hlavní cíle předkládané práce jsou

- 1) **definovat nastavení reálných limitních hodnot hlášení pro typický transformátor přenosové soustavy dle skutečných podmínek, popsat expertní databázi znalostí a interpretací dat transformovaných v užitečné informace. Tím dojde k omezení generování nadbytečných hlášení a zvýšení spolehlivosti a věrohodnosti informací poskytovaných monitorovacími systémy.**
- 2) **navrhnout využití výstupů monitoringů pro podporu rozhodovacího procesu, týkajícího se provozu transformátoru, kompetentních pracovníků.**

Tato problematika bude realizována v následujících dílčích cílech práce:

- Definovat parametry vhodné ke sledování a provést shrnutí nejčastěji používaných senzorů monitorovacích systémů transformátorů s ohledem na sledování a určení stavu jednotlivých podsystémů transformátoru.
- Vypracovat analýzu výskytu hlášení dvou generací monitorovacích systémů nasazovaných jako koncepční na výkonové transformátory přenosové soustavy ČEPS, a.s.
- Zpracovat analýzu překročení mezí generování jednotlivých hlášení monitorovaných veličin u dvou generací monitorovacích systémů.
- Provést rozbor a analýzu činností a průběhů veličin monitoringů s cílem odhalit chyby, nadbytečná hlášení a nesprávné interpretace vycházející z údajů monitoringů, a tím položit základ pro expertní databázi znalostí.
- Definovat nastavení mezí pro typický transformátor instalovaný v přenosové soustavě.
- Navrhnout využití výstupů z monitorovacích systémů, tak aby odpovědní pracovníci dostávali správné informace o stavu transformátoru, a k podpoře rozhodovacího procesu o dalších provozních činnostech transformátoru.

3 Monitoring transformátorů přenosové soustavy

3.1 Koncepce nasazování monitorovacích systémů na transformátory přenosové soustavy

Všechny transformátory vvn a zvn přenosové soustavy jsou provedením venkovní olejové trojfázové, trojvinuťové regulační autotransformátory se jmenovitým převodem $400/121 \pm 8 \times 1,5\% / 10,5$ kV, jmenovitým výkonem 350 nebo 250 MVA, nebo se jmenovitým převodem $230/121 \pm 6 \times 2\% / 10,5$ kV a jmenovitým výkonem 200 MVA, a s přepínačem odboček pod zatížením. Z pohledu terminologie transformátorů je v práci pod pojmem primární označována vstupní strana (vyšší napětí) a pod pojmem sekundární označována výstupní strana (nižší napětí) autotransformátoru. Pojmy primární a vyšší napětí (vn), sekundární a nižší napětí (nn) jsou tedy v práci používány jako ekvivalenty. Součástí strategie a technické koncepce provozovatele transformátorů české elektroenergetické přenosové soustavy je osazovat výkonové transformátory zvn a vvn a olejové kompenzační tlumivky zvn monitorovacími systémy různé robustnosti. Důvodem je zejména soustavný dohled nad aktuálním stavem strojů vedoucí ke zvýšení spolehlivosti a bezpečnosti jejich provozu, redukci nákladů na pojištění a k maximálnímu prodloužení životnosti transformátoru s přiměřenou mírou rizika. Dále monitoring významně podporuje a iniciuje včasné rozhodnutí provést diagnostiku a následnou údržbu stroje. Další výhodou nasazování monitoringů je ukládání dat a alarmů s možností následného statistického zpracování a jednoduchá grafická vizualizace sledovaných veličin, která významně přispívá při analýze příčin jednotlivých událostí. [21]

V případě olejových tlumivek se využívá jednoduchého monitoringu obsahu plynů v oleji, teploty oleje doplněného o sledování elektrických veličin z externích přístrojových transformátorů napětí a proudu. Dnes jsou již známy situace, kdy tento jednoduchý monitoring odhalil podezřelou jednotku, která byla řízeně vypnuta a odeslána k opravě do výrobního závodu.

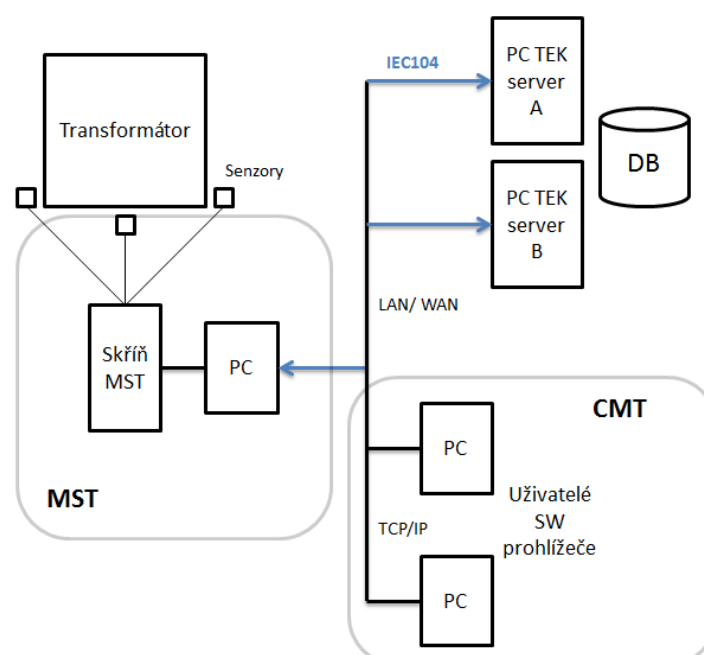
V současnosti je každý nový transformátor již z výroby osazen komplexním monitorovacím systémem jednoho světoznámého dodavatele monitoringů a transformátorů. Produkt tohoto dodavatele byl vybrán na základě zkušeností získaných na přelomu let 1998 - 2005, kdy každý transformátor (nový nebo již provozovaný) byl osazen odlišným monitoringem. Některé z nich jsou ještě dnes na transformátorech nasazeny, avšak jejich spolehlivost je velice nízká. Na základě

provozních zkušeností, spolehlivosti a výpovědíschopnosti dat byl vybrán nejlepší možný monitoring, který je dnes koncepčně instalován na všech nových transformátorech. Starší stroje, jejichž očekávaná zbytková technická životnost je větší než 10 let, jsou osazovány komplexním monitorovacím systémem od lokálního dodavatele. Toto se týká strojů, které nebyly při výrobě osazeny monitoringem vůbec, ale i strojů, které byly osazeny dnes již nefungujícími monitoringy ostatních dodavatelů. V současnosti, kdy je více než 50 % všech transformátorů PS osazeno monitorovacími systémy, je tedy nastavena koncepce instalovat monitoringy pouze dvou výrobců, jejichž typy jsou definovány v [22].

Další koncepční záležitostí je připojování všech nainstalovaných monitoringů výkonových transformátorů do jednoho centrálního systému, kdy jednotlivé monitoringy jsou propojeny firemní LAN sítí. Cílem je zajistit jednotné prostředí pro data a využívat stejný dohledový software pro všechny transformátory a tlumivky přenosové soustavy.

3.2 Architektura monitorovacích systémů transformátorů PS

Architektura monitoringu transformátorů PS je zřejmá z obrázku 9. Jednotlivé podsystémy výkonového transformátoru jsou osazeny souborem senzorů, které generují analogové a digitální signály reprezentující jejich aktuální stav [23]. Nejčastěji měřené veličiny definující stav komponentů transformátorů PS jsou uvedeny v tab. 4, která vychází z doporučení dle [15].



Obr. 9: Architektura monitoringu transformátorů PS

Tab. 4: Nejčastěji měřené parametry jednotlivých komponentů transformátorů PS [15]

Součást	Měřená veličina
Provoz	Doba provozu
	Napětí VN, NN
	Proudy VN, NN, TN
	Okolní teplota
Izolační systém aktivní části	Teplota vrchní vrstvy oleje
	Teplota spodní vrstvy oleje
	Plyny rozpuštěné v oleji
	Vlhkost oleje
	Plyn v Buchholzově relé
OLTC - Přepínač odboček	Pozice odbočky
	Počet provedených operací
	Teplota oleje OLTC
	Vlhkost oleje OLTC
	Součet spínaných proudů přepnutí
	Průběh výkonu motorem pohonu
Průchodky	Změna kapacity průchodky
	Napětí na vývodu průchodky
Chladicí systém	Teplota oleje na vstupu chladiče
	Teplota oleje na výstupu chladiče
	Chod čerpadla ZAP/VYP
	Chod ventilátoru ZAP/VYP
	Doba provozu motoru ventilátoru

Senzory jsou připojeny k rozvaděči (sběrnice) vybaveného převodníky jednotlivých signálů. Z něj jsou signály přenášeny do průmyslového počítače typu IED (intelligent electronic device), který jednotlivé signály zpracovává. Pro výměnu dat a komunikaci je použit standardní komunikační protokol IEC 60870-5-104, který může být v budoucnu nahrazen moderním komunikačním protokolem IEC 61850. Jednotlivé sběrnicové moduly, IED, jistič, napájení (UPS) a switch jsou umístěny ve skříni monitorovacího systému, která je vidět na obr. 10. Skříň, ve které je většinou umístěn PC, se společně se souborem senzorů nazývá Monitorovací Systém Transformátoru (MST) – obr. 9. [24]

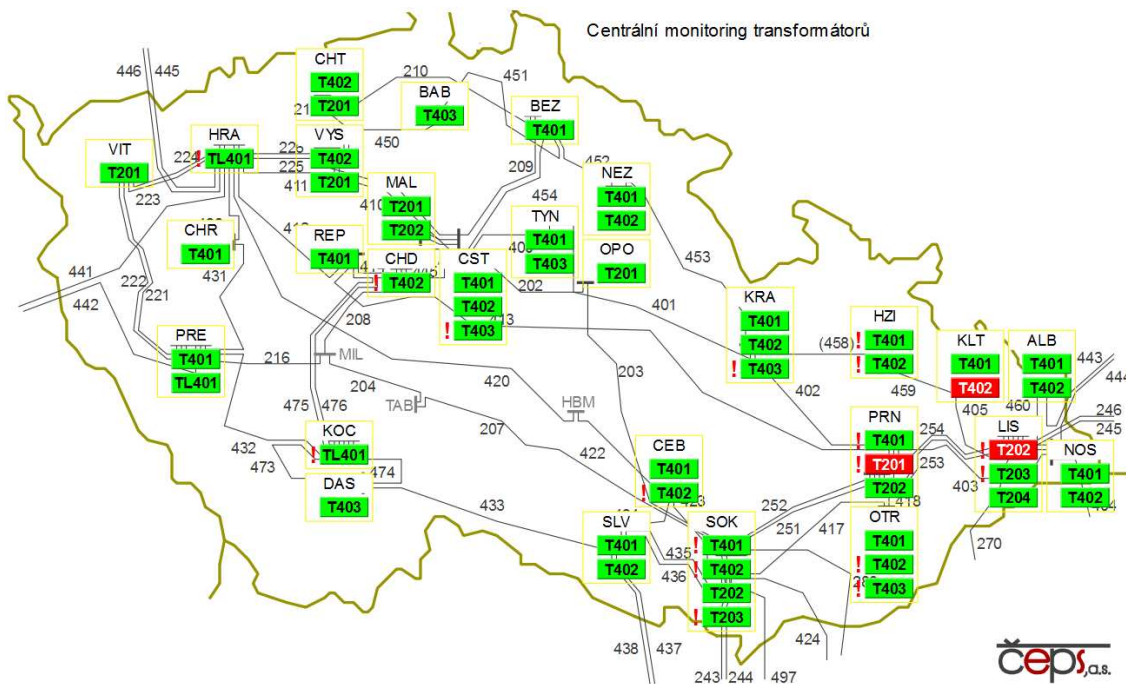


Obr. 10: Skříň monitorovacího systému transformátoru

Z důvodu instalace a přechodu na moderní bezobslužné elektrické stanice je nutné propojit jednotlivé monitorovací systémy do jednoho Centrálního Monitoringu Transformátorů (CMT). Jednotlivé monitoringy (IED) jsou připojeny do firemní LAN sítě typu Ethernet a data z MST jsou ukládána na databázových serverech (z důvodu zálohy dat jde o dva redundantně pracující servery). CMT je síťová softwarová aplikace, díky níž mohou uživatelé přistupovat do jednotlivých MST. Pomocí tohoto softwaru lze tedy sledovat stav všech transformátorů osazených monitoringy. Výhodou této aplikace je jednotná vizualizace dat a jejich následná analýza, nezávislá na použitém typu monitorovacího systému nasazeného na transformátoru. Další výhodou jednotné aplikace je možnost srovnání či korelace jednotlivých veličin více transformátorů. Zkušenosti získané při hodnocení stavu transformátoru mohou být jednoduše využity při hodnocení podobných událostí, které se vyskytnou na ostatních transformátorech. Tento přístup přispívá ke sjednocení hodnocení stavu transformátorů pomocí online diagnostických systémů a sdílení zkušeností mezi jednotlivými specialisty. [23]

Na obr. 11 je vidět centrální monitoring transformátorů přenosové soustavy ČR. Jsou v něm uvedeny všechny transformátory připojené do CMT. Aktuální stav transformátoru je dán podbarvením jeho jména příslušnou barvou. Zelená barva reprezentuje bezporuchový stav a červená pak tzv. výstražný/ alarmový stav. Po "rozkliknutí" podezřelého transformátoru je stejnou barvou podbarven i problémový podsystém (aktivní část - elektrické veličiny, teploty, plyny a vlhkost oleje, OLTC, průchodky, chladičový systém). Zároveň je podbarvena i veličina, která způsobila generování hlášení. Toto hlášení je vyvoláno při překročení nastaveného

limitu monitorované veličiny nebo se jedná o hlášení generované stavem samotného MST (např. při sebekontrolě stavu systému). Pro důslednější rozbor příčiny generování hlášení je možné se připojit přímo do MST pomocí odkazu na IP adresu daného IED. Nebo je možné provést vizualizaci dat souvisejících s danou veličinou (např. korelace teploty a zatížení transformátoru). [25]



Obr. 11: Centrální monitoring transformátorů přenosové soustavy

3.3 Měřené parametry využívané ke sledování aktuálního stavu jednotlivých komponentů transformátorů přenosové soustavy

Jednotlivé podsystémy výkonového transformátoru jsou osazeny souborem senzorů. Ty generují charakteristické signály, jež jsou následně využívány i jako vstupní data pro výpočet dalších parametrů (modelů či samotných veličin) daných podsystémů. Tyto parametry (měřené i počítané) se poté využívají k určení aktuálního stavu jednotlivých komponentů transformátorů. V tab. 4 je uveden soubor jednotlivých veličin charakterizující aktuální provoz transformátoru, stav izolačního systému aktivní části, přepínače odboček, průchodek a chladičového systému [15]. Podrobný popis jednotlivých senzorů je uveden v **příloze 2**. Níže jsou uvedeny nejčastěji sledované parametry výkonových transformátorů.

Provozní veličiny transformátoru

Každý transformátor PS má své charakteristické údaje (výkon, napěťové hladiny, proudy, rok výroby atd.) definované na výkonovém štítku. Z hlediska hodnocení provozu transformátoru jsou důležité zejména hodnoty aktuálních napětí a proudů na primární (vstupní), sekundární (výstupní) a terciární straně, stejně jako samotná doba jeho provozu. Z důvodu významného vlivu vnějšího prostředí na transformátor je důležitá také teplota jeho okolí. Mezi další provozní veličiny patří ty vypočtené, jako jsou např. zdánlivý, činný a jalový výkon, aktuální ztráty, či relativní a absolutní zatížení transformátoru [26].

Ke sledování doby činnosti transformátoru se využívají provozní hodiny, které reagují (spínají) pouze v případě zapnutého transformátoru.

K měření primárních, sekundárních i terciárních proudů se v současnosti nejčastěji využívají volná jádra průchodkových přístrojových transformátorů proudů (PTP), jež jsou vyvedená na svorkovnici skříně transformátoru. Sekundární proud jádra PTP je v rozsahu 0 až 1 A (pro měření musí být zkratovací můstky PTP otevřeny). Ze svorkovnice jsou vedeny vodiče do převodníku (proudový transduktor), který je umístěn ve skříni monitoringu, a který převádí proudy na proudy v rozsahu 0 až 20 mA [27]. V případě, že volná jádra PTP nejsou k dispozici, využívají se průvlekové transformátory, kdy vodiče vedoucí z jádra průchodkového PTP do skříně transformátoru se provlečou jádrem průvlekového transformátoru, jak je vidět na obr. 12 [28]. Výstupy jsou opět vedeny do převodníků, které je mění na proudy v rozsahu

0 až 20 mA. Aktuální proudy se využívají k výpočtům, např. výkonu (zdánlivý, činný, jalový), relativního zatížení, ztrátám, hotspot teplotě, počtu nadproudů, charakteristickým datům o OLTC (naspínané proudy, index energie při přepnutí odbočky), výpočtu maximálního přetížení a doby mimořádného provozu při přetížení [26]. Jednotlivé výpočty doplňují informace ze senzorů a přispívají tak k lepší představě o stavu daného stroje.



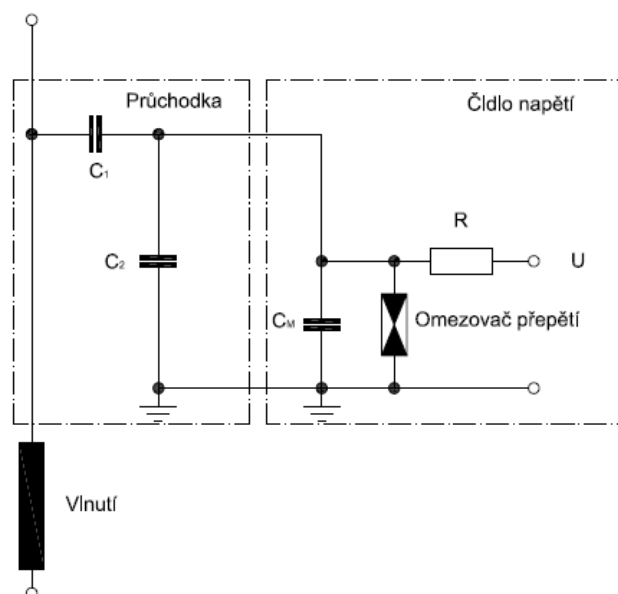
Obr. 12: Měření proudů pomocí průvlekových PTP - převzato z [28]

Z hlediska sledování napětí se nejčastěji používají dva základní způsoby měření. První způsob využívá hodnoty z řídicího systému, tedy napětí měřená přístrojovými transformátory napětí (PTN). V elektrických stanicích přenosové soustavy ČR se v poli transformátoru na primární (vyšší) straně napětí PTN většinou neinstalují [22]. Je však možné využít PTN nainstalované k měření na přípojnicích. Dále se napětí na vyšší straně určuje ze znalosti napětí z PTN na nižší straně transformátoru a převodu dle aktuální odbočky přepínače OLTC [27]. Tento způsob využití dat z PTN je však velmi ojedinělý. V praxi se mnohem častěji využívá měřicího vývodu průchodky (připojený k předposlední kapacitní vrstvě rozdělovací izolaci průchodky na kapacitní dělič), ke kterému je připojen senzor s adaptérem měřícím fázové napětí (obr. 13) [15], [24]. Napětí je však v monitoringu zobrazeno jako napětí sdružené (mezi dvěma fázemi).



Obr. 13: Ukázka zapojení senzoru s adaptérem do měřicího vývodu průchodky

Princip měření je založen na kapacitním děliči napětí. Schéma měření je uvedeno na obr. 14. Průchodka je charakterizována kapacitami C_1 (mezi vodičem procházejícím průchodkou a měřicím vývodem) a C_2 (mezi měřicím vývodem průchodky a uzemněnou nádobou - zemí) [14]. Čidlo je vybaveno kapacitou C_M , připojenou k měřicímu vývodu průchodky (paralelně k C_2). Hodnota C_M je definovaná dle hodnot kapacit C_1 a C_2 průchodky tak, aby výstupní hodnota napětí senzoru byla 57,7 V. Ochrana senzoru je zajištěna omezovačem přepětí, který je paralelně připojen k C_M . Velikost napětí se využívá k určení výkonů (zdánlivý, činný, jalový), aktuálním ztrátám, počtu přepětí a ke změně kapacit C_1 průchodky [26].



Obr. 14: Schéma měření napětí z měřicího vývodu průchodky - převzato z [26]

K měření teploty okolí se tradičně využívá odporový teploměr Pt100 umístěný zespodu skříně monitoringu. Princip měření je založen na změně odporu v závislosti na teplotě (teplotní součinitel elektrického odporu je kladný). Z hlediska výstupního signálu existují dvě varianty. Dvou vodičový teploměr s převodníkem v hlavici generuje signál 4 - 20 mA, který je následně posílán do sběrnice [27]. V druhém případě se teploměr (tří- nebo čtyřvodičový) připojí přímo do sběrnice typu RTD (resistor temperature detector) a změna odporu odpovídající dané teplotě je transformována na digitální signál [26].

Veličiny charakterizující izolační systém aktivní části transformátoru

Aktivní část transformátoru je složena z magnetického obvodu a vinutí (vyšší, společné, regulační, terciární), která jsou na něj navlečena. Jejím účelem je přeměnit elektrickou energii o jedné napěťové hladině na elektrickou energii s jinou napěťovou hladinou, k čemuž dochází na základě principu elektromagnetické indukce. Izolační systém olej-papír zajišťuje bezpečné a spolehlivé oddělení jednotlivých částí s rozdílným potenciálem. Důvody sledování stavu izolačního systému aktivní části jsou zřejmé. Z rozboru poruch uvedených na obr. 2 a 4 je vinutí, respektive jeho izolace, nejčastějším místem poruchy [5], [6]. Izolace je z hlediska použitých materiálů nejslabším článkem výkonového transformátoru. Porucha izolačního systému tak má velmi často fatální následky pro celý transformátor, posléze jeho okolí. V příloze 1 je popsána deteriorace výkonových transformátorů, zejména jeho izolačního systému, a degradačních činitelů, které jej ovlivňují. Mezi veličiny charakterizující stav izolačního systému aktivní části transformátoru patří např. teplota horní a spodní vrstvy oleje, plyny rozpuštěné v oleji, vlhkost oleje či plyn v Buchholzově relé [15].

Teplota oleje se nejčastěji měří v horní části (víko nádoby) a v dolní části (má význam u transformátorů s řízenou cirkulací oleje, tedy u chlazení typu ODAF, kvůli kontrole efektivní činnosti čerpadel) [24]. Nejčastěji se opět používá odporový teploměr Pt100. Princip měření a možnosti připojení do monitoringu jsou tedy stejné jako v případě Pt100 teploměru pro měření teploty okolí. Z hlediska uchycení je možné využít tyčový teploměr umístěný do jímky v nádobě či příložný s permanentním magnetem měřící povrchovou teplotu víka nádoby [28]. Druhým teplotním čidlem používaným hlavně u starších monitoringů je termistor typu NTC

(Negative Temperature Coefficient - negativní termistor, jehož odpor se s teplotou exponenciálně snižuje) [26]. Teplota vinutí se určuje nepřímo tak, že sekundární proud z PTP je přímo úměrný proudu ve vinutí. Tento proud teče vyhřívacím odporem v převodníku teploty a způsobuje umělé zvýšení teploty oleje naměřeného převodníkem. Tak simuluje teplotu vodiče vinutí. Zvýšení teploty je úměrné gradientu teploty vinutí vůči oleji [29]. Na obr. 15 níže jsou vidět teploměry vinutí a oleje. Teploty oleje a vinutí se využívají při výpočtu aktuálních ztrát transformátoru či hotspot teploty a jejímu následnému využití pro výpočet relativního stárnutí [26].



Obr. 15: Měření teploty oleje (vlevo) a teploty vinutí (vpravo)

V příloze 1 je popsán vývoj charakteristických plynů v průběhu provozu transformátoru, jejichž sledování je součástí nezákladnějšího monitoringu. V současnosti existuje několik senzorů pro online detekci plynů rozpuštěných v oleji. Může se jednat o jednoduché senzory monitorující pouze některé plyny nebo o online multi-gas senzory, které umožňují detekovat celé spektrum v oleji rozpuštěných plynů [26]. Jednoduché monitory se připevňují na volnou přírubu nádoby transformátoru. Mezi nejznámější patří např. senzory Calisto, Hydrocal či Hydran. Většinou monitorují vodík H_2 , jakožto hlavní indikátor tepelné poruchy v oleji, a oxid uhelnatý CO , jež je hlavním ukazatelem zvýšené degradace pevné izolace. Velmi často je sledována tzv. kompozitní hodnota vybraných plynů. Principy činnosti těchto senzorů se odlišují dle daného výrobce. V případě multi-gas senzorů jsou k instalaci většinou zapotřebí dvě příruby v transformátoru a potrubí pro přívod oleje do zařízení umístěného mimo transformátor. Mezi nejznámější multi-gas senzory patří např. Serveron TM8, Hydrocal nebo Transfix [20]. Činnost některých multi-gas senzorů je založena na principu plynové chromatografie a některé využívají princip

fotoakustické či infračervené spektroskopie. Tyto multi-gas senzory nejčastěji detekují vodík a další uhlovodíky - metan, etan, etylen, acetylen atd. Detailnější popis jednotlivých senzorů je uveden v příloze 2. U všech plynových senzorů je kromě absolutní hodnoty plynů rozpuštěných v oleji velmi důležitý i trend vývinu daných plynů, z něhož je možné usuzovat na vývoj poruchy uvnitř transformátoru.

Z důvodu významného vlivu vlhkosti na izolační systém transformátoru, je vhodné ji sledovat taktéž online. Měření vlhkosti je velmi často součástí plynových senzorů. Existuje však i samotný senzor detekující vlhkost oleje v transformátoru (nejznámější jsou senzory Vaisala či Domino) [26]. Základem je kapacitní tenkovrstvý polyimidový senzor, jehož dielektrické vlastnosti se mění v závislosti na hodnotě vlhkosti [15]. Změna kapacity se tedy mění s rozdílným obsahem vlhkosti v oleji, která je následně převáděna na hodnotu 4 až 20 mA. Vlhkost v oleji je uváděna v ppmw (parts per million weight) nebo v % relativní vlhkosti. Ze znalosti vlhkosti a teploty oleje se graficko-početní metodou (křivky rovnovážných diagramů vlhkosti) dá určit vlhkost papírové izolace [31]. Tento způsob výpočtu bohužel předpokládá tepelnou rovnováhu transformátoru, která však u provozovaného transformátoru téměř nikdy nenastane. Výsledkem je tedy orientační informace o obsahu vlhkosti v pevné izolaci, která však má jistou vypovídací schopnost zejména z hlediska vývoje jejích trendů [12]. Vlhkost oleje je spolu s teplotou oleje využívána pro výpočet např. teploty formace bublin či vlhkosti v bariérách.

V případě jednotky, která je plněná olejem a má dilatační nádobu, je Buchholzovo relé používáno jako ochranný prvek. Je zřejmé, že plyny vyvíjející se při závadách a poruchách v transformátoru, stoupají do Buchholzova relé, které je namontované na potrubí vedoucí z horní části nádoby do konzervátoru (obr. 16). Při překročení definovaného množství plynů je nejprve generován výstražný alarm, později povel k vypnutí transformátoru. Ke sledování časového průběhu vývoje integrální hodnoty plynů je nainstalován speciální senzor na odplyňovací ventil Buchholzova relé [32]. Senzor je válcového tvaru a je vyplněn olejem. Výška oleje se mění přímo úměrně obsahu plynu. Princip činnosti senzoru je založen na indukčnostíním měření výšky oleje v senzoru [26]. Podrobnější popis senzoru je uveden v příloze 2.

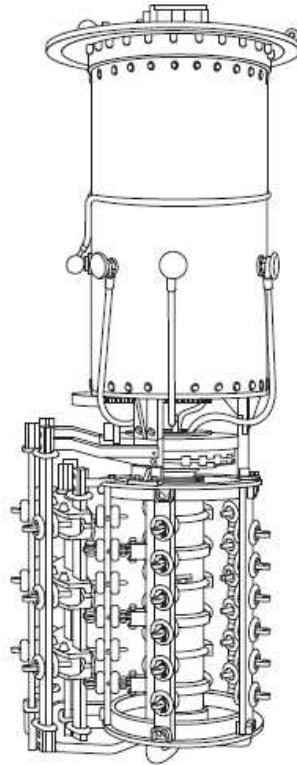


Obr. 16: Buchholzovo relé senzor

Veličiny charakterizující stav přepínače odboček OLTC

V důsledku fluktuace zatížení je nutné regulovat napětí, aby byla zajištěna stabilita a provozuschopnost elektrické soustavy. Z tohoto důvodu je každý výkonový transformátor PS vybaven přepínačem odboček pod zatížením OLTC (On-Load Tap Changer) [8]. Vinutí přepínače je nejčastěji připojeno ke společnému vinutí autotransformátoru ze strany neutrálního bodu. OLTC (výkres na obr. 17) je umístěn v nádobě transformátoru a je složen z voliče odboček a samotného přepínacího kontaktu pro přenesení zátěže z jedné odbočky na druhou [33], [34]. K přepnutí odbočky je zapotřebí pohonu, který přes hřídel a převodovku pohání samotný přepínač. OLTC je tedy jediný pohyblivý díl zapojený do aktivní části transformátoru, s čímž je logicky spojená i vyšší poruchovost, potvrzená rozborem poruch (obr. 2 a 4) [5], [6]. K výkonovému přepínání odboček dochází v uzavřené olejem naplněné nádobě OLTC, nedochází tedy ke kontaminaci oleje aktivní části transformátoru.

Údržba OLTC je prováděna v závislosti na frekvenci přepínání (rozdílné aplikace např. síťové vs pecní transformátory). V případě málo provozovaných OLTC (malý počet přepnutí) je výrobcem doporučeno provádět údržbu v pravidelných intervalech (je malé riziko opotřebení kontaktů, ale je vyšší riziko formace pevných částic a vlhkosti v oleji). Na druhou stranu u OLTC s velkým počtem přepínání, výrobce doporučuje provést údržbu v závislosti na počtu přepnutí a opotřebení kontaktů přepínače [8], [33].



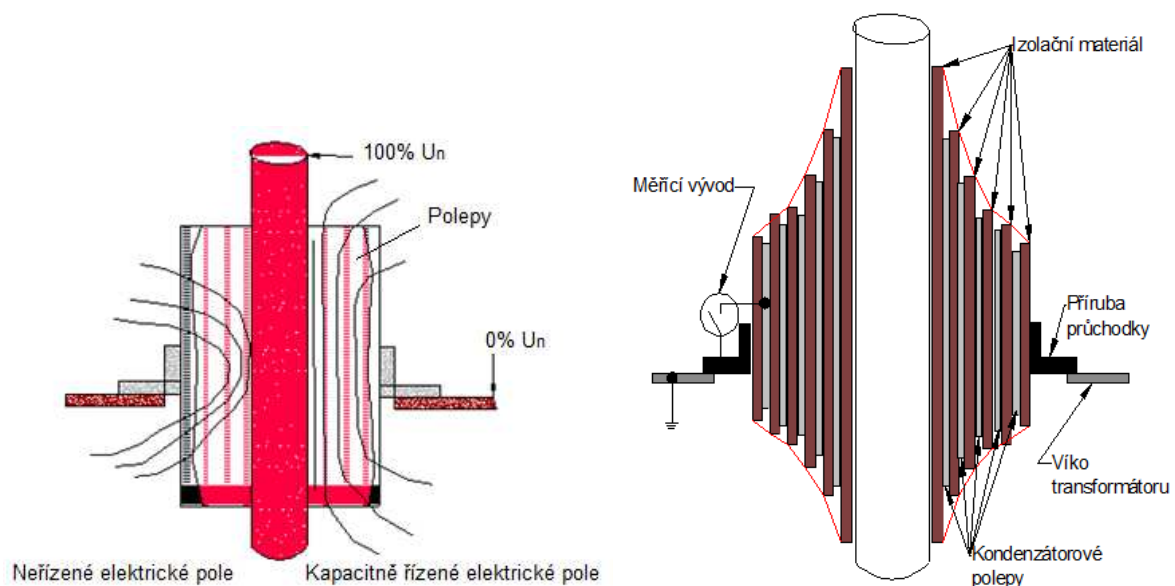
Obr. 17: Přepínač odboček převzato z [29]

Aktuální stav OLTC je charakterizován několika parametry, jako jsou např. doba provozu (provozní hodiny), poloha odbočky, počet provedených operací, spotřeba výkonu motoru pohonu, teplota a vlhkost oleje [15]. Teplota se měří většinou tyčovým Pt100, který je umístěn v jímce víka každého jednofázového OLTC. Vlhkost oleje je nejčastěji měřena čidlem Vaisala (obvykle jde o součást OLTC), jako v případě měření vlhkosti oleje aktivní části transformátoru. Aktuální poloha odbočky je získávána z BCD převodníku s diodovou maticí nebo z odporové dráhy (poloha odbočky je definována jako odpor na krok), které jsou nainstalovány ve skříni přepínače odboček [26]. Počet přepnutí je získáván inkrementací čítače při každém přepnutí. Spotřeba výkonu motorem pohonu při přepínání odboček je měřena pomocí převodníku výkonu. Ten převádí aktuální spotřebu výkonu na lineární proudový signál v rozsahu 0 až 20 mA, který je dále veden do sběrnice. Výkonový převodník je zapojen ve skříni OLTC před pohonem motoru. Příslušným průchodkovým PTP je měřen proud, který teče aktuální odbočkou. Z aktuální polohy odbočky, doby provozu a proudu odbočkou je možné získat přehled o době a počtu naspínaných proudů na dané odbočce [27]. Z časového průběhu výkonu motorem pohonu je možné získat informace o době zapínacího proudu OLTC, době přepnutí

odboček, spotřebě výkonu při otevírání kontaktů a pohybu voliče, zavírání kontaktů voliče nebo pohybu kontaktů přepínače pod zatížením [26]. Z výše uvedeného je možné usuzovat na aktuální mechanický stav přepínače (opotřebení jednotlivých kontaktů při znalosti materiálových charakteristik kontaktů). [26], [27].

Veličiny charakterizující stav průchodek

Průchodky jsou komponenty transformátoru zajišťující bezpečné a spolehlivé vyvedení elektrického výkonu z vysokonapětového vinutí (ze strany oleje i vzduchu) přes uzemněnou stěnu nádoby [35]. Na průchodky za provozu působí povětrnostní vlivy a jsou elektricky, mechanicky a tepelně namáhány. Z rozboru poruch (obr. 2 a 4 - 17 a 12 % poruch je způsobeno průchodkami) je evidentní, že se jedná o kritický prvek transformátoru [5], [6]. Konstrukční uspořádání průchodky (obr. 18) [36] musí být takové, aby potenciál elektrického pole byl rovnoměrně rozložen v radiálním i axiálním směru celé její izolace vůči potenciálu země [37]. To je zajištěno koncentricky umístěnými hliníkovými fóliemi (tzv. polepy) oddělenými papírovou izolací (výsledkem je tzv. kapacitně řízené elektrické pole průchodky) [34]. Délka polepů je odstupňována, jak je vidět na obr. 18. Externí izolace, nejčastěji vyrobená z porcelánu nebo kompozitu, má tvar stříšek, z důvodu prodloužení povrchové dráhy vnější izolace vůči zemi [35].



Obr. 18: Transformátorová průchodka - rozložení elektrického pole a konstrukční uspořádání, převzato z [36]

Jako parametr pro posouzení stavu průchodky se nejčastěji používá vypočtená hodnota změny kapacity C_1 průchodky [15]. Výpočet je založen na sledování napětí z měřicího vývodu kapacitního děliče průchodky (fázové napětí), jehož princip měření je uveden na obr. 14. Napětí jedné fáze se poměrově porovnává s napětími zbylých dvou fází téhož transformátoru, a výsledkem je změna napětí dané fáze [26]. Ta odpovídá změně kapacity C_1 horní části průchodky této fáze, z čehož je možné usuzovat na změnu stavu izolace průchodky (postupné stárnutí nebo náhlá změna např. při průrazu jednotlivých vrstev vedoucí k poruše průchodky) [38]. Trochu odlišný přístup k výpočtu změny kapacity průchodky je uveden v [39], kdy se porovnávají stejná fázová napětí dvou odlišných transformátorů (připojených na stejnou přípojnicí) v jedné elektrické stanici. Tím se omezí vliv nerovnováhy napětí elektrické sítě. Další možností monitoringu průchodek je např. měření prosakujícího proudu izolace mezi vodičem vedoucím průchodkou a uzemněním, nejčastěji měřeným přístrojovým transformátorem proudu PTP, jak je popsáno v [37].

Veličiny charakterizující stav chladičů

Chladičí systém se používá k odvedení tepla (Jouleovy ztráty, ztráty v magnetickém obvodu, atd.) vznikajícího při provozu transformátoru. Z rozboru poruch z hlediska jejich lokalizace uvedeného na obr. 4 [6] je zřejmé, že chladiče jako takové způsobily minimum poruch (1 % všech poruch). Avšak v případě jejich nedostatečné funkčnosti se zvyšuje teplota, izolační systém degraduje, dochází k jeho zrychlenému stárnutí a jeho technická životnost se významně zkracuje. Funkčnost a účinnost chladičího systému má tedy velký vliv na celkovou provozuschopnost výkonového transformátoru, ale i na jeho životnost. Transformátory PS využívají dva typy chladičích médií (olej a vzduch). Jde o olejové transformátory, jejichž olej předává teplo proudícímu vzduchu, hnanému přes chladiče ventilátory. Chladiče transformátorů PS jsou tvořeny obvykle voštinovými výměníky (zvětšený chladičí povrch znamenající vyšší účinnost chlazení) doplněnými sadami ventilátorů, které je ofukují [29]. V případě transformátorů s vyšším výkonem je součástí chladiče i oběžné čerpadlo pro zajištění cirkulace oleje a tím odvodu tepla uvnitř nádoby. Způsob chlazení transformátoru se označuje 4 písmeny. První označuje druh chladičího média v nádobě, druhé způsob oběhu chladiča, třetí určuje typ chladičího média vnějšího okruhu a čtvrté písmeno způsob cirkulace chladiča

vnějšího obvodu. Chladicí média jsou vzduch (A), voda (W), plyn (G) a olej (O). Dle způsobu cirkulace chladiva se rozlišuje oběh přirozený (N), nucený (F) a nucený s usměrněným prouděním (D) [35]. U transformátorů PS se nejčastěji používá chlazení typu OFAF nebo ODAF [29]. Při nízkém zatížení transformátoru se využívá přirozeného chladicího efektu, tedy chlazení typu ONAN (vypnuté čerpadlo i ventilátory).

Z hlediska parametrů sledování kondice chladicího systému jsou sledovány teploty oleje před a za chladičem a aktuální stav čerpadla a ventilátorů [15]. Teploty oleje jsou opět měřeny odporovými sondami typu Pt100. V případě instalace senzoru, již při výrobě transformátoru, se využívají tyčové teploměry umístěné do potrubí chladiče [27]. V případě instalace senzorů na již provozovaný transformátor se používá příložný Pt100, ať už s permanentním magnetem nebo uchycený stahovacími pásky [28].

Ke sledování stavové signalizace čerpadel a ventilátorů jsou využity pomocné kontakty stykačů spínajících motory čerpadel a ventilátorů. Výstupem je 1 bitová signalizace zapnuto/ vypnuto. Provozní hodiny sledují dobu provozu jednotlivých čerpadel a ventilátorů. Při překročení nastavené hodnoty provozu čerpadel a ventilátorů je generována informace k provedení jejich údržby. [27]

Teploty spolu s aktuálním stavem čerpadel a ventilátorů dávají informaci o efektivní činnosti chlazení. K výpočtu hotspot teploty či termohydraulickému modelu pro řízení provozu chladičů na základě dat z monitoringu (spínání dle teplot oleje, doby provozu čerpadel nebo řízení rychlosti ventilátorů) se dále využívají informace o typu chlazení, výkonu chladicí jednotky či data z oteplovacích zkoušek transformátoru [26].

4 Analýza výstupů monitoringu transformátorů přenosové soustavy

Velká část transformátorů přenosové soustavy je při výrobě a následném uvádění do provozu osazena komplexními monitorovacími systémy jednoho ověřeného dodavatele (za posledních 10 let všechny stroje). Tento monitoring je považován odborníky ČEPS, a.s. za na trhu nejspolehlivější a je definován v koncepci technické infrastruktury jako typový [22]. Jde o monitorovací systémy transformátorů 2. a 3. generace (z pohledu neustálého vývoje), které z důvodu nezávislosti a komerční zdrženlivosti nazvu MST2 a MST3 (monitorovací systém transformátorů 2. a 3. generace). MST2 byl instalován na transformátorech vyrobených do roku 2008 a z hlediska vývoje novější a spolehlivější MST3 pak od roku 2008. Navzdory tomu, že jde o kvalitní systémy, které jsou neustále zdokonalovány, je současnou snahou zvýšit spolehlivost a věrohodnost jimi poskytovaných dat. Z hlediska výstupů monitoringů lze rozlišovat dva typy - data ze signálů, která jsou získávána měřicím senzorem a přes komunikační řetězec zapisována do databáze. A dále pak hlášení, která jsou generována, když data ze senzorů překročí nastavitelné meze (většinou dvě úrovně hlášení - výstraha a alarm). Tato hlášení jsou hlavním výstupem a měla by vést k odhalení vyvíjejících se závad (než se rozvinou do poruchy) bez nutnosti vypnout transformátor a v hlášení těchto závad dispečerům a údržbě (iniciování akce). Každé hlášení musí dávat jednoznačné informace o stavu jednotlivých podsystémů transformátoru. Z těchto důvodů byla realizována analýza hlášení monitorovacími systémy za jednorocní provoz 13 transformátorů PS, se jmenovitým převodem $400/121 \pm 8 \times 1,5\%/10,5$ kV, jmenovitým výkonem 350 nebo 250 MVA, které jsou osazeny monitoringy MST2 (5 transformátorů) a MST3 (8 transformátorů).

4.1 Metodika rozboru generování hlášení monitorovacími systémy nasazenými na transformátorech přenosové soustavy

Prvním cílem daného rozboru je určit nejčastěji generovaná hlášení z důvodu kvantifikace (četnosti výskytu) a posouzení, zda monitoringy generují či negenerují velké množství nadbytečných hlášení, která by mohla vést k odhalení slabých míst monitoringů. Druhým cílem prováděného šetření bylo zpracovat statistickou analýzu

překročení jednotlivých mezí veličin obou generací monitorovacích systémů, včetně grafického vyjádření rozdělení četností ve formě histogramů.

Metodicky byly prováděné činnosti řazeny do následujících kroků:

- Stažení hlášení z deníků hlášení monitoringů jednotlivých transformátorů, na nichž jsou nasazeny systémy MST2 a MST3.
- Filtrace hlášení dle jejich indexů a názvů.
- Výpis všech komentářů vyskytujících se u daných hlášení.
- Pro rozbor četností výskytu konkrétních hlášení a překročení jednotlivých mezí byly uvažovány pouze komentáře typu BIN_0 (překročena binární hodnota), HI0_SET (překročena nastavená hodnota varování), HI1_SET (překročena nastavená hodnota alarmu), RANGE (překročen nastavený rozsah hodnot) atd., které jsou generovány při překročení nastaveného limitu. Komentáře typu NORMAL (normální činnost), BIN_0_QUIT (kvitace hlášení binární hodnoty), atd., jež jsou generovány při poklesu hodnoty veličiny pod nastavený limit či po „odkvitování“ hlášení, a tudíž nedávají informaci o výskytu hlášení, nebyly uvažovány do určení četnosti výskytu hlášení.
- Určení četností výskytu jednotlivých hlášení (ukázka na obr. 19).
- Kategorizace hlášení do tří kategorií - hlášení o veličinách ze senzorů, stavová hlášení a vnitřní hlášení monitoringů.
- Analýza hlášení vybraných kategorií z hlediska jejich výskytu.
- Analýza hlášení o veličinách ze senzorů, stavových hlášení a vnitřních hlášení monitoringů.
- Popisná statistika překročení současně nastavených mezí sledovaných veličin (hlášení ze senzorů) jednotlivých monitorovacích systémů MST2 a MST3.
- Histogramy překročení mezí veličin pro jednotlivé transformátory.
- Histogramy překročení mezí veličin pro celý soubor transformátorů pro jednotlivé monitorovací systémy MST2 a MST3
- Vyhodnocení hlášení jednotlivých monitorovacích systémů MST2 a MST3.

	A	C	D	E	F	G	H
1	Number	Long Name	Long action	Comment	Unit	Value - example/ comment - czech	FREQUENCY
2							TEMPERATURES
3	43	Oil temp. difference In-Out Cooler4 Tr1	NORMAL			19,8	5
4			HI0_SET	Upper Warning Level: 22.00	K	22	5
5							CURRENTS
6	100		NORMAL		A	172,391125	1
7			HI0_SET	Upper Warning Level: 530.00	A	533,768731	1
8			HI1_SET	Upper Alarm Level: 556.00	A	567,153539	1
9	101	Load current raw HV Phase2 Tr1	NORMAL		A	124,481338	1
10			HI1_SET	Upper Alarm Level: 556.00	A	565,34196	1
11	103	Load current raw MV Phase1 Tr1	NORMAL		A	563,615833	1
12			HI0_SET	Upper Warning Level: 1898.00	A	1921,323283	1
13			HI1_SET	Upper Alarm Level: 2088.00	A	2194,891202	1
14	104	Load current raw MV Phase2 Tr1	NORMAL		A	354,503006	1
15			HI0_SET	Upper Warning Level: 1898.00	A	1911,55736	1
16			HI1_SET	Upper Alarm Level: 2088.00	A	2195,867794	1
17							VOLTAGES
18	200	Voltage raw HV Ph.1 Tr1	NORMAL		kV	337,688284	11
19			HI0_SET	Upper Warning Level: 346.00	kV	362,197333	13
20			HI1_SET	Upper Alarm Level: 393.00	kV	591,099521	7
21	201	Voltage raw HV Ph.2 Tr1	NORMAL		kV	339,780877	28
22			HI0_SET	Upper Warning Level: 346.00	kV	374,498733	37
23			HI1_SET	Upper Alarm Level: 393.00	kV	439,558092	22
24	202	Voltage raw HV Ph.3 Tr1	NORMAL		kV	321,218299	29
25			HI0_SET	Upper Warning Level: 346.00	kV	368,946318	46
26			HI1_SET	Upper Alarm Level: 393.00	kV	466,76693	35
27							

Obr. 19: Ukázka rozdělení hlášení dle indexů, jména a jejich četnosti výskytu

Jednotlivá hlášení jsou rozdělena do tří hlavních kategorií. Jde o hlášení o veličinách ze senzorů, stavová hlášení a vnitřní hlášení monitoringu. Jednotlivé části transformátoru (aktivní část, průchodky, OLTC, chladicí systém) jsou osazeny senzory, které poskytují data do databáze monitorovacího systému. Hlášení o veličinách ze senzorů jsou generována, když monitorovaná veličina překročí nastavené meze (dvě meze – pro varování a alarm). Společně s tímto hlášením je okamžitě generováno hlášení o celkovém stavu podsystému transformátoru (stavové hlášení - např. stav OLTC, průchodek aj.), jehož se hlášení týká, a které je zobrazeno v celkovém přehledu o stavu transformátoru. Tato stavová hlášení dávají informaci pouze o aktuálním stavu daného podsystému a jde tedy o nedůležitá hlášení z hlediska jednoznačnosti informace o problému. Poslední kategorií jsou vnitřní hlášení monitoringu, která dávají informace o aktuálním stavu (nefunkčnosti) jednotlivých komponentů monitorovacího systému (IED, sběrnice, vstupní terminálové moduly, komunikační problémy apod.). Zejména z důvodu eliminace vnitřních problémů monitoringu probíhá každé čtyři hodiny samokontrola systému (selfcheck), která dává informace o tom, že jsou všechny komponenty monitoringu provozuschopné (případně s jakým prvkem je problém). Jednou týdně pak probíhá samo restartování monitoringu. Důvody generování vnitřních hlášení monitoringu však bohužel nejsou kolikrát schopni zjistit ani samotní výrobci monitorovacích

systémů. Soubor hlášení generovaných monitorovacími systémy MST2 a MST3 nasazených na výkonových transformátorech přenosové soustavy je uveden v **příloze 3**. Z hlediska provozu samotného transformátoru, odhalování závad a iniciací k ověřovací diagnostice, potažmo údržbě, jsou nejdůležitější hlášení o veličinách ze senzorů. Nicméně, vnitřní hlášení monitoringu jsou důležitá z důvodu provozuschopnosti monitoringu, tedy i věrohodnosti dat a tím i hlášení o veličinách ze senzorů.

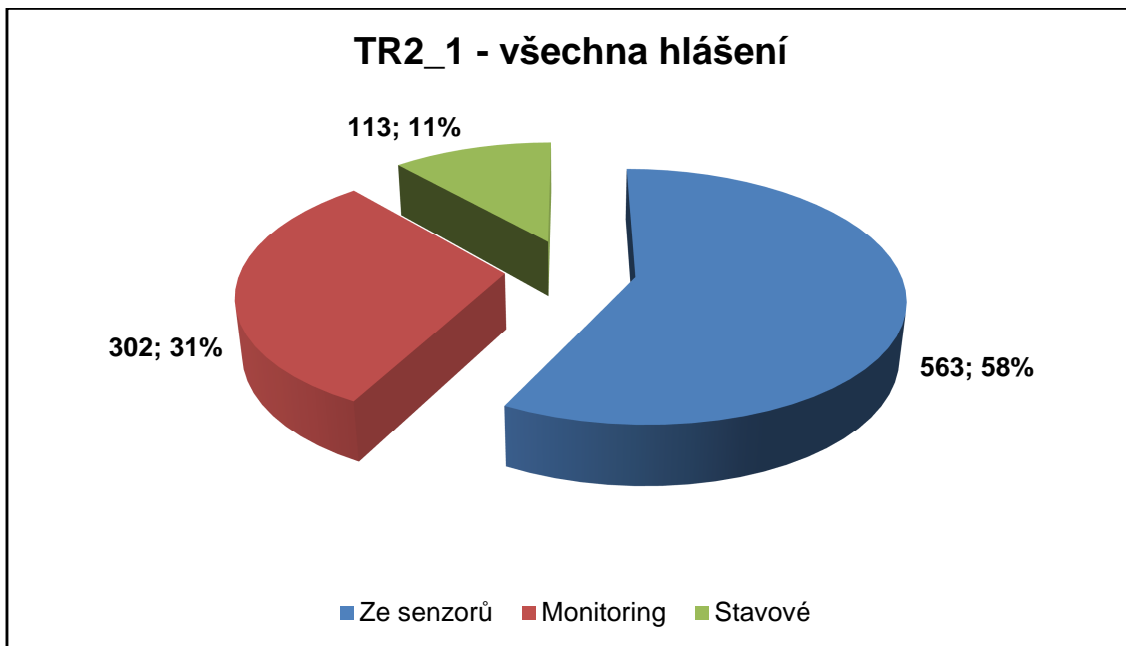
4.2 Rozbor generovaných hlášení monitorovacími systémy 2. generace (MST2) nasazených na transformátorech přenosové soustavy

Monitorovací systémy 2. generace (MST2) jsou nasazeny na 5 transformátorech přenosové soustavy, které z důvodu nezávislosti a komerční zdrženlivosti označím jako transformátory TR2_1, TR2_2, TR2_3, TR2_4 a TR2_5, a u nichž byla provedena analýza hlášení za jejich jednorocní provoz. Níže je pro ilustraci uveden rozbor četnosti výskytu a statistická analýza překročení mezí generovaných hlášení u transformátoru TR2_1. Stejnou metodikou byl proveden rozbor četnosti výskytu a statistická analýza překročení mezí generovaných hlášení i u transformátorů TR2_2, TR2_3, TR2_4 a TR2_5. Výsledné rozborů četnosti výskytu všech analyzovaných transformátorů jsou uvedeny v **příloze 4**, společně s celkovým zhodnocením hlášení generovaných monitorovacími systémy 2. kategorie MST2. Statistické analýzy a histogramy překročení mezí generovaných hlášení u všech analyzovaných transformátorů, společně s vyhodnocením celého souboru transformátorů osazených systémem MST2 dle jednotlivých veličin, jsou uvedeny v **příloze 5**.

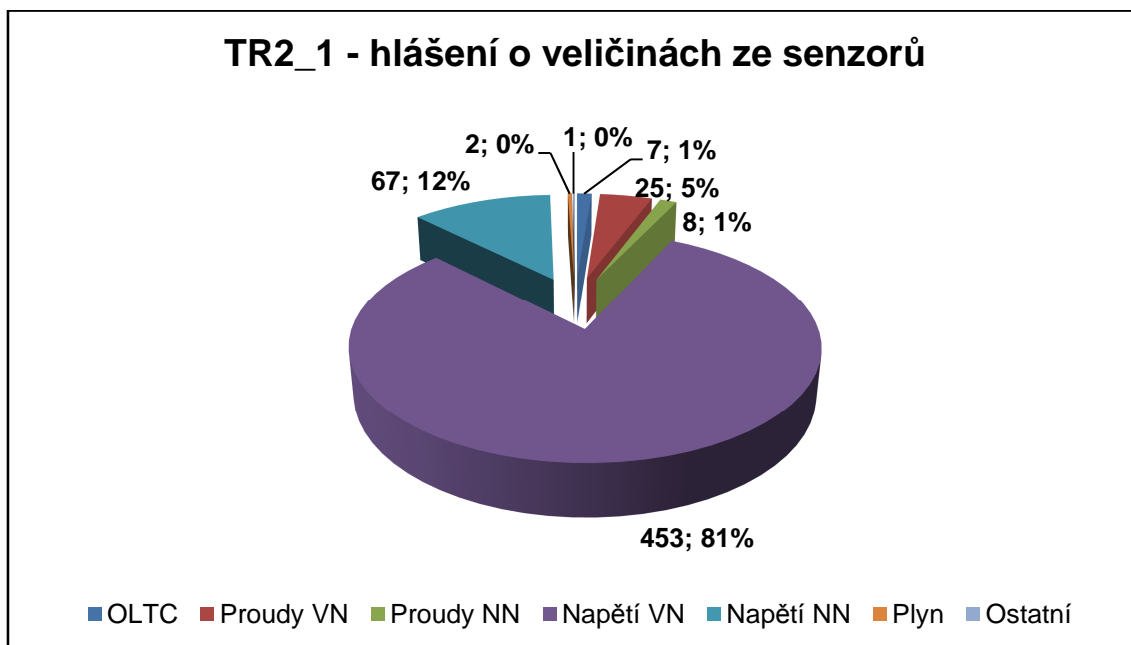
Transformátor TR2_1

Z celkových 978 hlášení, která byla generována v průběhu jednorocního provozu transformátoru TR2_1 bylo 31 % vnitřních hlášení monitoringu, 58 % hlášení o veličinách ze senzorů a 11 % stavových hlášení. Z vnitřních hlášení byla nejčetnější hlášení "Stav IEC104 slave driver" (152x), dále pak "Stav vazebního modulu profibusu" (71x), "Interní hodnota" (42x) a "Stav UPS porucha" (33x). Nejčastější stavová hlášení byla "Součtová výstraha transformátoru" (56x) a "Stav

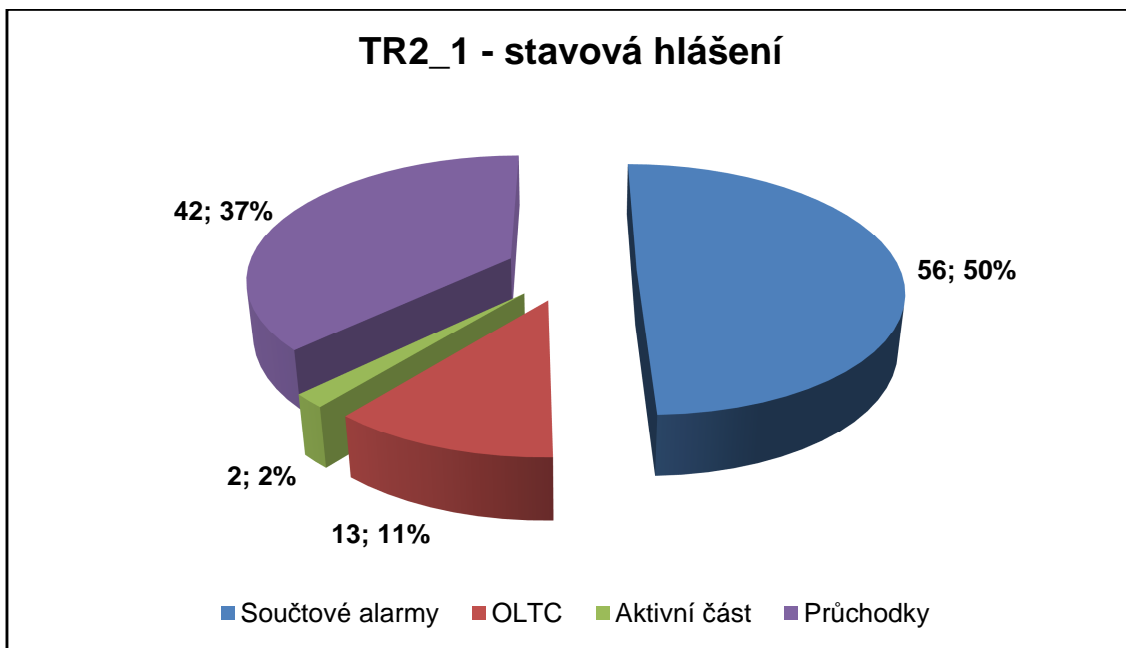
průchodek", jenž se vyskytoval ve 42 případech – hláška typu "Výstraha přepětí" (35 ze 42 případů). Hlášení o veličinách ze senzorů byla nejvíce zastoupena hlášení od senzorů napětí – až 93 % všech hlášení ze senzorů. Z nichž hlášení "Napětí VN" jednotlivých fází se vyskytlo ve 453 případech a hlášení "Napětí NN" jednotlivých fází v 67 případech. Rozložení hlášení jednotlivých kategorií je vidět na obr. 20, 21, 22 a 23.



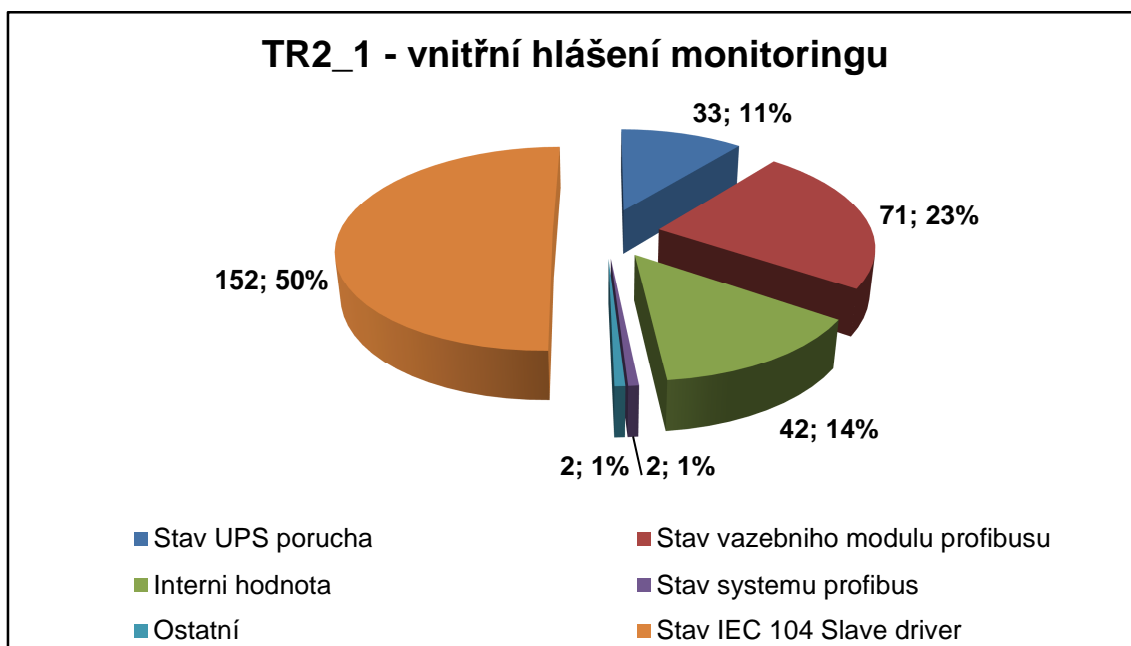
Obr. 20: Rozložení všech hlášení generovaných u TR2_1



Obr. 21: Rozložení hlášení o veličinách ze senzorů u TR2_1



Obr. 22: Rozložení stavových hlášení u TR2_1

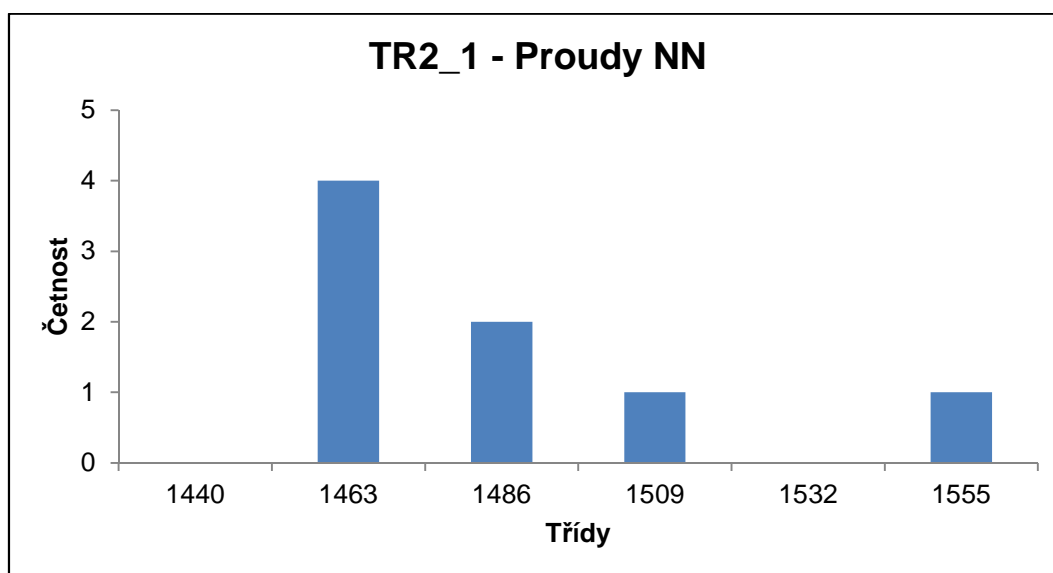


Obr. 23: Rozložení vnitřních hlášení monitoringu u TR2_1

Mezi nejčastěji překročené meze veličin (tedy hlášení ve formě alarmů a varování) patřily meze u veličin „Doba přepnutí OLTC“, „Proudý zatížení vyššího napětí – VN“ (400 kV), „Proudý zatížení nižšího napětí – NN“ (121 kV), „Vyšší napětí VN“ a „Nižší napětí NN“. Jejich popisná statistika je uvedena v tab. 5, 6, 7, 8 a 9 a histogramy jsou vidět na obr. 24, 25, 26 a 27.

Tab. 5: Popisná statistika - Proudý zatížení NN – TR2_1

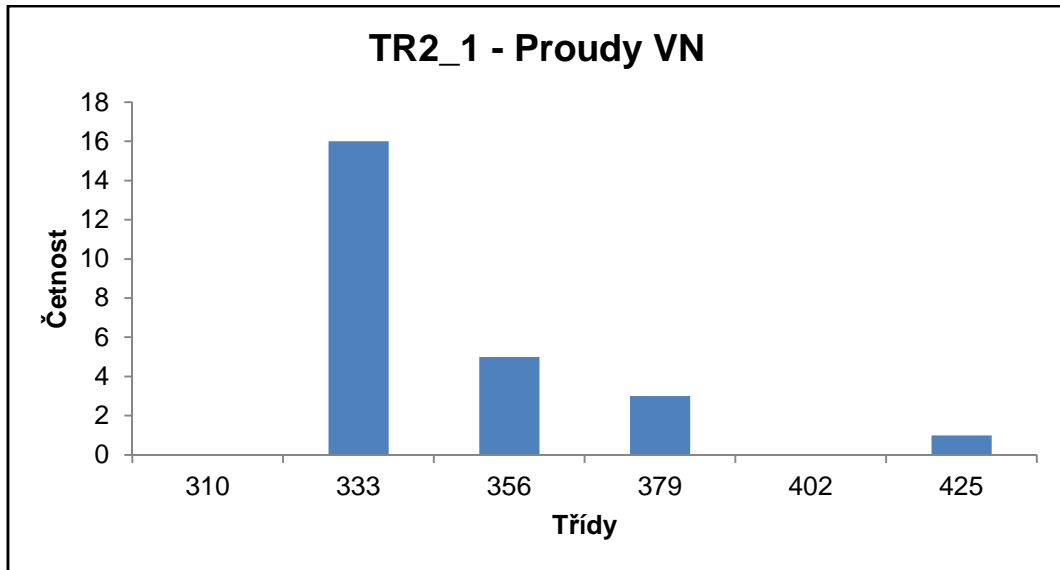
Veličina	Proudý zatížení NN
Jmen. hodnota - nejvyšší odbočka	1065 A
Jmen. hodnota - nejnižší odbočka	1355 A
Limit - Varování	1400 A
Limit - Alarm	1450 A
Počet překročení	8
Střední hodnota	1475,6 A
Směr. odchylka	35,6 A
Variační koeficient	2,4%
Maximum	1553,5 A
Minimum	1440 A



Obr. 24: Histogram - Proudý zatížení NN - TR2_1

Tab. 6: Popisná statistika - Proudý zatížení VN - TR2_1

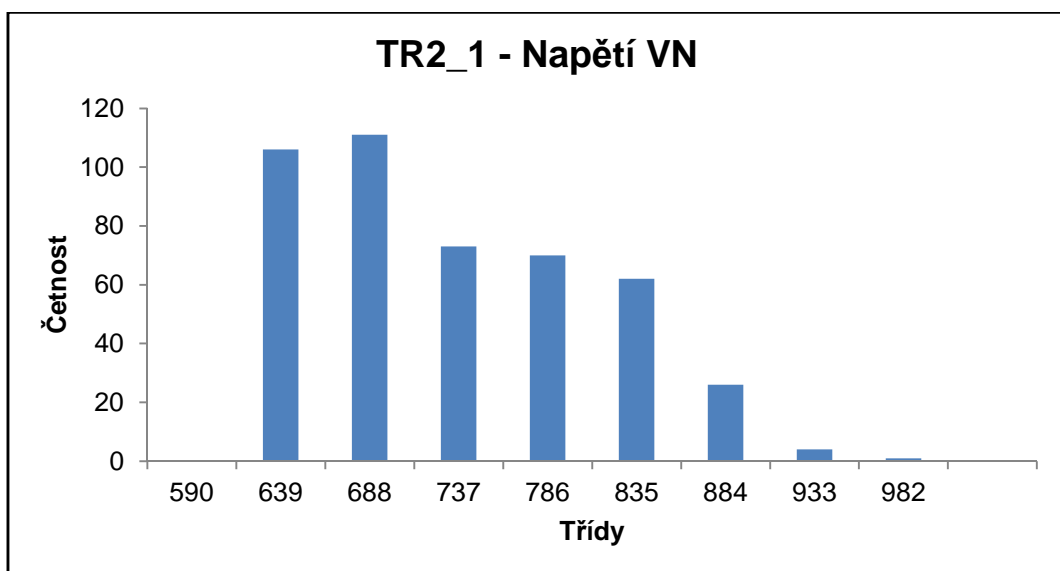
Veličina	Proudý zatížení VN
Jmen. hodnota	360 A
Limit - Varování	310 A
Limit - Alarm	350 A
Počet překročení	25
Střední hodnota	331,5 A
Směr. odchylka	26,6 A
Variační koeficient	8,0%
Maximum	422,6 A
Minimum	310,7 A



Obr. 25: Histogram - Proudů zatížení VN - TR2_1

Tab. 7: Popisná statistika - Napětí VN - TR2_1

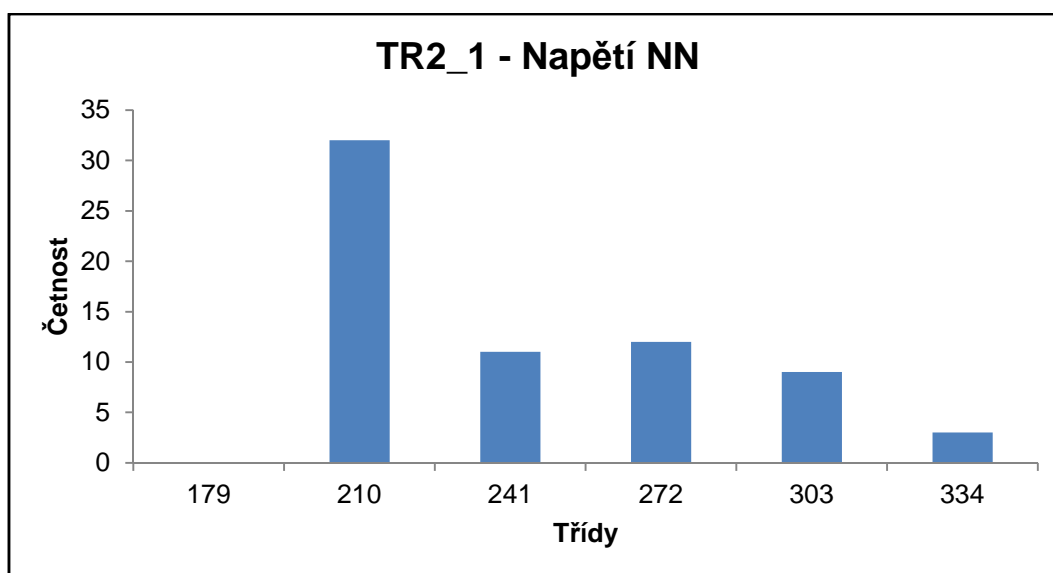
Veličina	Napětí VN
Jmen. hodnota	400 kV
Limit - Varování	600 kV
Limit - Alarm	700 kV
Počet překročení	453
Střední hodnota	709 kV
Směr. odchylka	79,1 kV
Variační koeficient	11,1%
Maximum	980,5 kV
Minimum	590,4 kV



Obr. 26: Histogram - Napětí VN - TR2_1

Tab. 8: Popisná statistika - Napětí NN - TR2_1

Veličina	Napětí NN
Jmen. hodnota - nejvyšší odbočka	135,5 kV
Jmen. hodnota - nejnižší odbočka	106,5 kV
Limit - Varování	184 kV
Limit - Alarm	215 kV
Počet překročení	67
Střední hodnota	229,4 kV
Směr. odchylka	39,6 kV
Variační koeficient	17,2%
Maximum	330,2 kV
Minimum	179,4 kV



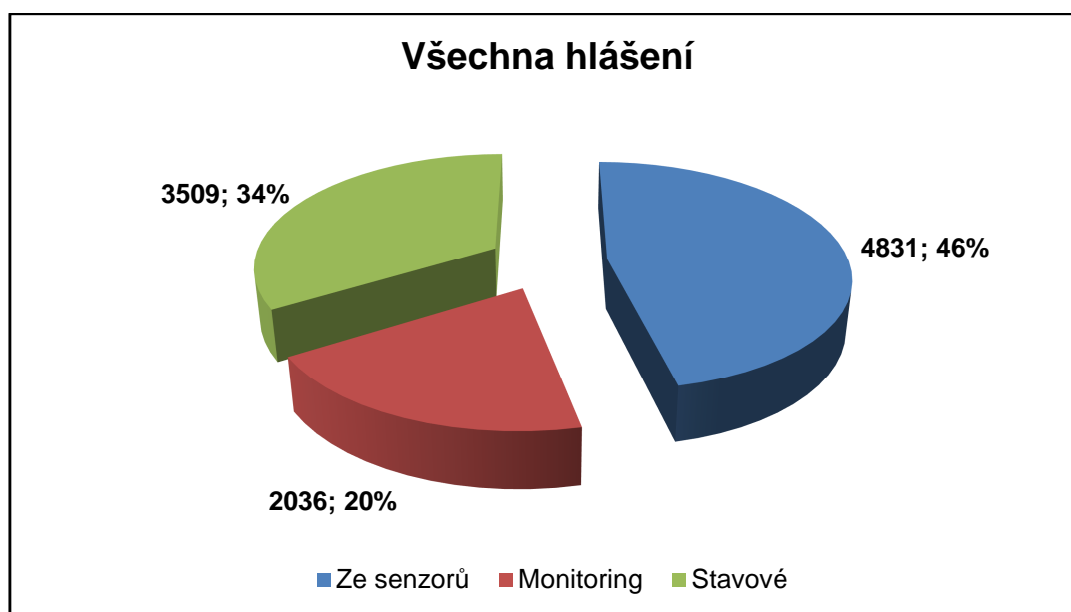
Obr. 27: Histogram - Napětí NN - TR2_1

Tab. 9: Popisná statistika - Doba přeprnutí OLTC - TR2_1

Veličina	Doba přeprnutí
Limit - Alarm	8,5 s
Počet překročení	6
Střední hodnota	10,26 s
Směr. odchylka	0,02 s
Variační koeficient	0,18%
Maximum	10,29 s
Minimum	10,24 s

Celkové zhodnocení hlášení generovaných monitorovacími systémy 2. generace MST2

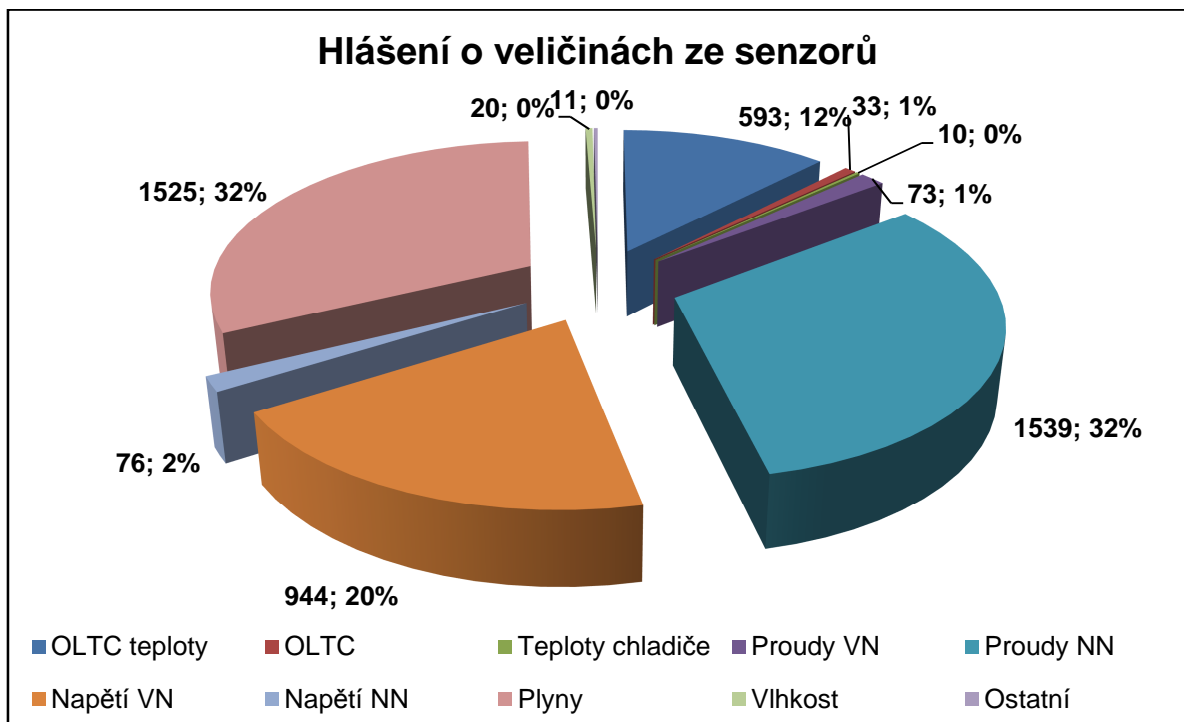
U všech pěti analyzovaných transformátorů se vyskytlo celkem 10 376 hlášení, z nichž 46 % (4831x) byla hlášení o veličinách ze senzorů, 34 % (3509x) stavových hlášení a 20 % (2036x) vnitřních hlášení monitoringu. Rozložení všech hlášení generovaných u všech pěti analyzovaných transformátorů je vidět na obr. 28.



Obr. 28: Rozložení všech hlášení generovaných u všech pěti analyzovaných transformátorů

Hlášení o veličinách ze senzorů

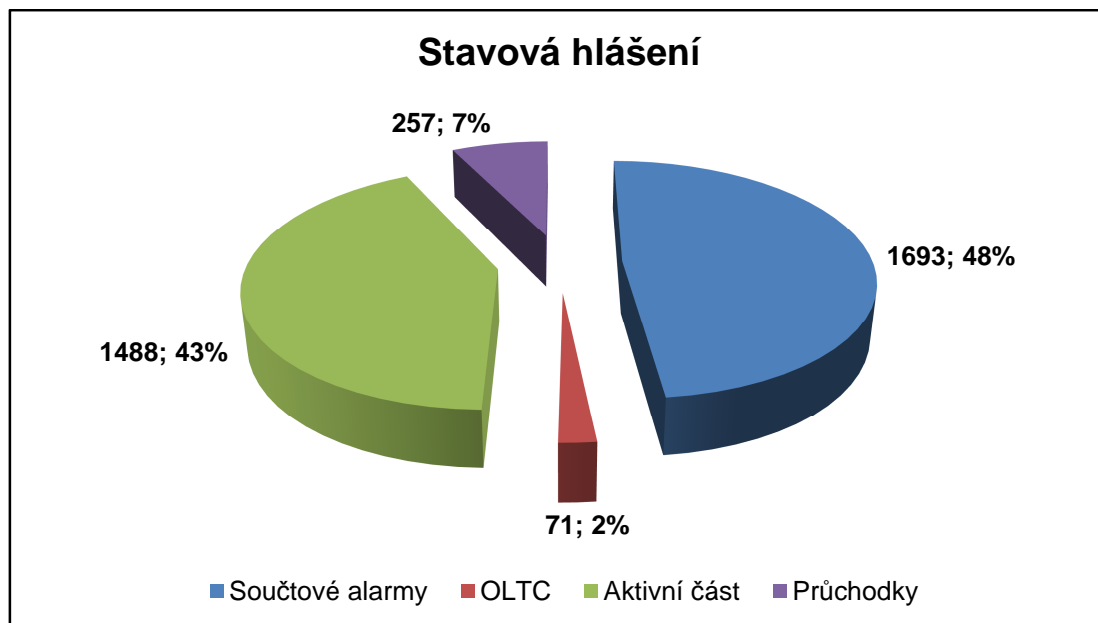
U tří transformátorů (TR2_1, TR2_3 a TR2_5) byl vysoký výskyt hlášení "Napětí VN" jednotlivých fází a jednalo se celkem přibližně o 20 % všech hlášení o veličinách ze senzorů. Ve dvou případech (TR2_4 a TR2_5) se často vyskytovalo hlášení "Teplota oleje OLTC" všech jeho tří částí (přibližně 12 % všech hlášení o veličinách ze senzorů). Přes 30 % všech hlášení o veličinách ze senzorů bylo způsobeno díky hlášení "Proud zatížení NN" všech fází, kdy většina byla generována u transformátoru TR2_4 (1500x). Taktéž přes 30 % všech hlášení o veličinách ze senzorů bylo generováno jako "Množství plynu v plynovém relé", a to opět u transformátoru TR2_4 (1455x). Rozložení všech hlášení o veličinách ze senzorů je vidět na obr. 29.



Obr. 29: Rozložení hlášení o veličinách ze senzorů generovaných u všech pěti analyzovaných transformátorů

Stavová hlášení

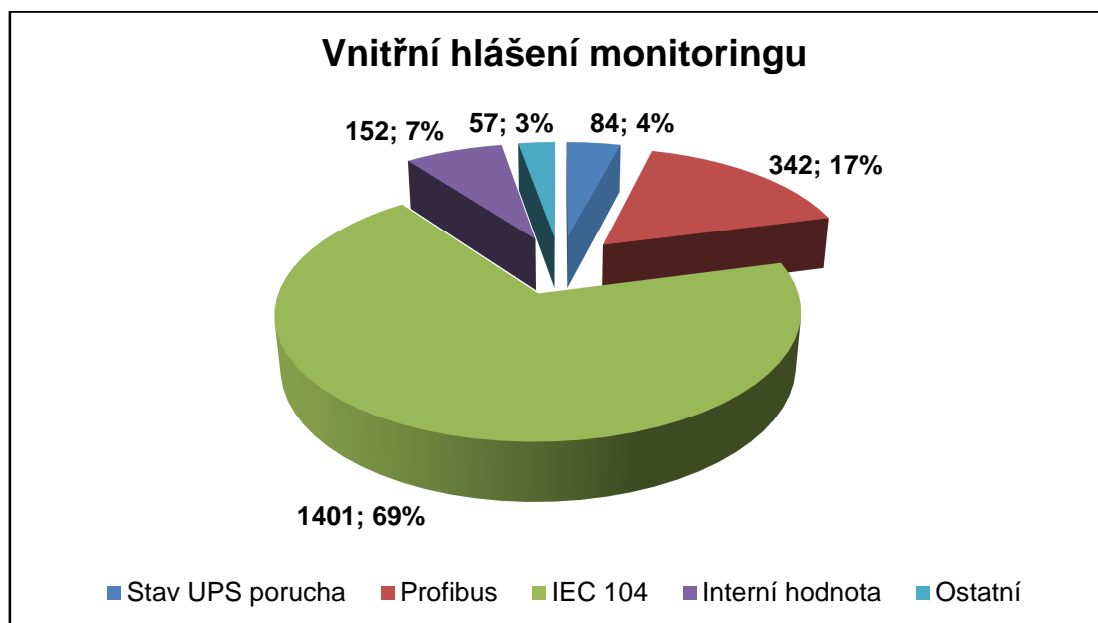
Celkem se u všech analyzovaných transformátorů objevilo nejčastěji stavové hlášení "Součtový alarm transformátoru", které je generováno, pokud se něco s transformátorem děje. Hlášení "Stav aktivního dílu" se objevovalo zejména u transformátoru TR2_4 a celkem se objevilo ve 48 % všech stavových hlášení, a to zejména díky hlášce "Výstraha plynové relé-obsah plynu", která se objevila v 1392 případech. U transformátoru TR2_5 se často objevovalo stavové hlášení "Stav průchodek", které se celkem vyskytovalo v 7 % všech stavových hlášení. Rozložení všech stavových hlášení je vidět na obr. 30.



Obr. 30: Rozložení stavových hlášení generovaných u všech pěti analyzovaných transformátorů

Vnitřní hlášení monitoringu

U všech transformátorů se nejčastěji vyskytuje hlášení "Stav IEC104 slave driver" (70 %). U téměř všech transformátorů se pak objevuje velice často hlášení typu "Stav vazebního modulu profibusu" (17 %). Rozložení všech vnitřních hlášení monitoringu je vidět na obr. 31.



Obr. 31: Rozložení vnitřních hlášení monitoringu generovaných u všech pěti analyzovaných transformátorů

Monitorovací systém 2. generace MST2 je nasazen na 5 analyzovaných třífázových transformátorech. U uvedených 5 transformátorů patřilo mezi nejčastěji generovaná vnitřní hlášení monitoringu hlášení "**Stav IEC104 slave ovladač**". Nejčastější stavová hlášení byla "Součtový alarm transformátoru" a "**Stav aktivní části**". U hlášení o veličinách ze senzorů bude nutné zjistit příčiny častého výskytu hlášení typu "**Napětí VN**" jednotlivých fází a "**Teplot oleje OLTC**" všech jeho tří částí. V případě transformátoru TR2_4 pak bude důležité zjistit velkou frekvenci výskytu hlášení "**Proud zatížení NN**" všech fází a "**Množství plynu v plynovém relé**". Podrobné rozборы všech hlášení a hlášení dle kategorií všech analyzovaných transformátorů jsou uvedeny v **příloze 4**.

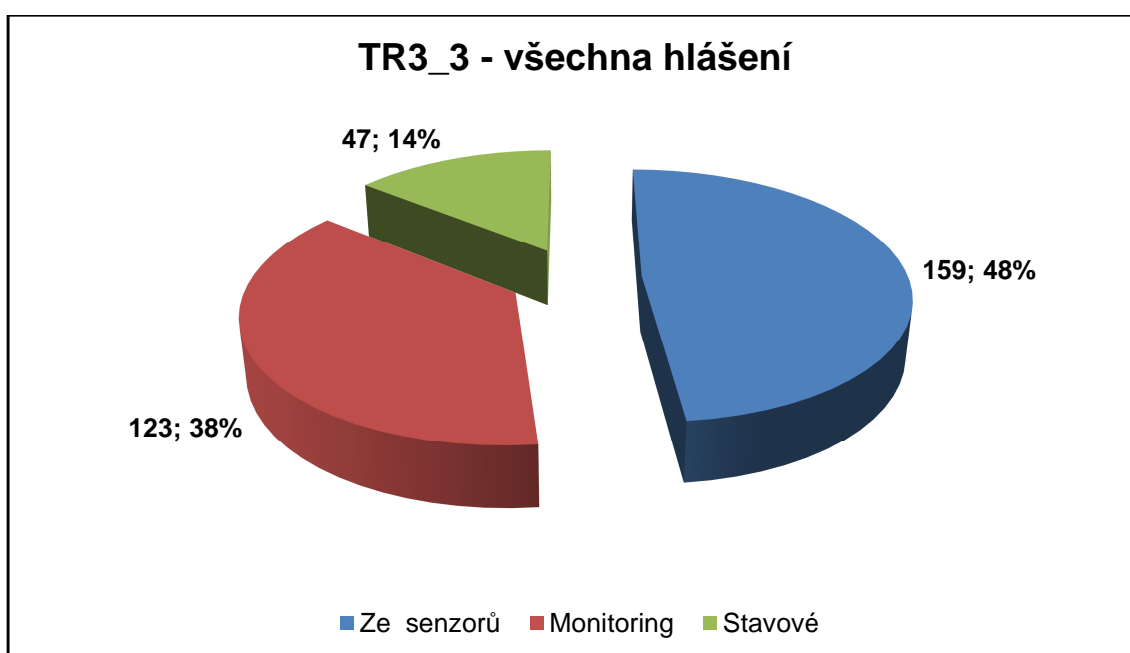
Statistické analýzy a histogramy překročení mezí generovaných hlášení u všech analyzovaných transformátorů, společně s vyhodnocením celého souboru transformátorů osazených systémem MST2 dle jednotlivých veličin, jsou uvedeny v **příloze 5**.

4.3 Rozbor generovaných hlášení monitorovacími systémy 3. generace (MST3) nasazených na transformátorech přenosové soustavy

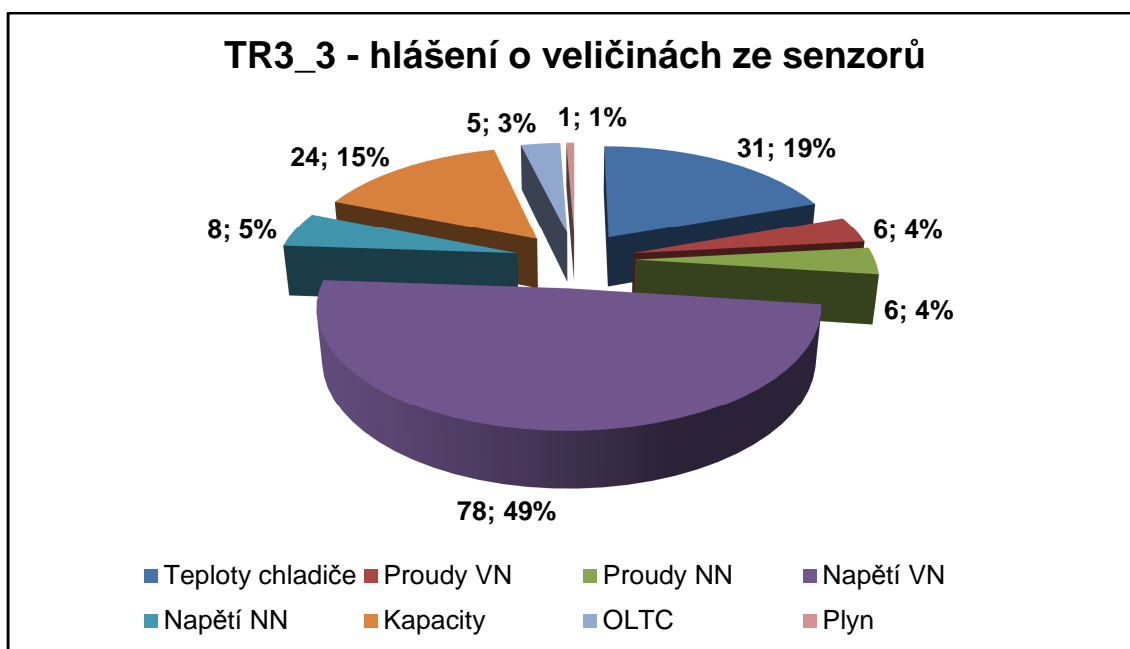
Monitorovací systémy 3. generace (MST3) jsou nasazeny na 8 transformátorech přenosové soustavy, které z důvodu nezávislosti a komerční zdrženlivosti označím jako transformátory TR3_1, TR3_2, TR3_3, TR3_4, TR3_5, TR3_6, TR3_7 a TR3_8, a u nichž byla provedena analýza hlášení za jejich jednoroční provoz. Níže je pro ilustraci uveden rozbor četnosti výskytu a statistická analýza překročení mezí generovaných hlášení u transformátoru TR3_3. Stejnou metodikou byl proveden rozbor četnosti výskytu a statistická analýza překročení mezí generovaných hlášení i u transformátorů TR3_1, TR3_2, TR3_4, TR3_5, TR3_6, TR3_7 a TR3_8. Výsledné rozборы všech analyzovaných transformátorů jsou uvedeny v **příloze 6**, společně s celkovým zhodnocením hlášení generovaných monitorovacími systémy 3. generace MST3. Statistické analýzy a histogramy překročení mezí generovaných hlášení u všech analyzovaných transformátorů, společně s vyhodnocením celého souboru transformátorů osazených systémem MST3 dle jednotlivých veličin, jsou uvedeny v **příloze 7**.

Transformátor TR3_3

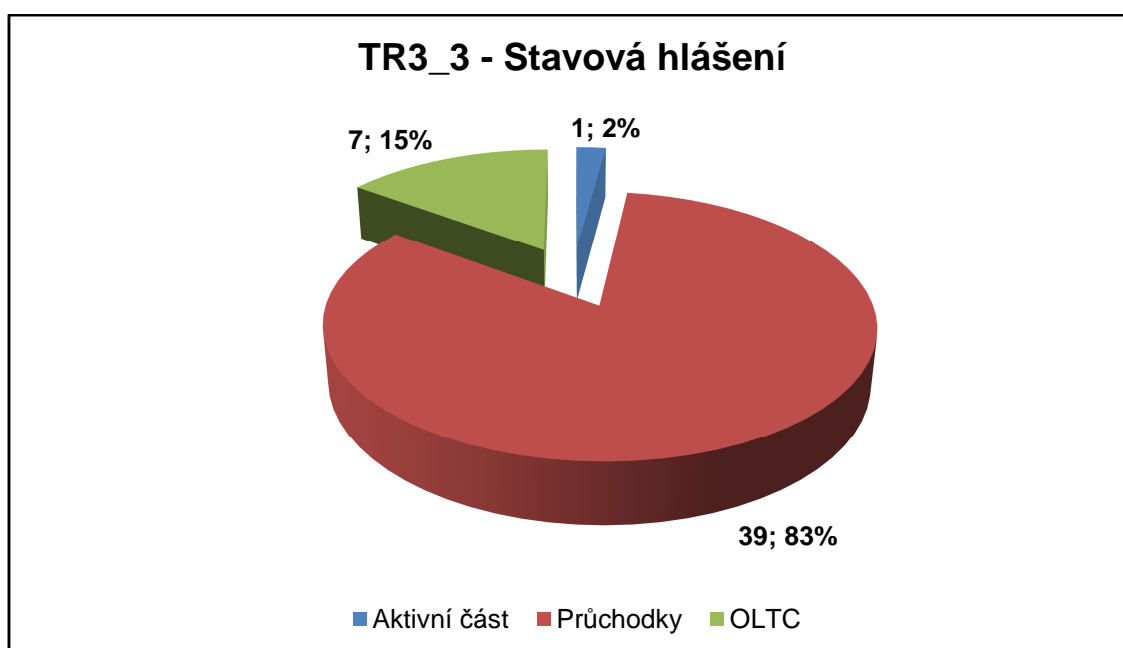
Z celkového počtu 329 hlášení, jich 38 % bylo generováno jako vnitřní, 48 % o veličinách ze senzorů a 14 % jako stavová hlášení. Opět nejvíce vnitřních hlášení – 119 - bylo generováno jako "Stav IEC104 slave driver". Celkem 39 stavových hlášení vzniklo díky stavu průchodek (hláška "Přepětí" – 32x). Hlášení "Napětí VN" jednotlivých fází překročilo nastavené meze 78x, což je téměř ½ všech hlášení o veličinách ze senzorů. Rozložení hlášení jednotlivých kategorií je vidět na obr. 32, 33, 34 a 35.



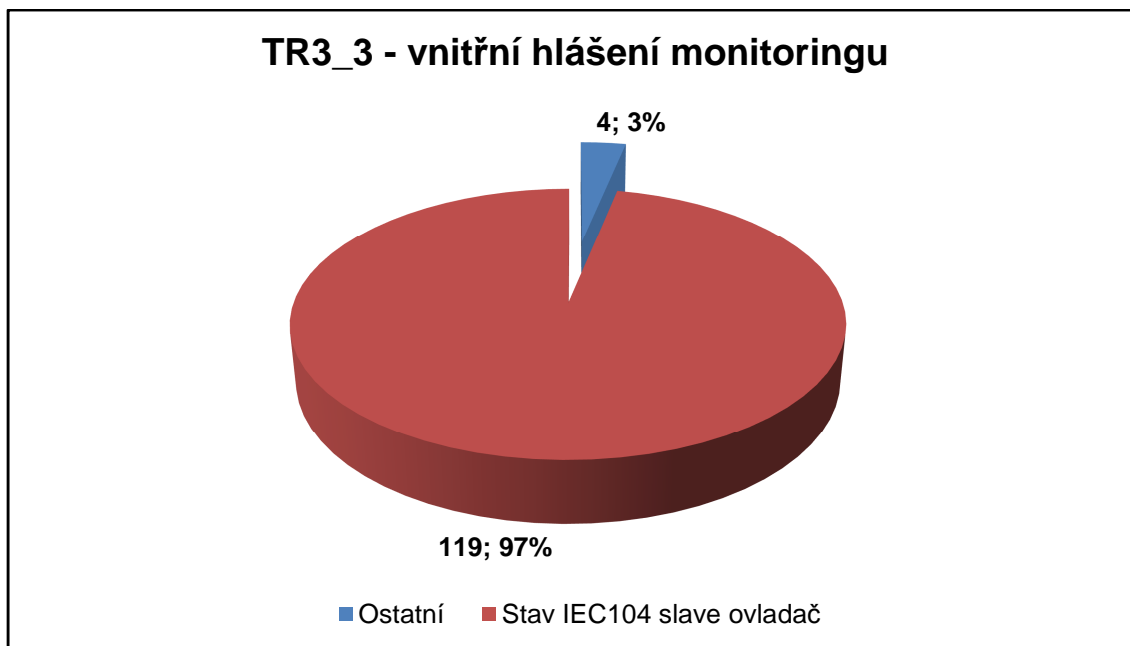
Obr. 32: Rozložení všech hlášení generovaných u TR3_3



Obr. 33: Rozložení hlášení o veličinách ze senzorů u TR3_3



Obr. 34: Rozložení stavových hlášení u TR3_3

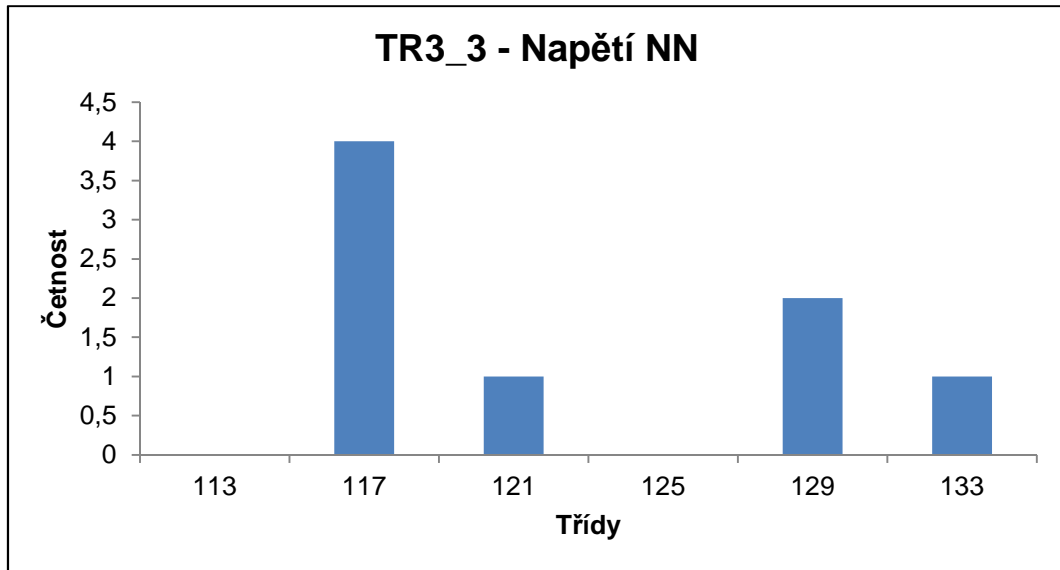


Obr. 35: Rozložení vnitřních hlášení monitoringu u TR3_3

Nejčastěji překročené meze veličin se objevily u veličin „Vyšší napětí VN“, „Nižší napětí NN“, „Rozdíl teplot In-Out chladiče“. Jejich popisná statistika je uvedena v tab. 10, 11, 12 a histogramy jsou vidět na obr. 36, 37, 38.

Tab. 10: Popisná statistika - Napětí NN - TR3_3

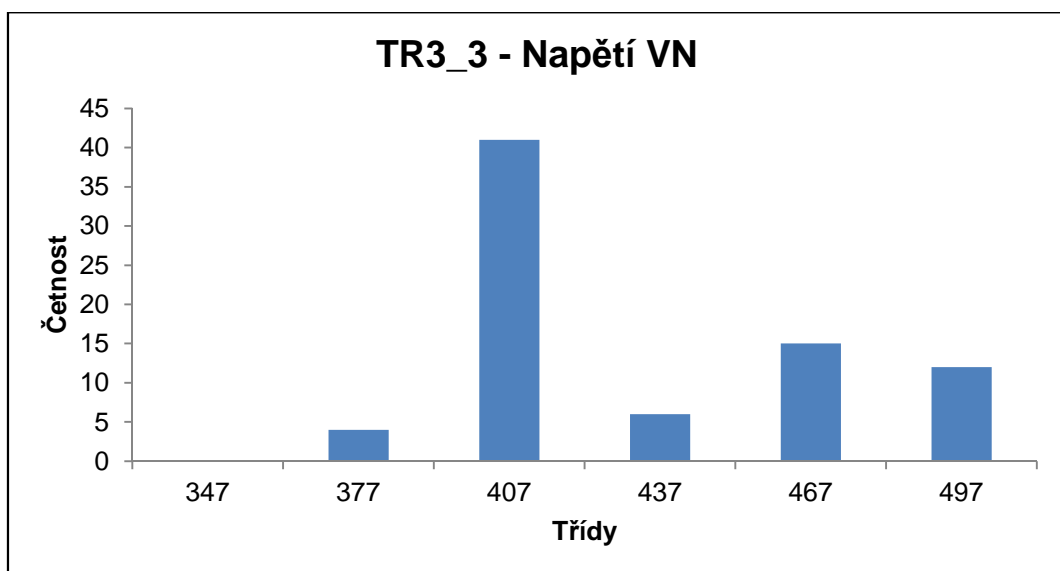
Veličina	Napětí NN
Jmen. hodnota - nejvyšší odbočka	135,5 kV
Jmen. hodnota - nejnižší odbočka	106,5 kV
Limit - Varování	105 kV
Limit - Alarm	119 kV
Počet překročení	8
Střední hodnota	119,6 kV
Směr. odchylka	6,5 kV
Variační koeficient	5,5%
Maximum	130 kV
Minimum	113,7 kV



Obr. 36: Histogram - Napětí NN - TR3_3

Tab. 11: Popisná statistika - Napětí VN - TR3_3

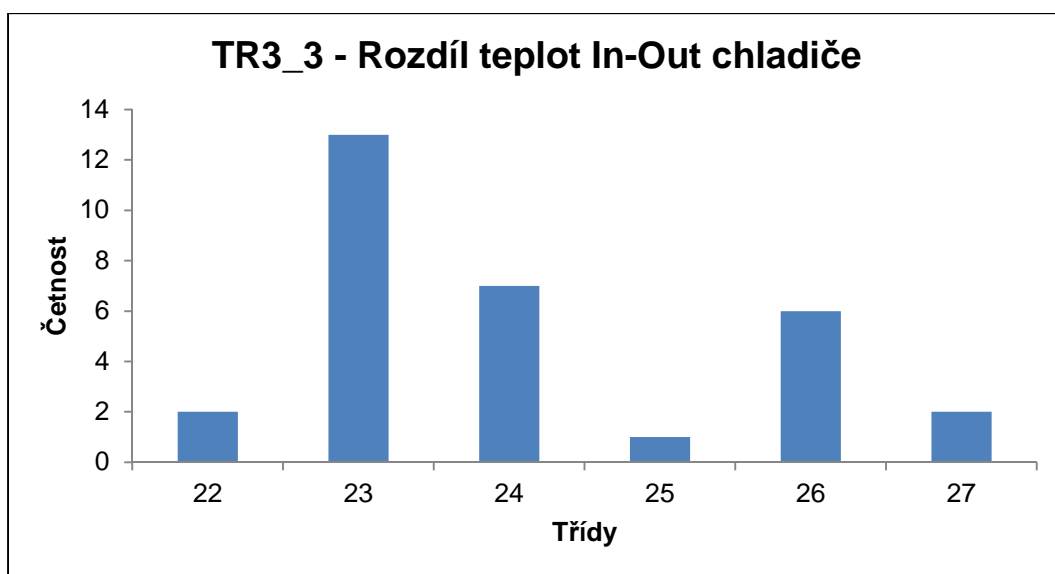
Veličina	Napětí VN
Jmen. hodnota	400 kV
Limit - Varování	346 kV
Limit - Alarm	393 kV
Počet překročení	78
Střední hodnota	415 kV
Směr. odchylka	40,4 kV
Variační koeficient	9,7%
Maximum	495,7 kV
Minimum	347,9 kV



Obr. 37: Histogram - Napětí VN - TR3_3

Tab. 12: Popisná statistika - Rozdíl teplot In-Out chladiče - TR3_3

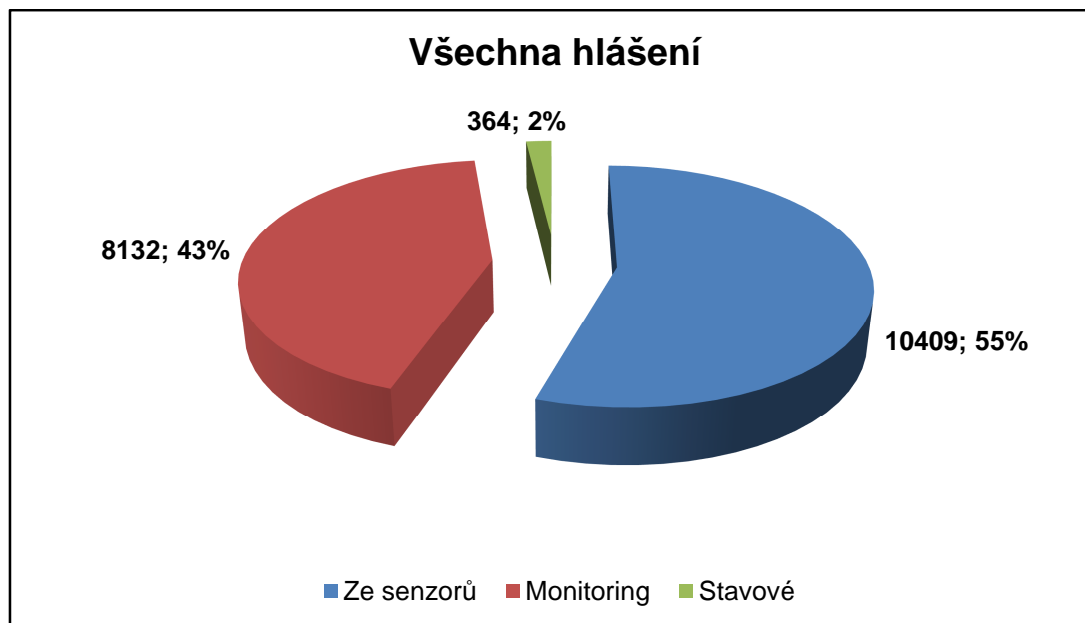
Veličina	Rozdíl teplot In-Out chladiče
Limit - Varování	22 K
Limit - Alarm	25 K
Počet překročení	31
Střední hodnota	23,6 K
Směr. odchylka	1,4 K
Variační koeficient	5,90%
Maximum	26,7 K
Minimum	22 K



Obr. 38: Histogram - Rozdíl teplot In-Out chladiče - TR3_3

Celkové zhodnocení hlášení generovaných monitorovacími systémy 3. generace MST3

U všech osmi analyzovaných transformátorů se vyskytlo celkem 18 905 hlášení, z nichž 55 % (10 409x) bylo o veličinách ze senzorů, 2 % (364x) stavových hlášení a 43 % (8132x) vnitřních hlášení monitoringu. Rozložení všech hlášení generovaných u všech osmi analyzovaných transformátorů je vidět na obr. 39.

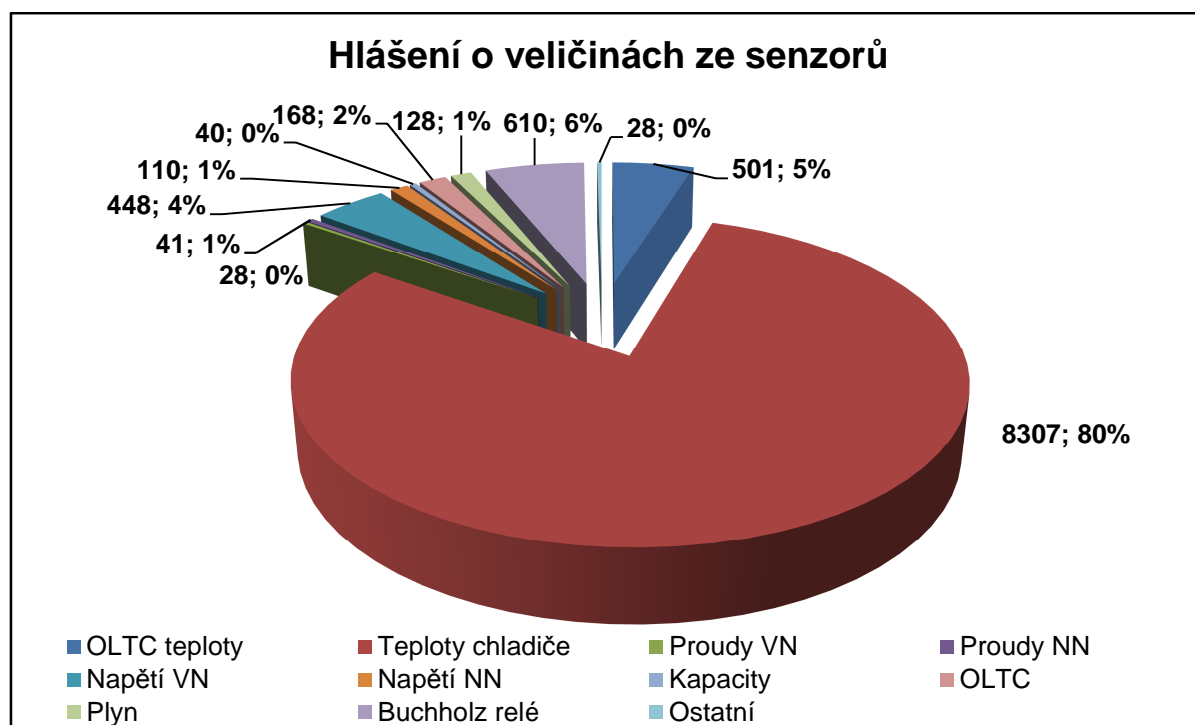


Obr. 39: Rozložení všech hlášení generovaných u všech osmi analyzovaných transformátorů

Hlášení o veličinách ze senzorů

Hlášení "Napětí VN" jednotlivých fází patřilo mezi nejčastěji se vyskytující u 5 transformátorů (TR3_3, TR3_5, TR3_6, TR3_7 a TR3_8). U tří transformátorů patřilo mezi nejčastější hlášení o veličinách ze senzorů hlášení "Rozdíl teplot oleje In-Out jednotlivých chladičů" transformátoru (TR3_1, TR3_5 a TR3_8), což je poplatné nastavení, které je u nich 10 a 15 K pro varování a alarm. U transformátorů TR3_4 a TR3_8 se velice často vyskytovala hlášení "Náběh kontaktu voliče", "Teplota oleje OLTC3" a "Rozdíl teplot oleje OLTC3-tank". U transformátoru TR3_2 se hlášení "Výstupní teplota oleje z chladiče 3" objevilo 7591x. Hlášení "Množství plynu v Buchholzově relé" bylo u transformátoru TR3_7 generováno 610x. U transformátoru TR3_5 se velice často vyskytovalo hlášení "Doba přepnutí OLTC" a u transformátoru TR3_8 zase hlášení "Doba zapínacího proudu OLTC".

Z následujících údajů je vidět, že nejvíce hlášení o veličinách ze senzorů je generováno u OLTC (teploty 5 % a činnost OLTC 2%), chladičů (80 %) u napětí VN jednotlivých fází (4 %). Nejčastěji generovanými hlášeními byly teploty oleje chladičů (hlášení "Výstupní teplota" či "Rozdíl teplot In-Out chladiče") a pouze u TR3_7 hlášení "Množství plynu v Buchholzově relé" (6 %). Rozložení všech hlášení o veličinách ze senzorů je vidět na obr. 40.

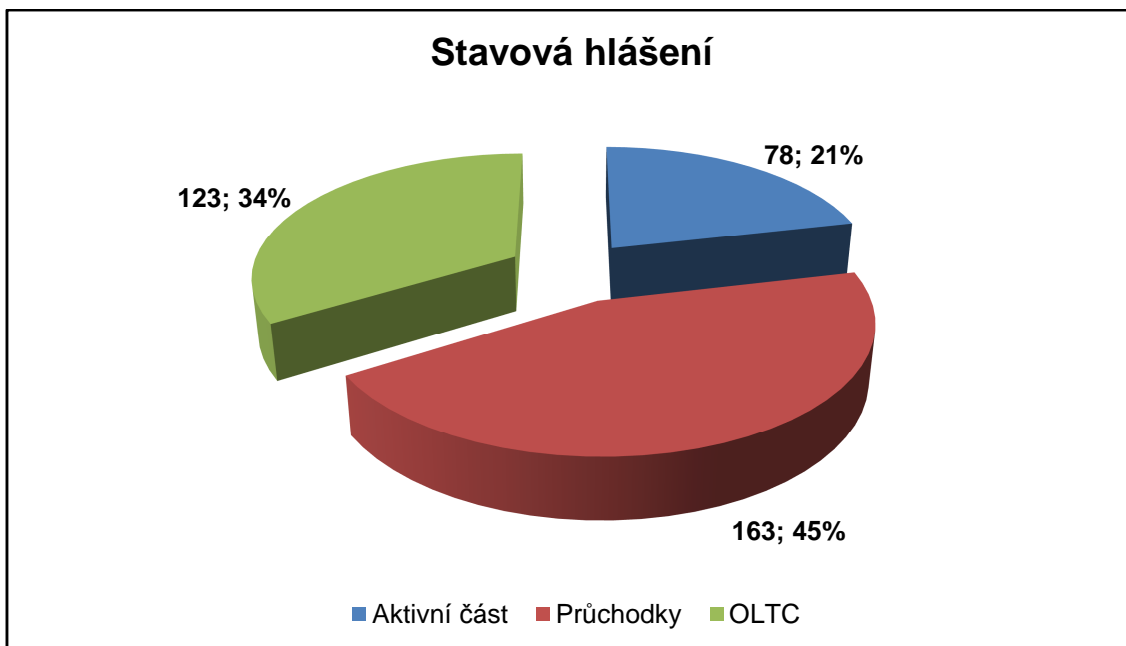


Obr. 40: Rozložení hlášení o veličinách ze senzorů generovaných u všech osmi analyzovaných transformátorů

Stavová hlášení

Stavová hlášení "Stav průchodek" se často vyskytovala u 4 transformátorů TR3_3, TR3_4, TR3_6 a TR3_7, kde se většinou jednalo o varování typu "Přepětí". U tří transformátorů (TR3_6, TR3_7 a TR3_8) bylo často generované hlášení "Stav aktivního dílu", zejména hláška "Nefunkčnost Hydranu". V případě jednoho transformátoru (TR3_2 – 108 alarmů) bylo nejčastější stavové hlášení "Stav OLTC".

Celkem 45 % všech stavových hlášení bylo generováno jako "Stav průchodek", 34 % jako "Stav OLTC" a 21 % jako "Stav aktivního dílu". Rozložení všech stavových hlášení je vidět na obr. 41.

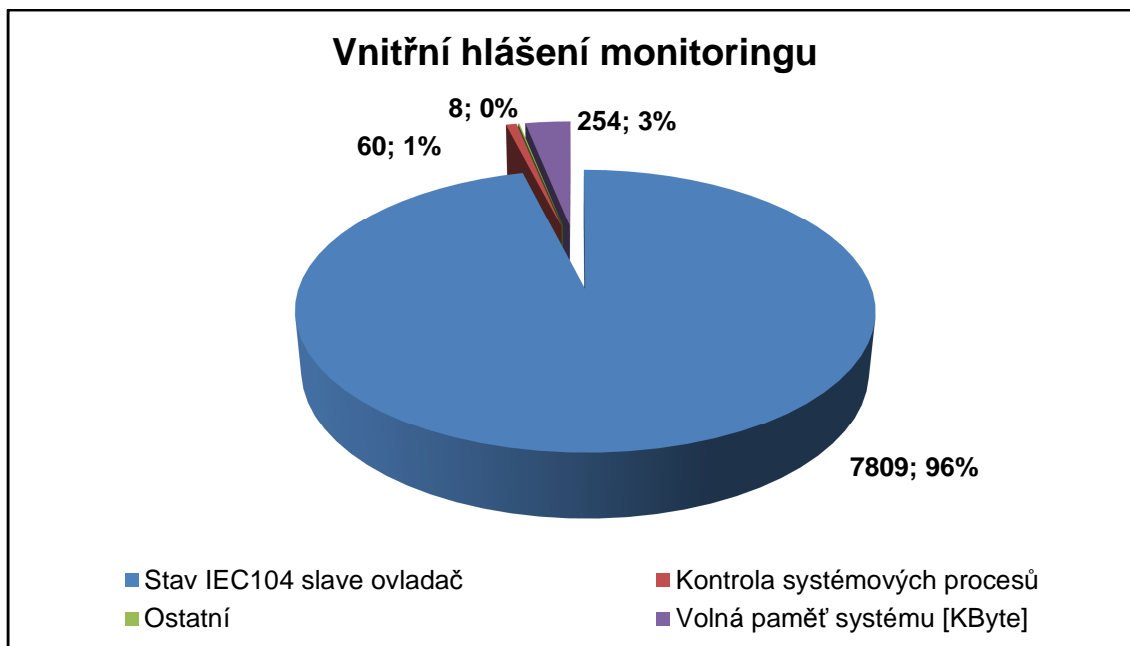


Obr. 41: Rozložení stavových hlášení generovaných u všech osmi analyzovaných transformátorů

Vnitřní hlášení monitoringu

U všech osmi hodnocených transformátorů bylo nejčastější vnitřní hlášení monitoringu "Stav IEC104 slave driver". Větší počet hlášení (56x) bylo typu "Kontrola systémových procesů", jež se objevilo u transformátoru TR3_2. Hlášení "Volná paměť systému [kByte]" bylo generováno 254x u transformátoru TR3_5.

Hlášení "Stav IEC104 slave driver" bylo generováno v 96 % všech vnitřních hlášení monitoringu, hlášení "Volná paměť systému [kByte]" ve 3 % a "Kontrola systémových procesů" v 1 % výskytu všech vnitřních hlášení monitoringu. Rozložení všech vnitřních hlášení monitoringu je vidět na obr. 42.



Obr. 42: Rozložení vnitřních hlášení monitoringu generovaných u všech osmi analyzovaných transformátorů

Monitorovací systém 3. generace MST3 je nasazen na 8 analyzovaných třífázových transformátorech. U všech 8 hodnocených transformátorů bylo generováno 55 % hlášení o veličinách ze senzorů, 43 % vnitřních hlášení monitoringu a pouze 2 % stavových hlášení. U uvedených 8 transformátorů patřilo mezi nejčastěji generovaná vnitřní hlášení monitoringu hlášení "**Stav IEC104 slave ovladač**", které se vyskytovalo v 95 % všech případů. Stavová hlášení jsou generována jakožto výsledek souboru senzorů sledujících danou část transformátoru a jejich výskyt není příliš častý. U hlášení o veličinách ze senzorů bude nutné zjistit příčiny častého výskytu hlášení u **teplot chladičů**, u **napětí VN** jednotlivých fází a u **teplot a veličin charakterizující stav OLTC**. Bude taktéž nutné zjistit důvod generování hlášení "**Množství plynu v Buchholzově relé**" u transformátoru TR3_7. Podrobné rozbory všech hlášení a hlášení dle kategorií všech analyzovaných transformátorů jsou uvedeny v **příloze 6**.

Statistické analýzy a histogramy překročení mezí generovaných hlášení u všech analyzovaných transformátorů, společně s vyhodnocením celého souboru transformátorů osazených systémem MST3 dle jednotlivých veličin, jsou uvedeny v **příloze 7**.

4.4 Porovnání monitorovacích systémů 2 generací (MST2, MST3) nasazených na transformátorech přenosové soustavy z hlediska rozboru generovaných hlášení

Z výše uvedené analýzy 2 generací monitorovacích systémů je evidentní, že došlo k výraznému zlepšení, co se týče vnitřní struktury a spolehlivosti jednotlivých komponentů monitoringu v případě monitoringu 3. generace oproti předchozí generaci MST. V případě MST2 bylo totiž generováno velké množství hlášení o problému s vazebním modulem profibusu (sběrnice pro komunikaci s IED přes komunikační protokol Profibus) a s UPS (Uninterruptible Power Supply - nepřerušitelný zdroj napájení). Jde tedy o problémy či částečnou nefunkčnost hardware komponentů dané generace monitorovacího systému. V případě obou generací monitorovacích systémů bylo nejčastěji generované vnitřní hlášení monitoringu hlášení "Stav IEC104 slave driver". Toto hlášení je generováno při jakékoliv ztrátě komunikace mezi IED a serverem (či jejich vzájemném odpojení), což se nejčastěji děje při pravidelné samokontrole (každé 4 hodiny) a pravidelném (týdenním) samorestartování monitorovacího systému. Toto hlášení je tedy nezbytné pro kontrolu, že samokontrola či seberestartování monitoringu proběhly korektně. Nejde tedy o falešné hlášení monitoringu.

V případě hlášení o veličinách ze senzorů je nutné prověřit zejména hlášení týkající se **teplot chladičů, OLTC, napětí VN** jednotlivých fází, **veličin charakterizující stav OLTC** (Doba zapínacího proudu, Náběhu kontaktu voliče, Doba přepnutí OLTC) a u dvou transformátorů (TR2_4, TR3_7) hlášení "**Množství plynu v Buchholzově relé**".

Z provedených statistických analýz je evidentní, že nastavení hodnot hlášení (varování i alarmu) nerespektuje technické a provozní parametry transformátorů. To je způsobeno použitím víceméně univerzálního nastavení monitorovacích systémů pro všechny dodávané transformátory. Vyhodnocení generovaných hlášení z pohledu statistické analýzy a histogramů překročení mezí generovaných hlášení pro celý soubor transformátorů osazených systémy MST2 a MST3 je bráno v potaz při definici nastavení nových mezí (kapitola 6) pro typizovaný transformátor instalovaný v přenosové soustavě.

Zásadní rozdíly mezi těmito dvěma generacemi monitorovacích systémů (MST2, MST3) jsou nejen v jejich hardware vybavení, ale i v softwaru. Co se týče hardwaru, je u 2. generace MST použit standardní PC umístěný v centrálním domku elektrické stanice, zatímco u 3. generace je již použit průmyslový embedded počítač nainstalovaný přímo na transformátoru. Dále je tato generace monitoringů vybavena méně poruchovým bez ventilátorovým flashdiskem namísto harddisku jako v případě MST2. V případě monitoringu 3. generace se logicky využívá elektronických komponentů (sběrnice, převodníky, UPS atd.) novějších generací. Dále je MST3 již připraven pro integraci do „Smart Grid“ projektů, tím že podporuje komunikaci přes protokol IEC 61850. Z hlediska softwaru je u 3. generace monitoringu použit novější operační systém a jsou vylepšeny výpočetní modely, jako jsou např. teplotní model, vlhkostní model, model stárnutí transformátoru, model mechanického opotřebení přepínače odboček či modul řízení chlazení transformátoru. Dalším vylepšením je použití analytických aplikací jako např. DGA expertní systém využívající neuronových sítí, trend analýza či generování zpráv o aktuálním stavu jednotlivých komponent transformátoru.

5 Expertní databáze znalostí z monitoringů transformátorů přenosové soustavy

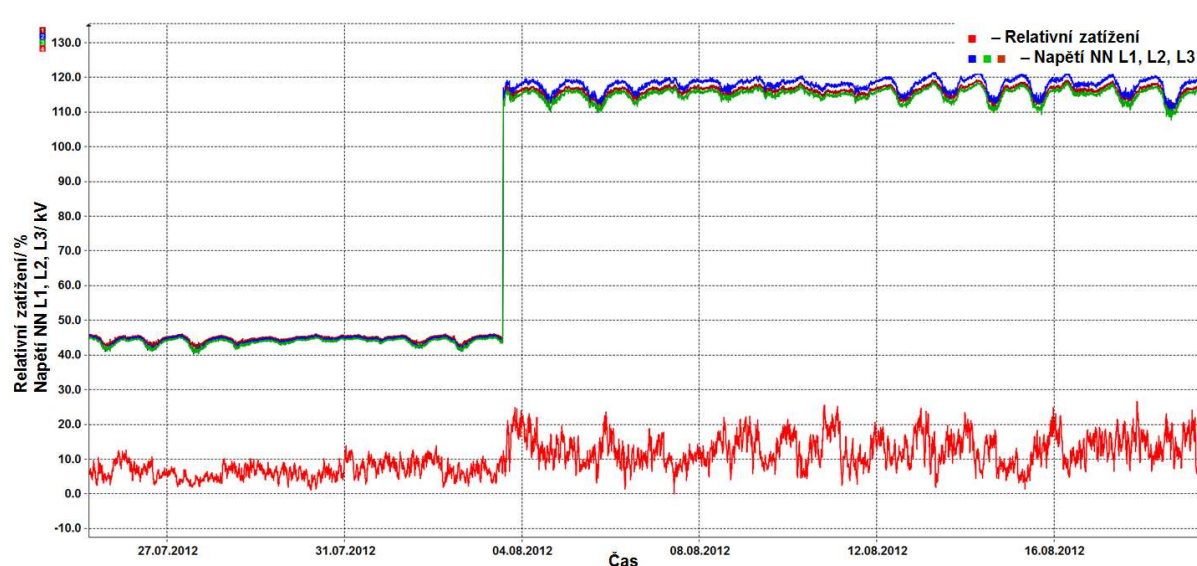
Pro efektivní využití investic do monitoringů se jako zásadní jeví analýza a následná interpretace dat, jež vyústí v užitečné informace o stavu jednotlivých podsystémů transformátorů. Cílem následující části práce je tedy provést analýzu činností a jednotlivých průběhů monitorovaných veličin za účelem odhalit chyby a nesprávné interpretace dat, které spolu s falešnými hlášeními významně snižují věrohodnost informací poskytovaných monitorovacími systémy transformátorů. Tato analýza byla provedena jako nedílná a navazující část analýzy výstupů monitorovacích systémů, za jednoroční provoz 13 transformátorů PS osazených monitoringy 2. generace MST2 (5 transformátorů) a 3. generace MST3 (8 transformátorů). Níže jsou uvedeny rozборы typických příčin chybových událostí a špatných interpretací dat, jež byly odhaleny na několika analyzovaných transformátorech a vedly k nespolehlivým a nevěrohodným informacím o jejich stavech. Tyto rozборы typických příčin dávají **základ pro expertní databázi znalostí z monitorovacích systémů transformátorů přenosové soustavy**. Jako žádoucí se jeví, do této databáze zahrnout taktéž rozборы průběhů monitoringů, jež vedly k úspěšnému odhalení problému na výkonových transformátorech.

5.1 Nesprávný scaling sekundárního napětí

Nesprávný scaling sekundárního (nižšího) napětí na výstupu napěťového senzoru je ukázán na obr. 43. Monitorovací systém je na příslušný transformátor instalován v průběhu výrobního procesu. Avšak k jeho zprovoznění a následnému nastavení dochází těsně po jeho uvedení do provozu, když jsou známy hodnoty proudů a napětí z přístrojových transformátorů a řídicího systému. Tato činnost je běžně zajištěna dodavatelem monitorovacího systému v kooperaci s provozovatelem transformátoru.

Jak je vidět na obr. 43, scaling byl proveden nesprávně a až po několika týdnech provozu byl přenastaven na správné hodnoty dle údajů z řídicího systému (hodnoty sekundárního napětí se pohybují v rozmezí 110 až 120 kV sdruženého napětí v závislosti na příslušné odbočce přepínače odboček). Je tedy evidentní, že výstupy výpočetních modelů, jež využívají napětí jako svoje vstupní hodnoty, nebyly korektní. Jednalo se tak např. o výpočty aktuálních ztrát, zdánlivého, činného či

jalového výkonu. Po provedení rescalingu již začaly výpočetní modely dávat relevantní data o stavu jednotlivých podsystémů transformátoru.

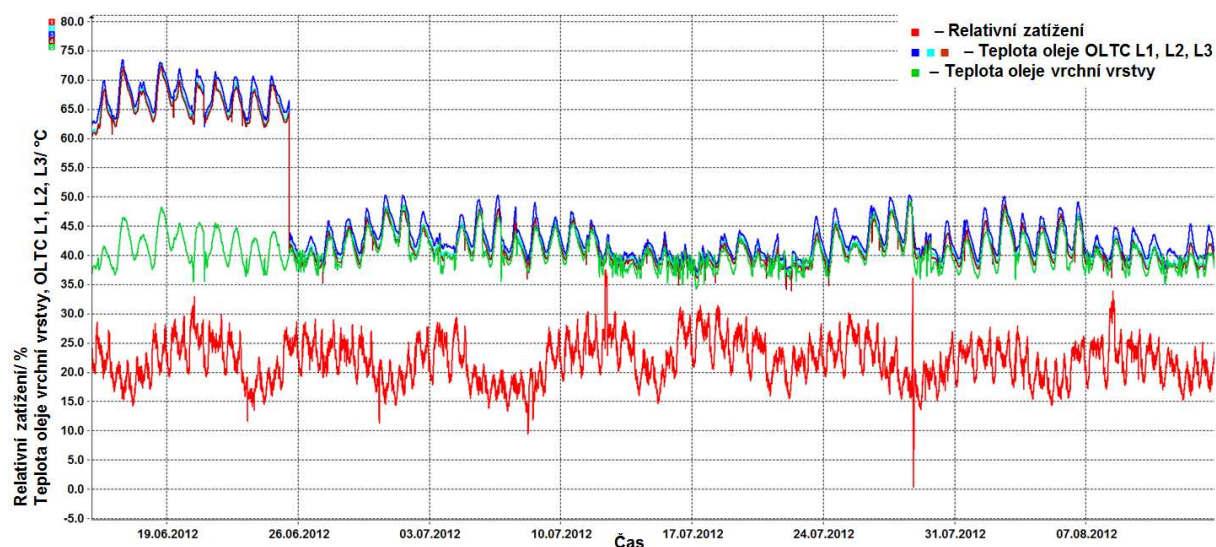


Obr. 43: Nesprávný scaling sekundárního napětí na výstupu napěťového senzoru u jednoho z analyzovaných transformátorů

5.2 Nesprávný scaling teploty oleje přepínače odboček

Teplota oleje se nejčastěji sleduje odporovým senzorem Pt100, kdy je teplota přímo úměrná odporu senzoru. Další varianta detekování teploty oleje je použitím termistoru typu NTC (Negative Temperature Coefficient), který vyžaduje provést scaling v monitoringu. Tento typ senzoru byl používán u starších monitoringů 2. generace MST2 zejména u měření teploty oleje přepínačů odboček, zatímco teplota vrchní vrstvy oleje je sledována senzorem Pt100. Níže na obr. 44 je uveden nedostatečně provedený scaling teploty oleje přepínačů odboček u výstupního signálu z NTC teplotního senzoru. V průběhu provozu transformátoru byl zjištěn velký rozdíl mezi teplotou vrchní vrstvy oleje a teplotou oleje jednotlivých přepínačů odboček, což mohlo vést k interpretaci přehřívání či jakémukoliv interního problému uvnitř přepínačů odboček. V průběhu rutinní periodické údržby přepínače odboček, tedy v případě, kdy by teplota vrchní vrstvy oleje a teplota oleje přepínačů odboček měla být stejná, byl zjištěn rozdíl až 22 K mezi reálnou a měřenou teplotou oleje jednotlivých přepínačů odboček. Na základě tohoto zjištění bylo poté, již za provozu transformátoru, provedeno dálkové přenastavení koeficientu NTC senzoru, jak je vidět na obr. 44 ve formě náhlého poklesu teplot oleje všech tří přepínačů odboček.

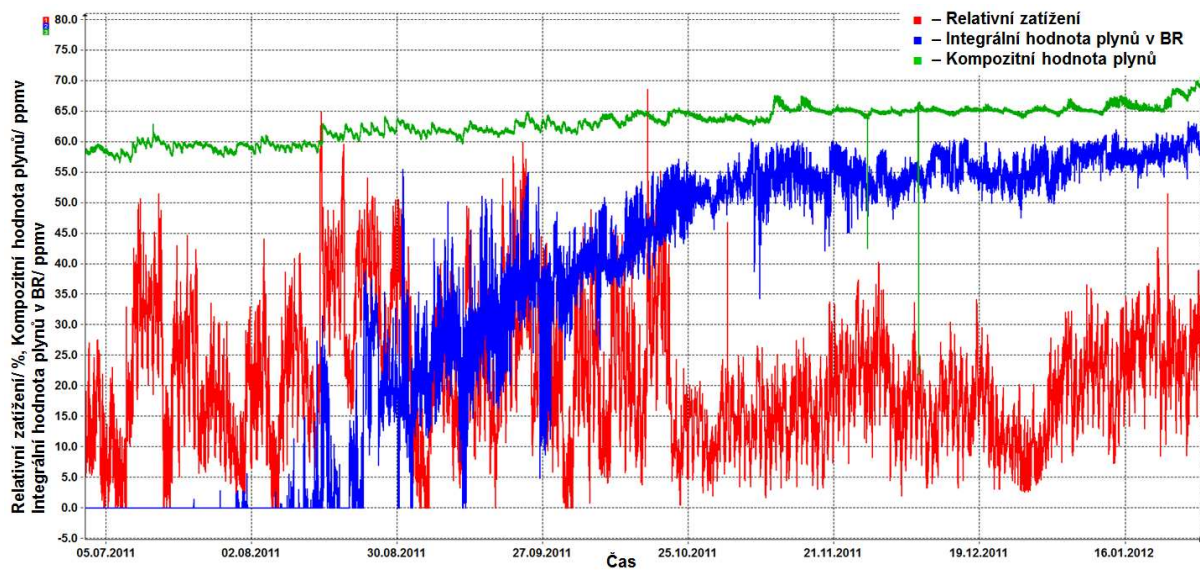
Nedostatečně provedený scaling měl tedy zásadní vliv na nesprávnou interpretaci dat, na jejichž základě bylo usuzováno na interní problém přepínače odboček.



Obr. 44: Nesprávný scaling teploty oleje přepínačů na výstupu NTC teplotního senzoru u jednoho z analyzovaných transformátorů

5.3 Nefunkčnost senzoru obsahu plynu v Buchholzově relé

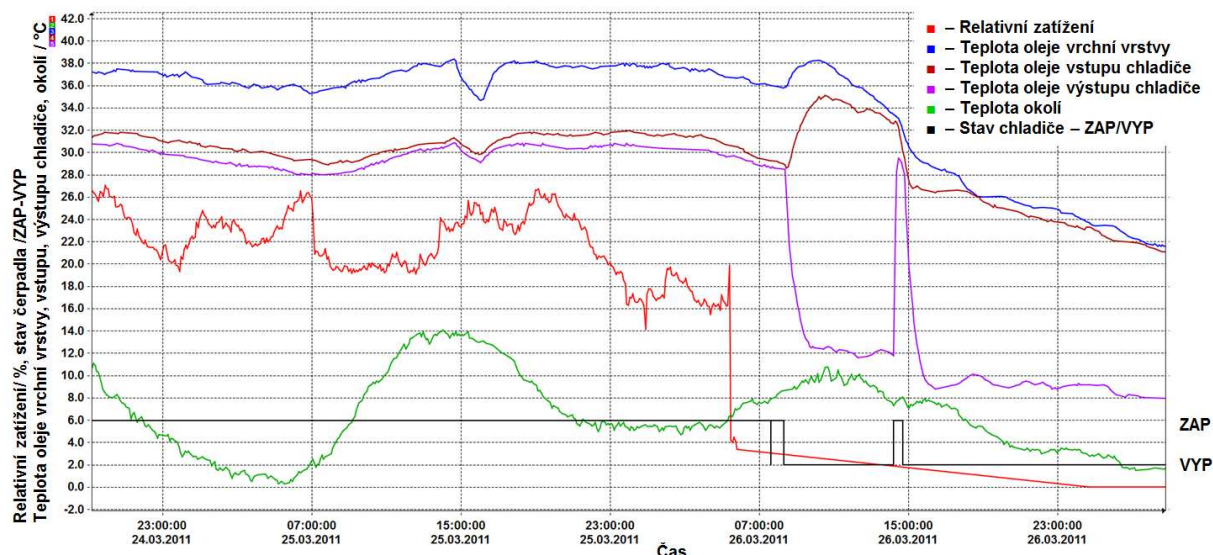
V průběhu období 24. 8. 2011 až 18. 2. 2012 bylo zaznamenáno 1455 hlášení (1412 varování a 43 alarmů) o zvýšeném obsahu plynu v Buchholzově relé. Na obr. 45 je vidět vývoj integrální hodnoty plynů detekovaný senzorem nainstalovaným na odplyňovacím ventilu Buchholzova relé. Na druhou stranu je na uvedeném obr. 45 vidět pouze mírný nárůst kompozitní hodnoty plynů detekovaný senzorem Hydran. Intenzivní vývoj plynů indikuje jakoukoliv závadu či poruchu uvnitř transformátoru a je doprovázen varovným a poté vypínacím signálem od Buchholzova relé. Tato situace však nenastala, a v průběhu pravidelné týdenní vizuální prohlídky bylo zjištěno prolínání oleje na spodní části senzoru a tím i úbytek oleje uvnitř tohoto senzoru. Na základě principu měření monitoring správně vyhodnotil a zhlásil překročení obsahu plynu uvnitř senzoru. Z pouhých dat z monitoringu byl bohužel mylně interpretován problém uvnitř transformátoru, jenž by odpovídal stoupajícímu plynu z transformátoru. Monitoring tedy odhalil nesprávně fungující čidlo, avšak zdali podobný vývoj bude odpovídat i vnitřní závadě či poruše transformátoru není z daného evidentní.



Obr. 45: Nárůst integrované hodnoty plynů v Buchholzově relé díky prolínání oleje tímto senzorem

5.4 Algoritmus generování hlášení o stavu chladiče

Informace o funkčnosti a účinnosti chladicího systému transformátoru je získávána sledováním teplot oleje na vstupu a výstupu z chladičů. Teploty oleje jsou detekovány senzory Pt100, které jsou nainstalovány v jímkách potrubí chladičů. Spolu s tím je zaznamenáván i chod ventilátorů a čerpadel chladičů, a to měřením signálů z pomocných kontaktů stykačů motorů jednotlivých čerpadel a ventilátorů. Výsledkem je komplexní pohled na aktuální stav a účinnost chlazení jednotlivých chladičů. Rozdíl teplot na vstupu a výstupu chladiče v případě zapnutého čerpadla a příslušných ventilátorů by u správně fungujícího chladiče neměl být vyšší než 1 až 3 K. Při vyšším rozdílu pak lze usuzovat na závadu chladičů, mezi něž nejčastěji patří jejich zanesení, ať již z vnější strany (např. pylem), nebo zanesení chladicích kanálků uvnitř chladiče.



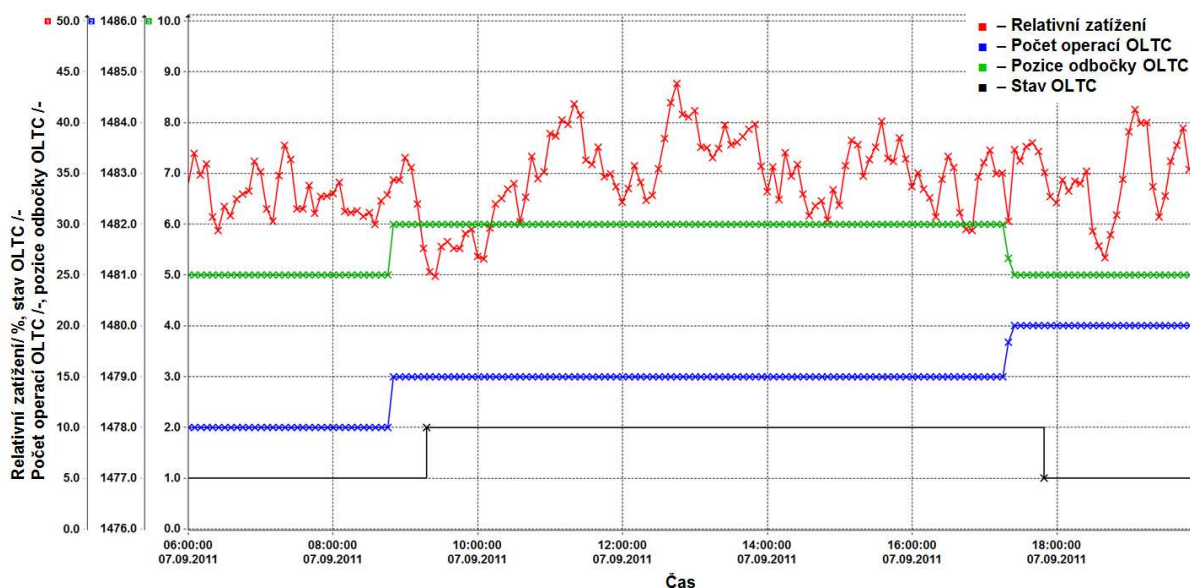
Obr. 46: Falešné hlášení o stavu chladiče díky nerespektování provozního stavu čerpadla

V průběhu dní 25. – 27. 3. 2011 bylo generováno několik hlášení o velkém rozdílu teploty oleje na vstupu a výstupu z chladiče transformátoru. Tento velký rozdíl teplot oleje by měl tedy indikovat neefektivní činnost chladiče, ať už je způsobená čímkoliv. Průběhy jednotlivých veličin v těchto dnech jsou vidět na obr. 46. Červená křivka reprezentující relativní zatížení transformátoru ukazuje jeho vypnutí cca v 7 hod 26. 3. 2011. Teplota vrchní vrstvy oleje se pohybovala okolo 40 °C. Teplota oleje na vstupu (hnědá křivka) a výstupu chladiče (fialová křivka) se mění v závislosti na stavu chladiče (černá křivka reprezentující zapnutí/ vypnutí simultánně pracujících 2 ventilátorů a 1 čerpadla). Hlášení o vysokém rozdílu teplot mezi vstupním a výstupním potrubím chladiče bylo generováno v době vypnutého čerpadla i ventilátorů. Z daného je tedy evidentní, že toto hlášení týkající se aktuálního stavu chladiče o něm nedává správné informace. Na vině nevěrohodné informace je jednoznačně algoritmus generování těchto hlášení, který nebere v potaz aktuální stav čerpadla a ventilátorů. K zajištění věrohodné a výpovědischopné informace o stavu a efektivní účinnosti chladiče je nutné do algoritmu generování hlášení zakomponovat i provozní stav čerpadla a ventilátorů.

5.5 Algoritmus generování hlášení o stavu přepínače odboček

Informace o stavu přepínače odboček je zajištěna sledováním veličin, jako jsou poloha odbočky, počet provedených operací či spotřeba výkonu motoru pohonu.

Na obr. 47 je vidět generované hlášení o mechanickém interním problému OLTC, kdy černá křivka vyjadřuje dobu trvání tohoto hlášení. Dále je na obr. 47 vidět aktuální pozice odbočky přepínače (modrá křivka) a počet provedených přepnutí OLTC (zelená křivka). Aktuální pozice odbočky se mění z 5. na 6. odbočku a zpět. V tomto časovém okamžiku dochází i k inkrementaci počtu provedených přepnutí OLTC. Nicméně z daného obr. 47 je evidentní, že hlášení o problému s OLTC přišlo, aniž by v tomto čase docházelo k přepínání odboček OLTC, čímž je dané hlášení považováno za falešné a nedávající relevantní informaci o stavu OLTC.



Obr. 47: Činnost přepínače odboček, relativní zatížení transformátoru a doba trvání hlášení během generování falešného hlášení o stavu OLTC

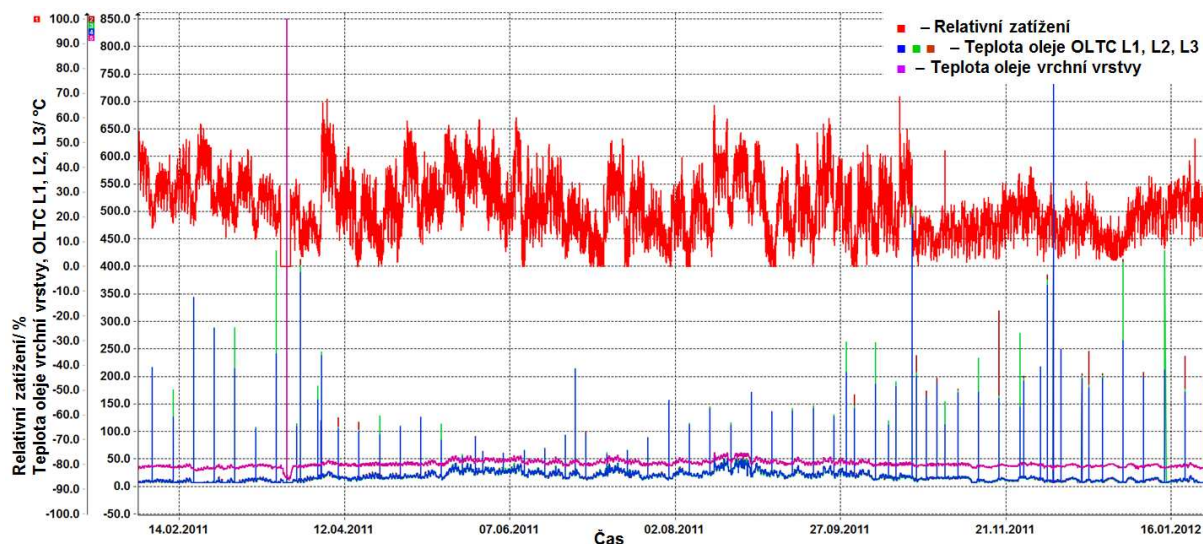
Vysvětlení výrobce týkající se falešně generovaného hlášení jsou elektromagnetické impulsy v průběhu manipulací v rozvodně, jež ovlivňují měřicí zařízení ke sledování spotřeby výkonu pohonu přepínače v průběhu přepínání odboček. V případě překročení nastavené amplitudy špičky naindukovaného elektromagnetického impulsu do měřicího zařízení, je spuštěna softwarová analýza o stavu mechanického systému přepínače odboček. Tato analýza sleduje spotřebu výkonu pohonu a dobu trvání přepnutí odboček. V závislosti na krátké době trvání elektromagnetického impulsu a tím i předpokládané době přepnutí odboček, následně tato analýza vyhodnotila, že nedošlo k dokončení přepnutí odboček, jež je možné pouze díky mechanickému problému uvnitř OLTC. Nízko nastavený limit amplitudy výkonového impulsu pro spuštění softwarové analýzy, nedostatečně ošetřený algoritmus pro

generování hlášení a neadekvátní elektromagnetické kompatibilita zařízení pro měření spotřeby výkonu pohonu OLTC způsobily falešné generování hlášení. To vedlo ke špatné interpretaci dat, jež ukazovala na možný mechanický problém uvnitř přepínače odboček.

5.6 Nedostatečné spojení vazebního členu a teplotního senzoru

Na obr. 48 jsou vidět vývoje teplot oleje ve vrchní vrstvě nádoby transformátoru a v jednofázových oddělených nádobách výkonového přepínače odboček, detekovaných teplotním čidlem Pt100, během jednoročního provozu transformátoru. Hlášení o překročení nastavených teplot oleje v jednotlivých přepínačích odboček byly generovány každou neděli v 0:46 v průběhu jednoročního provozu analyzovaného transformátoru. Tato překročení nastavených teplot oleje jsou reprezentována ve formě špiček a jsou evidentní z obr. 48.

Všechny monitorovací systémy mají ve svém interním systému nastavenou funkci samokontroly, která je prováděna v určitý čas a při níž dochází i k pravidelnému restartování systému. Jelikož všechna hlášení o překročení nastavených teplot oleje v jednotlivých přepínačích odboček jsou generována v jeden a ten samý čas, dalo by se usuzovat na systematický interní problém s monitorovacím systémem. V průběhu analýzy údajů z monitoringu bylo zjištěno, že zvýšená teplota oleje v OLTC v časech restartování monitoringu je způsobena díky nedostatečně kvalitnímu propojení vazebního členu a senzoru teploty oleje v OLTC. V čase restartu pak toto nedostatečné spojení zapříčiní otevřený obvod, jenž fyzikálně odpovídá velkému odporu, který je na výstupu měřicího řetězce odporového senzoru teploty a vazebního členu vyhodnocen a v monitoringu graficky zobrazen jako vysoká teplota oleje uvnitř OLTC. Tato hlášení, jež jsou způsobena nekvalitním propojením senzoru a vazebního členu, tak nedávají věrohodné informace o aktuálním stavu samotného přepínače odboček.

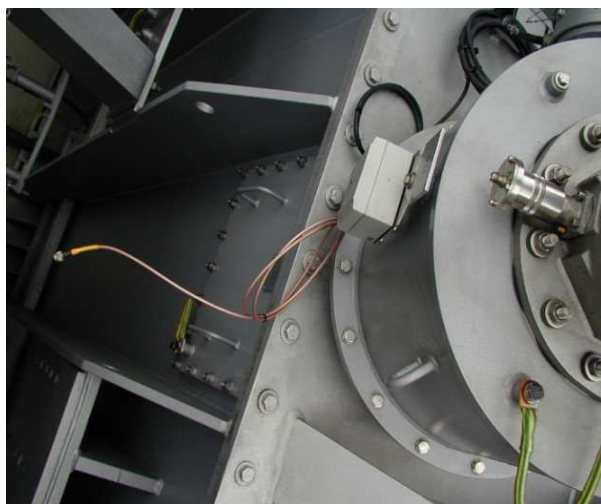


Obr. 48: Teplota oleje vrchní vrstvy uvnitř nádoby transformátoru, teplota oleje v jednofázových nádobách OLTC během jednoročního provozu transformátoru

5.7 Algoritmus generování hlášení o stavu průchodek

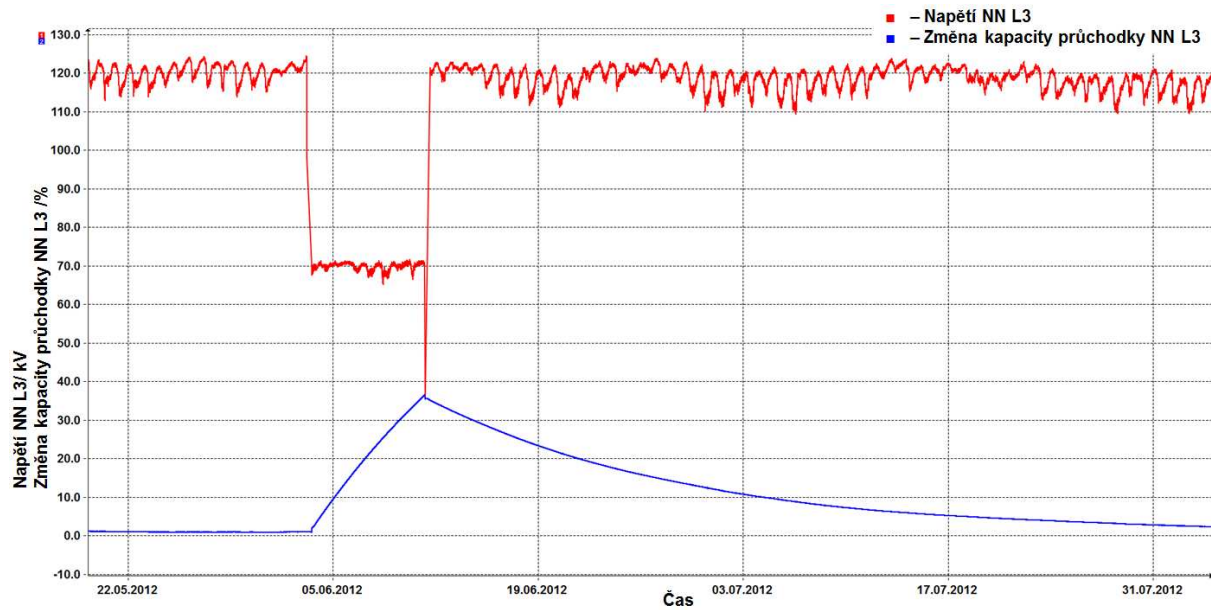
Kvalita izolace průchodky je charakterizována změnou její kapacity a ztrátového činitele. Změna kapacity průchodky je vypočtena z napětí, které se měří pomocí kapacitního děliče. Princip tohoto měření je popsán na str. 41 a je evidentní z obr. 14 „Schéma měření napětí z měřicího vývodu průchodky“. Popis výpočtu změny kapacity průchodky je uveden v prvním odstavci str. 48. Kapacita průchodky je v průběhu provozu transformátoru stálá, neboť je závislá na sériové kombinaci kapacit jednotlivých polepů. Tedy v případě proražení některého z polepů se kapacita průchodky významně změní, čímž se změní i napětí sledované kapacitním děličem. Změna kapacity je tedy indikátor, že je interní problém s průchodkou.

U jednoho z analyzovaných transformátorů přišlo hlášení o překročení nastavené hodnoty změny kapacity, což ukazovalo na interní problém s průchodkou. V průběhu pochůzkové kontroly bylo následně zjištěno vypadnutí měřicího kabelu ze senzoru u průchodky nižšího napětí fáze L3, jak je vidět na obr. 49.

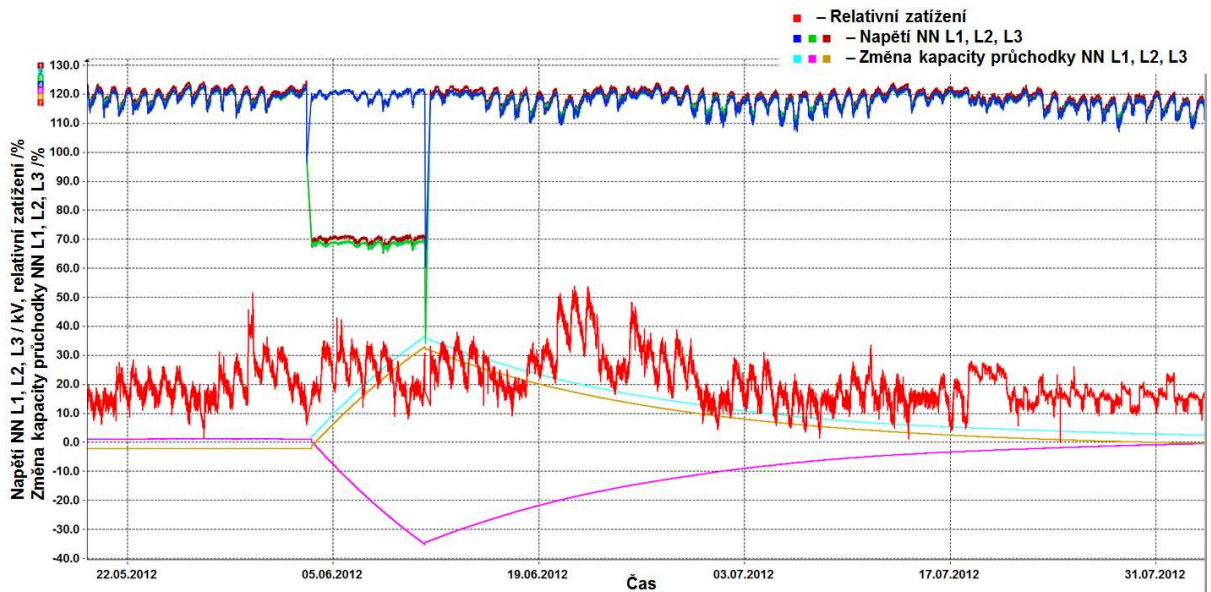


Obr. 49: Vypadlý měřicí kabel ze senzoru průchodky nižšího napětí fáze L3

V důsledku vypadnutí kabelu bylo tedy jedno fázové napětí (L3) rovné 0 kV. Z hlediska fázorového diagramu fázových a sdružených napětí třífázové soustavy to znamená, že dvě sdružená napětí poklesnou na hodnotu fázového napětí ($U_s/\sqrt{3} = 69,8$ kV) a jedno sdružené napětí zůstane na hodnotě sdruženého napětí $U_s = 121$ kV. Díky takto rozvážené bilanci jednotlivých napětí tedy dochází k obdobnému jevu, jako by prudce narostla kapacita postižené fáze (s vypadlým měřicím kabelem), jak je vidět na obr. 50. Z vývoje napětí a změny kapacity na obr. 50 je evidentní, že přibližně 10 dní po vypadnutí měřicího kabelu byl transformátor vypnut a měřicí kabel byl opět připojen k senzoru napětí na měřicím vývodu průchodky. Zde však nastává další problém, kdy se hodnota změny kapacity průchodky postižené fáze dlouhodobě vrací do svého normálu (cca 1,5 měsíce), jak je vidět na obr. 51. Tato skutečnost je zapříčiněna algoritmem výpočtu poměrné změny kapacity průchodky, kdy pro něj využívá velké množství předchozích dat, která významně ovlivňují současnou hodnotu. V době tohoto dlouhodobého návratu změny kapacity průchodky do původní hodnoty tak tato veličina nedává relevantní údaje o stavu změny kapacity a tudíž ani celé průchodky.



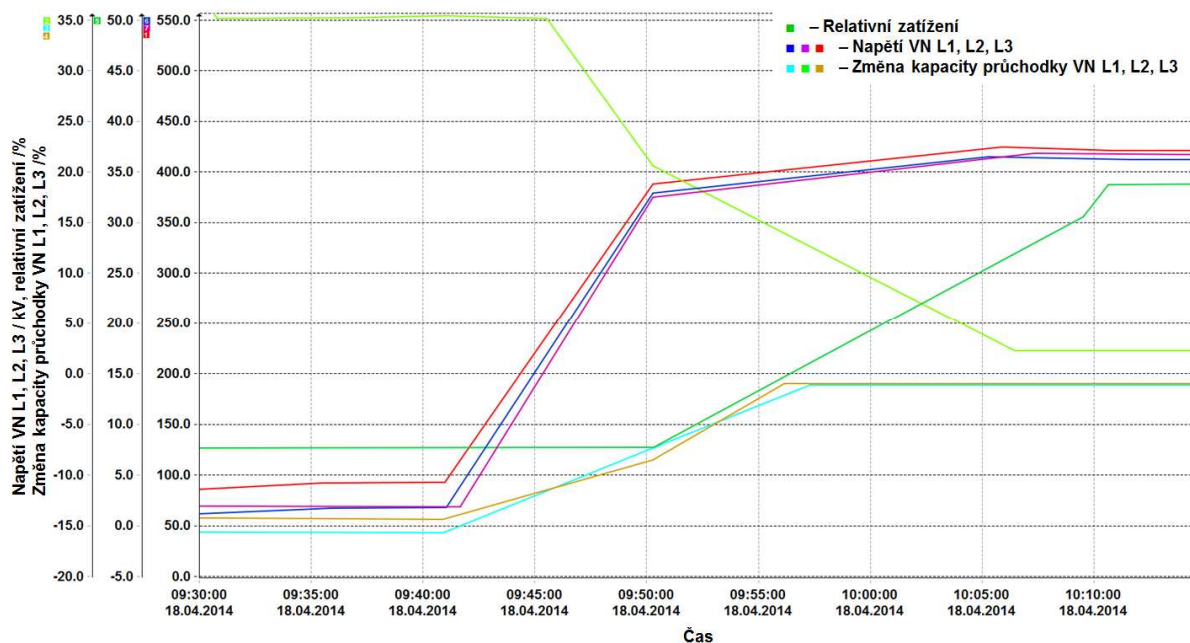
Obr. 50: Strmý nárůst kapacity průchodky nižšího napětí fáze L3 díky vypadlému měřicímu kabelu



Obr. 51: Sdružená napětí a vývoj změn kapacit průchodek všech tří fází nižšího napětí po vypnutí a znovu připojení měřicímu kabelu

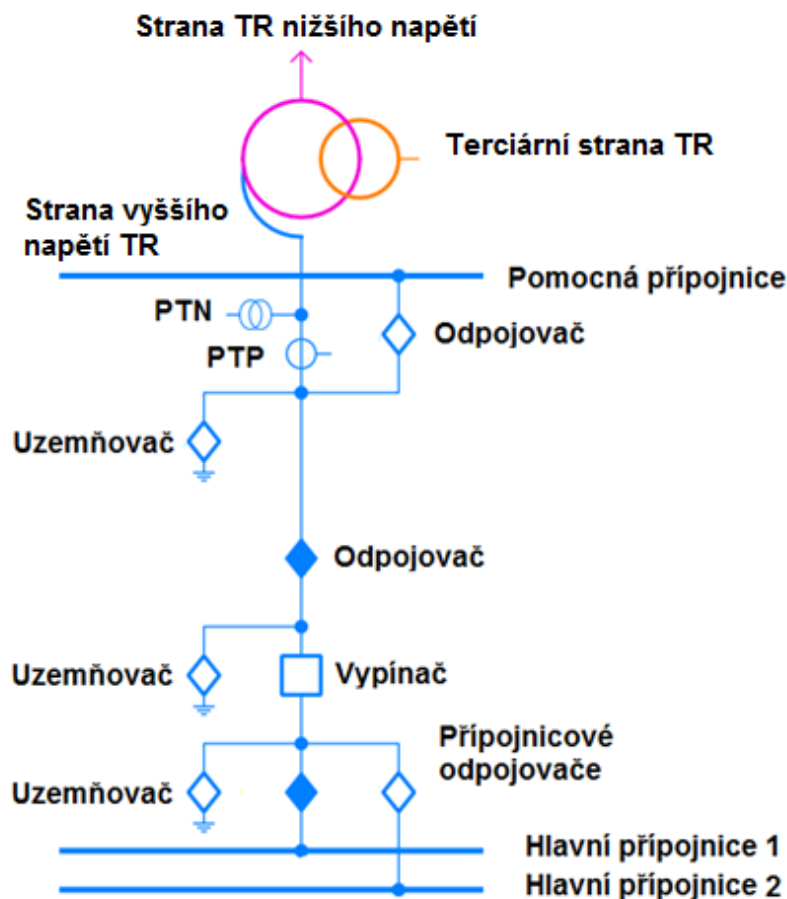
Druhý případ selhání algoritmu na generování hlášení o interním problému s průchodkou je evidentní z obr. 52. V době vypnutého transformátoru (cca v 9:30, 18. 4. 2014) se relativní zatížení (tmavě zelená čára) blíží nule a vyšší napětí autotransformátoru (červená, modrá a fialová čára) měřené senzorem na bázi kapacitního děliče ukazuje hodnotu cca 70 kV. V tuto dobu byly hodnoty napětí

značně rozváženy, což způsobilo efekt podobný výrazné změně kapacit jednotlivých průchodek (viz obr. 52) vedoucí ke generování hlášení o interním problému průchodky.



Obr. 52: Vývoj tří vyšších napětí, změny kapacity a relativního zatížení autotransformátoru

Důvodem rozvážených vyšších napětí, jež v době vypnutého transformátoru měly být 0 kV, však nebyl problém s průchodkami, nýbrž aktuální schéma zapojení daného pole elektrické stanice, jež je vidět na obr. 53. Z daného schématu je zřejmé, že transformátor je vypínačem odpojen od sítě 400 kV (reprezentováno hlavními přípojnými 1 a 2), avšak je držen jako „teplá“ rezerva, díky zapnutým odpojovačům. Tedy v případě nutnosti je možné transformátor okamžitě přivést pod napětí (zapnutím vypínače) a zatížit jej. Standardní vypínač ZVN však v reálu obsahuje dvě vypínací komory přemostěné řídicími kondenzátory, a to z důvodu rovnoměrného rozložení napětí přes obě komory při vypínání. Přes tyto kondenzátory a průchodku se tedy i při vypnutém vypínači uzavírá kapacitní proud a na kapacitním snímači připojeném na měřicí vývod průchodky se tak objeví nenulové napětí, jak je vidět na obr. 52. Nerovnováha napětí tak generovala velkou změnu kapacit průchodek a hlášení o jejich aktuálním stavu.



Obr. 53: Aktuální jednopólové zapojení pole elektrické stanice v době generování falešných hlášení o interním problému průchodky

5.8 Shrnutí typických příčin chybových událostí a špatných interpretací dat monitorovacích systémů transformátorů PS

Na základě zkušeností získaných v průběhu provádění analýz činností monitorovacích systémů transformátorů PS, se objevuje několik typických příčin generování falešných hlášení díky chybovým událostem a špatné interpretaci dat. Jde zejména o softwarové řešení algoritmů generování hlášení (např. nerespektování provozu čerpadla a ventilátorů při generování hlášení o velkém rozdílu teplot na vstupu a výstupu z chladiče), samotné nastavení (špatně provedený scaling veličin či špatné nastavení mezí pro alarm a varování) a v neposlední řadě chyby senzorů, které pracují v silném elektromagnetickém poli a jsou namáhány mechanickými vibracemi transformátoru (např. chybující teploměry Pt100, působení EMC na čidlo měření výkonu motoru pohonu OLTC). Všechny tyto situace tak vedou k nespolehlivým a nevěrohodným informacím o stavech jednotlivých komponent

transformátorů a je třeba se zaměřit na jejich eliminaci. Na základě zkušeností popsaných výše, tak byl dán základ pro expertní databázi znalostí z monitorovacích systémů transformátorů přenosové soustavy

6 Definice nastavení mezí pro typický výkonový transformátor přenosové soustavy

Na základě, v předchozích kapitolách této práce popsané statistice hlášení (četnost výskytu a překročení mezí) a analýze činností včetně jednotlivých průběhů monitorovaných veličin, je v této kapitole proveden návrh typového nastavení mezí pro generování hlášení pro typický transformátor přenosové soustavy. Návrh nastavení mezí jednotlivých veličin je proveden napříč MST (2. i 3. generace MST) a se snahou respektovat skutečné parametry a podmínky provozu transformátoru PS. Mimoto jsou brány v potaz současné výrobcem nastavené hodnoty mezí hlášení pro varování a alarm, a dále jsou zohledněny a aplikovány výsledky ze statistické analýzy hlášení a z analýzy činností a jednotlivých průběhů veličin monitoringů. Ambicí tohoto nastavení je zejména omezení nadbytečných hlášení za účelem zajištění věrohodnosti a výpovědischopnosti relevantních dat a informací o stavu transformátoru. V tabulkách na konci této kapitoly je uveden souhrn aktuálního a navrhovaného nastavení, včetně předpokládaného procentuálního omezení nadbytečných hlášení při přechodu na nově navrhované nastavení mezí pro hlášení.

Rozdíl teplot oleje na vstupu a výstupu chladiče

Hlášení překročení mezí u této veličiny bylo generováno pouze u 1 transformátoru TR2_5 osazeného MST2, a to celkem 10x. Limit varování dle výrobce je 20 K a pro alarm 25 K. Maximální hodnota rozdílu teplot na vstupu a výstupu chladiče, která se v průběhu jednoho roku objevila, byla 22,2 K, tedy pod limitem alarmu. V případě transformátorů osazených systémem MST3 bylo zjištěno dvojí nastavení limitů varování 10 a 22 K a limitů alarmu 15 a 25 K. To způsobilo generování velkého počtu hlášení (324), kdy pouhých 25 % bylo větších než 22 K, tedy horní limit pro varování.

Zároveň je však nutné konstatovat zjištění z 5. kapitoly této práce, že všechna hlášení jsou na základě současného algoritmu prozatímně generována při vypnutém čerpadle chladičového systému. Jelikož čerpadla a ventilátory chladiče pracují současně, jde v případě jejich vypnutí o systém chlazení ONAN. V případě generování hlášení o velkém rozdílu teplot u chladiče jsou v současnosti dané informace o stavu účinnosti chlazení nerelevantní. Nastavení limitních hodnot rozdílu teplot oleje na vstupu a výstupu chladiče by mělo být provedeno v kontextu na chod

čerpadla, tedy hlášení by měla být generována pouze pro typ chlazení ODAF, zapnuté čerpadlo a ventilátory. V tomto případě by limitní hodnota rozdílu teplot oleje vstupu a výstupu chladiče neměla přesahovat 3 - 5 K, protože při vyšším spádu lze již usuzovat na neefektivní činnost chladiče díky např. omezení průtoku oleje či ucpaným kanálkům.

Z výše uvedeného je evidentní, že v současnosti nastavené meze nejsou relevantní z důvodu špatného algoritmu generování hlášení a zároveň je výpovědischopnost tohoto hlášení nulová. Do doby, než výrobce monitoringu přepracuje algoritmus generování tohoto hlášení, je vhodné mít pro omezení generování nerelevantních hlášení sjednocené nastavení mezí pro varování 22 K a pro alarm 25 K. Tím by se omezilo až 75 % hlášení generovaných za jeden rok provozu transformátorů PS.

Plyn rozpuštěný v oleji

V případě plynu rozpuštěného v oleji jsou momentálně nastaveny kladné a záporné gradienty jeho vývoje. Z pohledu odhalení skutečných závad či poruch jsou však důležité pouze kladné gradienty vývoje plynu rozpuštěného v oleji, protože záporné gradienty znamenají omezení vývoje plynu. Při reálném provozu transformátoru se plyny vyvíjí v závislosti na závažnosti závady či poruchy uvnitř transformátoru. Na velmi rychlý vývoj plynů v oleji (cca řádově sekundy až minuty) nestačí monitoring zareagovat. Zareaguje však ochrana typu Buchholzovo relé, jež má taktéž dvě úrovně (varovný a vypínací signál), které jsou signalizovány na dispečink PS. Není tedy ambicí senzoru detekujícího plyn rozpuštěný v oleji reagovat na velmi rychlý vývoj plynů, ale postupný vývoj plynů, jež je charakteristický pro postupně se rozvíjející závadu ještě předtím, než se rozvine v poruchu (cca řádově hodiny až týdny).

Z provedených analýz je vidět, že nebylo zaregistrováno velké množství hlášení, kdy většina jich byla varovného charakteru, tedy rychlosti vývoje do 2 ppm/h. Velmi vzácně se objevily i alarmy po překročení nastaveného limitu rychlosti vývoje 4 ppm/h. Všech 17 hlášení se objevilo u transformátorů osazených monitorovacím systémem starší generace MST2. Ani u jednoho z těchto transformátorů však nebyla po porovnání s DGA (laboratorní offline analýza Dissolved Gas-in-oil Analysis) detekována závada, proto nelze posoudit relevantnost současného nastavení dle dosavadních zkušeností.

Z výše uvedeného je tedy zřejmé, že současné nastavení rychlosti vývoje plynů je vhodné ponechat dle nastavení výrobce senzoru, na základě jejich zkušeností. V případě detekování rychlosti vývoje plynu při reálné závadě či poruše, pak bude nutné vzít toto v úvahu při přenastavení jednotlivých mezí pro hlášení.

Množství plynu v Buchholzově relé

Provedená analýza ukázala, že hlášení u veličiny „Množství plynu v Buchholzově relé“ bylo generováno zejména u transformátorů TR2_4 osazeného MST2 a TR3_7 osazeného MST3. Většina těchto hlášení však byla generována zejména u TR2_4 z důvodu, v předchozí kapitole, zjištěného prolínání oleje u senzoru detekující tuto veličinu. Za účelem omezení velkého počtu redundantních varovných hlášení je vhodné přenastavit limit pro varování, na základě provedené analýzy (viz histogram obr. P5 - 23 a tabulka tříd a četností tab. P5 – 27 v příloze 5), ze současných 50 ml na hodnotu 55 ml. Tím dojde k omezení až 95 % hlášení generovaných za jeden rok provozu transformátorů PS. Hodnota hlášení alarmu je v současnosti nastavena na 60 ml a je velmi blízká maximální hodnotě, které tato veličina může nabývat, jež je 69 ml, kdy je v senzoru olej plně nahrazen plynem. Proto by měla být tato limitní alarmová hodnota zachována, aby diagnostika a údržba stačila zareagovat patřičným úkonem na generovaný alarm.

Náběh kontaktu voliče přepínače odboček OLTC

Celkem bylo varovné hlášení u této veličiny na transformátorech osazených monitoringem MST2 generováno 9x. Ani jednou však nedošlo k překročení mezní hodnoty alarmu. U transformátorů osazených monitoringem MST3 pak bylo generováno 74 hlášení, při stejném nastavení limitních hodnot 1000 W pro varování a 1200 W pro alarm u monitoringů MST2 i MST3. Za účelem omezení počtu redundantních varovných hlášení by pak, na základě provedených analýz, bylo vhodné přenastavit hodnotu pro generování hlášení na 1150 W a pro alarm ponechat limitní hodnotu 1200 W. Tímto dojde k omezení počtu hlášení až o 60 %, aniž by byla omezena výpovědichopnost těchto hlášení. Z dosavadních zkušeností nebyl zjištěn jakýkoliv problém s voličem přepínače či se samotným přepínačem, tedy je obezřetné věřit nastavení výrobce a neměnit prozatímne hodnotu pro hlášení typu alarm.

Doba přepnutí odboček přepínače odboček OLTC

U transformátorů osazených MST2 je z provedeného rozboru (tab. P5 – 30 a P5 – 31 a histogram P5 – 25 v příloze 5) evidentní, že všechna hlášení vysoce překračují nastavenou limitní hodnotu pro alarm, jež je 8,5 s. Minimální hodnota hlášení, která překročila limit alarmu, byla doba rovná 10,1 s. Celkem bylo generováno 21 hlášení typu alarm. U monitoringu MST3 byly nastaveny dvě odlišné limitní hodnoty pro varování (6 a 7,5 s) a alarm (8 a 8,5 s) u různých transformátorů. Tato nejednotnost v nastavení způsobila generování většího počtu hlášení, kterých bylo celkem 45.

Doba přepnutí přepínače záleží na teplotě oleje (tedy i jeho viskozitě), kdy při nízkých teplotách trvá přepnutí odboček delší dobu, protože celý mechanismus OLTC musí překonat větší mechanický odpor způsobený olejem. Dále je doba přepnutí přepínače závislá na frekvenci přepínání, kdy při nízké frekvenci, typické pro transformátory PS, není mechanický systém tolik využíván (má vyšší tuhost), což znamená, že opět doba přepnutí odboček trvá delší dobu.

Zejména z výše uvedených důvodů a taktéž z důvodu omezení generování nadbytečného počtu hlášení (na základě rozboru až o 60 %) se nabízí možnost přenastavení limitů na hodnoty 10,5 s pro varování 11 s pro alarm. Toto nastavení však bude v každém případě nutné konzultovat s výrobcem samotného přepínače odboček, aby nedošlo k omezení věrohodnosti informací díky nesprávně nastaveným limitům pro hlášení o stavu OLTC.

Doba zapínacího proudu OLTC

Hlášení o této veličině se objevilo pouze u transformátorů osazených monitoringem MST3. Limitní hodnoty pro varování a alarm jsou nastaveny na doby zapínacího proudu 0,5 a 0,8 s. Na základě rozboru (histogram na obr. P7 – 30 a tabulka tříd a četností tab. P7 - 34 v příloze 7) se při změně limitních hodnot pro varování na 0,8 s a pro alarm na 1 s se sníží počet hlášení až o 60 %. Avšak stejně jako v případě doby přepnutí odboček je nutné toto nastavení konzultovat přímo s výrobcem přepínače odboček.

Proudy zatížení vyššího napětí

V současnosti jsou do přenosové soustavy dodávány zejména transformátory s výkonem 350 MVA, ale v minulosti byly dodávány i s výkonem 250 MVA. A tyto

transformátory byly taktéž v předešlých kapitolách analyzovány, a proto bude navrženo proudové nastavení pro transformátory s výkony 350 i 250 MVA. Obecně jsou transformátory PS zatěžovány na 50 – 70 % jmenovitého výkonu a velmi vzácně se blíží hranici jmenovitého výkonu. Dále je obecně požadováno přetížení 130 % jmenovitého výkonu po dobu 1 hodiny za provozu všech chladičů a pro celý rozsah regulace bez zvýšené pravděpodobnosti poruchy. Z tohoto důvodu je počet hlášení (97 pro oba typy transformátorů) o přetížení transformátoru velmi nevěrohodný. Otázka tedy zní, jaký je význam limitních hodnot pro varování, respektive co má hlášení o překročení nastavených mezí dávat za informace. Tato hlášení by měla dát informaci, že transformátor již je v přetíženém stavu, protože informace o zatížení transformátoru na jmenovitý výkon nemá své opodstatnění. Transformátor je konstruován tak, aby snesl jmenovité zatížení. V případě přetížení už je nutné počítat s dobou přetížení dle křivky krátkodobé přetížitelnosti a jedná se tedy o zajímavé informace pro provozovatele transformátoru, zejména pro dispečink PS.

Výrobce monitoringu definované nastavení ukazuje na přístup neodpovídající reálným parametrům a podmínkám provozu transformátorů PS, protože u transformátoru s výkonem 250 MVA je limitní hodnota pro varování 310 A a pro alarm 350 A, zatímco jmenovitý proud je 360 A. Z rozboru hlášení je vidět, že k překročení hodnoty 356 A (těsně pod jmenovitou hodnotou proudu) došlo pouze ve 4 případech, avšak k překročení nastavené meze varování došlo ve 21 případech. V případě transformátorů osazených MST2 o výkonu 350 MVA jsou již limitní hodnoty pro varování a alarm na hranici jmenovitého proudu, avšak stále nejsou pro dispečera dostatečně zajímavé. Proto by limitní hodnota pro alarm mohla být 555 A (110 % jmenovitého proudu), a mezní hodnota pro varování 530 A (105 % přetížení). Zvýšením limitní hodnoty pro varování tak dojde k omezení počtu redundantních hlášení téměř o 50 % u transformátorů osazených MST2. U transformátorů osazených MST3 jsou již limitní hodnoty proudů pro varování a alarm nastaveny dle navrhované koncepce. Z důvodu zachování konzistence nastavení u všech transformátorů by bylo vhodné nastavit limitní hodnotu pro varování u transformátorů s výkonem 250 MVA na 378 A (105 % přetížení), a pro alarm na 396 A (110 % přetížení). Tím by reálně došlo za 1 rok provozu k omezení počtu redundantních hlášení až o 96 %, tedy vyskytlo by se pouze 1 hlášení typu alarm, což se může stát.

Proudy zatížení nižšího napětí

U 3 analyzovaných transformátorů s výkonem 350 MVA a osazených monitoringem MST2 byly nastaveny 3 odlišné hodnoty mezí pro varování (1090 A, 1450 A a 1900 A) a alarm (1150 A, 1500 A a 2000 A). To při hodnotách jmenovitých proudů pohybujících se v rozmezí 1491 – 1898 A (dle aktuální odbočky transformátoru) způsobilo generování 1531 hlášení. Ze statistického rozboru tříd a jejich četností (příloha 5) je evidentní, že je pouze 10 hlášení relevantních, tedy nad hranicí jmenovitého proudu nejnižší odbočky. Mezní hodnoty pro generování varování a alarm je vhodné nastavit se stejnou koncepcí jako v případě proudů primárního napětí, tedy limit pro varování na 1993 A (105 % přetížení na nejnižší odbočce), a limit pro alarm 2088 A (110 % přetížení na nejnižší odbočce). Asi nejideálnější by bylo nastavit hodnotu pro proud pro každou odbočku s daným přetížením, avšak transformátory jsou málokdy zatížené na nominální výkon a odbočka je nastavená v závislosti na stabilitě napětí a činného výkonu v elektrizační soustavě. V případě 1 transformátoru o výkonu 350 MVA a osazeného MST3 bylo generováno 28 hlášení o překročení mezí varování a alarmu. Hodnoty proudů u monitoringu MST3 jsou již nastaveny v kontextu se jmenovitým proudem nejnižší odbočky, a to 1898 A pro varování a 2088 pro alarm. S cílem dodržení nastavené koncepce je pak vhodné definovat limitní hodnotu pro varování na 1993 A (105 % přetížení na nejnižší odbočce) a ponechání limitu pro alarm 2088 A (110 % přetížení na nejnižší odbočce). Tímto přenastavením dojde k eliminaci téměř 50 % redundantních hlášení, bez omezení informovanosti o aktuálním přetížení transformátoru.

V případě jediného transformátoru se jmenovitým výkonem 250 MVA osazeného MST2 došlo k 8 překročení mezí a tím generování hlášení. Z provedené analýzy vyplývá, že limity pro varování a alarmy jsou nastaveny reálně v závislosti na jmenovitém proudu (rozmezí 1065 – 1355 A v závislosti na odbočce). Avšak pro udržení sjednocené koncepce je vhodné nastavit limity pro varování a alarm na 1423 A (105 % přetížení na nejnižší odbočce) a 1490 A (110 % přetížení na nejnižší odbočce). U jediného transformátoru se jmenovitým výkonem 250 MVA osazeného monitoringem MST3 došlo k 9 překročení mezí a generování hlášení. Limitní hodnoty pro varování a pro alarm jsou 1100 a 1150 A. Všechna hlášení generovaná při překročení mezí byla menší, než je jmenovitý proud nejnižší odbočky. Z daného tedy vyplývá, že limitní hodnoty pro varování a alarmy nejsou nastaveny reálně

v závislosti na jmenovitém proudu (rozmezí 1065 – 1355 A v závislosti na odbočce). S cílem sjednocené koncepce je vhodné nastavit limity pro varování a alarm na 1423 A (105 % přetížení na nejnižší odbočce) a 1490 A (110 % přetížení na nejnižší odbočce). Díky tomuto nastavení by nebylo za 1 rok provozu analyzovaného transformátoru 250 MVA osazeného MST3 generováno jediné hlášení.

Primární napětí 400 kV (vyšší napětí - vstupní strana)

Napětí u monitoringu MST2 jsou uváděna jako sdružená napětí 400 kV. Fázové primární napětí je $400/\sqrt{3} = 230,9$ kV. Omezovače, které chrání transformátor ze strany vyššího napětí, jsou parametrizovány na hodnotu 336 kV fázového napětí. Transformátor je ve výrobním závodě při přijímacích zkouškách testován na působení atmosférického impulsu vůči zemi o hodnotě 1425 kV (vlna 1,2/50 μ s), dále na působení spínacího impulsu vůči zemi o velikosti 1050 kV a taktéž na střídavé napětí proti zemi a mezi fázemi 630 kV. Je tedy evidentní, že transformátor je ve výrobním závodě odzkoušen na jednotlivé typy přepětí a ještě je za provozu chráněn omezovačem přepětí. Výrobce monitoringu nastavené limitní hodnoty pro varování a alarm odpovídají 150 % a 175 % jmenovitého napětí (346,4 kV a 404,1 kV fázového napětí, 600 a 700 kV napětí sdruženého). Jde tedy o napětí vyšší, než na jaké je parametrizován omezovač přepětí, tudíž by měla být v monitoringu hlášena pouze přepětí, která omezovač nedokáže omezit na nastavenou hodnotu 336 kV. Počet hlášení generovaných na 5 transformátorech osazených MST2 za 1 rok provozu byl 944, což je při výše zmíněných aspektech v provozu téměř nereálné. Poměr počtu hodnot vyšších, než je limit varování a nižších než je limit alarmu, k počtu hodnot vyšších, než je alarm, je cca 4:5. Přenastavením současného limitu varování z 600 kV na hodnotu 630 kV sdruženého napětí, by mělo dojít ke značnému omezení počtu hlášení (téměř o 20 %), což by nemělo negativně ovlivnit informovanost o počtu přepětí působících na izolační systém transformátoru ze strany vyššího napětí.

Na rozdíl od monitoringu MST2 jsou u MST3 zobrazována napětí jako fázová. Limitní hodnoty pro varování byly výrobcem nastaveny na 346 nebo 360 kV (cca 150 % jmenovitého napětí) a 393, 410 nebo 420 kV (cca 175 - 180 % jmenovitého napětí) pro alarm. Jednotlivé, avšak typově stejné, transformátory tak měly odlišně nastavené limitní hodnoty pro varování a alarm. Počet hlášení generovaných na 6 transformátorech osazených MST3 za 1 rok provozu byl 422. Poměr počtu hodnot

vyšších, než je limit varování (uvažováno s 360 kV) a nižších než je limit alarmu, k počtu hodnot vyšších než je alarm (uvažováno s 405 kV), je cca 2:1. Přenastavením současných limitních hodnot pro varování a alarm na 405 kV, resp. 420 kV fázových napětí, by mělo dojít k omezení počtu redundantních hlášení cca o 65 %. Ve výsledku by se zvýšil pouze limit pro varování, a tudíž by nedošlo k nereálnému nastavení limitů a tím omezení informovanosti o počtu přepětí působících na izolační systém transformátoru ze strany vyššího napětí.

Bohužel je nutné konstatovat, že u obou monitorovacích systémů MST2 i MST3 je, z výše uvedených důvodů (nastavené hodnoty napětí pro varování a alarm jsou vyšší než napětí, na které je parametrizován omezovač přepětí), počet hlášení o přepětích velmi nereálný a tuto problematiku bude vhodné dále konzultovat s dodavatelem monitoringu.

Sekundární napětí 121 kV (nižší napětí - výstupní strana)

Napětí u monitoringu MST2 jsou uváděna jako sdružená napětí 121 kV v závislosti na aktuální odbočce přepínače OLTC až $121 + 8 \times 1,5 \% = 135,5$ kV. Fázové jmenovité napětí je $121 / \sqrt{3} = 69,9$ kV na nulové odbočce OLTC. Omezovače, které chrání transformátor ze strany nižšího napětí, jsou parametrizovány na hodnotu 96 kV fázového napětí. Hodnota atmosférického impulsu vůči zemi je 550 kV a střídavé napětí proti zemi a mezi fázemi je 230 kV, a na tyto hodnoty jsou transformátory testované již při ověřovacích zkouškách u výrobce. Hodnoty sdružených napětí nastavené u MST2 jsou 184 kV (cca 150 % jmenovitého napětí 121 kV) pro varování a 215 kV (cca 175 % jmenovitého napětí 121 kV) pro alarm. Počet hlášení generovaných na 2 transformátorech osazených MST2 za 1 rok provozu byl 76. Poměr počtu hodnot vyšších, než je limit varování a nižších než je limit alarmu, k počtu hodnot vyšších, než je alarm, je 1:1. Přenastavením současných limitů varování a alarmu na hodnoty 215 kV, resp. 230 kV, by mělo dojít ke značnému omezení počtu hlášení (až o 50 %), aniž by došlo k nereálnému nastavení limitů a tím omezení informovanosti o počtu přepětí působících na izolační systém transformátoru ze strany nižšího napětí.

Na rozdíl od MST2 je u monitoringu MST3 zobrazováno napětí fázové. Hodnoty fázových napětí nastavené u MST3 jsou 105 kV (cca 150 % jmenovitého napětí 69,9 kV) pro varování a 122 kV (cca 175 % jmenovitého napětí 69,9 kV) pro alarm. Počet hlášení generovaných na 4 transformátorech osazených MST3 za 1 rok

provozu byl 110. Poměr počtu hodnot vyšších, než je limit varování a nižších než je limit alarmu, k počtu hodnot vyšších, než je alarm, je cca 3:2. Přenastavením současných limitních hodnot pro varování a alarm na 119 kV, resp. 130 kV fázových napětí, by mělo dojít k omezení počtu hlášení až o 60 %, aniž by došlo k nereálnému nastavení limitů a tím omezení informovanosti o počtu přepětí působících na izolační systém transformátoru ze strany nižšího napětí.

Bohužel je opět nutné konstatovat, že u obou monitorovacích systémů MST2 i MST3 je relativně velký počet hlášení o přepětích nereálný a tuto problematiku bude vhodné dále konzultovat s dodavatelem monitoringu.

Změna kapacity C_1 průchodky

Hlášení o překročení změny kapacity C_1 průchodky se u analyzovaných transformátorů osazených MST2 a MST3 téměř nevyskytla. Přesto však na základě rozboru poruchovosti uvedeného v kapitole 1.1, z kterého je evidentní, že průchodka patří mezi nejporuchovější komponenty, je vhodné se zabývat jejími limitními hodnotami pro generování hlášení. Jak je uvedeno v kapitole 3.3.4 využívá se k hodnocení stavu izolace průchodky změna kapacity C_1 , získaná měřením příslušné změny napětí dané fáze. Náhlá změna kapacity C_1 reprezentuje průraz jedné nebo více vrstev (polepů). Polepy (definované parametry a_i , b_i , a délka l_i v rovnici 1 níže) jsou v papírové izolaci umístěny tak, aby kapacita mezi sousedícími polepy byla vždy stejná, tedy se zvětšujícím se průměrem polepů klesá jejich délka. Takto umístěné polepy zajistí rovnoměrně rozložený potenciál elektrického pole v radiálním i axiálním směru celé izolace průchodky vůči potenciálu země. Kapacita C_i mezi sousedícími polepy (kapacita jedné izolační vrstvy) se vypočte podle rovnice 1:

$$C_i = \frac{2\pi\epsilon l_i}{\ln \frac{b_i}{a_i}} \quad (1)$$

kde:

ϵ - permitivita izolace

l_i - délka polepu

a_i - poloměr vnitřní elektrody (polepu)

b_i - poloměr vnější elektrody (polepu)

Výsledná kapacita C průchodky je dána sériovou kombinací kapacit jednotlivých vrstev. Kapacita jednotlivých vrstev je stejná, a proto se výsledná kapacita C vypočte podle rovnice 2 jako:

$$\frac{1}{C} = \sum_{i=1}^n \frac{1}{C_i} \quad (2)$$

kde:

C_i - kapacita jedné vrstvy

n - počet vrstev

Jelikož je kapacita jednotlivých vrstev C_i stejná, jde tento výpočet celkové kapacity C zjednodušit, a vypočte se podle rovnice 3, a napětí mezi sousedícími polepy pak podle rovnice 4:

$$C = \frac{C_i}{n} \quad (3)$$

$$U_i = \frac{U}{n} \quad (3)$$

kde:

U_i – napětí mezi sousedícími polepy

U – jmenovité fázové napětí transformátoru

V případě proražení jednoho polepu průchodky jmenovité fázové napětí transformátoru zůstává stejné, avšak kapacita C_1 průchodky se zvýší, a tím se zvýší i napětí mezi sousedícími polepy a to následovně podle rovnic 5 a 6:

$$C = \frac{C_i}{n-1} \quad (5)$$

$$U_{n-1} = \frac{U}{n-1} \quad (6)$$

kde:

U_{n-1} – napětí mezi sousedícími polepy při průrazu jednoho polepu

Z výše uvedeného je evidentní, že izolace mezi jednotlivými polepy bude namáhána vyšším elektrickým polem ($\frac{n}{n-1}$ násobně) a zvýší se i kapacitní proud I_c tekoucí dielektrikem mezi polepy, a to následovně podle rovnice 7:

$$I_c = U_{n-1} \omega C_i \quad (7)$$

kde:

I_c – kapacitní proud tekoucí dielektrikem mezi jednotlivými polepy

U_{n-1} – napětí mezi sousedícími polepy při průrazu jednoho polepu

ω – úhlová frekvence

C_i - kapacita jedné vrstvy

Ke změně kapacity C_1 v případě proražení jednoho polepu dochází $\frac{n}{n-1}$ násobně, a v případě proražení dvou polepů pak $\frac{n}{n-2}$ násobně. Tedy podle počtu polepů u průchodky je vhodné nastavit hodnoty změny v procentech pro varování $(1-\frac{n}{n-1})$ a pro alarm $(1-\frac{n}{n-2})$. Na základě údajů získaných z [40] má průchodka pro nejvyšší napětí zařízení 420 kV celkem 60 polepů a průchodka pro nejvyšší napětí zařízení 123 kV pak 28 polepů. Navrhované limitní hodnoty pro generování hlášení typu varování a alarm pro jednotlivé průchodky jsou uvedeny v tab. 13.

Tab. 13: Limitní hodnoty změny kapacity C_1 pro varování a alarm

Průchodka – nejvyšší napětí zařízení	Limit – Varování [%]	Limit – Alarm [%]
420 kV	1,69	3,45
123 kV	3,70	7,69

Nastavení limitních hodnot veličin monitorovacích systémů transformátorů PS

V tabulkách 14, 15 a 16 níže je uvedeno současné nastavení limitních hodnot veličin pro generování hlášení. Na základě výše provedeného rozboru aktuálně nastavených mezí veličin je níže v tabulkách uvedeno také budoucí nastavení, jež bylo připraveno ve snaze respektovat skutečné parametry a podmínky provozu transformátorů PS, výrobcem monitoringu nastavené hodnoty a výsledky z analýzy hlášení a z činností a jednotlivých průběhů veličin monitoringů. V tabulkách níže je dále uvedeno předpokládané procentuální omezení nadbytečných hlášení při přechodu na nové nastavení limitních hodnot pro hlášení. Z uvedené analýzy je vidět, že často, zejména u provozních veličin, nebyly při nastavení od výrobce monitoringu brány v potaz provozní parametry konkrétních transformátorů. To mělo nepříznivý vliv na věrohodnost a výpovědischopnost dat a informací poskytovaných monitorovacími systémy transformátorů. V případě aplikace nových limitů hlášení

jednotlivých veličin bude však nutné provést korektivní analýzu po delším čase provozu.

Tab. 14: Současné a navržené budoucí nastavení mezí veličin transformátorů PS

Veličiny jednotlivých podsystémů	Současné nastavení				Budoucí nastavení		Omezení hlášení
	MST2		MST3		MST2 i MST3		
	Varování	Alarm	Varování	Alarm	Varování	Alarm	
Rozdíl teplot oleje vstupu a výstupu chladiče	20 K	25 K	10 K, 22 K	15 K, 25 K	22 K	25 K	75 %
Plyn rozpuštěný v oleji	+2 ppm/h	+4 ppm/h	Nebyly překročeny meze		+2 ppm/h	+4 ppm/h	0 %
Množství plynu v Buchholzově relé	50 ml	60 ml	Nebyly překročeny meze		55 ml	60 ml	95 %
Náběh kontaktu voliče OLTC	1000 W	1200 W	1000 W	1200 W	1150 W	1200 W	60 %
Doba přepnutí odboček OLTC	6,5 s	8,5 s	6 s, 7,5 s	8 s, 8,5 s	10,5 s	11 s	60 %
Doba zapínacího proudu	Nebyly překročeny meze		0,5 s	0,8 s	0,8 s	1 s	60 %
Změna kapacity C1 průchodky 420 kV	2 %	4 %	2 %	4 %	1,69 %	3,45 %	N. A.
Změna kapacity C1 průchodky 123 kV	2 %	4 %	2 %	4 %	3,70 %	7,69 %	N. A.

„N.A.“ – Not Applicable – nelze vypočítat procentuální omezení hlášení

Tab. 15: Současné a navržené budoucí nastavení mezí veličin transformátorů PS

Provozní veličiny	MST2				Omezení hlášení
	Současné nastavení		Budoucí nastavení		
	Varování	Alarm	Varování	Alarm	
Sekundární napětí 121 kV	184 kV	215 kV	215 kV	230 kV	50 %
Primární napětí 400 kV	600 kV	700 kV	630 kV	700 kV	20 %
Proudy zatížení VN 350 MVA	510 A	555 A	530 A	555 A	50 %

Proudy zatížení VN 250 MVA	310 A	350 A	378 A	396 A	96 %
Proudy zatížení NN 350 MVA	1090 A, 1450 A, 1900 A	1150 A, 1500 A, 2000 A	1993 A	2088 A	99 %
Proudy zatížení NN 250 MVA	1400 A	1450 A	1423 A	1490 A	0 %

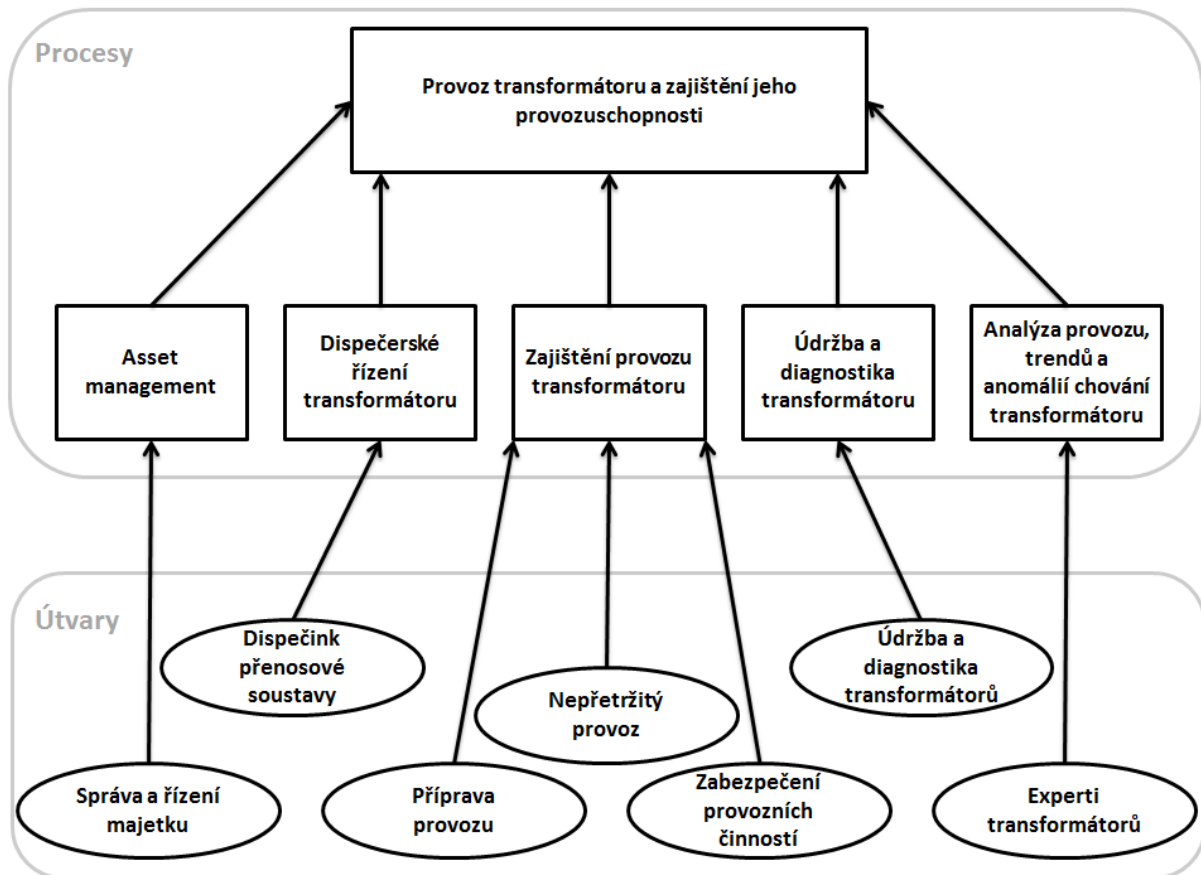
Tab. 16: Současné a navržené budoucí nastavení mezí veličin transformátorů PS

Provozní veličiny	MST3				Omezení hlášení
	Současné nastavení		Budoucí nastavení		
	Varování	Alarm	Varování	Alarm	
Sekundární napětí 121 kV	105 kV	122 kV	119 kV	130 kV	60%
Primární napětí 400 kV	346 kV, 360 kV	393 kV, 410 kV, 420 kV	405 kV	420 kV	65%
Proudy zatížení VN 350 MVA	530 A	555 A	530 A	555 A	0%
Proudy zatížení NN 350 MVA	1898 A	2088 A	1993 A	2088 A	50%
Proudy zatížení NN 250 MVA	1100 A	1150 A	1423	1490 A	100%

7 Návrh využití výstupů monitorovacích systémů nasazených na výkonových transformátorech přenosové soustavy

V návaznosti na nastavení monitorovacích systémů, které bylo vytvořeno s respektováním skutečných technických parametrů výkonových transformátorů přenosové soustavy, je nutné definovat proces využití jednotlivých výstupů monitoringů. Z hlediska zajištění provozuschopnosti transformátoru jde o zásadní výstup související s monitoringy, aby byly plně a efektivně využity nemalé prostředky investované do nich a celé infrastruktury s nimi spojené. Jako ideální se jeví rozdělení sledovaných veličin tak, aby jednotliví pracovníci patřičných útvarů dostávali správné informace o stavu transformátoru včas. Jde tedy zejména o definování souboru veličin, které by sloužily k transformaci v užitečné informace a k podpoře rozhodovacího procesu o dalších činnostech transformátoru v rámci kompetencí jednotlivých pracovníků. Druhý aspekt, který hraje roli a je nutné jej řešit, je styl předávání daných signálů, ať už ve formě hlášení, samotných veličin nebo sdružených signálů. Toto je však nad rámec této práce a záleží na aktuální technické infrastruktuře, organizační struktuře a vnitřních pravidlech provozovatele transformátorů.

Hlavní proces týkající se transformátoru je proces "Provoz transformátoru a zajištění jeho provozuschopnosti", který se skládá z dílčích procesů (subprocesů), jako jsou "Asset management (řízení a správa majetku)", "Dispečerské řízení transformátoru", "Zajištění provozu transformátoru", "Údržba a diagnostika transformátoru" a "Analýza provozu, trendů a anomálií chování transformátoru". Všechny tyto procesy jsou zajišťovány jednotlivými organizačními celky provozovatele a vyžadují aktuální informace o stavu transformátoru, jenž mohou být poskytovány monitorovacím systémem. Celý proces "Provoz transformátoru a zajištění jeho provozuschopnosti" složený z dílčích procesů, a útvary, které dané procesy zajišťují, je patrný z obr. 54 níže.



Obr. 54: Proces "Provoz transformátoru a zajištění jeho provozuschopnosti"

Z hlediska výstupů monitoringu pro podporu rozhodování v oblasti procesu "Asset management", jenž je zajišťován pracovníky stejnojmenného organizačního celku (někdy též nazýván správa majetku nebo řízení aktiv), lze využít tyto veličiny:

- Doba provozu transformátoru
- Doba provozu přepínače odboček
- Doba provozu čerpadel
- Doba provozu ventilátorů

Na základě informací o dosažení nastavených mezí doby provozu rozhodne kompetentní pracovník o výměně či revizi jednotlivých komponentů nebo celého transformátoru. V případě výměny pak zajistí její časový harmonogram, finanční prostředky a technické podklady pro pořízení nových komponentů (OLTC, čerpadla, ventilátory) nebo samotného transformátoru.

Za proces "Zajištění provozu transformátoru" jsou zodpovědní pracovníci "Příprava provozu", "Technické dohledové centrum (Nepřetržitý provoz)" a "Zabezpečení provozních činností". Pro podporu procesu "Zajištění provozu transformátoru" je vhodné sledovat následující veličiny monitoringu:

- Stav transformátoru - zapnuto/ vypnuto
- Teplota horní vrstvy oleje
- Pozice odbočky OLTC
- Teplota oleje jednotlivých přepínačů odboček
- Změna kapacit jednotlivých průchodek
- Chod čerpadla
- Chod ventilátoru
- Provozní schopnost monitoringu

Provozní pracovníci (technické dohledové centrum) by měli sledovat hlášení (týkající se uvedených veličin), jež by měla být generována v případě překročení nastavených mezí. Na základě příslušného hlášení by měli iniciovat reakci pracovníků útvarů "Zabezpečení provozních činností" a "Údržba a diagnostika transformátoru" kteří by daný problém měli vyřešit. Způsob řešení problémů je nutné definovat v tzv. akčním plánu (kompetence, událostní a časová posloupnost akcí), na jehož základě by mělo vzniknout rozhodnutí o provedení patřičných akcí (preventivní či korektivní zákrok). Problematika definování akčního plánu je značně rozsáhlá a opět závisí na technické infrastruktuře, organizační struktuře a vnitřních pravidlech provozovatele. Navíc je velmi závislá na zkušenostech jednotlivých pracovníků s výsledky z monitoringu. Jde tedy o úkol, který je nad rámec této práce, a který bude nutné řešit při zavádění využívání výstupů z monitoringu do praxe. Vybraná hlášení typu "Stav transformátoru" by měla být také poskytována zástupcům útvaru "Příprava provozu", aby měli informace o aktuálním stavu transformátoru, na jehož základě by jej mohli v následujícím časovém období (připraveném plánu provozu elektrizační soustavy) dát k dispozici dispečerům pro operativní řízení provozu elektrizační soustavy.

Další proces "Dispečerské řízení transformátoru" je zajišťován dispečery z útvaru "Dispečink přenosové soustavy" a pro podporu jejich rozhodování při řízení soustavy je možné využít tyto veličiny monitoringu:

- Napětí VN, NN
- Proudů VN, NN, TN
- Teplota horní vrstvy oleje
- Teplota vinutí
- Gradient plynů v oleji
- Změna kapacity průchodky VN a NN všech tří fází
- Teplota oleje jednotlivých přepínačů odboček
- Chod chladičů
- Provozní schopnost monitoringu

Dispečink je výkonný orgán provozovatele přenosové soustavy, kterou celou řídí. K tomu potřebuje mít aktuální informace o napětích a prouděch transformátoru, stejně jako informace o jeho aktuálním stavu. Zatížení transformátoru přímo ovlivňuje teplotu oleje a vinutí, a proto je v současnosti nastaveno několik úrovní teplot, při jejichž dosažení se postupně spouštějí jednotlivé chladiče. Při chodu všech chladičů je však nutné i definovat teploty oleje, které musí být pod úrovní bodu vzplanutí oleje, při nichž je nutné snížit či převést zatížení na jiný transformátor. Existují dvě úrovně teplot oleje a vinutí při plném chodu všech chladičů. Při dosažení první úrovně přijde na dispečink signál a dispečer musí provést opatření ke snížení zatížení daného transformátoru. V případě dosažení druhé úrovně nastavené teploty je transformátor automaticky (zapůsobením ochrany) odpojen z elektrizační soustavy. Ten samý princip by mohl být využit i u teplot oleje přepínače odboček, s tím, že by byla nastavena pouze jedna úroveň teploty oleje, při jejímž dosažení by se celý transformátor automaticky odpojil od sítě. A to z toho důvodu, že zvýšení teploty oleje uvnitř přepínače odboček znamená jeho závažný vnitřní problém, který by mohl skončit až požárem celého transformátoru.

Z hlediska stavu izolačního systému transformátoru, je pro dispečera nejdůležitější signál "Plyny v oleji". Zde mohou být nastaveny dvě úrovně vývinu plynů, protože plyny se vyvíjí v závislosti na vážnosti závady uvnitř transformátoru. V případě nepříliš významné závady se poruchové plyny vyvíjí pomalu, a jejich integrální hodnota může dlouhodobě narůstat. Pro zachycení tohoto typu závad by byla nastavena první úroveň, při jejímž dosažení by přišlo varovné hlášení a dispečink by inicioval reakci pracovníků "Údržba a diagnostika transformátoru",

kteří by zajistili provedení kontrolního odběru oleje za provozu transformátoru. V případě závažných závad je generováno velké množství hořlavých plynů, kdy může dojít k jejich vznícení a následnému požáru celého transformátoru. Ke včasnému odhalení závad tohoto typu je tedy vhodné mít definovanou druhou úroveň plynů a zároveň definovaný trend vývoje plynů. Pro generování varovného signálu musí být splněna alespoň jedna z definovaných podmínek. V případě příchodu varovného signálu (v tomto případě vypínací časovací signál) by dispečerovi začalo odpočítávání nastaveného času, během něhož musí provést potřebné opatření (převedení zátěže na jiný transformátor, rekonfiguraci sítě aj.), aby ještě před dosažením nastavené doby mohl dispečer daný transformátor řízeně vypnout. Po dosažení nastavené doby by byl transformátor automaticky (zapůsobením ochran a automatik) odpojen z elektrizační soustavy.

Na základě rozboru poruchovosti komponent transformátoru jsou kritické i jeho průchodky. V případě problému s průchodkou (proražení kapacitních polepů) dochází k velmi rychlé změně kapacity průchodek, což může vyústit v její explozi a následný požár celého transformátoru. Veličinu „Změna kapacity průchodky“ je tedy vhodné taktéž využívat k dispečerskému řízení transformátoru. V tomto případě by byly nastaveny dvě úrovně hlášení – varování a alarm. Při dosažení první nastavené úrovně by bylo generováno varování, že je pravděpodobný problém s průchodkou (byla by iniciována diagnostika průchodek). Druhé hlášení – alarm, by bylo generováno v případě dosažení druhé nastavené úrovně nebo v případě překročení nastaveného trendu zvyšující se změny kapacity průchodky. V tomto případě by dispečer obdržel vypínací časovací signál s definovaným časem do automatického odpojení transformátoru z elektrizační soustavy. V době trvání vypínacího impulsu by měl dispečer za povinnost provést opatření, aby bylo možné transformátor řízeně vypnout ještě před uplynutím nastavené doby.

Organizační celek "Údržba a diagnostika transformátoru" zajišťuje stejnojmenný proces, pro jehož podporu je vhodné využít níže uvedené veličiny:

- Stav transformátoru - zapnuto/ vypnuto
- Izolační systém aktivní části
 - Teplota horní a dolní vrstvy oleje
 - Vlhkost oleje
 - Plyny v oleji - absolutní úroveň, gradienty denní, hodinový

- Plyn v Buchholzově relé
- Počet přepětí a nadproudů (zkratů)
- Přepínač odboček
 - Počet provedených operací (nejčastější odbočky) -> zbývající počet operací do provedení údržby
 - Počet naspínaných proudů při přepnutí odboček (na jednotlivých odbočkách) -> zbývající proud k naspínání do provedení údržby
 - Průběh výkonu motorem pohonu (mechanické opotřebování hlavních a pomocných kontaktů OLTC)
 - Teplota oleje jednofázových přepínačů odboček
 - Vlhkost oleje jednofázových přepínačů odboček
- Průchodky
 - Změna kapacity průchodky VN, NN všech tří fází
- Chladicí systém
 - Rozdíl teplot oleje na vstupu a výstupu chladiče, společně s aktuálním chodem čerpadla a ventilátoru
 - Doba provozu čerpadla
 - Doba provozu ventilátoru

V případě překročení nastavených mezí výše uvedených veličin by mohlo být iniciováno provedení korektivní diagnostiky. Celý tento proces by fungoval, jako preventivní diagnostika k odhalení závad, před tím, než se rozvinou do poruch. Pro jednotlivé podsystémy jsou vybrané důležité a vypovídací veličiny, které ukazují na jejich aktuální stav. V návaznosti na navržené veličiny pro podporu údržby a diagnostiky transformátoru bude nutné definovat akční plán reakce na ně. Půjde zejména o definování kompetencí a odpovědností jednotlivých pracovníků, včetně časové a událostní posloupnosti akcí (např. provedení analýzy DGA, rozboru oleje aj.). Tento úkol je nad rámec této práce, avšak bude vhodné jej řešit při zavádění využívání výstupů z monitoringu do praxe. Jako ideový návrh akčního plánu může být zmíněna reakce na překročení nastavené hodnoty plynu v oleji. V případě příchodu tohoto hlášení by pracovníci nepřetržitého provozu iniciovali reakci pracovníků údržby a diagnostiky transformátorů, která by provedla kontrolní odběr oleje. Na základě analýzy by došlo k potvrzení či vyvrácení skutečnosti, na jejímž

základě by bylo rozhodnuto o dalším provozu transformátoru, např. s nižším zatížením či úplné vypnutí a hledání příčiny vývinu plynů v oleji transformátoru.

Za proces "Analýza provozu, trendů a anomálií chování transformátoru" jsou zodpovědní experti (techničtí specialisté) transformátorů, kteří zajišťují nejen tento proces, ale i procesy související s pořízením nového transformátoru, podporou provozu, údržby a diagnostiky transformátorů a dalšími procesy týkajícími se životního cyklu transformátoru. V rámci jejich pracovní náplně a kompetencí je tedy nutné, aby dotyční pracovníci měli co nejvíce informací o transformátoru, tedy všechny dostupné signály z monitoringu. Výstupem jejich činnosti pro podporu provozu, údržby a diagnostiky, tedy efektivního využívání informací z monitoringu, by měla být doporučení a iniciace k provedení patřičných činností (definovaných v akčním plánu) v rámci odhalování závad a prevence poruch transformátoru.

Z hlediska monitoringu transformátoru existuje ještě jeden proces, pro který mohou být využívány výstupy z monitorovacích systémů. Jde o proces "Provozoschopnost monitoringu", který by mohl být zajišťován odborníky z "Technického dohledového centra - Nepřetržitého provozu" a "Údržby sekundárních zařízení". Pro podporu tohoto procesu je vhodné využít níže uvedené veličiny:

- Stav monitoringu - zapnuto/ vypnuto
- Napájení monitoringu - jistič, UPS
- Vnitřní porucha - samokontrola
- Stav komunikace profibus
- Stav sběrnice a modulů
- Kapacita harddisku IED
- Systémová paměť
- Stav plynového senzoru

V případě generování hlášení o jednotlivých komponentech (UPS, jistič, sběrnice a jednotlivé moduly RTU, vazební modul profibus, harddisk, paměť či plynový senzor) monitoringu, která by byla zasílána na "Technické dohledové centrum", by jeho pracovníci iniciovali reakci pracovníků útvarů "Zabezpečení provozních činností"

a "Údržby a sekundárních zařízení". Ti by v závislosti na složitosti daného problému, měli daný problém vyřešit, případně v součinnosti se zástupcem servisu (výrobce monitoringu) zajistit jeho vyřešení.

Níže v tabulce 17 je uveden soubor navržených veličin monitoringu pro využívání výstupů v rámci jednotlivých procesů týkajících se provozuschopnosti transformátorů přenosové soustavy ČR.

Tab. 17: Veličiny monitoringu jednotlivých procesů pro zajištění provozuschopnosti transformátoru

Proces monitoringu	Provoz transformátoru a zajištění jeho provozuschopnosti					
	Asset management	Dispečerské řízení transformátoru	Zajištění provozu transformátoru	Údržba a diagnostika transformátorů	Analýza provozu, trendů a anomálií chování transformátorů	Provozuschopnost monitoringu
Veličina monitoringu	Doba provozu transformátoru	Napětí VN, NN	Stav transformátoru - vypnuto/ zapnuto	Stav transformátoru - vypnuto/ zapnuto	Všechny veličiny monitoringu	Stav monitoringu - zapnuto/ vypnuto
	Doba provozu OLTC	Proudy VN, NN, TN	Teplota horní vrstvy oleje	Teplota horní a dolní vrstvy oleje		Napájení monitoringu - jistič, UPS
	Doba provozu čerpadel	Teplota horní vrstvy oleje	Pozice odbočky OLTC	Vlhkost oleje		Vnitřní porucha - samokontrola
	Doba provozu ventilátorů	Teplota vinutí	Teplota oleje 1-fázových OLTC	Plyny v oleji - abs. Úroveň, gradient		Stav komunikace profibus
	-	Gradient plynů v oleji	Změna kapacity průchodky VN, NN všech 3 fází	Plyn v Buchholzově relé		Stav sběrnice a modulů
	-	Změna kapacity průchodky VN, NN všech tří fází	Chod čerpadla	Počet přepětí a nadproudů		Kapacita harddisku IED
	-	Teplota oleje 1-fázových OLTC	Chod ventilátoru	Počet provedených operací OLTC		Systémová paměť
	-	Chod chladičů	Provozuschopnost monitoringu	Počet naspínaných proudů při přepnutí odboček		Stav plynového senzoru
	-	Provozuschopnost monitoringu	-	Průběh výkonu motorem pohonu		-
	-	-	-	Teplota oleje 1-fázových OLTC		-

	-	-	-	Vlhkost oleje 1-fázových OLTC	-
	-	-	-	Změna kapacity průchodky VN, NN všech tří fází	-
	-	-	-	Rozdíl teplot oleje na vstupu a výstupu chladiče	-
	-	-	-	Doba provozu čerpadla	-
	-	-	-	Doba provozu ventilátoru	-

8 Přínosy disertační práce a výstupy pro praxi

Jedním ze současných trendů v elektroenergetice je realizace projektů „Smart Grid“, za účelem zajištění vyšší spolehlivosti a bezpečnosti dodávky elektrické energie ke koncovým spotřebitelům. Je nespornou skutečností, že instalace a využívání monitorovacích systémů výkonových transformátorů přenosové soustavy patří mezi tyto projekty.

V průběhu práce byly postupně plněny cíle stanovené v kapitole 2 „Cíle disertační práce“. V rámci naplnění těchto cílů byly definovány a popsány parametry vhodné ke sledování a určení stavu jednotlivých podsystémů transformátoru. Dále byla zpracována metodika analýzy a samotná analýza generování hlášení z pohledu výskytu a překročení mezí monitorovaných veličin pro dvě generace monitorovacích systémů nasazovaných jako koncepční na výkonové transformátory přenosové soustavy ČEPS, a.s. Zároveň byly porovnány oba monitorovací systémy z hlediska rozboru generovaných hlášení, popsány rozdílnosti a vylepšení monitorovacích systémů 2. a 3. generace.

Jako **jeden z přínosů** předkládané práce lze považovat **nastavení reálných limitních hodnot hlášení jednotlivých veličin pro typický transformátor přenosové soustavy dle skutečných podmínek za účelem omezení generování nadbytečných hlášení** (kapitola 6). **Dalším přínosem** práce je v kapitole 5 popsaná **expertní databáze znalostí a interpretací dat vedoucí k užitečným informacím o aktuálním stavu jednotlivých podsystémů transformátoru**. Tyto dvě části práce mají **zásadní přínos pro zvýšení spolehlivosti a věrohodnosti informací poskytovaných monitorovacími systémy**. Poslední, avšak neméně **významný přínos** této práce, je v **představeném návrhu využití výstupů monitorovacích systémů pro podporu rozhodování odpovědných pracovníků o procesech** týkajících se výkonových transformátorů přenosové soustavy.

Za **původní přínosy práce** lze považovat:

- Vytipování parametrů vhodných ke sledování a určení stavu jednotlivých podsystémů výkonových transformátorů.
- Metodika analýzy generování hlášení z pohledu výskytu a překročení mezí monitorovaných veličin.

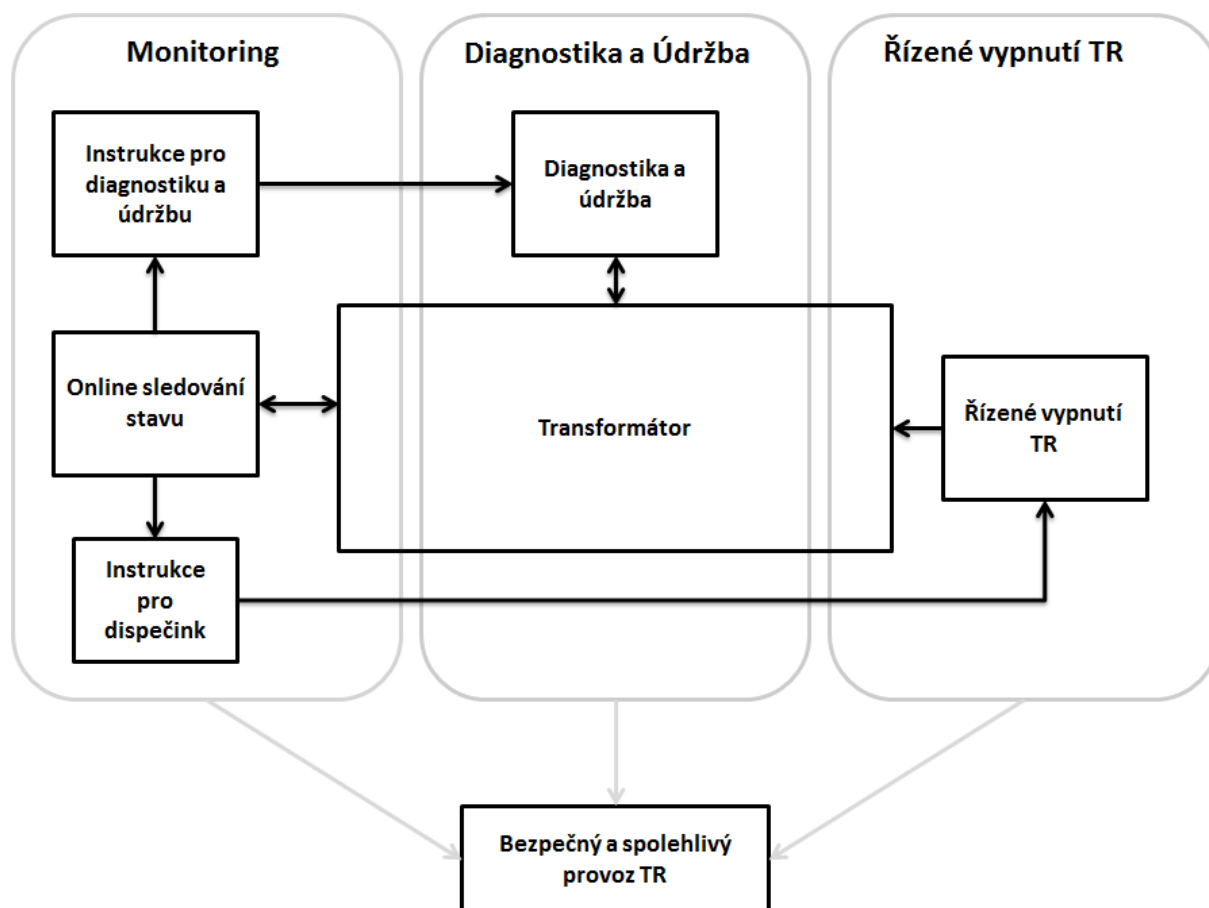
- Stanovení konfigurace limitních hodnot hlášení jednotlivých veličin monitoringu pro typický transformátor přenosové soustavy.
- Vytvoření expertní databáze znalostí a interpretací dat vedoucí k užitečným informacím o aktuálním stavu jednotlivých podsystémů transformátoru.
- Návrh využití výstupů monitorovacích systémů výkonových transformátorů přenosové soustavy.

Původní výsledky této práce jsou součástí výzkumných zpráv [A21 - A27] vzniklých v rámci projektu *Diagnostika a Life Cycle Management transformátorů* řešený s ČEPS, a.s., jehož je autor disertační práce jedním z hlavních řešitelů. Většina výsledků byla taktéž autorem předkládané práce diskutována na povinné 6 měsíční zahraniční stáži v „Competence Center Monitoring Systems“, Alstom Grid, Moenchengladbach v Německu. Vybrané původní výsledky práce byly publikovány na mezinárodních konferencích, jako je např. *Conference on Electrical Insulation and Dielectric Phenomena 2012* v Montrealu [A8], dále pak v zahraničním časopise *Przegląd Elektrotechniczny* [A19] a zejména na kolokviu *CIGRE SC A2&C4 Joint Colloquium 2013* v Curychu [A13]. Na tomto kolokviu se prezentace daného příspěvku těšila velké odezvě, nejenom expertů a zástupců výrobců výkonových transformátorů či monitorovacích systémů, ale i provozovatelů transformátorů. Daná reakce tak pouze potvrdila názory zástupců ČEPS, a.s., že se jedná o **aktuální řešení s reálnými technickými výstupy vyžadovanými průmyslem**. Záležitosti týkající se **zlepšení spolehlivosti, věrohodnosti a využitelnosti** monitorovacích systémů jsou v současnosti **řešeny u všech provozovatelů výkonových transformátorů a diskutovány na velkých vědeckých plénech a konferencích**, např. CIGRE.

9 Doporučení pro další postup v oblasti monitorovacích systémů výkonových transformátorů

Současné trendy monitoringu lze rozdělit na oblast vývoje, kterou provádí dodavatelé za účelem inovací monitorovacích systémů transformátorů, a oblast využití výstupů z monitoringů, již se zabírají provozovatelé samotných transformátorů. U dodavatelů je velký rozmach vývoje nových či zlepšování stávajících senzorů, např. UHF senzor pro detekování částečných výbojů, či multi-gas senzory sledující více plynů rozpuštěných v oleji. Dále se jedná o vývoj výpočtových modelů vedoucí ke zpřesňujícím informacím o aktuálním stavu transformátoru. Zde lze např. zmínit vývoj algoritmu pro určení vlhkosti v papírové izolaci transformátoru nebo výpočet a lokalizace hot-spot teploty.

Jelikož si zástupci provozovatele přenosové soustavy ČR, společnosti ČEPS, a.s., dostatečně uvědomují závažnost a důležitost interpretace výsledků a využití výstupů monitorovacích systémů transformátorů, byl v průběhu roku 2014 založen interní firemní projekt MONTRA „Monitoring Transformátorů“, jehož je autor předkládané práce jedním z hlavních řešitelů. Hlavním cílem tohoto projektu je zlepšení spolehlivosti, věrohodnosti a využitelnosti monitorovacích systémů za účelem zvýšení bezpečnosti a spolehlivosti provozu transformátorů přenosové soustavy. Výstupy autorem předkládané práce lze považovat za základní kameny při řešení daného projektu, což v zásadě podtrhuje jejich významný přínos k dané problematice. V rámci tohoto projektu se řeší zejména technické řešení předávání signálů odpovědným pracovníkům, kompetenční model jednotlivých oddělení, zajištění provozuschopnosti monitorovacích systémů, časová dostupnost a zabezpečení dat monitoringu či vývoj algoritmů generování expertních signálů k doporučení provedení akce. Jako zásadní se jeví definice akčního plánu na základě výstupů z monitoringů, tedy definice časové, technické a organizačně-odpovědnostní souslednosti procesů a reakcí při monitoringem generovaném hlášení o aktuálním stavu výkonového transformátoru. Idea tohoto projektu je představena na obr. 55.



Obr. 55: Idea projektu MONTRA

10 Závěr

V současné době, kdy je stále více kladen důraz na provozuschopnost výkonových transformátorů přenosové soustavy, již nestačí aplikovat pouze offline diagnostické metody k určování jejich stavu. Současně je stále větší potřeba přesného popisu skutečného a aktuálního stavu transformátorů. Perspektivní cestou k dosažení a zajištění informací o aktuálním stavu klíčových komponent transformátorů za provozu je využití monitorovacích systémů.

V předkládané práci je tedy proveden rozbor současného stavu oblasti monitorovacích systémů transformátorů a popsány jednotlivé parametry vhodné ke sledování klíčových komponent transformátorů. Dále je rozebrána problematika a provedena analýza generování hlášení v případě překročení nastavených mezí jednotlivých veličin pro dvě generace monitorovacích systémů nasazených na transformátorech přenosové soustavy. Její součástí je i porovnání, popis rozdílů a vylepšení monitorovacích systémů 3. a 2. generace (MST3 a MST2) navzájem. Výstupem této části je návrh nového nastavení limitních hodnot veličin ve snaze respektovat skutečné parametry a podmínky provozu transformátorů přenosové soustavy, a zároveň je také uvedeno předpokládané procentuální omezení nadbytečných hlášení při přechodu na nové nastavení mezí. Toto nové nastavení zajistí vyšší věrohodnost dat poskytovaných monitoringy transformátorů.

Monitorovací systémy poskytují velké množství dat, v nichž jsou „schované“ zajímavé informace, které však bez důkladné analýzy nemohou být efektivně využity. Interpretace dat poskytovaných monitoringy tak nadále zůstává zásadním aspektem při jejich využívání. Z tohoto důvodu je významná část této práce zaměřena na popis expertní databáze znalostí a interpretací dat, jež jsou následně transformovány v užitečné informace o aktuálním stavu důležitých komponent transformátoru.

Společně s tímto „data miningem“ informací je nutné mít, pro efektivní využití investic do monitoringu, nastavený systém využívání výstupů z monitoringů. Součástí této práce je tedy i reálný návrh, jak využívat jednotlivé výstupy z monitoringů, aby odpovědní pracovníci jednotlivých útvarů dostávali správné informace o stavu transformátoru včas.

Potenciál monitoringů transformátorů je v odhalení závad včas, bez nutnosti vypnout transformátor a v hlášení těchto informací odpovědným pracovníkům. Avšak hlavní benefit monitoringu transformátoru je v iniciaci rozhodnutí a následné reakce

na jeho výstupy. Budoucím úkolem, kterým bude nutné se zabývat, je příprava akčního plánu reakcí a doporučení na preventivní či korektivní zákroky v případě, že přijde hlášení o stavu transformátoru.

Přínos této práce je především ve zvýšení věrohodnosti, výpovědischopnosti a využitelnosti dat a informací poskytovaných monitorovacími systémy výkonových transformátorů přenosové soustavy.

Monitoring transformátorů je fenoménem posledních let a cesta k dokonalému zvládnutí jeho technologie, ale i k výchově uživatelů ke správným reakcím na jeho hlášení, signály a veličiny je ještě dlouhá. Monitorovací systém transformátoru není a ještě dlouho nebude „ochranné relé“. Je to zdroj informací pro správné rozhodování člověka.

Seznam použité literatury

- [1] CIGRE WG A2.20. *Technical brochure No. 248: Guide on Economics of Transformer Management*. CIGRE, 2004, 67 s.
- [2] MENTLÍK, V., PIHERA, J., POLANSKÝ, R., PROSR P., TRNKA, P. *Diagnostika elektrických zařízení*. 1. vyd. Praha: BEN - technická literatura, 2008, 439 s. ISBN 978-80-7300-232-9.
- [3] RAJOTTE, C. a CIGRE SC A2 TRANSFORMERS. *Presentation of CIGRE activities on Power Transformers*. CIGRE SC A2&C4 Joint Colloquium 2013. Zurich, Switzerland, September 2013, 15 s.
- [4] LAPWORTH, J. a CIGRE A2 AG RELIABILITY. *Transformer Reliability Surveys*. In: *CIGRE Session 2006*. Paris, France, 2006, 8 s.
- [5] TENBOHLEN, S. a CIGRE WG A2.37. *Transformer Reliability Survey: Interim Report*. *Electra*. 2012, April, No. 261, s. 46-49.
- [6] TENBOHLEN, S., VAHIDI, F., GEBAUER, J., KRUGER M., MULLER, P. *Assessment of Power Transformer Reliability*. In: *XVII International Symposium on High Voltage Engineering*. Hannover, Germany, 2011, 6 s.
- [7] WILSON, A. *Failure Patterns in Key Substation Assets*. In: *EuroDoble Colloquium 2013*. Barcelona, Spain, 2013, 60 s.
- [8] DOBLE ENGINEERING COMPANY. *Soubor přednášek: Life of a Transformer Seminar*. Amsterdam, Nizozemsko, 10. - 14. 6. 2013.
- [9] BRECKENRIDGE, T. a CIGRE WG A2.36. *Transformer Procurement Process*. *Electra*. 2013, April, No. 267, s. 29-33.
- [10] CIGRE WG A2.36, TF1. *Technical brochure No. 528: Guide for Preparation of Specifications for Power Transformers*. CIGRE, 2013, 65 s.
- [11] MENTLÍK, V. *Aspekty a perspektivy diagnostiky elektrických silnoproudých zařízení*. *Elektro* [online]. 2004, č. 11 [cit. 2013-10-31]. Dostupné z: http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id_document=26027
- [12] CIGRE WG A2.18. *Technical brochure No. 227: Life Management Techniques for Power Transformers*. CIGRE, 2003, 125 s.
- [13] CIGRE WG A2.34. *Technical brochure No. 445: Guide for Transformer Maintenance*. CIGRE, 2011, 122 s.

- [14] DONČUK, J. *Možnosti hodnocení stavu transformátorů*. Plzeň, 2011. 60 s. Písemná práce ke státní doktorské práci. FEL ZČU v Plzni. Vedoucí práce prof. Ing. Václav Mentlík, CSc.
- [15] CIGRE WG A2.27. *Technical brochure No. 343: Recommendations for Condition Monitoring and Condition Assessment Facilities for Transformers*. CIGRE, 2008, 24 s.
- [16] STENESTAM, B. A., BENGTSSON, C. T., YDERSTEN, P. N. Electronic Transformer Control with Monitoring & Diagnostics. In: *CIGRE Session 2006*. Paris, France, 2006, 9 s.
- [17] MÜLLEROVÁ, E. *Problematika stárnutí izolačního systému transformátorů*. Výzkumná zpráva. Plzeň: ZČU v Plzni, 2011, 77 s.
- [18] LIEBFRIED, T. et al Post mortem Investigation of Insulation Material of Power Transformers and Comparison with Diagnostic Measurements. In: *CIGRE Session 2006*. Paris, France, 2008, 8 s.
- [19] Monitoring & Diagnostics: Product Solutions: GE Digital Energy. [online]. [cit. 2013-11-16]. Dostupné z: <http://www.gedigitalenergy.com/md.htm>
- [20] DONČUK, J., MENTLÍK, V., VELEK, J., ULLMAN, I. Úroveň vývoje plynů jako diagnostické hledisko stavu výkonových transformátorů. *Electroscope*. 2013, roč. 7, č. 3. 8 s.
- [21] TN 66/2013 rev. 1 *Monitorovací systémy transformátorů - MST*. Technická norma ČEPS, a.s. Praha: ČEPS, a.s. 2013. 14 s.
- [22] TN 62/2014 rev. 4 *Koncepce technické infrastruktury PS*. Technická norma ČEPS, a.s. Praha: ČEPS, a.s. 2014. 22 s.
- [23] DONČUK, J., MENTLÍK, V., VELEK, J. Možnosti přímého zjišťování stavu výkonových transformátorů. In: *Proceedings of the 13th International Scientific Conference Electric Power Engineering 2012*, Brno. 23. – 25. 5. 2012. 5 s.
- [24] DOLATA, B., DONČUK, J., MAMUTOV, F., VELEK, J. Experiences in Online Condition Monitoring System for Power Transformers. In: *Diagnostika '13*, Plzeň. 2. - 4. 9. 2013. 5 s.
- [25] DONČUK, J., VELEK, J., MENTLÍK, V. Improvement of Power Transformer's Condition Monitoring Systems to Increase Their Plausibility. In: *Proceedings of the CIGRE SC A2&C4 Joint Colloquium 2013*. Curych, Švýcarsko, 8. – 14. 9. 2013. 8 s.

- [26] *MS 3000: Comprehensive online condition monitoring, diagnostics and expert system for power transformers*. Manual 1.0, Revision date 14. 3. 2012. ALSTOM Grid, Moenchengladbach, Německo, 2012. 262 s.
- [27] *Intelligent monitoring system, type TEC*. Technical guide, 30. 1. 2008. ABB AB Components, Ludvika, Švédsko, 2008. 60 s.
- [28] *MstTEK pro monitoring transformátoru. Technická zpráva, 30. 10. 2008* TECHSYS - HW a SW, spol. s r. o., Praha, 2008. 27 s.
- [29] SIEMENS KONČAR. *Návod k provozu a údržbě transformátoru*. Záhřeb, Chorvatsko: Siemens Končar Power Transformers, 2012, 1151 s.
- [30] FIST 3-30. *Transformer Maintenance*. Denver, Colorado: Hydroelectric Research and Technical Services Group, 2000, 87 s. Dostupné z: http://www.usbr.gov/power/data/fist/fist3_30/fist3_30.pdf
- [31] CIGRE WG A2.30. Technical brochure No. 349: *Moisture Equilibrium and Moisture Migration within Transformer Insulation Systems*. CIGRE, 2008, 53 s.
- [32] TENBOHLEN, S., et al. Enhanced Diagnosis of Power Transformers using On- and Offline Methods: Results, Examples and Future Trends. In *CIGRE Session 2000: 12-204*. Paris (France): CIGRE, 2000. 8 s.
- [33] DOHNAL, D. *On-Load Tap Changers for Power Transformers - A Technical Digest*. Maschinenfabrik Reinhausen, Regensburg, Německo, 2006. 28 s.
- [34] *Transformer Handbook*. ABB Business Unit Transformers, Curych, Švýcarsko, 2004. 213 s.
- [35] HARLOW, J. H. *Electric power transformer engineering*. 2. vyd. CRC Press LLC, USA, 2004, 481 s. ISBN 0-8493-1704-5.
- [36] STŘÍSKA, F. *Interní technická zpráva ČEPS, a.s.* 1. 7. 2013, ČEPS, a.s. 2013. 6 s.
- [37] MCGRAIL, A. Field Experiences with High Voltage Bushing Monitoring. In: *EuroDoble Colloquium 2013*. Barcelona, Spain, 2013, 29 s.
- [38] STIRL, T., SKRZYPEK, R., TENBOHLEN, S., VILAITHONG, R. "Online Condition Monitoring and Diagnosis for Power Transformers their Bushings, Tap changer and Insulation System." In *International Conference on Condition Monitoring and Diagnosis*, Changwong, Korea, 2006, 4 s.

- [39] PICHER, P., RAJOTTE, C., NGUYEN, V. N. Field Experience with online Bushing Diagnostic to improve Transformer Reliability. In *CIGRE Session 2008: A2-217*. Paris (France): CIGRE, 2008. 10 s.
- [40] DOBLE ENGINEERING COMPANY. *Soubor přednášek: Life of a Transformer Seminar*. Padova, Itálie, 19. - 22. 5. 2014.

Seznam příloh

Příloha 1 Deteriorace výkonových transformátorů.

Příloha 2 Senzory monitorovacích systémů transformátorů.

Příloha 3 Soubor hlášení generovaných MST2 a MST3 na TR PS.

Příloha 4 Rozbor generovaných hlášení monitorovacími systémy 2. kategorie (MST2) nasazených na transformátorech přenosové soustavy.

Příloha 5 Analýza mezí generování jednotlivých hlášení monitorovacími systémy 2. kategorie (MST2) nasazených na transformátorech přenosové soustavy.

Příloha 6 Rozbor generovaných hlášení monitorovacími systémy 3. kategorie (MST3) nasazených na transformátorech přenosové soustavy.

Příloha 7 Analýza mezí generování jednotlivých hlášení monitorovacími systémy 3. kategorie (MST3) nasazených na transformátorech přenosové soustavy.

Publikační činnost autora

Kvalifikační práce

- [A1] DONČUK, J. *Možnosti hodnocení stavu transformátorů*. Plzeň, 2011. 60 s. Písemná práce ke státní doktorské práci. FEL ZČU v Plzni. Vedoucí práce prof. Ing. Václav Mentlík, CSc.

Konference

- [A2] DONČUK, J. Diagnostický systém pro kompozitní trubičky. In *Elektrotechnika a informatika 2010*, Nečtiny. 3. – 4. 11. 2010
- [A3] DONČUK, J. Moisture within Transformer Insulation System. In *Diagnostika '11*, Kašperské Hory. 6. - 8. 9. 2011 – udělena cena Best Ph.D. Poster Award.
- [A4] DONČUK, J. Údržba transformátoru prováděná dle aktuálního stavu. In *Elektrotechnika a informatika 2011*, Nečtiny. 2. – 3. 11. 2011.
- [A5] DONČUK, J., MENTLÍK, V. Diagnostic System for Fire Resistance Cables. In *Annals of DAAAM for 2011 & Proceedings of the 22nd International DAAAM Symposium*, Vídeň, Rakousko. 23. - 26. 11. 2011.
- [A6] DONČUK, J., MENTLÍK, V., VELEK, J. Možnosti přímého zjišťování stavu výkonových transformátorů. In *Proceedings of the 13th International Scientific Conference Electric Power Engineering 2012*, Brno. 23. – 25. 5. 2012.
- [A7] DONČUK, J. Comparison of DGA Results and Hydran Sensor Readings of Power Transformers. In *EuroDoble Colloquium 2012*, Manchester, Velká Británie. 15. - 17. 10. 2012.
- [A8] DONČUK, J., TRNKA, P., PIHERA, J. Failure Gas Generation within the Oil-paper Insulation of Shunt Reactor. In *Conference on Electrical Insulation and Dielectric Phenomena 2012*, Montreal, Kanada. 14. - 17. 10. 2012.
- [A9] DONČUK, J. Trendy online diagnostiky transformátorů. In *Elektrotechnika a informatika 2012*, Nečtiny. 7. – 8. 11. 2012.
- [A10] DONČUK, J. Diagnostics of Instrument Transformers. In *Asset Management Forum 2013*, Italský PPS Terna, Řím, Itálie. 25. - 26. 2. 2013.

- [A11] DONČUK, J., MENTLÍK, V., VELEK, J. Sledování stavu výkonového transformátoru. In *Proceedings of the 14th International Scientific Conference Electric Power Engineering 2013*, Kouty nad Desnou. 28. – 30. 5. 2013.
- [A12] DOLATA, B., DONČUK, J., MAMUTOV, F., VELEK, J. Experiences in Online Condition Monitoring System for Power Transformers. In *Diagnostika '13*, Plzeň. 2. - 4. 9. 2013
- [A13] DONČUK, J., VELEK, J., MENTLÍK, V. Improvement of Power Transformer's Condition Monitoring Systems to Increase Their Plausibility. In *Proceedings of the CIGRE SC A2&C4 Joint Colloquium 2013*. Curych, Švýcarsko, 8. – 14. 9. 2013
- [A14] DONČUK, J., MENTLÍK, V., VELEK, J., ULLMAN, I. Investigation of a Power Transformer's Insulation and Cooling System Functionality. In *Proceedings of the 7th International Scientific Symposium on Electrical Power Engineering ELEKTROENERGETIKA 2013*, Vysoké Tatry, Slovensko. 18. – 20. 9. 2013
- [A15] DONČUK, J. Life cycle management výkonových transformátorů. In *Elektrotechnika a informatika 2013*, Nečtiny. 6. – 7. 11. 2013.
- [A16] DONČUK, J. Instrument Transformers' Failures and Replacement Program in CEPS. In *Asset Management Forum 2014*, Český PPS ČEPS, a.s., Praha, ČR. 31. 3. - 1. 4. 2014.
- [A17] DONČUK, J. Online Monitoring of Power Transformers in CEPS. In *Asset Management Forum 2014*, Český PPS ČEPS, a.s., Praha, ČR. 31. 3. - 1. 4. 2014.

Časopisy

- [A18] DONČUK, J., MRÁZ, P. Možnosti stanovení vlhkosti v pevné izolaci transformátoru. *Electroscope*, Ročník 2012, Číslo 2.
- [A19] DONČUK, J., MENTLÍK, V., VELEK, J. Condition assessment of power transformer using gas detection methods. *Przegląd Elektrotechniczny*. Ročník 2013, číslo 1a, str. 164 – 168. **IF 0,24**.
- [A20] DONČUK, J., MENTLÍK, V., VELEK, J., ULLMAN, I. Úroveň vývoje plynů jako diagnostické hledisko stavu výkonových transformátorů. *Electroscope*, Ročník 2013, Číslo 3.

Výzkumné zprávy

Výzkumné zprávy vzniklé v rámci projektu *Diagnostika a Life Cycle Management transformátorů* (2011 - 2014) řešený se společností ČEPS, a.s.:

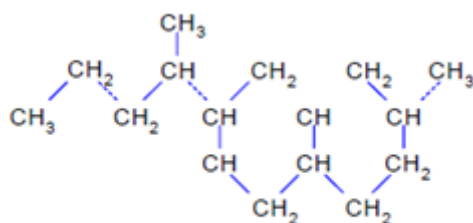
- [A21] MENTLÍK, V., TRNKA, P., DONČUK, J. et al. *Stav monitoringu transformátorů ČEPS a.s.* Výzkumná zpráva. 69 s. ZČU v Plzni, 03/2011.
- [A22] MENTLÍK, V., TRNKA, P., DONČUK, J. et al. *Off- a online diagnostika skupiny vybraných transformátorů ČEPS a.s.* Výzkumná zpráva. 45 s. ZČU v Plzni, 06/2011.
- [A23] MENTLÍK, V., TRNKA, P., DONČUK, J. et al. *Aspekty modifikace diagnostiky transformátorů ČEPS, a.s.* Výzkumná zpráva. 82 s. ZČU v Plzni, 11/2011.
- [A24] MENTLÍK, V., TRNKA, P., DONČUK, J. et al. *Monitoring transformátorů ČEPS a.s.* Výzkumná zpráva. 69 s. ZČU v Plzni, 11/2012
- [A25] MENTLÍK, V., TRNKA, P., SOUČEK, J., DONČUK, J., et al. *Diagnostika částečných výbojů transformátorů ČEPS a.s.* Výzkumná zpráva. 197 s. ZČU v Plzni, 11/2012
- [A26] MENTLÍK, V., TRNKA, P., DONČUK, J., SVOBODA, M., SOUČEK, J., TOMÁŠKOVÁ, T. *Analýza vlivů chodu transformátorů ČEPS a.s.* Výzkumná zpráva. 62 s. ZČU v Plzni, 12/2013
- [A27] MENTLÍK, V., TRNKA, P., DONČUK, J. et al. *Sledování stavu izolačních systémů transformátorů ČEPS a.s.* Výzkumná zpráva. 109 s. ZČU v Plzni, 6/2014.

Příloha 1

Deteriorace výkonových transformátorů

1 Izolační systém výkonového transformátoru

Spolehlivost a technická životnost výkonového transformátoru je ovlivněna zejména jeho nejslabší částí. Na základě chemicko-fyzikální podstaty a struktury materiálů použitých v transformátoru je zřejmé, že jde o izolační systém. Jeho životnost je dle IEC 60076-7 definována jako celková doba mezi počátečním stavem, při kterém je izolace uvažována za novou a konečným stavem (díky stárnutí, teplotnímu, elektrickému a mechanickému namáhání), který vyústí k vysokému riziku elektrické poruchy [P1-1]. Transformátory velmi vysokých výkonů využívají izolační systém olej-papír, jejichž chemicko-fyzikální vlastnosti jsou určující při hodnocení jejich stavu. Nejčastěji se využívá minerální transformátorový olej (obr. P1 - 1), který má rafinací upravené vlastnosti tak, aby splňoval základní požadavky na něj kladené. Základem je čistý minerální olej složený z nasycených uhlovodíků, jako jsou parafíny a nafteny.



Minerální olej

Obr. P1 - 1: Struktura minerálního oleje

Olej má ve stroji zejména elektroizolační funkci, která je hodnocena parametry, jako jsou např. průrazné napětí, obsah vody v oleji, rezistivita či obsah plynů rozpuštěných v oleji. Druhá funkce oleje, vzhledem k jeho dobré tepelné vodivosti a viskozitě, je funkce chladicí pro odvod vzniklého tepla. Pro ověření chladicí funkce oleje se využívá měření viskozity, mezipovrchového napětí, čísla kyselosti, ztrátového činitele, obsahu inhibitoru nebo barvy oleje [P1-2]. Zároveň olej

dobře vyplňuje prostor, čímž přispívá k eliminaci výbojové činnosti. Transformátorová lepenka, Kraft papír, tepelně upravený papír a další prvky pevné izolace používané v transformátoru jsou vyrobeny z celulózy (struktura na obr. P1 - 2). Jde o přírodní materiál obsahující polární řetězce glukózy.



Obr. P1 - 2: Struktura celulózy

Životnost izolačního systému transformátoru je v podstatě udávána jako životnost papírové izolace, protože olej je možné zregenerovat relativně jednoduše, zatímco u papírové izolace dochází k nevratné degradaci. Pro hodnocení stavu papírové izolace se používá průměrný polymerační stupeň PPS, který je definován, jako počet základních molekul glukózy v řetězci makromolekuly celulózy poměrem jejich hmotností. Makromolekula celulózy má krystalicko-amorfní strukturu, kdy krystalická oblast ovlivňuje mechanickou pevnost papíru, a amorfní oblast pak jeho ohebnost a elasticitu. Kvalitní izolační papíry používané v transformátorech by měly obsahovat více jak 90 % čisté celulózy mající pozitivní vliv na jejich mechanické vlastnosti. Jako kritériální hodnota pro konec technického života papíru je všeobecně považován PPS roven 200 [P1-3], [P1-4].

2 Deteriorace izolačního systému transformátoru

Vlivy prostředí a provozních podmínek způsobují v materiálech degradační procesy ovlivňující jejich vlastnosti (fyzikální, mechanické, elektrické aj.). Jedná se o nevratné procesy, které jsou urychlovány s rostoucí teplotou a s klesající aktivační energií procesu. Izolační systém transformátoru je za provozu namáhán teplotně, elektricky, mechanicky a působením degradačních činitelů jako jsou vlhkost, oxidace, pevné částice a produkty stárnutí jednotlivých jeho složek. Teplota je hlavní omezující parametr pro zatěžování transformátoru. Důsledek působení teplot vysokých hodnot je urychlená degradace izolačního systému, přehřívání oleje či lokální přehřívání

papírové izolace. Elektrické pole vysoké intenzity má vliv na vznik různých typů částečných výbojů (vnitřní částečné, klouzavé, povrchové, jiskření, přeskoky) a prostorové náboje v izolaci. Transformátor musí být navrhnout na jmenovité napětí, při kterém nesmí vznikat výbojová činnost nad definovanou úroveň. Zvýšené mechanické namáhání je způsobeno zejména elektrodynamickými účinky vnějších zkratových proudů, vibracemi aktivní části anebo při transportu jednotky na místo provozu. [P1-2]

3 Degradční faktory

Voda, kyslík, pevné částice a produkty stárnutí oleje (organické kyseliny, aldehydy, ketony a mýdla, polymery nenasycených uhlovodíků atd.) jsou hlavní činitelé degradace, kteří společně s teplotním, elektrickým a mechanickým namáháním výrazně snižují elektroizolační a mechanické vlastnosti izolačního systému transformátoru. Celkově se jedná o komplexní působení všech degradačních faktorů na izolační systém, kdy v různých podmínkách mohou některé z nich mít dominantní funkci a zároveň jednotlivé faktory (např. vlhkost, oxidace, teplota) ještě vzájemně urychlují jejich působení. [P1-5]

Vliv teploty a elektrického pole

Při provozním zatížení je v transformátoru teplotní pole rozloženo nehomogenně v závislosti na použitých materiálech s rozdílnou tepelnou vodivostí a kapacitou. Teplota uvnitř transformátoru je velmi často mnohem vyšší než samotná teplota okolí. Teplo vzniká zejména Jouleovými ztrátami ve vinutí, ztrátami v magnetickém jádře či rozptylovým magnetickým tokem způsobujícím ohřívání konstrukčních kovových částí. Teplo je odváděno do okolí olejovým chladicím systémem (v závislosti na výkonu a konstrukci se používají rozdílné typy chlazení, např. s pomocnými ventilátory vzduchu aj.). Prevencí přehřívání izolačního systému je zejména kvalitní design, ověřený oteplovací zkouškou či termohydraulickým modelem, a s tím spojeným dobře fungujícím chladicím systémem.

V závislosti na velikosti teploty a elektrického pole jsou jednotlivé závady a poruchy v izolačním systému transformátoru doprovázeny vývojem příslušných plynů. Ze znalosti jejich typu a koncentrace je možné lépe odhalit jejich příčinu, čímž se plyny rozpuštěné v oleji stávají hlavními a jednoduchými identifikátory počátečního

rozvoje závad a poruch. Jednotlivé polymerní řetězce pevné izolace jsou teplotně méně stabilní než uhlovodíkové vazby v oleji. Z tohoto důvodu jsou tyto řetězce rozkládány při nižších teplotách. K významné degradaci dochází při teplotách kolem 105 °C narušováním vazeb tvořených vodíkovými můstky, při teplotách nad 150 °C dochází ke štěpení vazeb C-O, C-C a C-H, a k totálnímu rozkladu dojde při teplotách nad 300 °C (narušení a uhlíkatění celých vláken celulózy) [P1-6]. Vše je navíc značně urychleno působením oxidace. Tepelný rozklad pevné izolace je doprovázen hlavně produkcí oxidu uhelnatého, uhlíčitého, vodíku a vznikem degradačních zplodin – furanů [P1-7], [P1-8].

Ve výkonových transformátorech jsou nejčastěji používané minerální oleje, které jsou složeny z uhlovodíků lišících se typem uhlíkové vazby. Nejslabší je jednoduchá vazba mezi uhlíkem a vodíkem C-H, a proto se vodík vyvíjí již při lehce zvýšené teplotě [P1-9]. Je to první ukazatel tepelné poruchy v transformátoru. Více energie a tudíž i vyšší teploty jsou nutné k rozbití jednotlivých uhlíkových vazeb. Stupeň vazby charakterizuje odolnost vůči teplotní dekompozici oleje. Jednoduchá uhlíková vazba je náchylnější k rozkladu než dvojitá uhlíková vazba. V oleji je nejsilnější uhlíková vazba trojná. Etylen, etan a metan jsou generovány při teplotách okolo 500 °C. Jednotlivé částice uhlíku vznikají za teplot 500 až 800 °C. K tvorbě acetylénu jsou nutné teploty vyšší než 800 °C. [P1-9]

Dle normy IEC 60599 [P1-9] lze příčiny vývoje poruchových plynů rozdělit do tří hlavních kategorií. Koróna a částečné výboje s malou energií jsou doprovázeny zejména produkcí vodíku H₂ a metanu CH₄. K aktivaci těchto plynů jsou tedy nutné nízkoenergetické závady. Do druhé kategorie patří tepelná degradace či přehřívání oleje. Tyto závady jsou charakteristické uvolňováním více energie a generováním etylenu C₂H₄, metanu CH₄ a etanu C₂H₆. Jiskření, hoření oblouku či samotný přeskok patří do kategorie energeticky nejvýraznějších závad či poruch. Pro izolační systém, tyto velice nebezpečné závady, jsou typické vývojem velkého množství vodíku H₂ a zejména pak acetylénu C₂H₂.

Vliv oxidace

Oxidace je chemická reakce, která způsobuje degradaci izolace působením kyslíku. Kyslík se do izolačního systému nejčastěji dostává porušením vaku konzervátoru hermeticky uzavřeného transformátoru, nekvalitním těsněním, či v případě volně dýchajícího konzervátoru vypotřebováním silikagelu. Obecně tedy při

porušení prevence kontaktu s atmosférickým vzduchem či jinými netěsnostmi v nádobě transformátoru. Produkty oxidace se liší v závislosti na prostředí oxidace (kyselé, zásadité) a v oleji tak vznikají ketony, aldehydy, karboxyly či hydroxyly. Oxidace oleje je tedy původcem vznikajících kyselin v oleji. Oxidace ve spojení s kyselostí oleje pak dále ovlivňuje a urychluje stárnutí papírové izolace. V oblasti provozních teplot transformátoru (60 - 90 °C) je hlavní mechanismus vývoje furanů, jakožto produktů degradace pevné izolace, oxidační hydrolýza [P1-7], [P1-8]. Zabránění vstupu kyslíku do izolačního systému je nutné kvalitním systémem prevence kontaktu s atmosférou a použitím kvalitních těsnění (nejspolehlivější jsou "O kroužky"). Jako prevence oxidace oleje se používá oxidační inhibitor, jehož úkolem je vázat na sebe kyslík a tím zamezit jeho reakci s olejem.

Vliv vlhkosti

Vlhkost patří mezi hlavní degradační činitele ovlivňující stav izolačního systému transformátoru. Je v něm rozložena nerovnoměrně v závislosti na teplotě, zatížení a konstrukci. Výkonový transformátor velmi vysokého napětí obsahuje typicky kolem 60 tun oleje a 8 tun pevné izolace, tedy rozdělení 90 % váhy je olej a zbylých 10 % je pevná izolace [P1-11]. Dle [P1-5], [P1-10], [P1-12] je vlhkost v oleji stanovena jako mg vody na kg oleje (ppm). Jako limitní hodnota pro zhoršený stav oleje je obecně považována hodnota 25 ppm [P1-10]. Tudíž v případě zhoršeného oleje je v něm obsaženo kolem 2 kg vody. Na druhou stranu vlhkost v papíru je dle [P1-5], [P1-10], [P1-12] stanovena v % hmotnosti izolace. Limitní hodnota pro vlhkost v papíru jsou 4 %, což znamená obsah vody v papírové izolaci až 300 kg.

Vysvětlení těchto jevů je patrné ze schopnosti materiálů vázat na sebe vodu. Čistý minerální olej je složen z nasycených uhlovodíků, jako jsou parafíny a nafteny. Struktura jejich molekuly je nepolární a nemohou tedy vázat rozpuštěnou vodu. Transformátorový olej však obsahuje nečistoty vzniklé při procesu rafinace, která se provádí za účelem dosažení kvalitativních parametrů vhodných pro aplikovatelnost oleje v transformátoru. Dále pak obsahuje produkty stárnutí pevných a kapalných izolantů, které vznikají působením kyslíku, teploty a vlhkosti. Výsledkem je tedy olej se strukturou molekuly lehce polární a produkty stárnutí, taktéž polární, které se slučují s rozpuštěnou vodou. Ta se s produkty stárnutí váže Van Der Waalsovou nebo vodíkovou vazbou. K nárůstu rozpustnosti vody tak dochází vlivem použití stárnutí oleje [P1-13]. Pevná izolace použitá v transformátoru je vyrobena z celulózy.

Jedná se o přírodní organický materiál, který obsahuje polární řetězce glukózy, jež jsou schopné absorbovat velké množství vody. V porovnání s olejem je schopnost vázat vodu u celulózy mnohonásobně vyšší.

Je tedy patrné, že většina vlhkosti je obsažena v pevné izolaci transformátoru, která má tendenci ji akumulovat a olej funguje jako přenosné médium. Pevnou izolaci lze rozdělit v transformátoru na tři struktury dle funkčnosti na tzv. "tlustou", "tenkou horkou" a "tenkou studenou" [P1-5], [P1-11], [P1-12]. Součástí tlusté struktury jsou stahovací kruhy, dřevěné konstrukční prvky, rozpěrky aj. a zahrnuje 40 - 55 % váhy a 4 - 8 % povrchu celkové pevné izolace. K difúzi vlhkosti u ní dochází během několika let, avšak z výroby si nese velké množství vlhkosti. V průběhu jejího života se téměř nemění a tlustá struktura ani není schopná ji výrazně absorbovat. Tenká studená struktura pracuje při téměř provozní teplotě oleje, zahrnuje bariéry z lepenky či vývody vinutí a obsahuje 20 - 30 % váhy celkové váhy celulózy. Uchovává si v sobě hodně vlhkosti, ale jelikož se její teplota v průběhu života zvláště dynamicky nemění, tak ani neabsorbuje velké množství vlhkosti. Tenká horká struktura, papírová izolace vinutí, pracuje při teplotě blízké teplotě vinutí. Z tohoto důvodu obsahuje výrazně méně vlhkosti než lepenka, ale k její difúzi a migraci z oleje do papíru dochází velmi rychle, během několika dnů až měsíců, v závislosti na teplotě vinutí [P1-5], [P1-6], [P1-11], [P1-12]. Teplota zároveň zapříčiní nerovnoměrné rozložení vlhkosti v jednotlivých vrstvách papírové izolace vinutí. Větší koncentrace vlhkosti je ve vnějších vrstvách. Při vniku vody do transformátoru, pak papírová izolace vinutí funguje jako akumulátor vody a hlavní zdroj znečištění oleje vodou v transformátoru.

Zdroje vlhkosti v transformátoru lze rozdělit na externí a interní. Atmosférická vlhkost (externí zdroj) vniká do transformátoru díky netěsnostem na rozhraních v nádobě, nedostatečné hermetizaci stroje porušením vaku, či díky neefektivnímu vysušovači u "dýchajícího" konzervátoru. Dle [P1-12] je považována za hlavní zdroj vlhkosti vstupující do izolace transformátoru. Mezi interní zdroje patří zbytková vlhkost v pevné izolaci způsobená nedostatečným vysušením při výrobě a při kontaktu s atmosférou při smontování stroje na místě instalace. Vlhkost vzniklá stárnutím celulózy je poslední typ vlhkosti objevující se v izolačním systému transformátoru. Stárnutí produkuje podstatné množství vody, pouze když je izolace vystavena zvýšené teplotě. V tomto případě je voda vytažena zejména z okolí

nejteplejších míst (tzv. hot-spotů) vinutí [P1-6], jelikož má papír schopnost přijímat, ale i uvolňovat molekuly vody.

Zvýšený obsah vlhkosti přispívá ke vzniku dalších závad, které mohou vyústit až v poruchu transformátoru. Vlhkost v transformátoru výrazně snižuje elektrickou pevnost izolačních materiálů, protože disociuje na ionty, nosiče elektrického náboje. Pokles elektrické pevnosti je evidentní již při obsahu vlhkosti papíru nad 2 % [P1-12]. Při vyšším zatížení transformátoru, tedy i při vyšší teplotě, se vlhkost v papíru přeměňuje v páru a dochází tak k vývinu bublin. Ty následně přispívají ke snížení průrazného napětí oleje. Přítomnost bublin zároveň zvyšuje riziko výskytu částečných výbojů (snižuje jejich zapalovací napětí) a mohou se tak objevit i při jmenovitém napětí. Částečné výboje významně napomáhají k degradaci izolačních materiálů v transformátoru. Suchý transformátor (při vlhkosti v papíru do 0,5 %) méně podléhá vzniku bublin [P1-12].

Během rychlého ochlazení (např. rychlá změna počasí) dojde ke kondenzaci volné vody např. v potrubí chladiče, potrubí z konzervátoru. Tato volná voda může způsobit poruchu transformátoru okamžitě. Přítomnost volné vody v oleji je zejména problém, který ovlivní zapínání transformátoru s velmi studeným až zmrzlým olejem např. v zimních měsících [P1-5].

Z dlouhodobého hlediska vlhkost urychluje proces stárnutí a rozklad papírové izolace. Dekompozice papíru je přímo úměrná obsahu vlhkosti v izolačním systému a je velmi urychlena s přítomností kyselin v oleji [P1-11]. Díky vlhkosti výrazně klesá průměrný polymerační stupeň papírové izolace a tím dochází ke ztrátě jejich mechanických vlastností [P1-13], [P1-14].

V případě, že je v izolačním systému transformátoru obsaženo velké množství vody, je možné použít jednu z technik na její odstranění. Tímto způsobem se prodlouží jeho životnost a zvýší jeho spolehlivost provozu. Mezi nejpoužívanější techniky patří metoda, při níž se cirkulujícím horkým olejem zahřeje celý izolační systém. Vlhkost se tím dostane z papíru do oleje a olej se následně zpracuje pod vakuem tak, že je voda extrahována a vytažena z oleje. Dle [P1-11] nejefektivnější metodou on-site vysoušení je ohřívání pomocí nízko frekvenčních proudů. V případě požadavku dlouhodobého online vysoušení se používají molekulární síta obsahující materiály schopné adsorbovat vodu. Tato síta jsou umístěna v zásobnících připojených do přirozeného oběhu oleje z transformátoru. Adsorpční materiály

zachytávají molekuly vody za provozu transformátoru a při saturaci dávají signál na výměnu zásobníků [P1-11].

Vliv kontaminace částic

Kontaminace izolačního systému pevnými částicemi výrazně zhoršuje jeho elektrické vlastnosti. Vznik a vývoj pevných částic v transformátoru je různorodý. Při výrobě, instalaci nebo při údržbě vznikají např. vlákna celulózy či železné a měděné částice, které migrují v oleji a kontaminují pevnou složku izolace transformátoru. Další pevné částice vznikají opotřebením jednotlivých součástí transformátoru. Kovové částice vznikají např. třením ložisek čerpadel chladičského systému. V přepínači odboček se pevné kovové částice objevují při přepínání kontaktů jednotlivých odboček a následně mohou migrovat pronikáním do nádoby transformátoru a kontaminovat jeho aktivní část. Dalším zdrojem pevných částic jsou produkty stárnutí oleje. Při lokálním přehřívání nad 500 °C vznikají saze. V průběhu provozu tak dochází k formování kalů na dně transformátoru při normální i zvýšené teplotě. [P1-5].

Jednotlivé typy částic lze rozdělit na plovoucí v oleji, rozpuštěné v oleji, usazené na povrchu nebo migrující mezi vrstvami papírové izolace. Odstranění pevných částic z izolačního systému transformátoru je nedílnou součástí regenerace oleje, která je nejčastěji prováděna za provozu transformátoru. Mezi nejnebezpečnější pevné částice patří vodivé částice (kovové, saze). Výskyt vodivých částic několikanásobně snižuje elektrickou pevnost oleje. Díky v oleji rozpuštěné vodě lze zaznamenat rychlý pokles elektrické pevnosti oleje, který je navíc umocněný vlivem vodivosti pevných částic. Kontrola stavu transformátoru kontaminovaného vodou by měla tedy zahrnovat také sledování kontaminace oleje částicemi a produkty stárnutí. [P1-5], [P1-6].

4 Stárnutí a rozklad papíru

Papír, organický materiál, podléhá řadě degradačních nevratných procesů, které ovlivňují jeho celkovou životnost. Na tu má vliv již výroba papíru, respektive tzv. vnitřní faktory, mezi něž patří např. druh, kvalita a složení základního materiálu, použitá aditiva (plniva, barviva, aj.), či nečistoty z výrobních technologií [P1-3]. V průběhu provozu pak působí na papírovou izolaci vnější degradační faktory, jako

jsou teplota, vlhkost, účinky kyslíku, produkty stárnutí oleje, pevné částice a elektrické pole.

Stárnutí a rozklad papírové izolace patří mezi chemické procesy. Souběžně se na procesech stárnutí a rozkladu papírové izolace podílejí tři mechanismy. Jedná se o hydrolyzu, pyrolýzu a působení kyslíku, tedy oxidaci. Hydrolyza je proces rozkládání chemických sloučenin za působení vody. Při pyrolýze dochází k rozkladu papírové izolace působením tepla. Oxidace je chemická reakce, která způsobuje degradaci izolace působením kyslíku. Teplota, voda a kyslík jsou tedy hlavní degradační činitele celulózy. Velmi často se předpokládá, že teplota je nejvýznamnější faktor stárnutí papírové izolace, a proto se pro výpočet zbytkové životnosti papírové izolace používá jako jediné kritérium. Tento předpoklad je však velice zobecněný. Jak je dnes již známo a uvedeno v mnoha publikacích, např. [P1-4], [P1-5], [P1-7], [P1-8] je v oblastech provozních teplot transformátoru (70 - 95 °C) mnohem nebezpečnějším a dominantnějším degradačním činitelem vlhkost. K vysvětlení tohoto jevu slouží fakt, že aktivační energie hydrolyzy (působení vlhkosti) je až dvakrát menší než aktivační energie pyrolýzy (působení teploty), tudíž hydrolyza je dominantní mechanismus stárnutí a rozkladu papíru až do teplot 110 - 120 °C. Přítomnost kyslíku a vliv kyselosti oleje pak stárnutí papírové izolace ještě urychluje. Hlavní mechanismus vývoje degradačních zplodin, furanů, za provozních teplot je oxidační hydrolyza. Vliv teploty na papírovou izolaci je však také velmi významný. V provozovaném transformátoru se vyskytují různé teplotní zóny, a tak v oblastech, kde je vysoká teplota, je papírová izolace velmi degradována. Jedná se tedy komplexní působení všech degradačních faktorů, díky nimž výrazně klesá průměrný polymerační stupeň papírové izolace a tím dochází ke ztrátě jejích mechanických vlastností. K prodloužení života izolačního systému transformátoru je žádoucí odstranění produktů stárnutí oleje, kyslíku a vody z oleje. [P1-3], [P1-4], [P1-7], [P1-8], [P1-15].

Seznam použité literatury

[P1-1] ČSN IEC 60076-7. Výkonové transformátory - Část 7: Směrnice pro zatěžování olejových výkonových transformátorů. Praha: ČESKÝ NORMALIZAČNÍ INSTITUT, 2007. 52 s.

- [P1-2] MENTLÍK, V., PIHERA, J., POLANSKÝ, R., PROSR, P., TRNKA, P. *Diagnostika elektrických zařízení*. 1. vyd. Praha: BEN - technická literatura, 2008, 439 s. ISBN 978-80-7300-232-9.
- [P1-3] MÜLLEROVÁ, E. *Problematika stárnutí izolačního systému transformátorů*. Výzkumná zpráva. 79 s., ZČU v Plzni, 2011.
- [P1-4] LUNDGAARD, L., HANSEN, W., LINHJELL, D., PAINTER, T. Aging of oil-impregnated paper in power transformers. *IEEE Transactions on Power Delivery*, vol. 19, no. 1, s. 230 - 239, 2004.
- [P1-5] CIGRE WG A2.18. Technical brochure No. 227: *Life Management Techniques for Power Transformers*. CIGRE, 2003, 125 s.
- [P1-6] LAKHIANI, V. K. *Transformer Life Management, Condition Assessment and Dissolved Gas Analysis*. Mumbai, Crompton Greaves Ltd, 2006. 160 s.
- [P1-7] KACHLER, A. J., HOHLEIN, I. Aging of cellulose at transformer service temperatures. Part 1: Influence of type of oil and air on the degree of polymerization of pressboard, dissolved gases, and furanic compounds in oil. *Electrical Insulation Magazine*, IEEE, vol. 21, no. 2, s. 15 - 21, March/April 2005
- [P1-8] HOHLEIN, I., KACHLER, A. J. Aging of cellulose at transformer service temperatures. Part 2. Influence of moisture and temperature on degree of polymerization and formation of furanic compounds in free-breathing systems. *Electrical Insulation Magazine*, IEEE, vol.21, no.5, s. 20 - 24, Sept./Oct. 2005.
- [P1-9] IEC 60599. *Mineral oil-impregnated electrical equipment in service: Guide to the interpretation of dissolved and free gases analysis*. 2nd ed. 1999. 88 s.
- [P1-10] ČSN EN 60422 ED. 2 *Minerální izolační oleje v elektrických zařízeních - Návod pro kontrolu a údržbu*. Praha: ČESKÝ NORMALIZAČNÍ INSTITUT, 2013. 44 s.
- [P1-11] LAPWORTH, J. a DOBLE ENGINEERING COMPANY. *Transformer Tutorial - The Importance of Moisture Control*. EuroDoble Colloquium 2013. Barcelona, Španělsko, 21. - 23. 10. 2013.
- [P1-12] CIGRE WG A2.30. Technical brochure No. 349: *Moisture Equilibrium and Moisture Migration within Transformer Insulation Systems*. CIGRE, 2008, 53 s.
- [P1-13] KOCH, M. Improved Determination of Moisture in Oil-Paper-Insulations by Specialised Moisture Equilibrium Charts. In: *XIVth International Symposium on*

High Voltage Engineering. Beijing, China: Tsinghua University, August 25-29, 2005. 6 s.

- [P1-14] SARFI, V., SHAYEGANI, A. A., MOHSENI, H. Estimation of Moisture in Pressboard of Power Transformer using Moisture Dynamic Measurement in Transformer Oil. In: *XVIIth International Symposium on High Voltage Engineering*, Hannover, Germany: Leibniz University, August 22-26, 2011. 6 s.
- [P1-15] DING, H., HEYWOOD, R., LAPWORTH, J., RYDER, S. Learning from failures in risk-based transformer asset management. In: *XVII International Symposium on High Voltage Engineering*. Hannover, Germany: Leibniz University, August 22-26, 2011. 6 s.

Příloha 2

Senzory monitorovacích systémů výkonových transformátorů

Jednotlivé senzory (proudu, napětí, výkonu, teploty, vlhkosti, plynů, pozice odbočky a stavové signalizace), které se používají k měření signálů charakterizujících aktuální stav jednotlivých podsystémů transformátoru (izolační systém aktivní části, OLTC, průchodky a chladicí systém) jsou uvedeny níže.

1 Senzory proudu

K měření primárních (vstupní strana), sekundárních (výstupní strana) i terciárních proudů se v současnosti nejčastěji využívají volná jádra průchodkových přístrojových transformátorů proudů (PTP), jež jsou vyvedená na svorkovnici ve skříni transformátoru. Sekundární proud PTP je v rozsahu 0 - 1 A. Ze svorkovnice jsou vedeny vodiče do převodníku (proudového transduktoru), který je umístěn ve skříni monitoringu. Vstup do převodníku je 0 - 1 A a výstup v nastavitelném rozsahu 0 - 20 mA nebo 4 - 20 mA [P2-1]. Proudový signál je dále detekován vstupním analogovým terminálem a digitalizován. Při měření musí být zkratovací můstky PTP ve skříni transformátoru otevřeny a ve skříni monitoringu uzavřeny, aby byla uzavřena proudová smyčka. Trvalá přetížitelnost je 200 % jmenovitého proudu. Přesnost měření je 0,5 %. Rozsah provozních teplot je -10 až +55 °C. Senzor vyžaduje napájení 24 V DC. [P2-2]

V případě, že volná jádra PTP nejsou k dispozici, se využívají průvlekové transformátory, kdy vodiče vedoucí z jádra průchodkového PTP do skříňe transformátoru se provlečou jádrem průvlekového transformátoru, jak je vidět na obr. P2 - 1 [P2-3]. Počet provlečení odpovídá počtu závitů definovaného na základě požadovaného výstupního jmenovitého proudu (typicky 0 - 5 A) [P2-4]. Výstupy jsou opět vedeny do převodníků, které mění na proudy v rozsahu 4 až 20 mA. Přesnost měření je 0,5 %. Rozsah provozních teplot je -20 až +60 °C. Napájení senzoru je 24 V DC.



Obr. P2 - 1: Měření proudů pomocí průvlekových PTP - převzato z [P2-3]

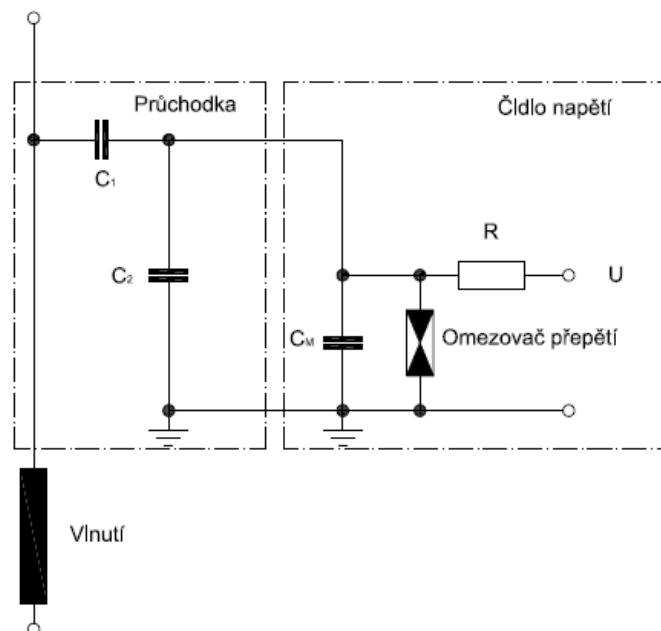
2 Senzory napětí

K měření napětí se využívá měřicího vývodu průchodky (připojený k předposlední kapacitní vrstvě rozdělující izolaci průchodky na kapacitní dělič), ke kterému je připojen senzor s adaptérem měřícím fázové napětí (obr. P2 - 2) [P2-5], [P2-6].



Obr. P2 - 2: Ukázka zapojení senzoru s adaptérem do měřicího vývodu průchodky

Princip měření je založen na kapacitním senzoru napětí. Schéma měření je na obr. P2 - 3. Průchodka je charakterizována kapacitami C_1 (mezi vodičem procházejícím průchodkou a měřicím vývodem) a C_2 (mezi měřicím vývodem průchodky a uzemněnou nádobou - zemí) [P2-7]. Čidlo je vybaveno kapacitou C_M , připojenou k měřicímu vývodu průchodky (paralelně k C_2). Hodnota C_M je definovaná na základě znalosti kapacit C_1 a C_2 průchodky tak, aby výstupní napětí senzoru bylo kapacitním děličem sníženo na hodnotu napětí 57,7 V (šířka pásma měření až 2 MHz). Ochrana senzoru je zajištěna omezovačem přepětí, který je paralelně připojen k C_M . Senzor je koaxiálním kabelem připojen na vstup měřicího převodníku (voltmetr nebo vzorkovač napětí), který převádí výstupní signál z kapacitního senzoru. Vstupní jmenovité napětí převodníku je 57,7 V (maximální napětí je 163,2 V) a výstupní signál je buď napěťový 0 - 10 V nebo proudový 4 - 20 mA. [P2-3]. Výstupní analogový signál je přiveden na vstupní analogový terminál, který je převeden na digitální signál vhodný ke zpracování sběrnici. Chyba měření se při jmenovitém napětí pohybuje okolo 1 - 1,5 % z nominální hodnoty. Teplotní rozsah měření je - 25 až + 70 °C.



Obr. P2 - 3: Schéma měření napětí z měřicího vývodu průchodky - převzato z [P2-1]

3 Senzory teploty

V transformátoru se měří teplota oleje horní a spodní části nádoby, teplota oleje v jednofázových přepínačích, teplota oleje před a za chladičem a dále teplota okolí transformátoru. Nejčastěji se používá odporový teploměr Pt100 [P2-5]. Princip měření je založen na změně odporu v závislosti na teplotě (teplotní součinitel elektrického odporu je kladný). Z hlediska použitého Pt100 (možnosti jeho uchycení) je nutné rozlišit mezi případem, kdy se s instalací senzoru počítá již při návrhu a výrobě transformátoru nebo, když je senzor instalován na již provozovaný transformátor (dle připojovacích míst je nutné definovat patřičné čidlo). Senzor je vyroben z nerezové oceli a z důvodu eliminace vibrací na měřicí vstup je použito těsnění typu "O" kroužek. Napájení je 12 - 30 V DC.

Při návrhu transformátoru se pro měření teploty okolí, teploty oleje horní a spodní části nádoby, OLTC a teploty oleje před a za chladičem využívá 3 vodičový tyčový Pt100 (obr. P2 - 4), který je zašroubován do teploměrové jímky ve víku každého jednofázového OLTC, ve víku nádoby transformátoru, v potrubí chladiče a zesponu skříně monitoringu. Teplotní rozsah měření je -250 až + 850 °C s přesností 0,1 °C na digit. Při odporu 100 Ω je teplota 0 °C a nárust odporu je 0,38 Ω na 1 K. V případě instalace senzoru na již provozovaný transformátor se k měření teploty oleje využívá 3 vodičový příložný Pt100 (obr. P2 - 5) s magnetickým uchycením (permanentním magnetem) na nádobu či potrubí a měřicím povrchovou teplotu [P2-3]. Teplotní rozsah měření je -40 až + 150 °C. V případě měření teploty před a za chladičem je možné alternativně využít příložný teploměr uchycený stahovacími pásky. K měření teploty okolí je případně možné použít 2 vodičový Pt100 uložený v radiačním krytu a s převodníkem v hlavici. Teplotní rozsah měření je -40 až + 70 °C.



Obr. P2 - 4: Tyčový - jímkový Pt100 [P2-4]



Obr. P2 - 5: Příložný Pt100 [P2-3]

Z hlediska výstupního signálu existují dvě varianty. Teploměr může být vybaven převodníkem, jenž generuje proudový signál 4 - 20 mA (odpovídající změřené teplotě), který je následně čten vstupním analogovým terminálem a digitalizován [P2-4]. V druhém případě se teploměr (nejčastěji 3 vodičový) připojí přímo do vstupního analogového terminálu typu RTD (resistor temperature detector), který změnu odporu odpovídající dané teplotě převádí na digitální 16 bitový signál [P2-1].

Druhým teplotním čidlem používaným hlavně u starších monitoringů je termistor typu NTC (negativní termistor, jehož odpor se s teplotou exponenciálně snižuje) [P2-1]. Dále je možné měřit teplotu vinutí, která se určuje nepřímou cestou, že sekundární proud z PTP je přímo úměrný proudu ve vinutí. Tento proud teče vyhřívacím odporem v převodníku teploty a způsobuje zvýšení teploty oleje měřeného převodníkem. Zvýšení teploty je úměrné gradientu teploty vinutí vůči oleji [P2-2].

4 Senzory vlhkosti

Vlhkost oleje (aktivní části transformátoru i OLTC) je nejčastěji měřena čidlem Vaisala. To je nainstalováno přes přírubu v potrubí chladiče. Jde o kapacitní tenkovrstvý polyimidový senzor, jehož dielektrické vlastnosti se mění v závislosti na hodnotě vlhkosti [P2-5]. Princip Vaisaly je založen na změně kapacity dielektrika v závislosti na obsahu vlhkosti v oleji [P2-1]. Senzor měří vlhkost oleje v rozsahu 0 - 1 vodní aktivity (a_w - water activity) a teplotu pomocí Pt100 v rozsahu -70 až +180 °C [P2-8]. Měření zůstává přímo úměrné saturační úrovni vlhkosti daného

oleje, a je nezávislé na typu, stárnutí nebo teplotě oleje. Čidlo přepočítává vlhkost ze známé teploty a vodní aktivity na ppmw (parts per million weight) nebo na relativní vlhkost (% RH). Daný výpočet je platný v teplotním rozsahu 0 až + 100 °C oleje transformátoru. Hodnota vlhkosti oleje v ppmw ukazuje průměrnou koncentraci hmotnosti vody v oleji a je v rozsahu 0 - 80 ppmw (horní rozsah je limitován saturací vlhkosti v oleji) [P2-8]. Výstupem senzoru je nastavitelný proudový signál 0 - 20 mA nebo 4 - 20 mA, který je čten přes vstupní analogový terminál a převáděn na digitální signál odpovídající aktuální vlhkosti oleje transformátoru. Čas odezvy měření je do 10 minut. Provozní teplota samotného senzoru je -40 až +60 °C a napájecí napětí je 24 V DC. [P2-8]

5 Pozice odbočky

V současnosti existují tři možnosti sledování aktuální polohy odbočky OLTC. První možností je využití odporového signálu (z rezistorového kola umístěného na hřídeli OLTC), kdy se odpor mezi jednotlivými odbočkami mění v závislosti na pozici OLTC, např. 10 Ω/ odbočku [P2-1]. Měřená hodnota je přivedena na analogový odporový vstup terminálu, který je speciálně nakonfigurován pro tento případ (není nutný převodník). Výstupem je hodnota aktuální odbočky. Druhý způsob využívá proudový signál 4 - 20 mA, dostupný z OLTC nebo řídicího systému, který je přiveden na vstupní svorky analogového terminálu, jenž jej převádí na digitální signál odpovídající aktuální odbočce [P2-2]. Nejčastější možností určení aktuální polohy odbočky je využití BCD převodníku, jenž je součástí OLTC, kdy signál v BCD kódu je přiveden na vstup digitálního terminálu. Ten je vybaven 6 digitálními vstupy pro určení pozice OLTC v BCD kódu (1, 2, 4, 8, 10, 20) [P2-3]. Napětí pro signalizaci je 24 V DC.

6 Spotřeba výkonu motorem pohonu OLTC

Ke sledování stavu motoru pohonu a monitoringu mechanického stavu OLTC se využívá měření činného výkonu motoru pohonu při přepínání odboček. Zvýšená hodnota spotřeby výkonu při přepínání odboček může indikovat problém s motorem nebo s mechanickým systémem OLTC [P2-1]. Měřicí převodník výkonu (Adamczewski) je zapojen přímo před motor pohonu a je nainstalován ve skříni

OLTC. Výkon motoru pohonu je měřen pomocí převodníku v tzv. Aronově zapojení (jsou měřeny 3 sdružené napětí a 2 fázové proudy) [P2-9]. Na vstupu převodníku jsou měřicí transformátory napětí (převod 10 000 V/ 100 V) a proudu (převod 500 A/ 1 A). Vstupní proud je 1 A a vstupní sdružené napětí je 630 V. Výstupem měřicího převodníku je lineární proudový signál 0 - 20 mA, který odpovídá měřenému výkonu v rozsahu 0 - 2 kW [P2-9]. Proudový signál je čten přes analogový vstupní terminál, který jej převádí na digitální signál odpovídající aktuálnímu výkonu spotřebovanému při přepnutí odbočky.

7 Stavová signalizace čerpadel, ventilátorů

Signalizace stavu čerpadel a ventilátorů je získávána z pomocných kontaktů stykačů motoru ze svorek ve skříni transformátoru (samotná signalizace čerpadel a ventilátorů není zavedena). Tyto beznapěťové kontakty jsou podloženy DC napětím pro signalizaci ze skříně transformátoru nebo monitoringu. Tento signál je přiveden na vstupní svorky digitálního terminálu, který jej převádí na 1 bitovou signalizaci zapnuto/ vypnuto. [P2-1], [P2-3].

8 Plynové senzory

V současnosti existuje několik senzorů pro online detekci plynů rozpuštěných v oleji. Může se jednat o jednoduché senzory monitorující pouze některé plyny nebo o komplexní online multi-gas senzory, které umožňují detekovat velké spektrum v oleji rozpuštěných plynů. Jednoduché monitory se připevňují na volnou přírubu nádoby transformátoru. Mezi nejznámější patří např. senzory Calisto, Hydrocal či Hydran. V případě multi-gas senzorů jsou k instalaci většinou zapotřebí dvě příruby v transformátoru a potrubí pro přívod oleje do zařízení umístěného mimo transformátor. Mezi nejznámější multi-gas senzory patří např. Serveron TM8, Hydrocal nebo Transfix. Detailnější popis jednotlivých senzorů je uveden níže.

Hydran

V současnosti zřejmě nepoužívanější jednoduchý senzor pro monitoring plynů rozpuštěných v oleji je Hydran. Tento senzor měří tzv. kompozitní hodnotu obsahu specifických plynů v ppmv (parts per million volume). Jedná se o plyny vodík H₂, oxid

uhelnatý CO, etylen C₂H₄ a acetylen C₂H₂ s rozdílným příspěvkem k celkové kompozitní hodnotě viz tab. P2 - 1 [P2-10].

Tab. P2 - 1: Příspěvek jednotlivých plynů ke kompozitní hodnotě z Hydranu [P2-10]

Výrobce	GE Energy
Typ	Hydran 201 Ti
Plyn	Koncentrace
TDCG - kompozitní hodnota [ppmv]	0 - 2 000
Vodík H ₂ [%]	100
Oxid uhelnatý CO [%]	18 ± 3
Acetylen C ₂ H ₂ [%]	8 ± 2
Etylen C ₂ H ₄ [%]	1,5 ± 0,5

Princip činnosti senzoru je založen na detekci plynů palivovým článkem. Plyny rozpuštěné v oleji difundují membránou, která propustí pouze tyto plyny, a následně dochází k detekci palivovým článkem. Elektrický signál v rozsahu 4 až 20 mA generovaný článkem je přímo úměrný koncentraci plynů v oleji 0 až 2000 ppmv. K instalaci není vyžadováno přídavné olejové vedení ani nutnost použití čerpadla. Stačí pouze volná příruba na nádobě transformátoru, jak je vidět např. na obr. P2 - 6. Doporučené místo instalace je na dolní části potrubí chladicí jednotky z důvodu zajištění cirkulace oleje a tím výpovědischopného vzorku oleje. Hydran sensor měří a vyhodnocuje hodinové a denní trendy vývoje kompozitní hodnoty plynů. Hydran sensor má tzv. vlastní servis kontakt, který generuje alarm při jakékoliv nečinnosti senzoru, např. při vypnutí napájení, poruše senzoru aj.[P2-11].



Obr. P2 - 6: Hydran sensor

Calisto

Calisto patří mezi nejdéle používané jednoduché senzory plynů. Pro plynovou extrakci je použita sonda z dutých teflonových vláken [P2-12]. Čidlo, založené na tepelné vodivosti, pak následně generuje elektrický signál převáděný přímo na hodnotu plynu v ppmv. K zajištění opakovatelnosti a reprodukovatelnosti měření je v senzoru pasivně teplotní výměník, který udržuje teplotně stabilní prostředí. Základní typ Calisto (obr. P2 - 7) měří vodík H_2 a relativní vlhkost v oleji. Typ Calisto 2 měří navíc oxid uhelnatý CO.



Obr. P2 - 7: Základní typ senzoru Calisto

Novější typy Calisto senzoru – typy 5 a 9, měří širší spektrum plynů a vlhkost oleje. U obou těchto senzorů je pro extrakci plynů opět použita sonda z dutých teflonových vláken. Pro následnou detekci koncentrace plynů se používá standardní adsorpční plynová chromatografie. Jako nosný plyn se používá inertní plyn - hélium He. Nosný a kalibrační plyn je nutné po určité době vyměnit. Konkrétně typ 5 detekuje 5 poruchových plynů – vodík, oxid uhelnatý, acetylen, etylen a metan. Typ 9 měří navíc propylen, oxid uhličitý a vzdušné plyny – kyslík a dusík. V tab. P2 - 2 jsou uvedené jednotlivé typy senzoru Calisto, jaké veličiny měří a jejich měřicí rozsah.

Tab. P2 - 2: Rozsahy měřených plynů jednotlivých typů senzoru Calisto [P2-12]

Výrobce	Morgan Schaffer			
Typ	Calisto	Calisto 2	Calisto 5	Calisto 9
Veličina - Rozsah				
Vlhkost [%]	2 - 100	2 - 100	2 - 100	2 - 100
Vodík H_2 [ppmv]	2 - 50 000	2 - 50 000	0,5 - 20 000	0,5 - 20 000

Oxid uhelnatý CO [ppmv]	-	25 - 100 000	10 - 30 000	10 - 30 000
Acetylen C ₂ H ₂ [ppmv]	-	-	0,2 - 100 000	0,2 - 100 000
Etylen C ₂ H ₄ [ppmv]	-	-	0,2 - 200 000	0,2 - 200 000
Metan CH ₄ [ppmv]	-	-	0,2 - 100 000	0,2 - 100 000
Propylen C ₃ H ₆ [ppmv]	-	-	-	0,2 - 200 000
Oxid uhličitý CO ₂ [ppmv]	-	-	-	15 - 100 000
Kyslík O ₂ [ppmv]	-	-	-	500 - 100 000
Dusík N ₂ [ppmv]	-	-	-	2000 - 150 000

Hydrocal

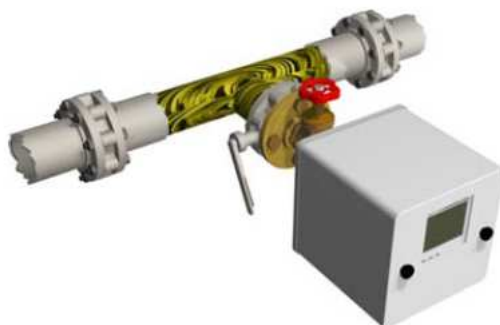
Senzory Hydrocal patří mezi nejnovější jednoduché a multi-gas senzory. Typově označený Hydrocal 1001 [P2-13] měří tzv. kompozitní hodnotu plynů (TDGC - Total Dissolved Gas Combustible) s rozdílným příspěvkem jednotlivých plynů (vodík, oxid uhelnatý, metan, acetylen, etylen a etan), uvedený v tab. P2 - 3. Princip činnosti je, stejně jako u senzoru Hydran, založen na detekci obsahu plynů palivovým článkem. Elektrický signál 4 až 20 mA odpovídá přímo úměrně kompozitní hodnotě plynů 0 až 5 000 ppmv. K instalaci senzoru je opět nutná volná příruba v nádobě transformátoru. Typ Hydrocal 1001+ měří navíc vlhkost oleje, v rozsahu uvedeném v tab. P2-3.

Tab. P2 - 3: Příspěvek měřených plynů ke kompozitní hodnotě ze Hydrocalu [P2-13]

Výrobce	Meter Test Equipment	
	Hydrocal 1001	Hydrocal 1001+
Typ		
Veličina - Rozsah		
Vlhkost [ppmv]	-	0 - 100
TDCG - kompozitní hodnota [ppmv]	0 - 5 000	0 - 5 000
Vodík H ₂ [%]	20	20
Oxid uhelnatý CO [%]	30	30
Acetylen C ₂ H ₂ [%]	100	100
Etylen C ₂ H ₄ [%]	32	32
Metan CH ₄ [%]	5	5
Etan C ₂ H ₆ [%]	5	5

Hydrocal 1003 měří samostatnou hodnotu vodíku H₂, oxidu uhelnatého CO a vlhkosti rozpuštěné v oleji v rozsahu uvedeném v tab. P2 - 4 [P2-13]. Výstupní analogové signály pro jednotlivé měřené veličiny jsou v rozsahu 4 až 20 mA. U transformátorů bez nuceného oběhu oleje se senzor instaluje na volnou přírubu

nádrže transformátoru. U transformátoru s nuceným oběhem oleje je pak senzor, na doporučení výrobce, nejčastěji instalován na přírubu zpětného potrubí vedoucího z chladiče, jak je vidět na obr. P2 - 8.



Obr. P2 - 8: Instalace senzoru Hydrocal 1003 – převzato z [P2-13]

Tab. P2 - 4: Rozsahy měřených plynů jednotlivých typů senzoru Hydrocal [P2-13]

Výrobce	Meter Test Equipment		
Typ	Hydrocal 1003	Hydrocal 1005	Hydrocal 1008
Veličina - Rozsah			
Vlhkost [ppmv]	0 - 100	0 - 100	0 - 100
Vodík H ₂ [ppmv]	0 - 2 000	0 - 2 000	0 - 2 000
Oxid uhelnatý CO [ppmv]	0 - 2 000	0 - 5 000	0 - 5 000
Acetylen C ₂ H ₂ [ppmv]	-	0 - 2 000	0 - 2 000
Etylen C ₂ H ₄ [ppmv]	-	0 - 2 000	0 - 2 000
Metan CH ₄ [ppmv]	-	-	0 - 2 000
Etan C ₂ H ₆ [ppmv]	-	-	0 - 2 000
Oxid uhličitý CO ₂ [ppmv]	-	-	0 - 20 000

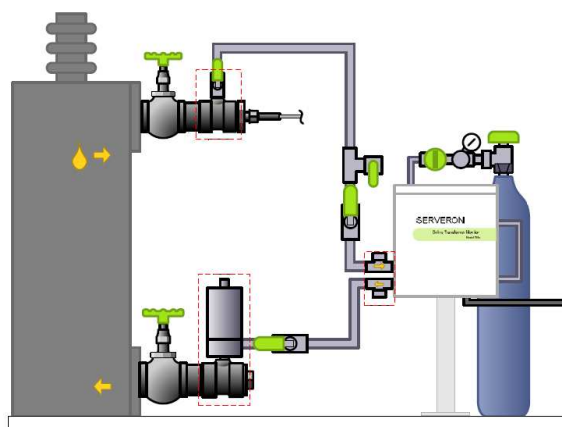
Hydrocal 1005 senzor detekuje oproti typu 1003 navíc v oleji rozpuštěné plyny acetylen C₂H₂ a etylen C₂H₄. Princip měření je založen na plynové chromatografii s extrakční metodou headspace. Pro následnou detekci CO, C₂H₂ a C₂H₄ je použit infračervený NIR senzor a pro detekci H₂ pak mikroelektronický plynový senzor [P2-13]. Měření vlhkosti je realizováno tenkovrstvým polyimidovým kapacitním senzorem. Analogové výstupy 4 až 20 mA odpovídají měřicímu rozsahu jednotlivých plynů a vlhkosti, jež jsou uvedeny v tab. P2 - 4 [P2-1], [P2-13].

Hydrocal 1008 je aktuálně nejnovější a nejkompexnější senzor ze skupiny Hydrocal senzorů. Navíc od typu 1005 měří navíc hodnoty oxidu uhličitého CO₂, metanu CH₄ a etanu C₂H₆. Měří tedy celkem sedm v oleji rozpuštěných plynů a vlhkost oleje. Princip činnosti je stejný jako u typu 1005 a pro následnou detekci

plynů CO_2 , CH_4 a C_2H_6 je opět použit infračervený NIR plynový senzor. Analogové výstupy 4 až 20 mA jsou opět přímo úměrné měřicím rozsahům - viz tab. P2 - 4 [P2-13].

Serveron TM8

Serveron patří mezi multi-gas senzory, které monitorují široké spektrum plynů rozpuštěných v oleji transformátoru. Serveron se instaluje přímo na nádobu transformátoru nebo na samotné stání, v závislosti na délce trubic potrubí. K poskytnutí dostatečně reprezentativního vzorku oleje je nutné potrubí, které dopraví olej do samotného senzoru, jak je vidět na obr. P2 - 9 [P2-14]. Pro připojení přívodního a odvodního potrubí se používají dva volné ventily transformátoru. Olej je typicky odebírán z horní vrstvy nádoby a vrací se zpět v dolní části nádoby. Olej nesmí být odebírán z oblasti, kde se olej objevuje pod tlakem (např. u chladičů).



Obr. P2 - 9: Ukázka instalace a umístění senzoru Serveron TM8 – převzato z [P2-14]

Princip tohoto multi-gas senzoru je založen na detekci plynů pomocí plynového chromatografu. Vzorek je extrahován přímo z oleje transformátoru ve vnitřním systému extrakce plynů pro oddělení plynů rozpuštěných v oleji. Srdcem senzoru je speciálně zkonstruovaný plynový chromatograf pro detekci plynů. Pro transport detekovaných plynů je použit inertní plyn Helium (99,9999% čistý) z láhve připojené k senzoru [P2-14]. Mezi další část senzoru, která je konzumovatelná, patří kalibrační plyn, v nádobě umístěné uvnitř skříně senzoru. Kalibrační plyn je doporučeno vyměnit po 3 letech a nosný plyn He typicky po 4 letech při 4 hodinovém vzorkovacím intervalu [P2-14]. Vzorkovací interval je možné volit v rozmezí 2 až 12 hodin. Samotná analýza plynů trvá přibližně 40 minut [P2-14]. Data jsou ukládána

s příslušnou časovou stopou. Serveron TM8 dekuje vlhkost oleje a plyny vodík, kyslík, dusík, metan, oxid uhelnatý, oxid uhličitý, etylen, etan a acetylen s rozsahem, jak je vidět v tab. P2 - 5 [P2-15].

Tab. P2 - 5: Rozsahy měřených plynů multi-gas senzoru Serveron TM8 [P2-15]

Výrobce	Qualitrol
Typ	Serveron TM8
Veličina - Rozsah	
Vlhkost [% RS]	0 - 100
Vodík H ₂ [ppmv]	3 - 3 000
Kyslík O ₂ [ppmv]	30 - 25 000
Oxid uhelnatý CO [ppmv]	5 - 10 000
Acetylen C ₂ H ₂ [ppmv]	1 - 3 000
Etylen C ₂ H ₄ [ppmv]	3 - 5 000
Metan CH ₄ [ppmv]	5 - 7 000
Etan C ₂ H ₆ [ppmv]	5 - 5 000
Oxid uhličitý CO ₂ [ppmv]	5 - 30 000
Dusík N ₂ [ppmv]	5 000 - 100 000

Kelman TRANSFIX

Jedná se o multi-gas senzor, který pro svoji instalaci vyžaduje samotné stání (obr. P2 - 10) [P2-16]. Dostatečně reprezentativní vzorek oleje je dopraven potrubím do multi-gas senzoru, kde je vyhodnocen a následně se vrací potrubím zpět do transformátoru. Detekce plynů v senzoru je prováděna pomocí fotoakustické spektroskopie [P2-11]. Z tohoto důvodu nejsou nutné žádné konzumovatelné části, jako je nosný či kalibrační plyn.



Obr. P2 - 10: Umístění multi-gas senzoru Transfix – převzato z [P2-16]

Při fotoakustické spektroskopii dojde k absorpci elektromagnetického záření plynem, při němž se plyn rozpíná a vytváří akustickou vlnu. Jednotlivé plyny absorbují elektromagnetické záření různé vlnové délky [P2-11], [P2-16]. Molekuly plynu se rozkmitají a jejich intenzita akustického tlaku je detekovaná mikrofony, které vytváří elektrický signál přímo úměrný koncentraci plynu. K extrakci plynů z oleje se využívá metoda head-space [P2-16].

Vzorkování je možné nastavit na hodinový až 4týdenní interval. Přednastavený interval vzorkování jsou 4 hodiny. Kelman TRANSFIX měří vlhkost v oleji a plyny vodík H₂, kyslík O₂, dusík N₂, metan CH₄, oxid uhelnatý CO, oxid uhličitý CO₂, etylen C₂H₄, etan C₂H₆ a acetylen C₂H₂ v rozsahu dle tab. P2 - 6 [P2-16]

Tab.P2 - 6: Rozsahy měřených plynů multi-gas senzoru Kelman TRANSFIX [P2-16]

Výrobce	GE Energy
Typ	Kelman TRANSFIX
Veličina - Rozsah	
Vlhkost [% RS]	0 - 100
Vodík H ₂ [ppmv]	5 - 5 000
Kyslík O ₂ [ppmv]	150 - 50 000
Oxid uhelnatý CO [ppmv]	2 - 50 000
Acetylen C ₂ H ₂ [ppmv]	0,5 - 50 000
Etylen C ₂ H ₄ [ppmv]	2 - 50 000
Metan CH ₄ [ppmv]	2 - 50 000
Etan C ₂ H ₆ [ppmv]	2 - 50 000
Oxid uhličitý CO ₂ [ppmv]	20 - 50 000
Dusík N ₂ [ppmv]	10 - 130 000

Buchholz relé senzor

V případě jednotky, která je plněná olejem a má dilatační nádobu, je Buchholz relé používané jako ochranný prvek. Toto plynové relé je namontované na potrubí vedoucí z horní části nádoby do konzervátoru [P2-17]. Elektrické a tepelné závady v transformátoru jsou doprovázeny vývojem charakteristických plynů (vodík, oxid uhelnatý, uhličitý a široké spektrum uhlovodíků). Je zřejmé, že tyto plyny stoupají k horní části nádoby až do Buchholz relé. To je složeno ze dvou komor plněných olejem z transformátoru [P2-2], [P2-17]. V případě překročení přesně definovaného množství plynů je aktivována klapka, která vyšle impuls. Většinou jsou nastaveny dvě úrovně objemu plynu pro generování signálu. Malé minoritní závady jsou doprovázeny vývojem menšího množství plynů, které po překročení 1. úroveň iniciuje

výstražný alarm (je možné danou jednotku dispečersky odpojit z provozu). Nebezpečné závady způsobí prudký vývoj značného množství plynu, což vyústí v generování výstražného alarmu rychle následovaného impulsem 2. úrovně, tzv. vypínacím impulsem (mechanická ochrana transformátoru). Nevýhodou tohoto zařízení pro monitoring a diagnostiku plynů je detekce jejich integrální hodnoty, která neumožňuje určit časový vývoj plynů [P2-18].

Proto byl vyvinut senzor (obr. P2 - 11), jenž je nainstalován na odplyňovací ventil Buchholz relé a umožňuje detekovat časový průběh vývoje plynů [P2-1]. Připojení senzoru k ventilu musí být pod úrovní nejnižší hladiny konzervátoru a přípojka pro odběr plynu musí být nad vypouštěcím ventilem Buchholz relé. Bypass propojení pro návrat oleje do transformátoru musí být pod úrovní Buchholz relé. Senzor je válcového tvaru a je vyplněn olejem. V případě vzniku plynu v transformátoru, tento plyn nahrazuje olej v senzoru [P2-18]. Výška oleje se mění přímo úměrně obsahu plynu. Princip činnosti senzoru je tedy založen na indukčností měření výšky oleje v senzoru [P2-1].



Obr. P2 - 11: Buchholz relé senzor

Seznam použité literatury

- [P2-1] MS 3000: Comprehensive online condition monitoring, diagnostics and expert system for power transformers. Manual 1.0, Revision date 14. 3. 2012. ALSTOM Grid, Moenchengladbach, Německo, 2012. 262 s.
- [P2-2] SIEMENS KONČAR. *Návod k provozu a údržbě transformátoru*. Záhřeb, Chorvatsko: Siemens Končar Power Transformers, 2012, 1151 s.

- [P2-3] *MstTEK pro monitoring transformátoru. Technická zpráva, 30. 10. 2008*
TECHSYS - HW a SW, spol. s r. o., Praha, 2008. 27 s.
- [P2-4] *Intelligent monitoring system, type TEC. Technical guide, 30. 1. 2008.* ABB AB Components, Ludvika, Švédsko, 2008. 60 s.
- [P2-5] CIGRE WG A2.27. *Technical brochure No. 343: Recommendations for Condition Monitoring and Condition Assessment Facilities for Transformers.* CIGRE, 2008, 24 s.
- [P2-6] DOLATA, B., DONČUK, J., MAMUTOV, F., VELEK, J. Experiences in Online Condition Monitoring System for Power Transformers. In: *Diagnostika '13*, Plzeň. 2. - 4. 9. 2013. 5 s.
- [P2-7] DONČUK, J. *Možnosti hodnocení stavu transformátorů.* Plzeň, 2011. 60 s. Písemná práce ke státní doktorské práci. FEL ZČU v Plzni. Vedoucí práce prof. Ing. Václav Mentlík, CSc.
- [P2-8] *Vaisala HUMICAP®: Moisture and Temperature Transmitter for Oil MMT318.* User's Guide. Helsinki, Finsko: Vaisala, 2003, 47 s.
- [P2-9] *Adamczewski: Power Measuring Converter.* Manual. Zaberfeld, Německo: Adamczewski Elektronische Messtechnik GmbH, 2007, 19 s.
- [P2-10] *GE Energy* [online]. 2010 [cit. 2014-02-01]. HYDRAN Monitoring Instruments. Dostupné z WWW: <http://www.gedigitalenergy.com/MD/single.htm>
- [P2-11] VELEK, J., JUSTIZ, P. *ON a OFF-LINE monitoring vody a plynů v oleji: Měření na modelu transformátoru.* Výzkumná zpráva. Praha: ČEPS, a.s., ORGREZ, a.s., 2007. 33 s.
- [P2-12] *Morgan Schaffer* [online]. 2012 [cit. 2013-10-19]. Equipments. Dostupné z WWW: <http://www.morganschaffer.com/page-equipments.html>
- [P2-13] *MTE – Meter Test Equipment* [online]. 2012 [cit. 2013-11-10]. Products – Transformer Monitoring. Dostupné z WWW: http://www.mte.ch/categorie_26.html
- [P2-14] *On-Line Transformer Monitor Installation Guide* [online]. 2012 [cit. 2013-10-14]. Dostupné WWW: <http://www.bplglobal.net/eng/knowledge-center/download.aspx?id=270>
- [P2-15] *Serveron TM8 On-line DGA Monitor* [online]. 2014 [cit. 2014-2-1]. http://www.qualitrolcorp.com/uploadedFiles/BPLG_TM8_880-0246-00%20Rev%20C-2.pdf

- [P2-16] *Kelman TRANSFIX Fact Sheet* [cit. 2013-11-10]. Dostupné WWW:
<http://www.spatialworld.fi/public/documents/md/Transfix.pdf>
- [P2-17] *FIST 3-30. Transformer Maintenance*. Denver, Colorado: Hydroelectric Research and Technical Services Group, 2000, 87 s. Dostupné z: http://www.usbr.gov/power/data/fist/fist3_30/fist3_30.pdf
- [P2-18] TENBOHLEN, S., et al. *Enhanced Diagnosis of Power Transformers using On- and Off-line Methods: Results, Examples and Future Trends*. In CIGRE Session 2000: 12-204. Paris (France): CIGRE, 2000. 8 s.

Příloha 3

Soubor hlášení generovaných monitorovacími systémy MST2 a MST3 nasazených na výkonových transformátorech přenosové soustavy

1 Soubor hlášení vyskytujících se v kategorii Hlášení o veličinách ze senzorů

Tab. P3 - 1: Soubor hlášení o veličinách ze senzorů monitoringů MST2 a MST3

Kategorie	Název
TEPLOTY	Teplota okolí
	Teplota horní vrstvy oleje nádoby
	Teplota dolní vrstvy oleje nádoby
	Teplota oleje OLTC 1- 3
	Rozdíl teplot oleje OLTC (1 - 3)-nádoba
	Vstupní teplota oleje chladiče 1 - 5
	Výstupní teplota oleje chladiče 1 - 5
	Teplota vzniku bublin
CHLADIČE	Rozdíl teplot oleje In-Out chladiče 1 - 5
	Doba chodu čerpadla 1 - 5
	Doba chodu ventilátoru 1 - 10
OLTC	Náběh kontaktu voliče
	Doba náběhového proudu OLTC
	Počet přepnutí OLTC
	Doba přepnutí OLTC
PROUDY	Proud zatížení VN U, V, W
	Proud zatížení NN U, V, W
	Proud zatížení TN U, V, W
NAPĚTÍ	Napětí VN U, V, W
	Napětí NN U, V, W

PLYNY, VLHKOST	Stav snímače plynu v oleji
	Plyn v oleji – abs. hodnota
	Plyn v oleji - hodinový gradient
	Plyn v oleji - denní gradient
	Vlhkost v oleji OLTC 1- 3
	Množství plynu v Buchholzově relé
ZMĚNA KAPACITY	Odchylka kapacity VN U, V, W
	Odchylka kapacity NN U, V, W
	Změna detekce kapacity VN U, V, W
	Změna detekce kapacity NN U, V, W

2 Soubor hlášení vyskytujících se v kategorii Stavová hlášení

Tab. P3 - 2: Soubor stavových hlášení monitoringů MST2 a MST3

Název
Stav OLTC
Stav aktivní části
Stav průchodek
Stav chladiče

3 Soubor hlášení vyskytujících se v kategorii Vnitřní hlášení monitoringů

Tab. P3 - 3: Soubor vnitřních hlášení monitoringů MST2 a MST3

Název
Stav UPS porucha
Stav IEC104
Stav vazebního modulu profibusu
Volná paměť RAM [KByte]
Interní hodnota
Stav systému profibus
Stav IEC 104 Slave driver
Kontrola systémových procesů

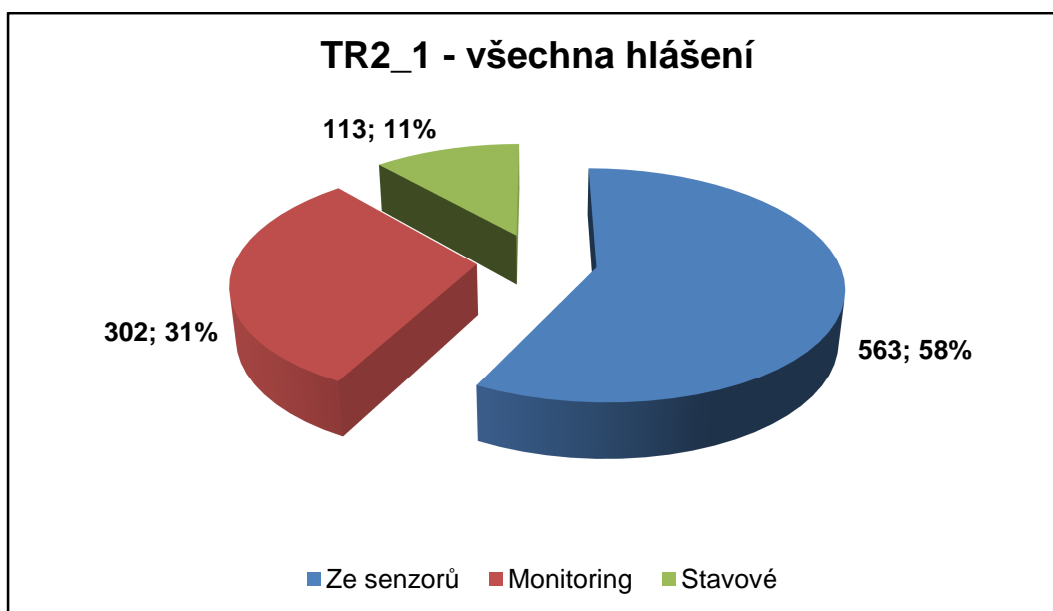
Příloha 4

Rozbor generovaných hlášení monitorovacími systémy 2. generace (MST2) nasazených na transformátorech přenosové soustavy

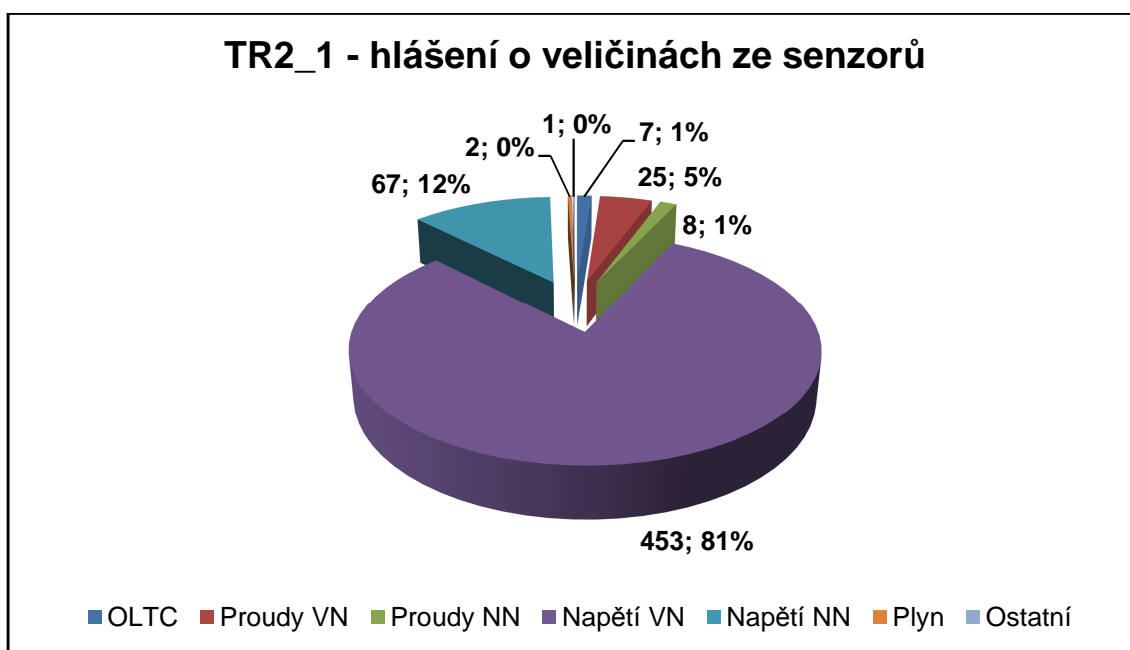
Monitorovací systémy 2. generace (MST2) jsou nasazeny na 5 transformátorech přenosové soustavy, které z důvodu nezávislosti a komerční zdrženlivosti označím jako transformátory TR2_1, TR2_2, TR2_3, TR2_4 a TR2_5, a u nichž byla provedena analýza hlášení za jejich jednorocní provoz.

Transformátor TR2_1

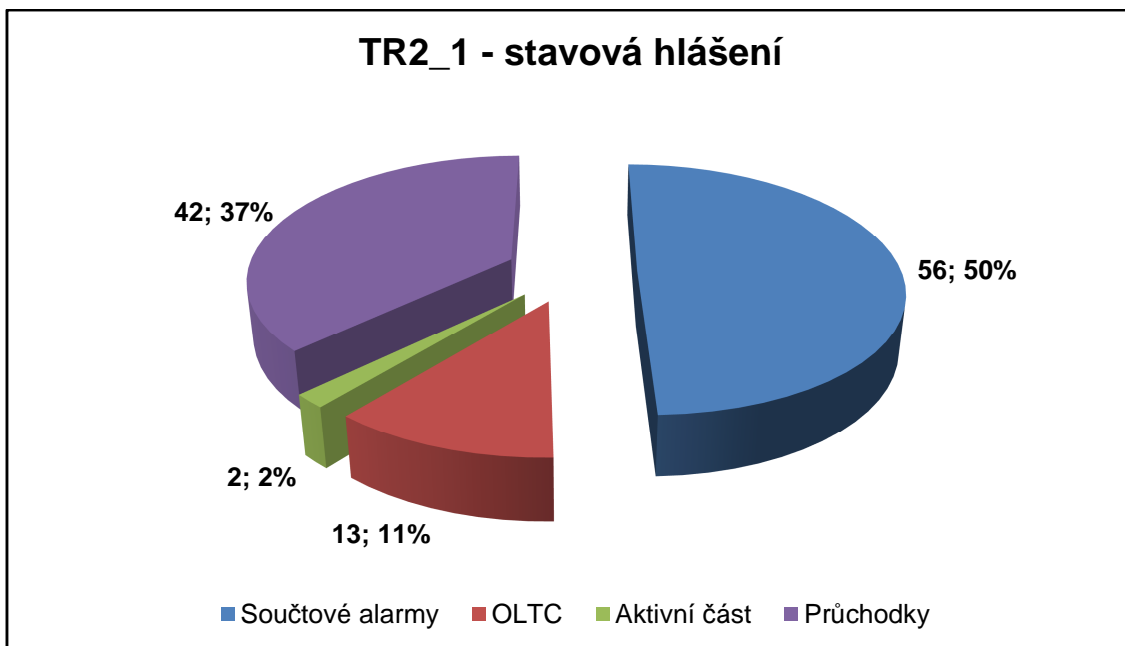
Z celkových 978 hlášení, které byly generovány v průběhu jednorocního provozu transformátoru TR2_1 bylo 31 % vnitřních hlášení monitoringu, 58 % hlášení o veličinách ze sensorů a 11 % stavových hlášení. Z vnitřních hlášení byla nejčetnější hlášení "Stav IEC104 slave driver" (152x), dále pak "Stav vazebního modulu profibusu" (71x), "Interní hodnota" (42x) a "Stav UPS porucha" (33x). Nejčastější stavová hlášení byla "Součtová výstraha transformátoru" (56x) a "Stav průchodek", jenž se vyskytoval v 42 případech – hláška typu "Výstraha přepětí" (35 ze 42 případů). Hlášení o veličinách ze sensorů byla nejvíce zastoupena hlášení od sensorů napětí – až 93 % všech hlášení ze sensorů. Z nichž hlášení "Napětí VN" jednotlivých fází se vyskytl ve 453 případech a hlášení "Napětí NN" jednotlivých fází v 67 případech. Rozložení hlášení jednotlivých kategorií je vidět na obr. P4-1, 2, 3, 4.



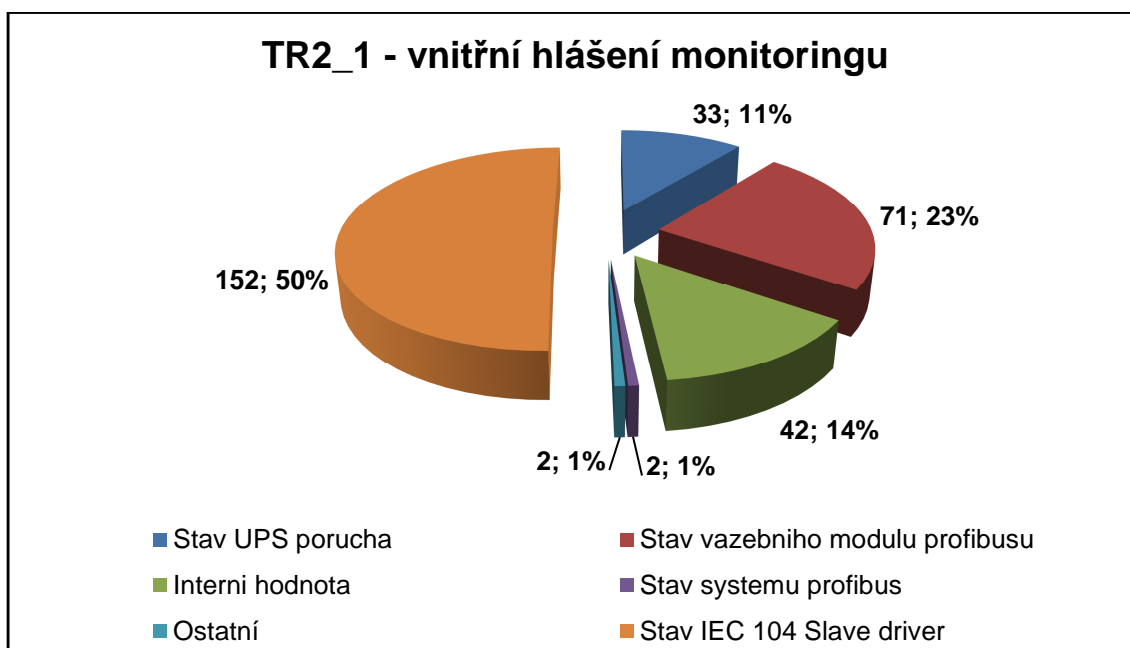
Obr. P4 - 1: Rozložení všech hlášení generovaných u TR2_1



Obr. P4 - 2: Rozložení hlášení o veličinách ze sensorů u TR2_1



Obr. P4 - 3: Rozložení stavových hlášení u TR2_1

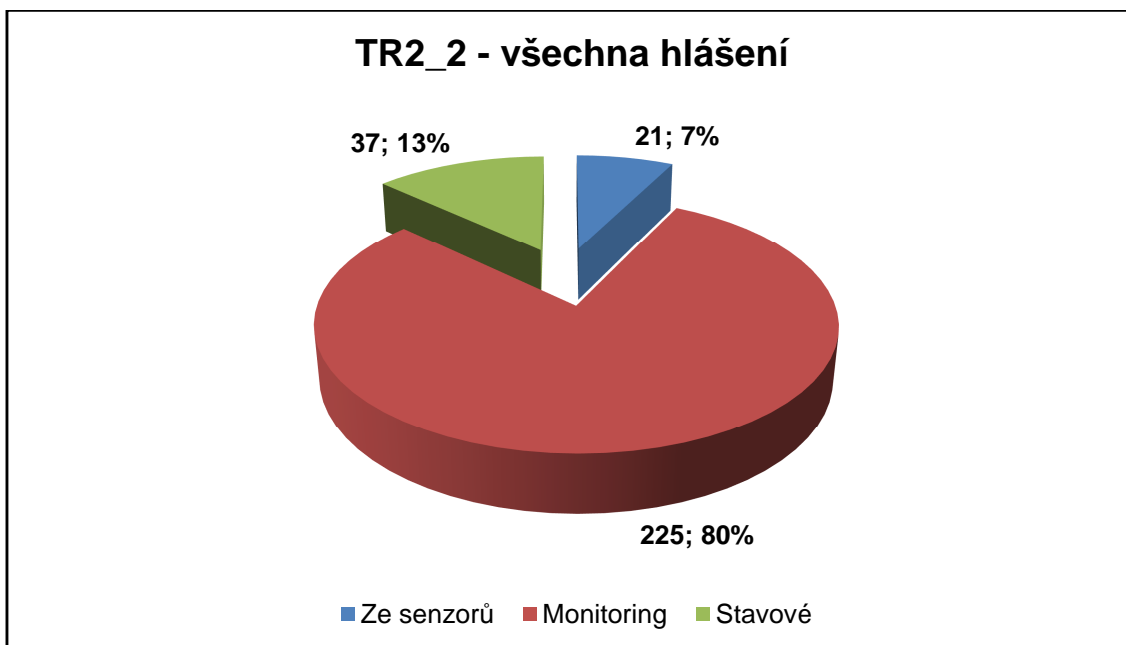


Obr. P4 - 4: Rozložení vnitřních hlášení monitoringu u TR2_1

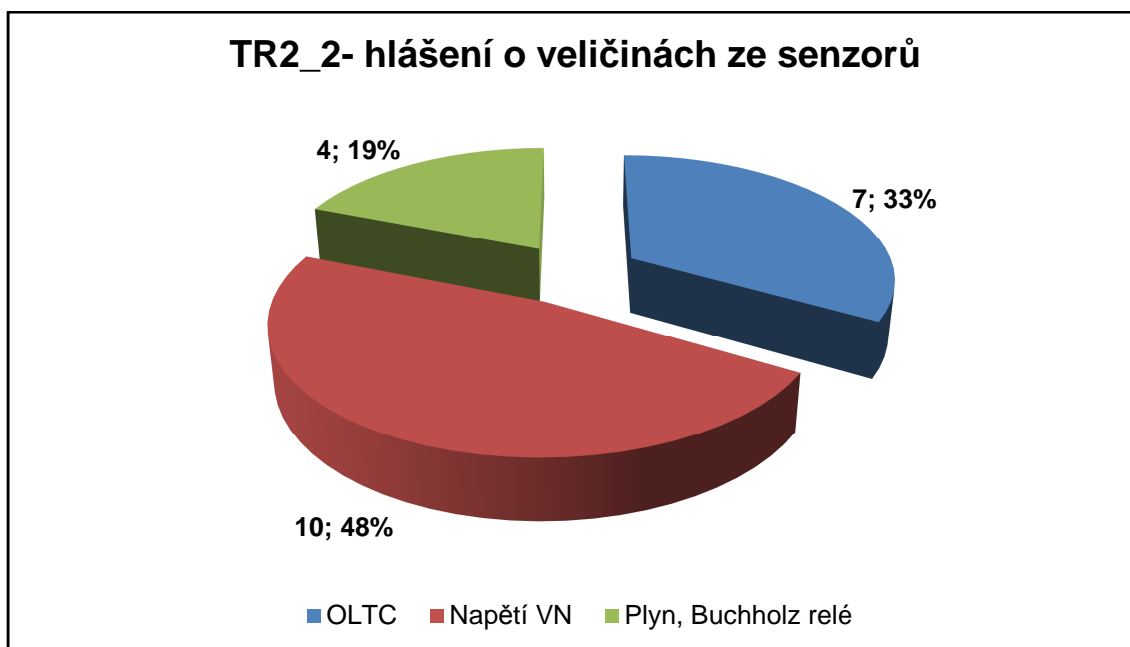
Transformátor TR2_2

U transformátoru TR2_2 bylo celkem generováno 283 hlášení, z nichž 21 o veličinách ze senzorů, 37 stavových a 225 vnitřních hlášení monitoringu. Ze stavových je vhodné zmínit hlášení "Součtová výstraha transformátoru" (22x) a "Stav přepínače", který se vyskytl 8x – zejména hláška typu "Doba přepnutí není v pořádku". Z vnitřních hlášení monitoringu se nejčastěji vyskytují hlášení "Stav

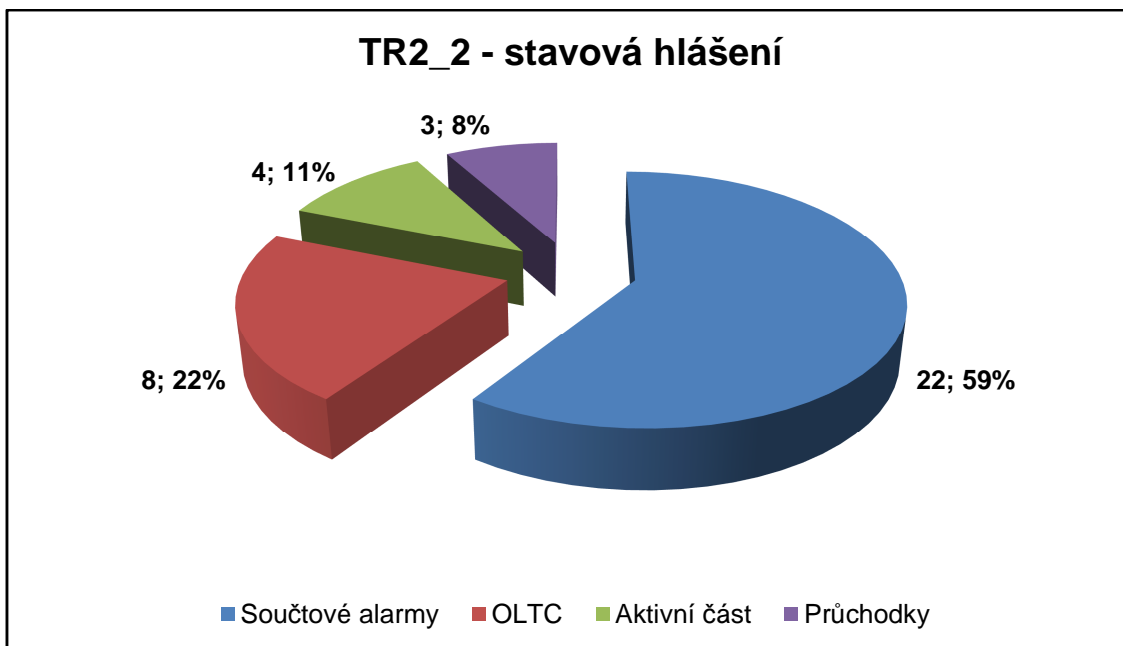
IEC104 slave driver" (107x), "Stav vazebního modulu profibusu" (54x) a "Volná paměť HDD [MByte]" (54x). Hlášení o veličinách ze senzorů se nevyskytovaly příliš často. Rozložení hlášení jednotlivých kategorií je vidět na obr. P4 - 5, 6, 7, 8.



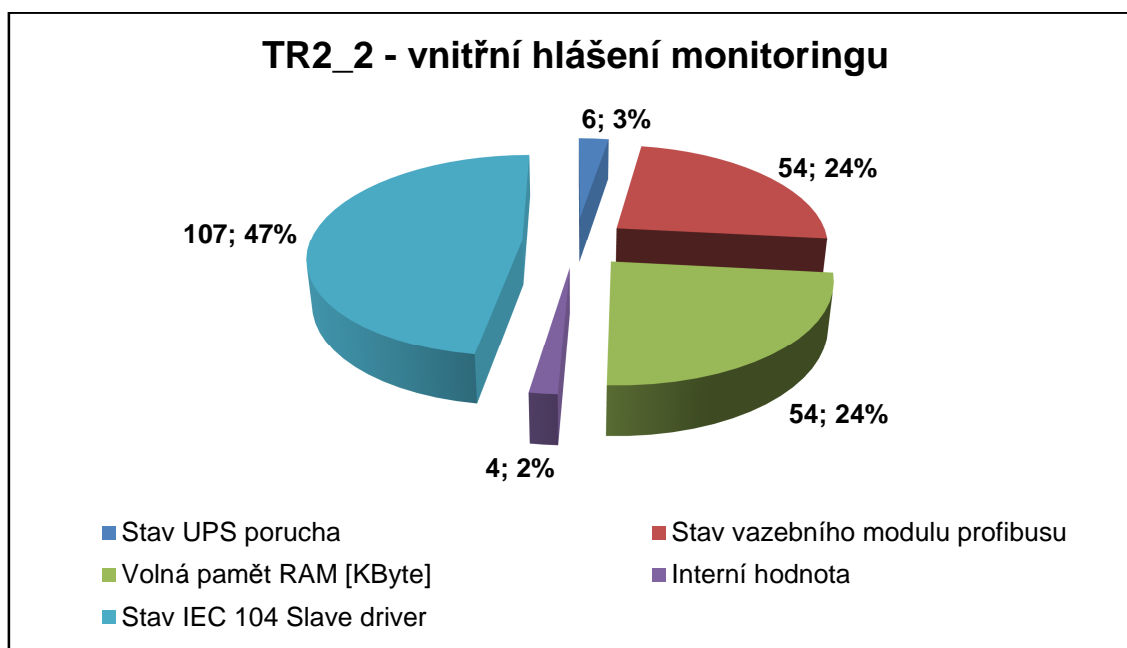
Obr. P4 - 5: Rozložení všech hlášení generovaných u TR2_2



Obr. P4 - 6: Rozložení hlášení o veličinách ze senzorů u TR2_2



Obr. P4 - 7: Rozložení stavových hlášení u TR2_2

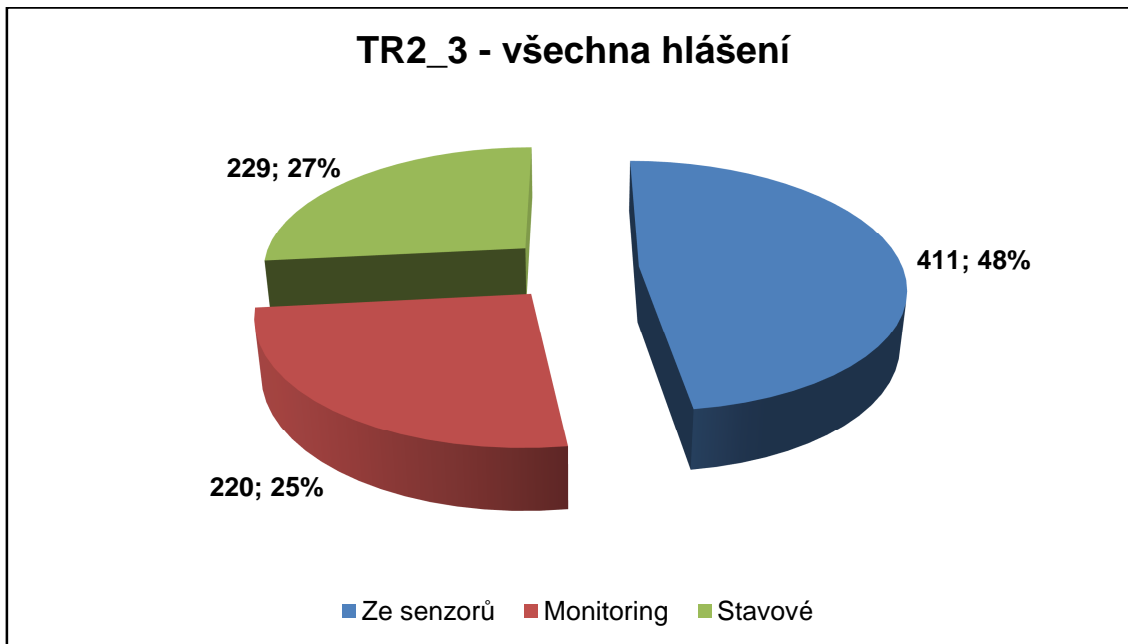


Obr. P4 - 8: Rozložení vnitřních hlášení monitoringu u TR2_2

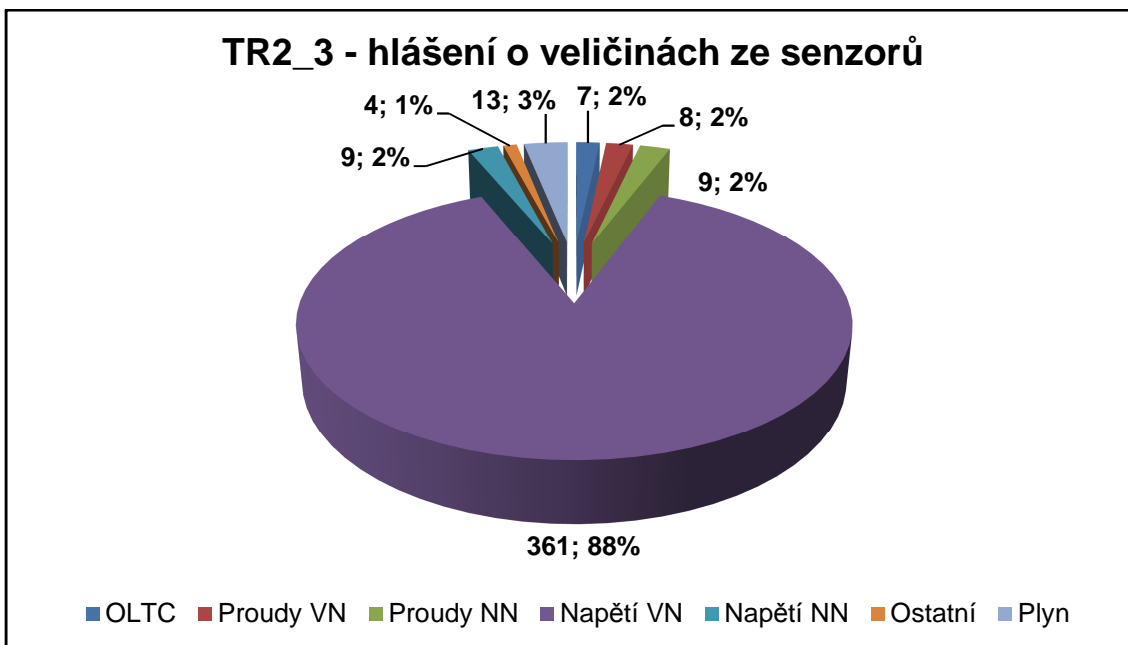
Transformátor TR2_3

U transformátoru TR2_3 bylo generováno celkem 860 hlášení, z nichž 27 % stavových, 25 % vnitřních a 48 % hlášení o veličinách od senzorů. Z vnitřních hlášení monitoringu byly nejčastější "Stav IEC104 slave driver" (136x), "Stav vazebního modulu profibusu" (68x). Ze stavových hlášení byl nejčastější "Součtový alarm transformátoru" v 64 % hlášení, a z 26 % se vyskytuje hlášení "Stav průchodek" –

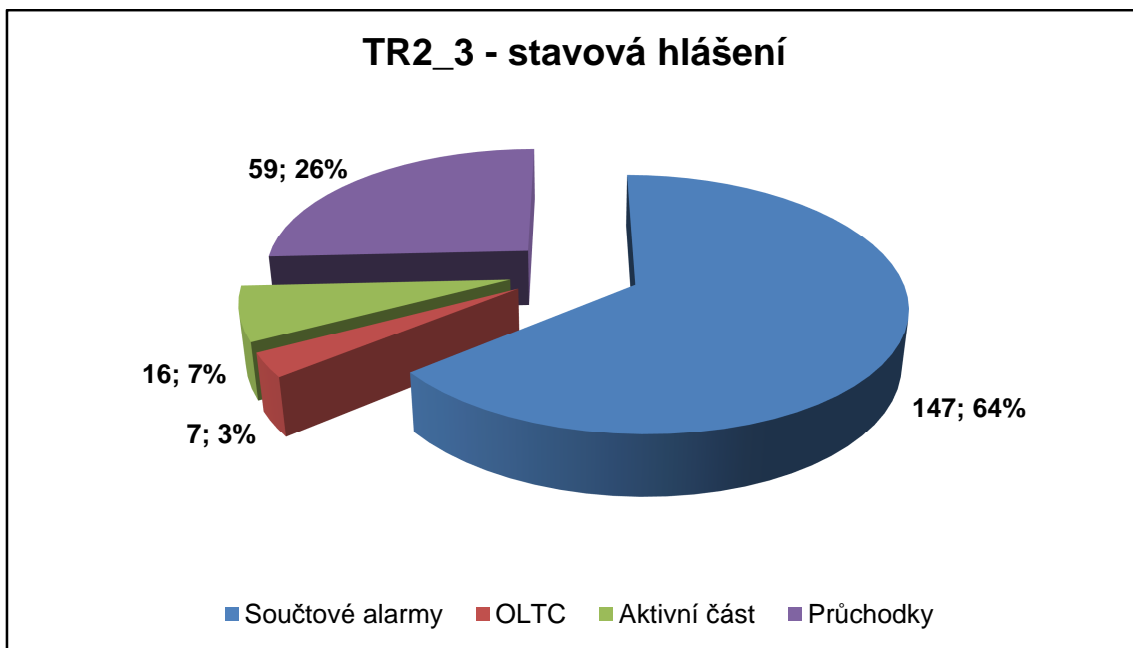
zejména hláška typu "Výstraha přepětí" – 47x. Hlášení o veličinách od senzorů jsou zastoupeny téměř z 90 % hlášení "Napětí VN" jednotlivých fází – 361x. Rozložení hlášení jednotlivých kategorií je vidět na obr. P4 - 9, 10, 11, a 12.



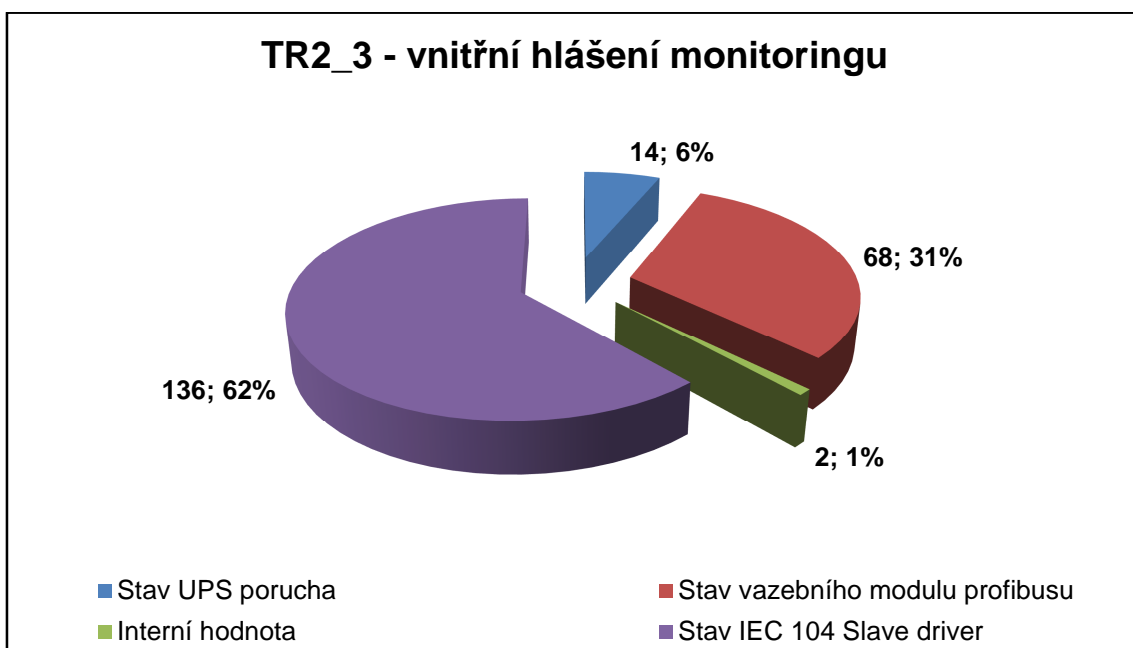
Obr. P4 - 9: Rozložení všech hlášení generovaných u TR2_3



Obr. P4 - 10: Rozložení hlášení o veličinách ze senzorů u TR2_3



Obr. P4 - 11: Rozložení stavových hlášení u TR2_3

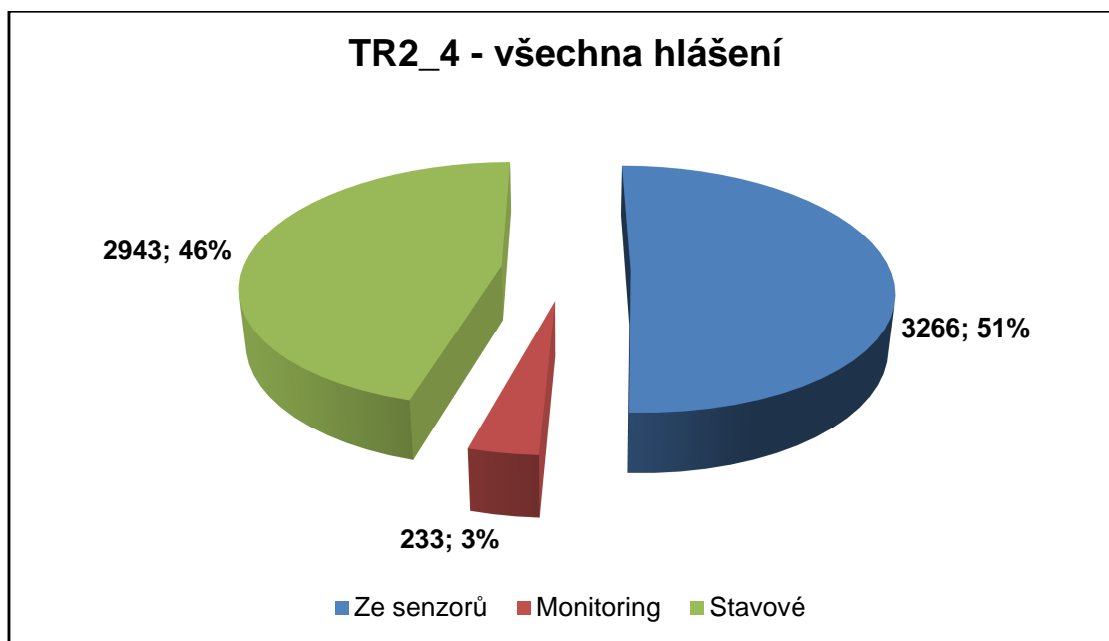


Obr. P4 - 12: Rozložení vnitřních hlášení monitoringu u TR2_3

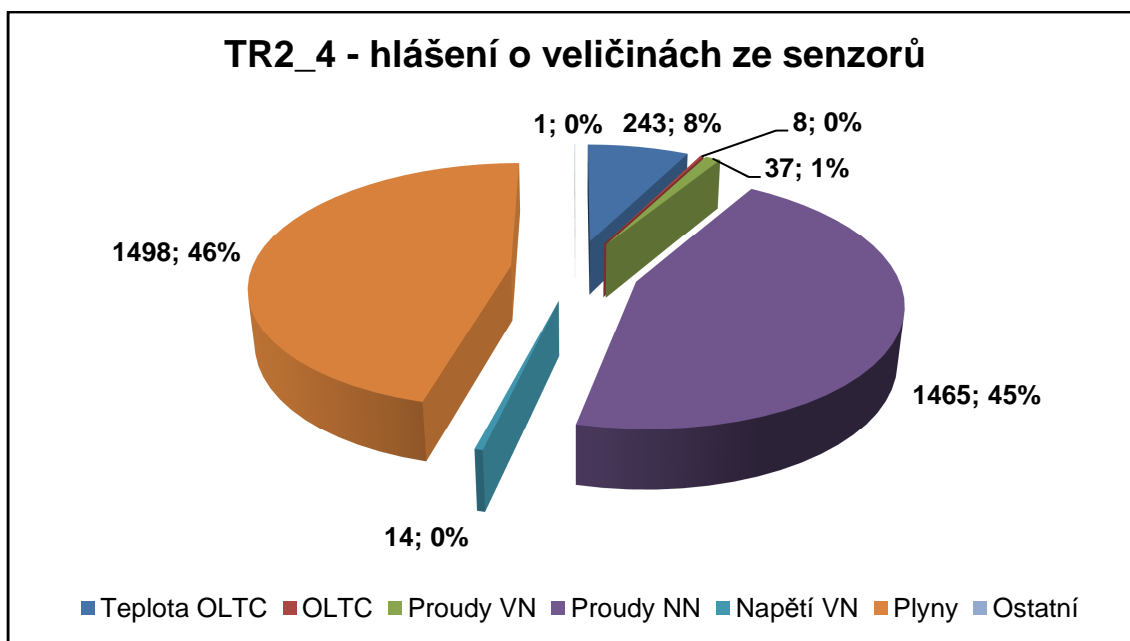
Transformátor TR2_4

Z celkového počtu 6442 hlášení generovaných během provozu transformátoru TR2_4 bylo 51 % hlášení o veličinách od senzorů, 46 % stavových a 3 % vnitřních hlášení monitoringu. Z vnitřních hlášení se nejčastěji vyskytovaly hlášení "Stav IEC104" (118x), "Stav vazebního modulu profibusu" (87x). Ze stavových hlášení byl nejvyšší výskyt hlášení "Součtová výstraha transformátoru" (1427x) a "Stav aktivní

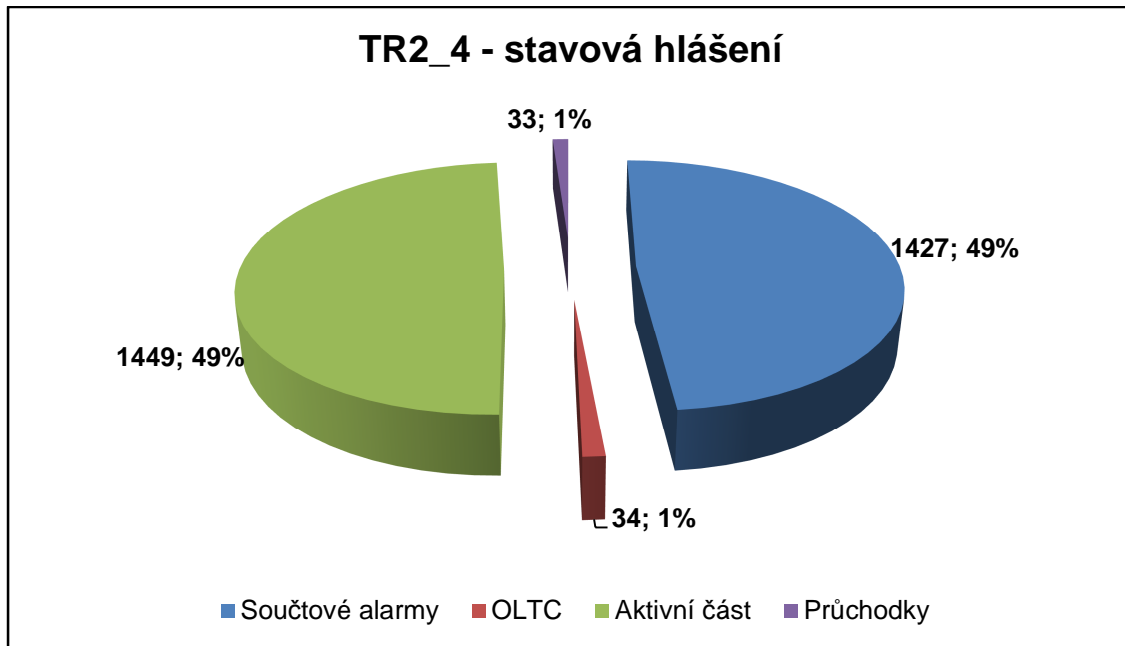
části" (49 % všech stavových), kde hláška typu "Výstraha plynové relé-obsah plynu" se objevila v 1392 případech. Celkem 243x bylo generováno hlášení "Teplota oleje OLTC" všech tří částí. Hlášení "Proud zatížení NN" všech fází bylo celkem generováno 1465x, a v 1455 případech bylo generováno hlášení "Množství plynu v plynovém relé". Ve 43 případech bylo generováno hlášení týkající se Hydranu – "Gradient plynu v oleji" a "Stav Hydranu". Rozložení hlášení jednotlivých kategorií je vidět na obr. P4 - 13, 14, 15 a 16.



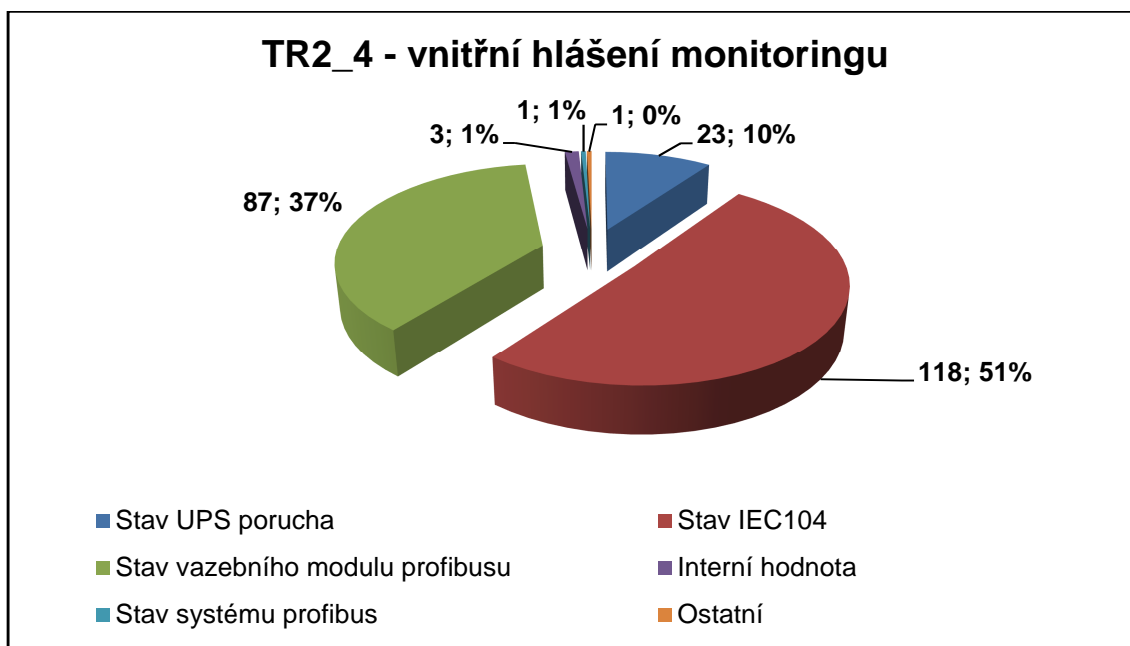
Obr. P4 - 13: Rozložení všech hlášení generovaných u TR2_4



Obr. P4 - 14: Rozložení hlášení o veličinách ze sensorů u TR2_4



Obr. P4 - 15: Rozložení stavových hlášení u TR2_4

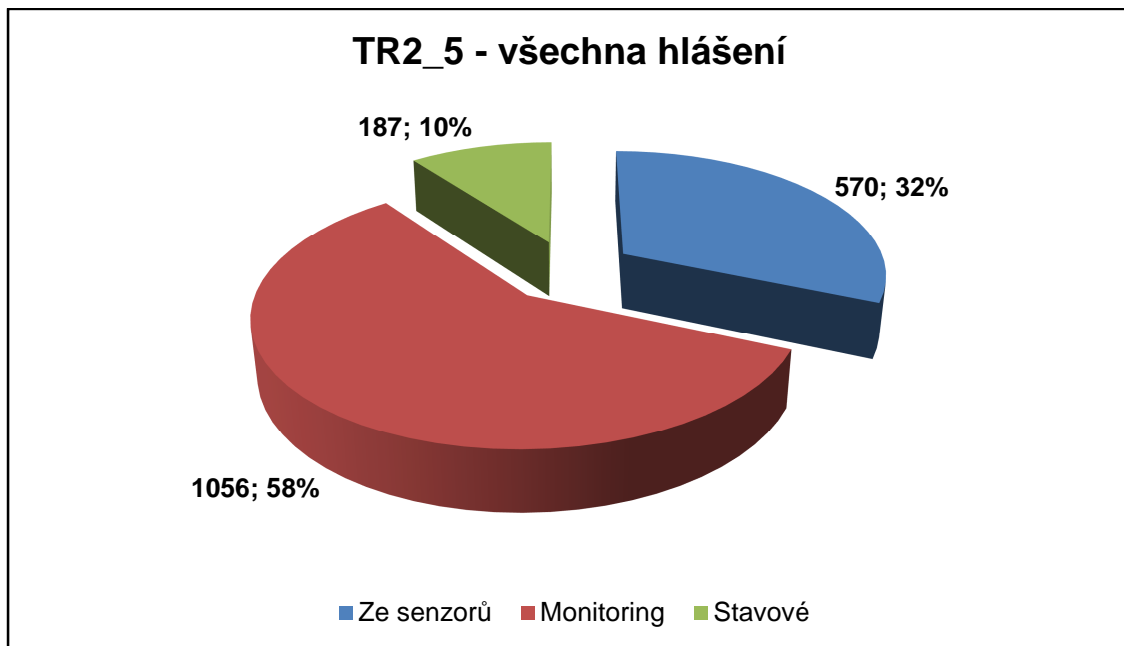


Obr. P4 - 16: Rozložení vnitřních hlášení monitoringu u TR2_4

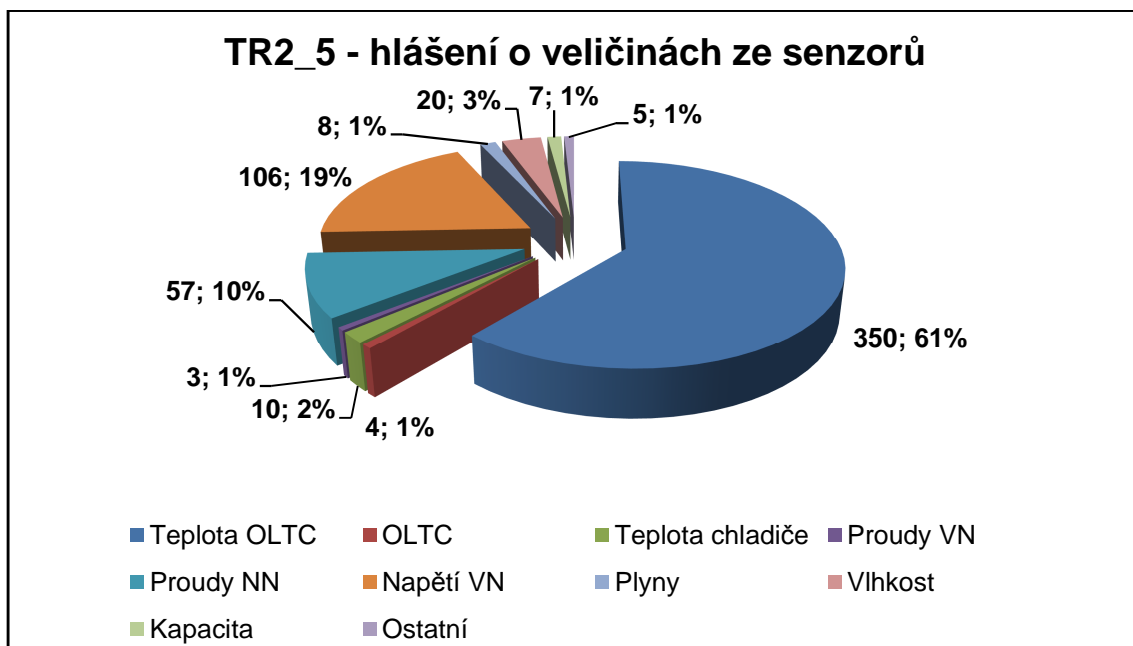
Transformátor TR2_5

V průběhu provozu transformátoru TR2_5 bylo celkem zaznamenáno 1813 hlášení, z nichž bylo 58 % vnitřních, 10 % stavových a 32 % hlášení o veličinách ze senzorů. Nejvíce vnitřních hlášení bylo opět generováno jako "Stav IEC104 slave driver" (780x), "Stav IEC104" (108x), "Stav systému profibus" (59x) a "Interní

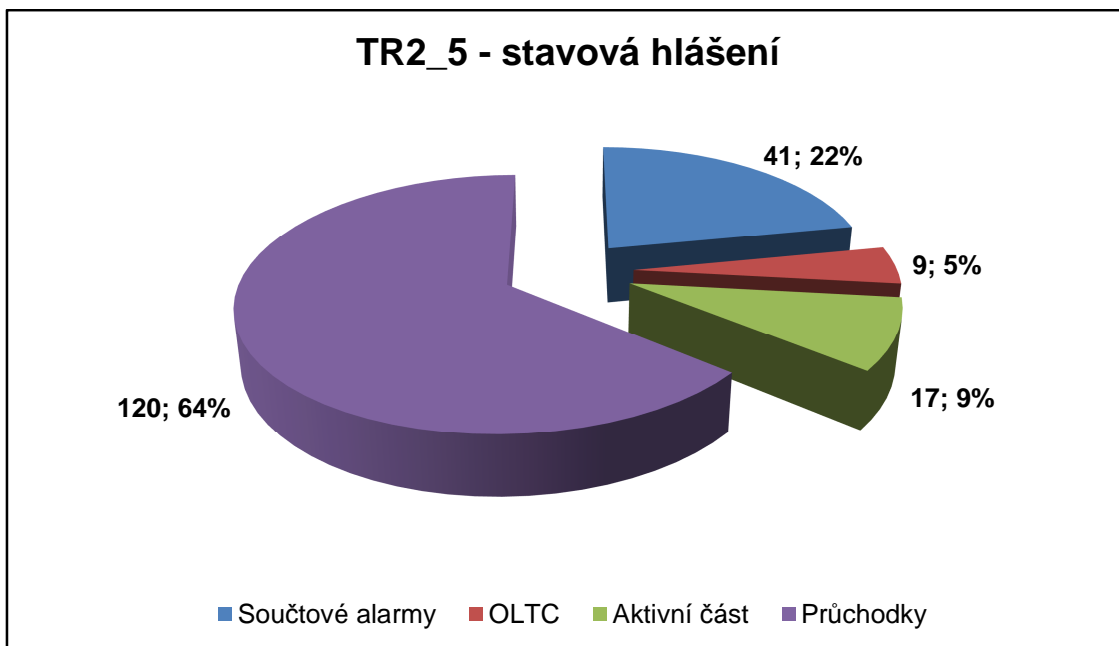
hodnota" (55x). Nejčastější stavové hlášení bylo "Stav průchodek" (64 %). Hodnoty teplot oleje OLTC byly překročeny v 61 % (350x) všech hlášení o veličinách ze senzorů. Hlášení "Napětí VN" všech fází bylo generováno v 19 % a "Proud zatížení NN fáze V" v 10 % všech hlášení o veličinách ze senzorů. Rozložení hlášení jednotlivých kategorií je vidět na obr. P4 - 17, 18, 19 a 20.



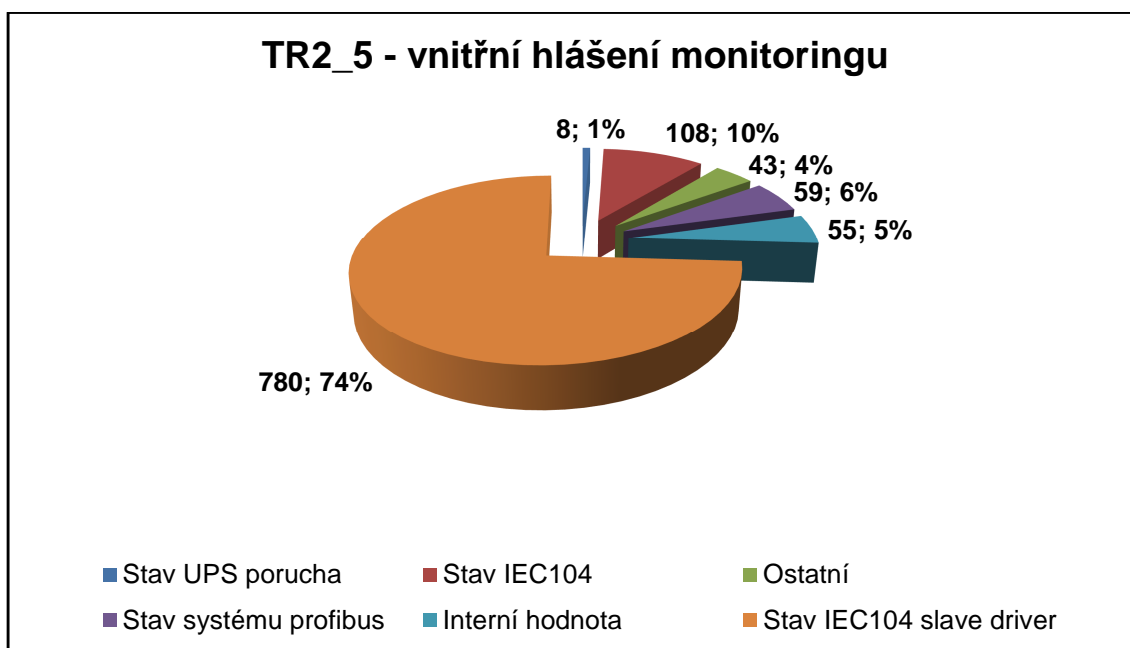
Obr. P4 - 17: Rozložení všech hlášení generovaných u TR2_5



Obr. P4 - 18: Rozložení hlášení o veličinách ze senzorů u TR2_5



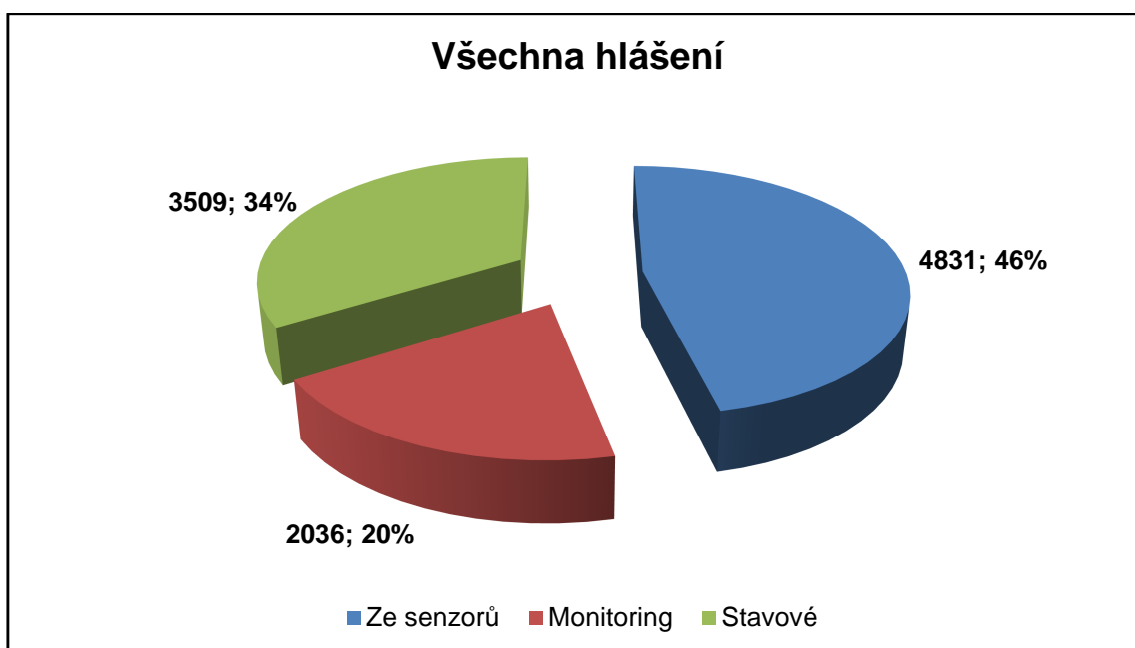
Obr. P4 - 19: Rozložení stavových hlášení u TR2_5



Obr. P4 - 20: Rozložení vnitřních hlášení monitoringu u TR2_5

Celkové zhodnocení hlášení generovaných monitorovacími systémy 2. generace MST2

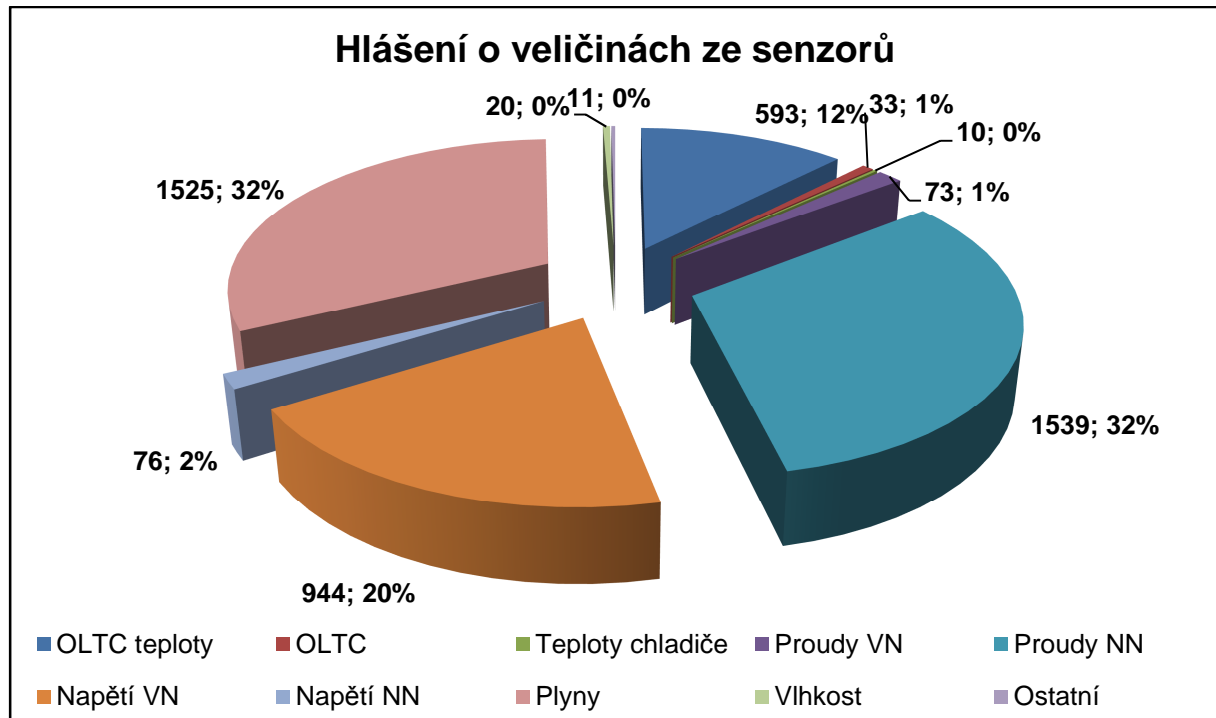
U všech pěti analyzovaných transformátorů se vyskytlo celkem 10 376 hlášení, z nichž 46 % (4831x) byla hlášení o veličinách ze senzorů, 34 % (3509x) stavových hlášení a 20 % (2036x) vnitřních hlášení monitoringu. Rozložení všech hlášení generovaných u všech pěti analyzovaných transformátorů je vidět na obr. P4 - 21.



Obr. P4 - 21: Rozložení všech hlášení generovaných u všech pěti analyzovaných transformátorů

Hlášení o veličinách ze senzorů

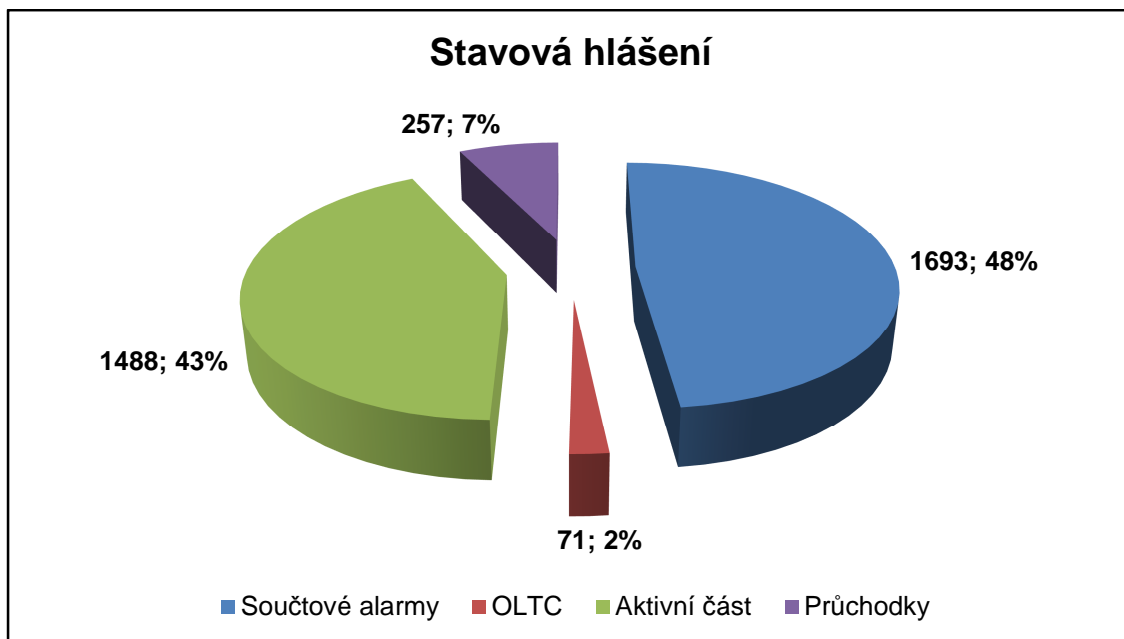
U tří transformátorů (TR2_1, TR2_3 a TR2_5) byl vysoký výskyt hlášení "Napětí VN" jednotlivých fází a jednalo se celkem přibližně o 20 % všech hlášení o veličinách ze senzorů. Ve dvou případech (TR2_4 a TR2_5) se často vyskytovalo hlášení "Teplota oleje OLTC" všech jeho tří částí (přibližně 12 % všech hlášení o veličinách ze senzorů). Přes 30 % všech hlášení o veličinách ze senzorů bylo způsobeno díky hlášení "Proud zatížení NN" všech fází, kdy většina byla generována u transformátoru TR2_4 (1500x). Taktéž přes 30 % všech hlášení o veličinách ze senzorů bylo generováno jako "Množství plynu v plynovém relé", a to opět u transformátoru TR2_4 (1455x). Rozložení všech hlášení o veličinách ze senzorů je vidět na obr. P4 - 22.



Obr. P4 - 22: Rozložení hlášení o veličinách ze senzorů generovaných u všech pěti analyzovaných transformátorů

Stavová hlášení

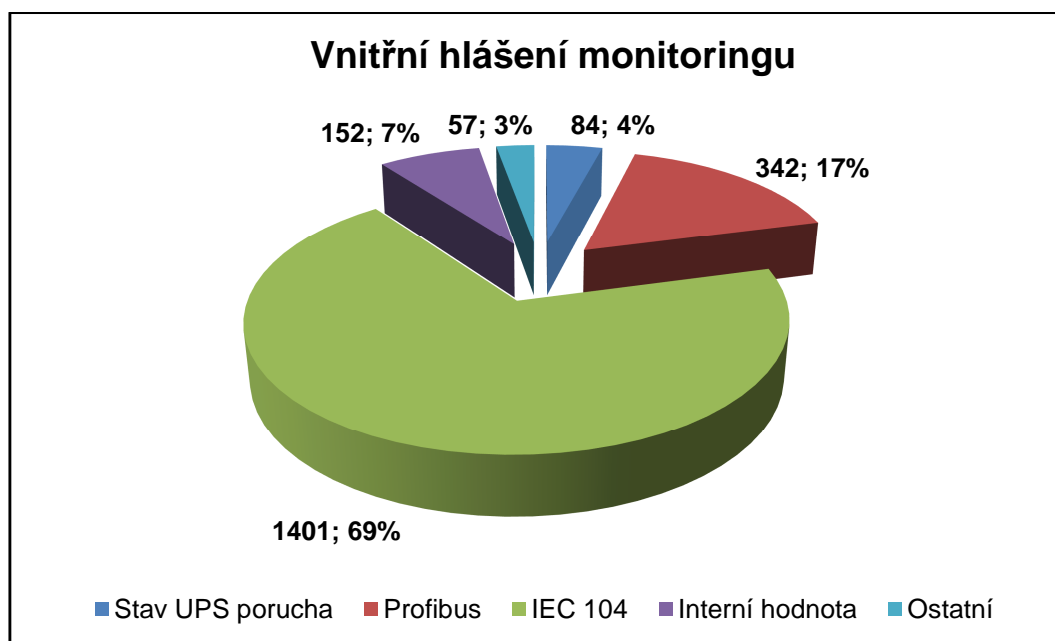
Celkem se u všech analyzovaných transformátorů objevilo nejčastěji stavové hlášení "Součtový alarm transformátoru", které je generováno, pokud se něco s transformátorem děje. Hlášení "Stav aktivního dílu" se objevovalo zejména u transformátoru TR2_4 a celkem se objevilo ve 48 % všech stavových hlášení, a to zejména díky hlášece "Výstraha plynové relé-obsah plynu", která se objevila v 1392 případech. U transformátoru TR2_5 se často objevovalo stavové hlášení "Stav průchodek", které se celkem vyskytovalo v 7 % všech stavových hlášení. Rozložení všech stavových hlášení je vidět na obr. P4 - 23.



Obr. P4 - 23: Rozložení stavových hlášení generovaných u všech pěti analyzovaných transformátorů

Vnitřní hlášení monitoringu

U všech transformátorů se nejčastěji vyskytuje hlášení "Stav IEC104 slave driver" (70 %). U téměř všech transformátorů se pak objevuje velice často hlášení typu "Stav vazebního modulu profibusu" (17 %). Rozložení všech vnitřních hlášení monitoringu je vidět na obr. P4 - 24.



Obr. P4 - 24: Rozložení vnitřních hlášení monitoringu generovaných u všech pěti analyzovaných transformátorů

Monitorovací systém 2. generace MST2 je nasazen na 5 třífázových transformátorech. U uvedených 5 transformátorů patřilo mezi nejčastěji generovaná vnitřní hlášení monitoringu "**Stav IEC104 slave ovladač**". Nejčastější stavová hlášení byla "Součtový alarm transformátoru" a "**Stav aktivní části**". U hlášení o veličinách ze senzorů bude nutné zjistit příčiny častého výskytu hlášení typu "**Napětí VN**" jednotlivých fází a "**Teplot oleje OLTC**" všech jeho tří částí. V případě transformátoru TR2_4 pak bude důležité zjistit velkou frekvenci výskytu hlášení "**Proud zatížení NN**" všech fází a "**Množství plynu v plynovém relé**".

Příloha 5

Analýza mezí generování jednotlivých hlášení monitorovacími systémy 2. generace (MST2) nasazených na transformátorech přenosové soustavy

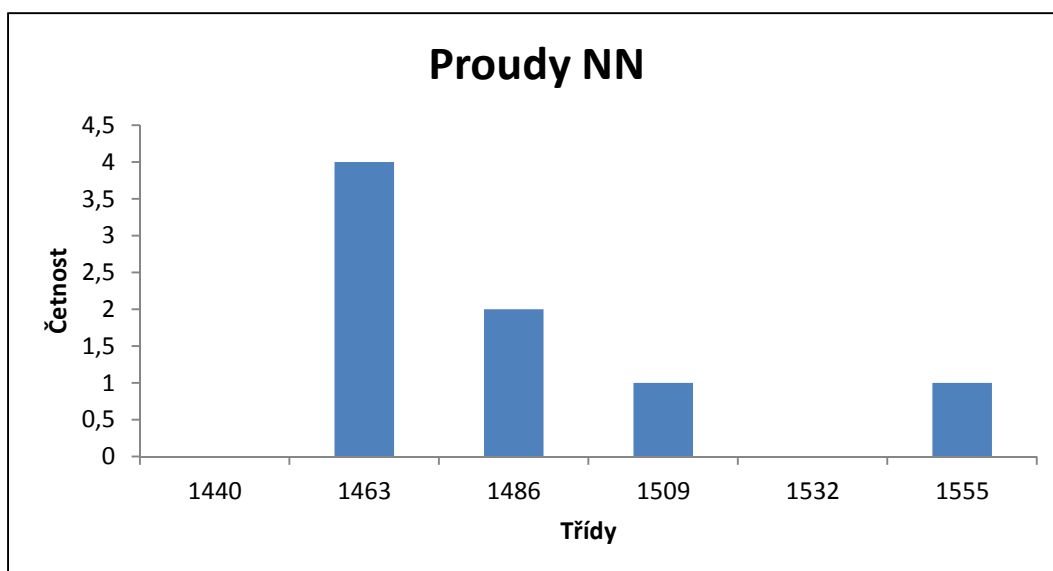
Monitorovací systémy 2. generace (MST2) jsou nasazeny na 5 transformátorech přenosové soustavy, které z důvodu nezávislosti a komerční zdrženlivosti označím jako transformátory TR2_1, TR2_2, TR2_3, TR2_4 a TR2_5, a u nichž byla provedena analýza mezí (limitů) generování jednotlivých hlášení (překročení mezí) za jejich jednoroční provoz.

Transformátor TR2_1

Mezi nejčastěji překročené meze veličin (tedy hlášení ve formě alarmů a varování) patřily meze u veličin „Doba přepnutí OLTC“, „Proudy zatížení vyššího napětí – VN“ (400 kV), „Proudy zatížení nižšího napětí – NN“ (121 kV), „Vyšší napětí VN“ a „Nižší napětí NN“. Jejich popisná statistika je uvedena v tab. P5 - 1, 2, 3, 4 a 5 a histogramy jsou vidět na obr. P5 - 1, 2, 3 a 4.

Tab. P5 - 1: Popisná statistika - Proudy zatížení NN – TR2_1

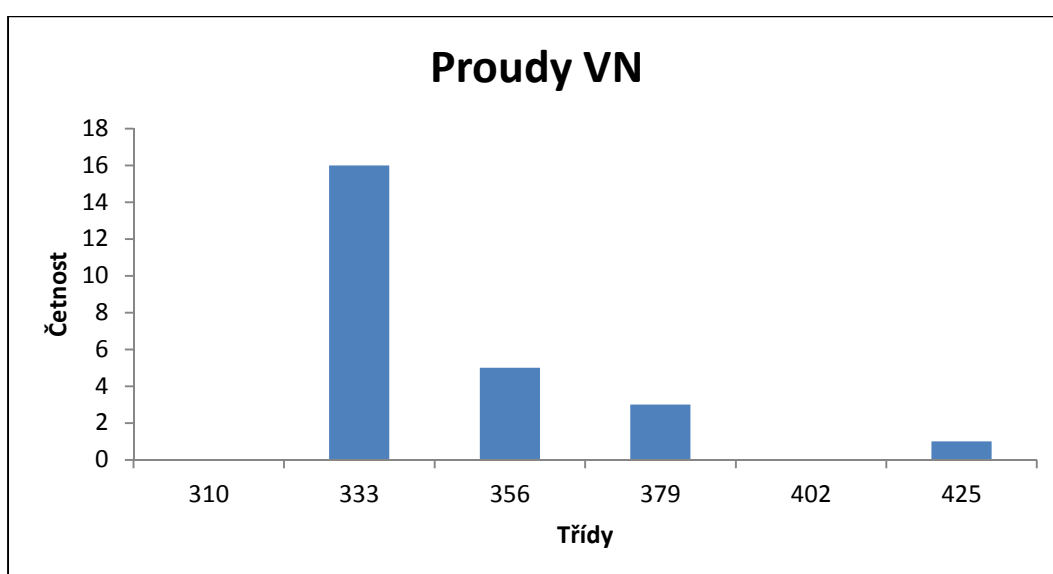
Veličina	Proudy zatížení NN
Jmen. hodnota - nejvyšší odbočka	1065 A
Jmen. hodnota - nejnižší odbočka	1355 A
Limit - Varování	1400 A
Limit - Alarm	1450 A
Počet překročení	8
Střední hodnota	1475,6 A
Směr. odchylka	35,6 A
Variační koeficient	2,4%
Maximum	1553,5 A
Minimum	1440 A



Obr. P5 - 1: Histogram - Proudy zatížení NN - TR2_1

Tab. P5 - 2: Popisná statistika - Proudy zatížení VN - TR2_1

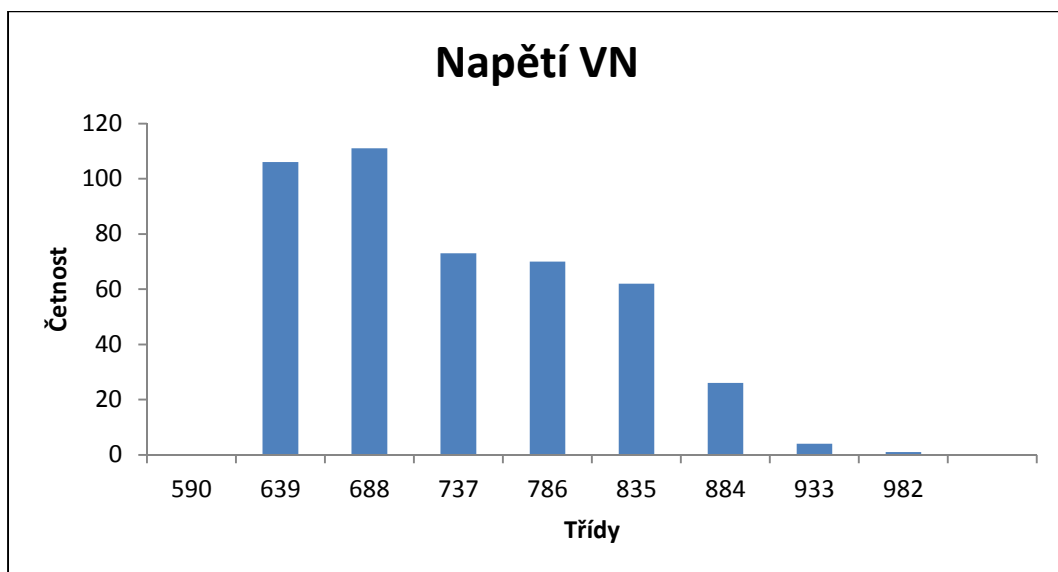
Veličina	Proudy zatížení VN
Jmen. hodnota	360 A
Limit - Varování	310 A
Limit - Alarm	350 A
Počet překročení	25
Střední hodnota	331,5 A
Směr. odchylka	26,6 A
Variační koeficient	8,0%
Maximum	422,6 A
Minimum	310,7 A



Obr. P5 - 2: Histogram - Proudy zatížení VN - TR2_1

Tab. P5 - 3: Popisná statistika - Napětí VN - TR2_1

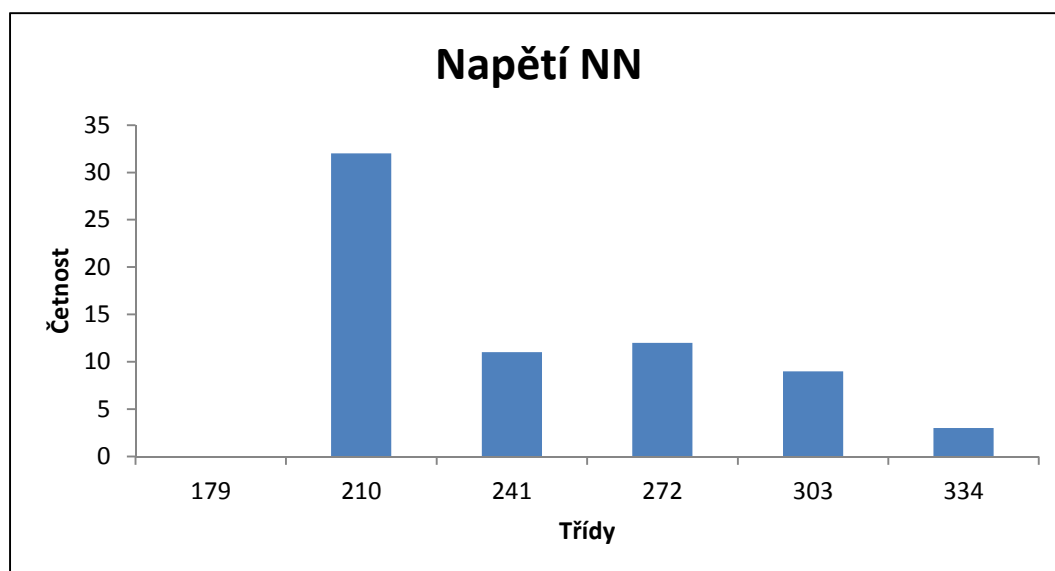
Veličina	Napětí VN
Jmen. hodnota	400 kV
Limit - Varování	600 kV
Limit - Alarm	700 kV
Počet překročení	453
Střední hodnota	709 kV
Směr. odchylka	79,1 kV
Variační koeficient	11,1%
Maximum	980,5 kV
Minimum	590,4 kV



Obr. P5 - 3: Histogram - Napětí VN - TR2_1

Tab. P5 - 4: Popisná statistika - Napětí NN - TR2_1

Veličina	Napětí NN
Jmen. hodnota - nejvyšší odbočka	135,5 kV
Jmen. hodnota - nejnižší odbočka	106,5 kV
Limit - Varování	184 kV
Limit - Alarm	215 kV
Počet překročení	67
Střední hodnota	229,4 kV
Směr. odchylka	39,6 kV
Variační koeficient	17,2%
Maximum	330,2 kV
Minimum	179,4 kV



Obr. P5 - 4: Histogram - Napětí NN - TR2_1

Tab. P5 - 5: Popisná statistika - Doba přepnutí OLTC - TR2_1

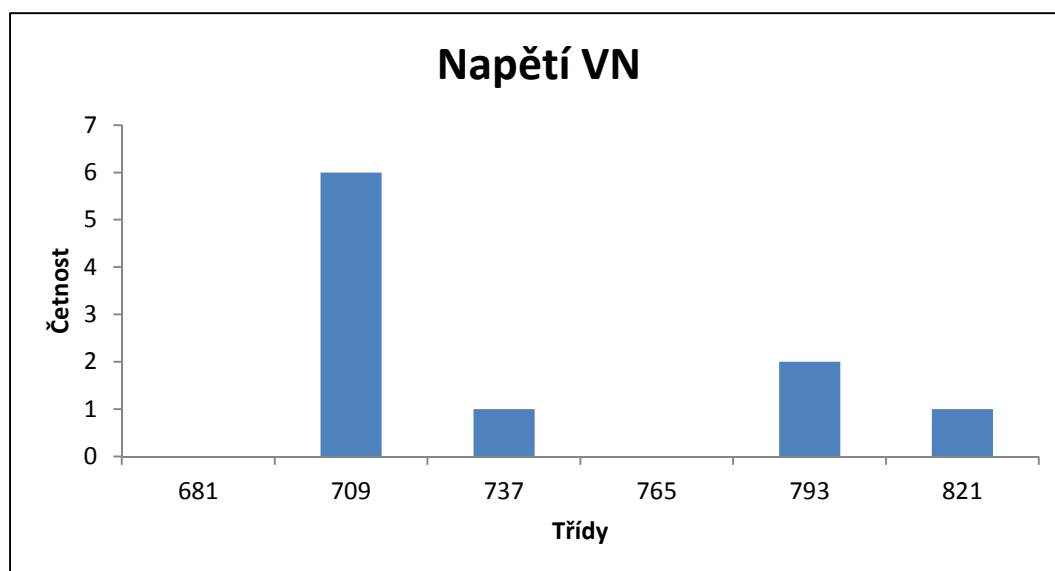
Veličina	Doba přepnutí
Limit - Alarm	8,5 s
Počet překročení	6
Střední hodnota	10,26 s
Směr. odchylka	0,02 s
Variační koeficient	0,18%
Maximum	10,29 s
Minimum	10,24 s

Transformátor TR2_2

Nejčastěji překročené meze veličin se objevily u veličiny „Vyšší napětí VN“, jejíž popisná statistika je uvedena v tab. P5 - 6 a histogram na obr. P5 - 5.

Tab. P5 - 6: Popisná statistika - Napětí VN – TR2_2

Veličina	Napětí VN
Jmen. hodnota	400 kV
Limit - Varování	600 kV
Limit - Alarm	700 kV
Počet překročení	10
Střední hodnota	721,9 kV
Směr. odchylka	49,7 kV
Variační koeficient	6,9%
Maximum	821 kV
Minimum	681,2 kV



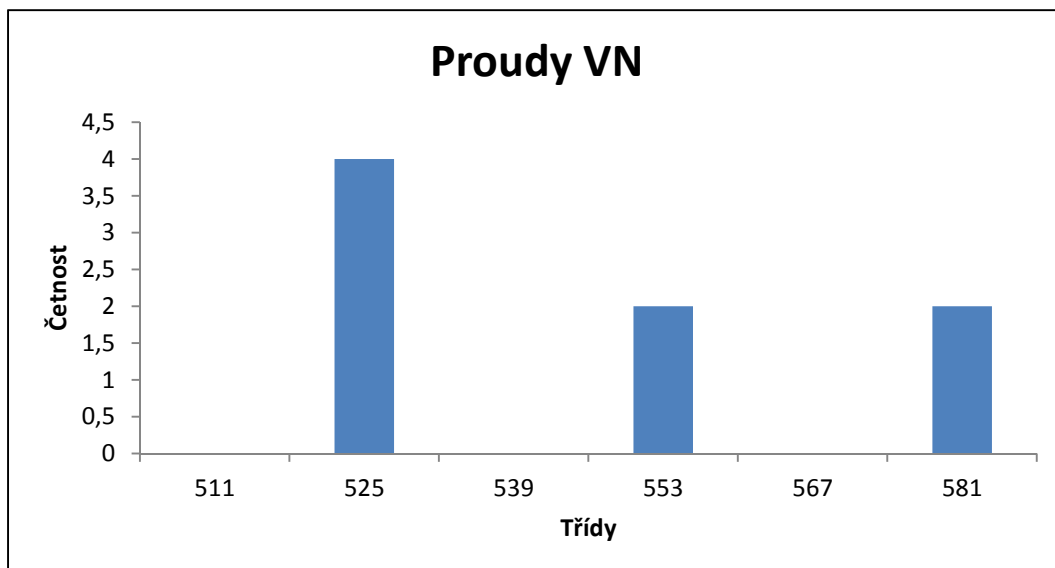
Obr. P5 - 5: Histogram - Napětí VN - TR2_2

Transformátor TR2_3

Nejčastěji překročené meze veličin se objevily u veličin „Proudy zatížení vyššího napětí – VN“ (400 kV), „Proudy zatížení nižšího napětí – NN“ (121 kV), „Vyšší napětí VN“ a „Nižší napětí NN“. Jejich popisná statistika je uvedena v tab. P5 - 7, 8, 9, 10 a histogramy jsou vidět na obr. P5 - 6, 7, 8, 9.

Tab. P5 - 7: Popisná statistika - Proudy zatížení VN - TR2_3

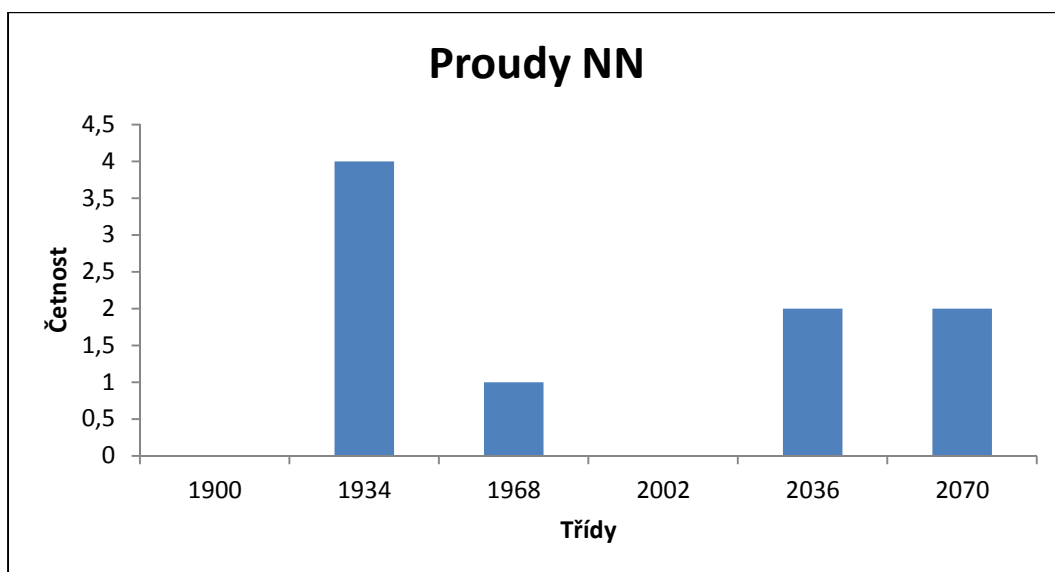
Veličina	Proudy zatížení VN
Jmen. hodnota	505,2 A
Limit - Varování	510 A
Limit - Alarm	550 A
Počet překročení	8
Střední hodnota	538,9 A
Směr. odchylka	27,2 A
Variační koeficient	5,0%
Maximum	577,5 A
Minimum	512 A



Obr. P5 - 6: Histogram - Proudy zatížení VN - TR2_3

Tab. P5 - 8: Popisná statistika - Proudy zatížení NN - TR2_3

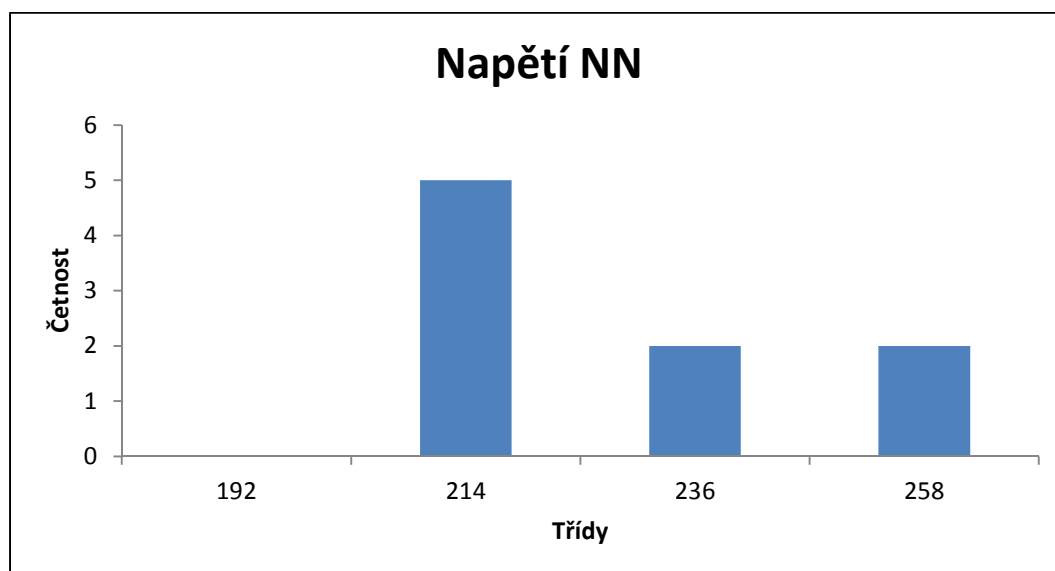
Veličina	Proudy zatížení NN
Jmen. hodnota - nejvyšší odbočka	1491,1 A
Jmen. hodnota - nejnižší odbočka	1897,8 A
Limit - Varování	1900 A
Limit - Alarm	2000 A
Počet překročení	9
Střední hodnota	1973,4 A
Směr. odchylka	69,1 A
Variační koeficient	3,5%
Maximum	2066 A
Minimum	1900,8 A



Obr. P5 - 7: Histogram - Proudy zatížení NN - TR2_3

Tab. P5 - 9: Popisná statistika - Napětí NN - TR2_3

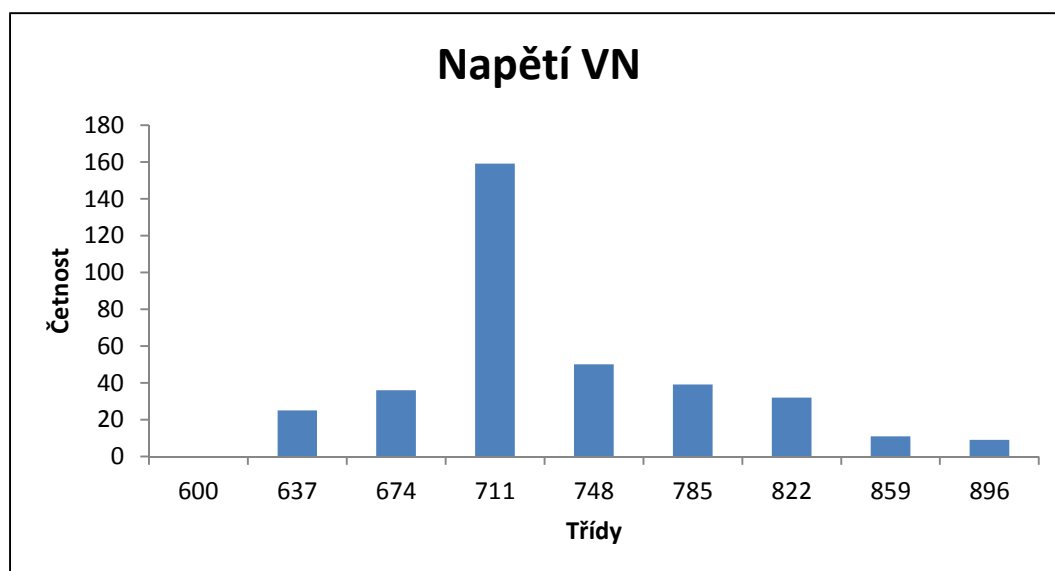
Veličina	Napětí NN.
Jmen. hodnota - nejvyšší odbočka	135,5 kV
Jmen. hodnota - nejnižší odbočka	106,5 kV
Limit - Varování	184 kV
Limit - Alarm	215 kV
Počet překročení	9
Střední hodnota	218,1 kV
Směr. odchylka	21 kV
Variační koeficient	9,6%
Maximum	256,6 kV
Minimum	192,9 kV



Obr. P5 - 8: Histogram - Napětí NN - TR2_3

Tab. P5 - 10: Popisná statistika - Napětí VN - TR2_3

Veličina	Napětí VN
Jmen. hodnota	400 kV
Limit - Varování	600 kV
Limit - Alarm	700 kV
Počet překročení	361
Střední hodnota	713,1 kV
Směr. odchylka	58,9 kV
Variační koeficient	8,3%
Maximum	895,9 kV
Minimum	600,1 kV



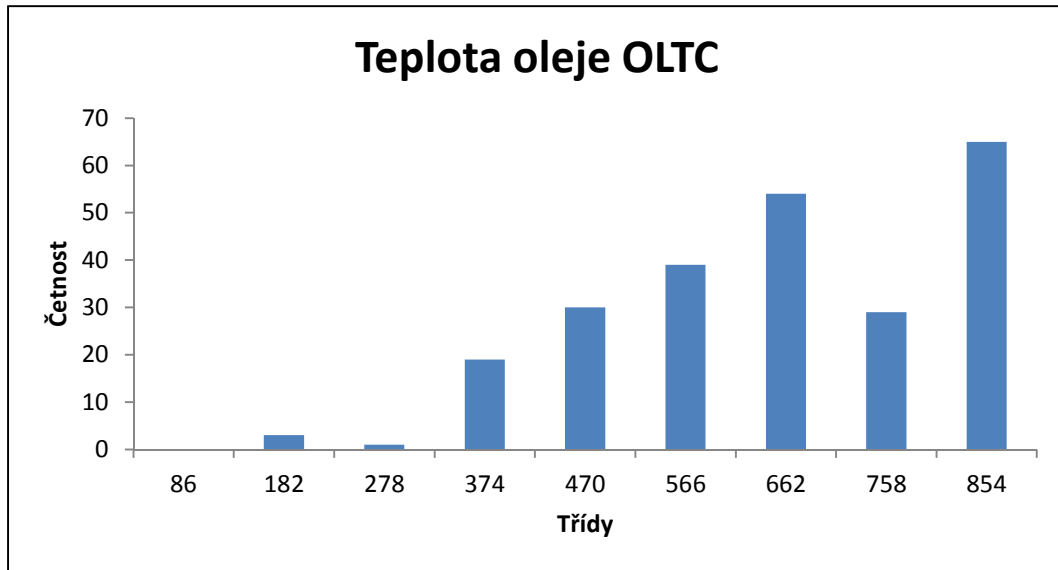
Obr. P5 - 9: Histogram - Napětí VN - TR2_3

Transformátor TR2_4

Nejčastěji překročené meze veličin se objevily u veličin „Proudy zatížení vyššího napětí – VN“ (400 kV), „Proudy zatížení nižšího napětí – NN“ (121 kV), „Vyšší napětí VN“, „Teplota oleje v OLTC“, „Množství plynu v plynovém relé – BR“ a „Plyny v oleji - gradient (24h interval)“. Jejich popisná statistika je uvedena v tab. P5 - 11, 12, 13, 14, 15, 16 a histogramy jsou vidět na obr. P5 - 10, 11, 12, 13, 14, 15.

Tab. P5 - 11: Popisná statistika - Teplota oleje OLTC - TR2_4

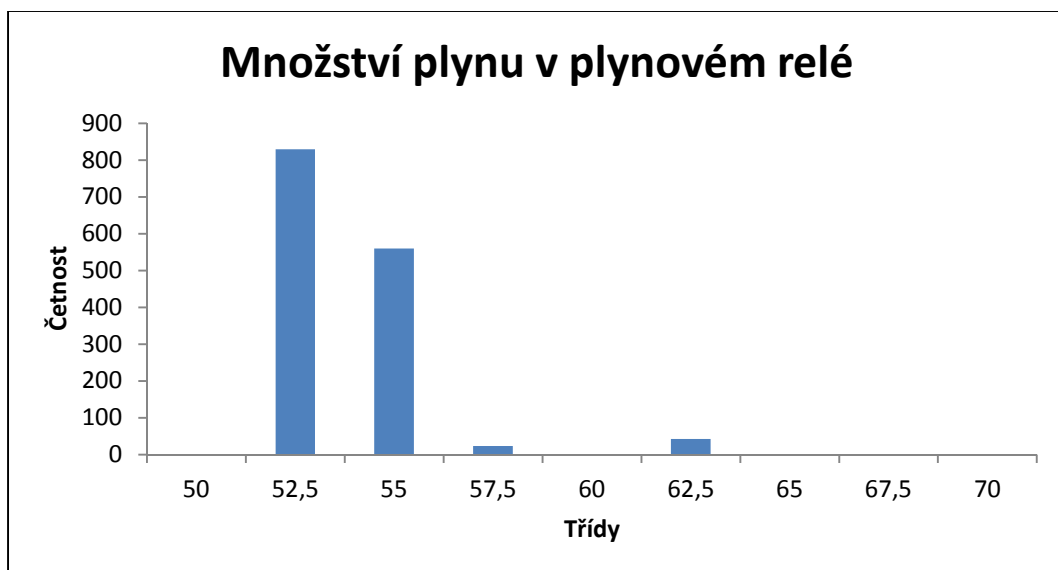
Veličina	Teplota oleje OLTC
Limit - Alarm	80 °C
Počet překročení	240
Střední hodnota	609,7 °C
Směr. odchylka	176,7 °C
Variační koeficient	29,00%
Maximum	86,2 °C
Minimum	850 °C



Obr. P5 - 10: Histogram - Teplota oleje OLTC - TR2_4

Tab. P5 - 12: Popisná statistika - Množství plynu v plynovém relé - TR2_4

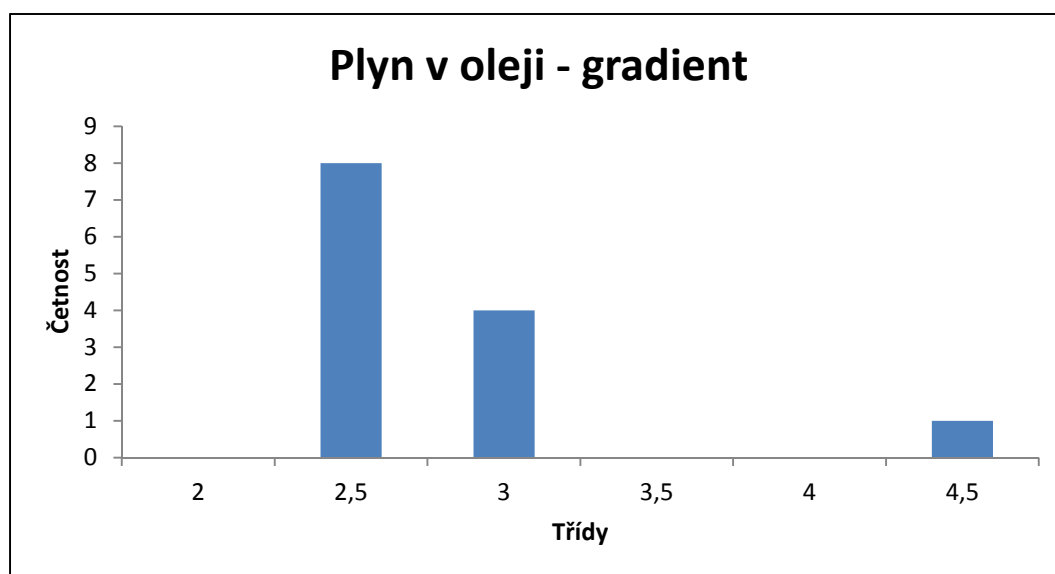
Veličina	Množství plynu v plynovém relé
Limit - Varování	50 ml
Limit - Alarm	60 ml
Počet překročení	1455
Střední hodnota	52,4 ml
Směr. odchylka	1,9 ml
Variační koeficient	3,60%
Maximum	69 ml
Minimum	50,1 ml



Obr. P5 - 11: Histogram - Množství plynu v plynovém relé - TR2_4

Tab. P5 - 13: Popisná statistika - Plyn v oleji - gradient (24h - interval) - TR2_4

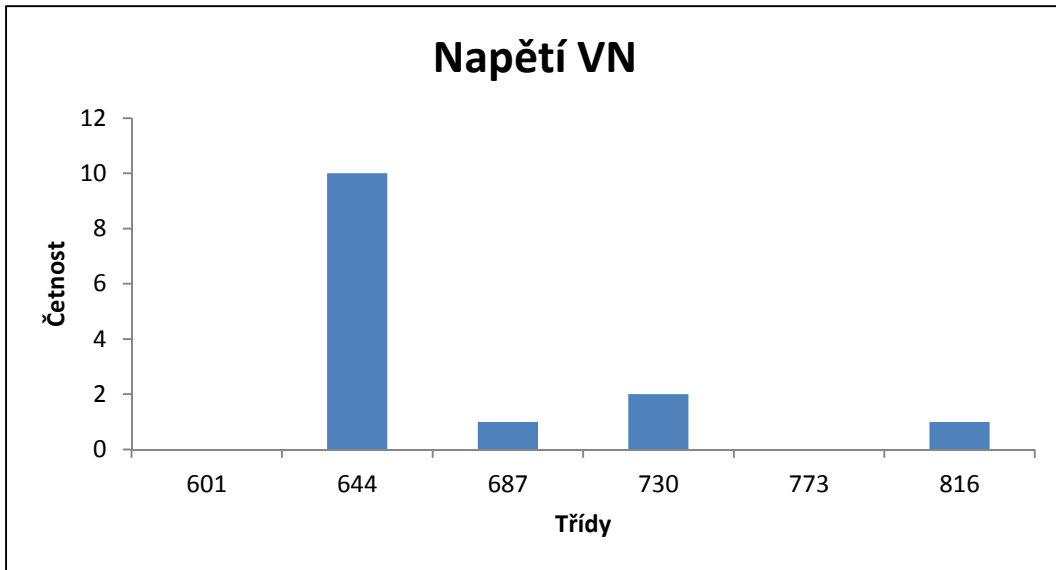
Veličina	Plyn v oleji - gradient (24h-Interval)
Limit - Varování	2 ppm/h
Limit - Alarm	4 ppm/h
Počet překročení	13
Střední hodnota	2,66 ppm/h
Směr. odchylka	0,6 ppm/h
Variační koeficient	23,20%
Maximum	4,6 ppm/h
Minimum	2,2 ppm/h



Obr. P5 - 12: Histogram - Plyn v oleji - gradient (24h - interval) - TR2_4

Tab. P5 - 14: Popisná statistika - Napětí VN - TR2_4

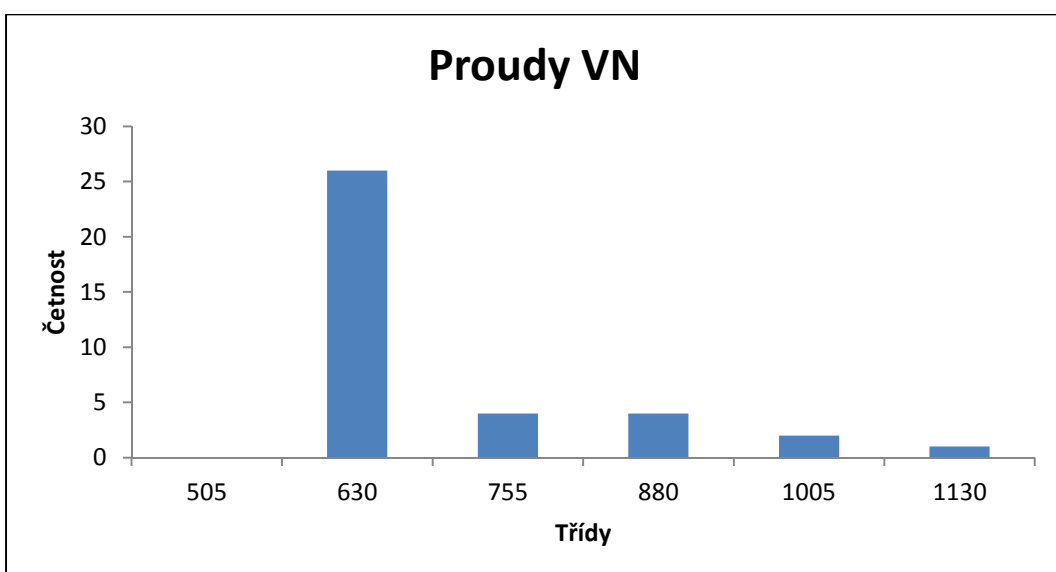
Veličina	Napětí VN
Jmen. hodnota	400 kV
Limit - Varování	600 kV
Limit - Alarm	700 kV
Počet překročení	14
Střední hodnota	648,2 kV
Směr. odchylka	56,2 kV
Variační koeficient	8,7%
Maximum	815 kV
Minimum	601,2 kV



Obr. P5 - 13: Histogram - Napětí VN - TR2_4

Tab. P5 - 15: Popisná statistika - Proudové zatížení VN - TR2_4

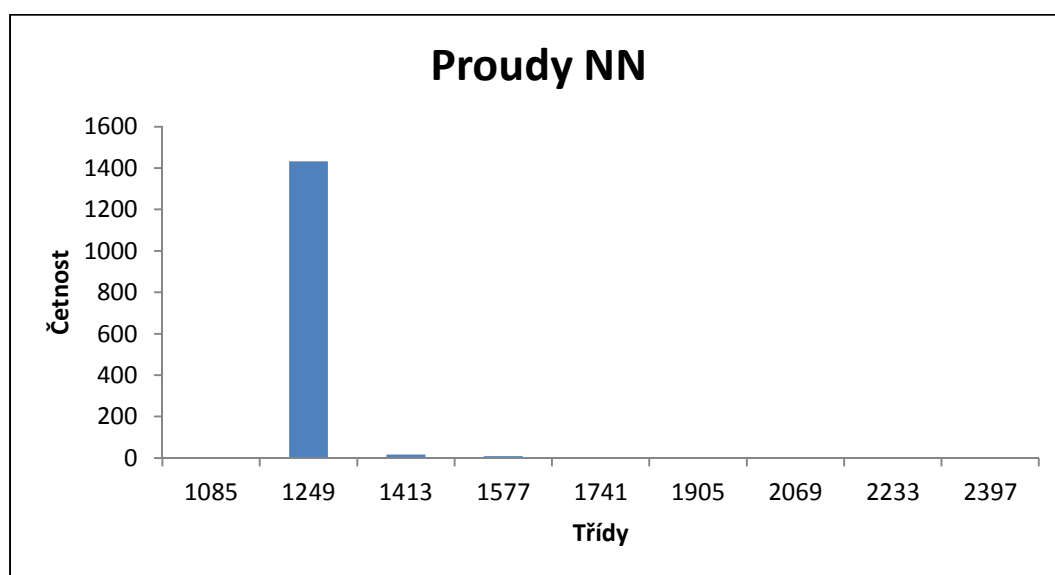
Veličina	Proudové zatížení VN
Jmen. hodnota	505,2 A
Limit - Varování	510 A
Limit - Alarm	550 A
Počet překročení	37
Střední hodnota	620,9 A
Směr. odchylka	145,7 A
Variační koeficient	23,4%
Maximum	1129 A
Minimum	505,8 A



Obr. P5 - 14: Histogram - Proudové zatížení VN - TR2_4

Tab. P5 - 16: Popisná statistika - Proudý zatížení NN - TR2_4

Veličina	Proudý zatížení NN
Jmen. hodnota - nejvyšší odbočka	1491,1 A
Jmen. hodnota - nejnižší odbočka	1897,8 A
Limit - Varování	1090 A
Limit - Alarm	1150 A
Počet překročení	1465
Střední hodnota	1103,4 A
Směr. odchylka	68,6 A
Variační koeficient	6,2%
Maximum	2394,3 A
Minimum	1085,4 A



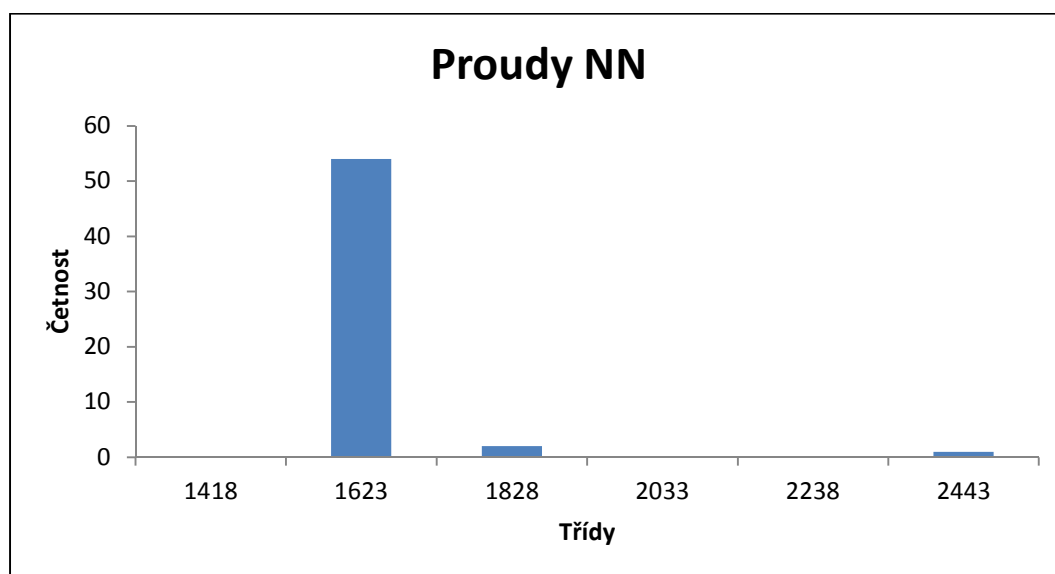
Obr. P5 - 15: Histogram - Proudý zatížení NN - TR2_4

Transformátor TR2_5

Nejčastěji překročené meze veličin se objevily u veličin „Proudý zatížení nižšího napětí – NN“ (121 kV), „Vyšší napětí VN“, „Voda v oleji OLTC2“, „Rozdíl teplot oleje OLTC-nádoba“ a „Rozdíl teplot In-Out chladiče“. Jejich popisná statistika je uvedena v tab. P5 - 17, 18, 19, 20, 21 a histogramy jsou vidět na obr. P5 - 16, 17, 18, 19, 20.

Tab. P5 - 17: Popisná statistika - Proudý zatížení NN - TR2_5

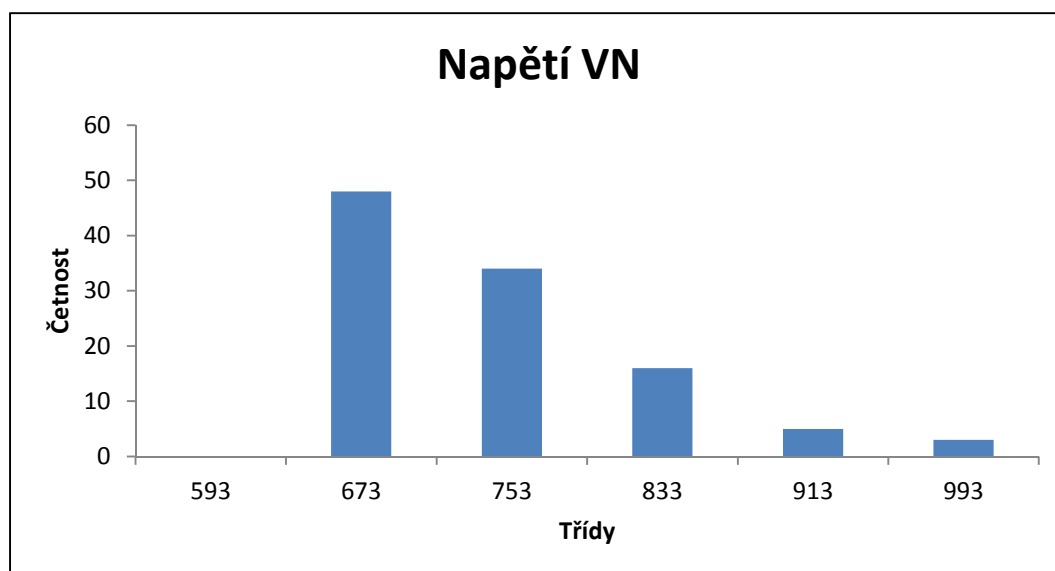
Veličina	Proudý zatížení NN
Jmen. hodnota - nejvyšší odbočka	1491,1 A
Jmen. hodnota - nejnižší odbočka	1897,8 A
Limit - Varování	1450 A
Limit - Alarm	1500 A
Počet překročení	57
Střední hodnota	1482,6 A
Směr. odchylka	137,8 A
Variační koeficient	9,3%
Maximum	2440,7 A
Minimum	1418,8 A



Obr. P5 - 16: Histogram - Proudý zatížení NN - TR2_5

Tab. P5 - 18: Popisná statistika - Napětí VN - TR2_5

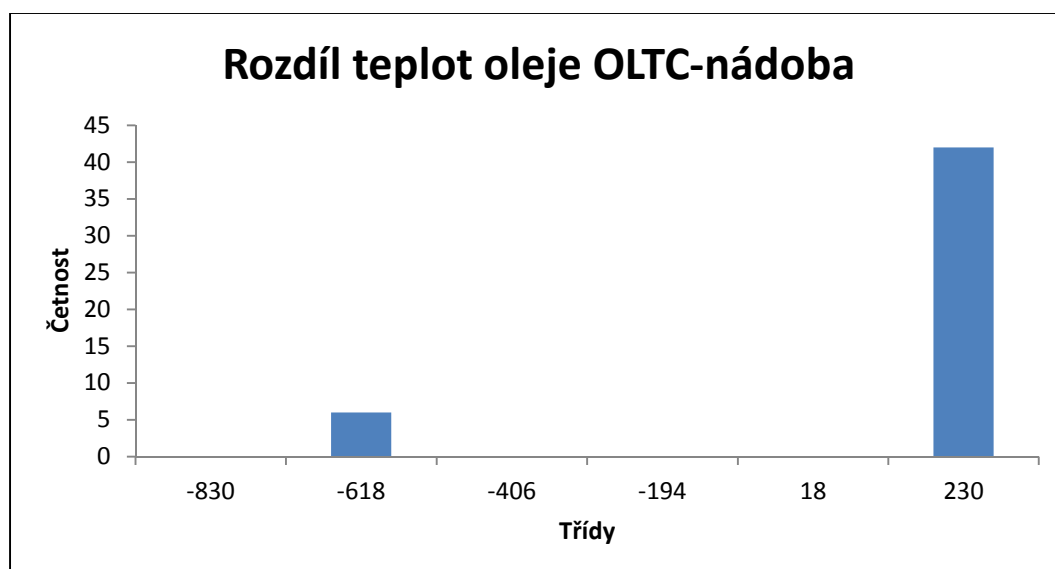
Veličina	Napětí VN
Jmen. hodnota	400 kV
Limit - Varování	600 kV
Limit - Alarm	700 kV
Počet překročení	106
Střední hodnota	697,4 kV
Směr. odchylka	87,4 kV
Variační koeficient	12,5%
Maximum	988,5 kV
Minimum	593,1 kV



Obr. P5 - 17: Histogram - Napětí VN - TR2_5

Tab. P5 - 19: Popisná statistika - Rozdíl teplot oleje OLTC-nádoba - TR2_5

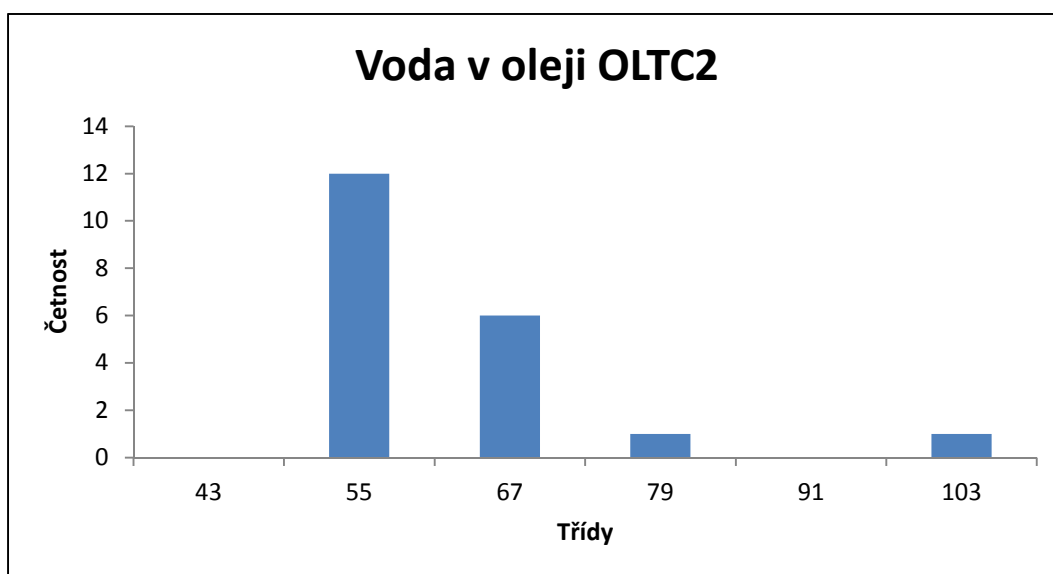
Veličina	Rozdíl teplot oleje OLTC-nádoba
Limit - Varování	30 K
Limit - Alarm	40 K
Počet překročení	48
Střední hodnota	- 45,8 K
Směr. odchylka	289 K
Variační koeficient	650,00%
Maximum	226,4 K
Minimum	- 829,5 K



Obr. P5 - 18: Histogram - Rozdíl teplot oleje OLTC-nádoba - TR2_5

Tab. P5 - 20: Popisná statistika - Voda v oleji OLTC2 - TR2_5

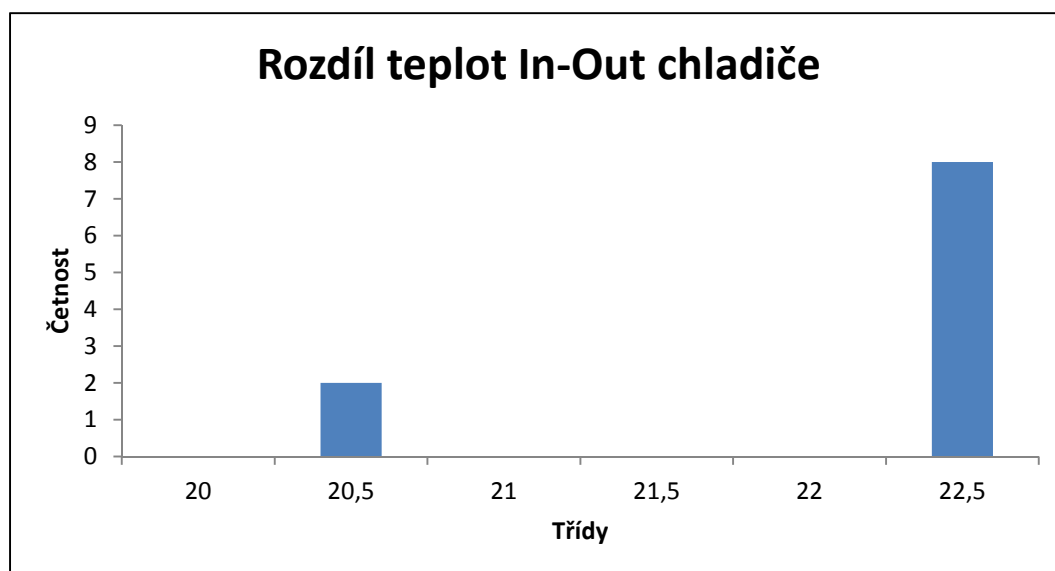
Veličina	Voda v oleji OLTC2
Limit - Varování	45 ppm
Limit - Alarm	50 ppm
Počet překročení	20
Střední hodnota	53,9 ppm
Směr. odchylka	12,8 ppm
Variační koeficient	23,70%
Maximum	100 ppm
Minimum	43,6 ppm



Obr. P5 - 19: Histogram - Voda v oleji OLTC2 - TR2_5

Tab. P5 - 21: Popisná statistika - Rozdíl teplot In-Out chladiče - TR2_5

Veličina	Rozdíl teplot In-Out chladiče
Limit - Varování	20 K
Limit - Alarm	22 K
Počet překročení	10
Střední hodnota	21,7 K
Směr. odchylka	0,8 K
Variační koeficient	3,90%
Maximum	22,2 K
Minimum	20,1 K



Obr. P5 - 20: Histogram - Rozdíl teplot In-Out chladiče - TR2_5

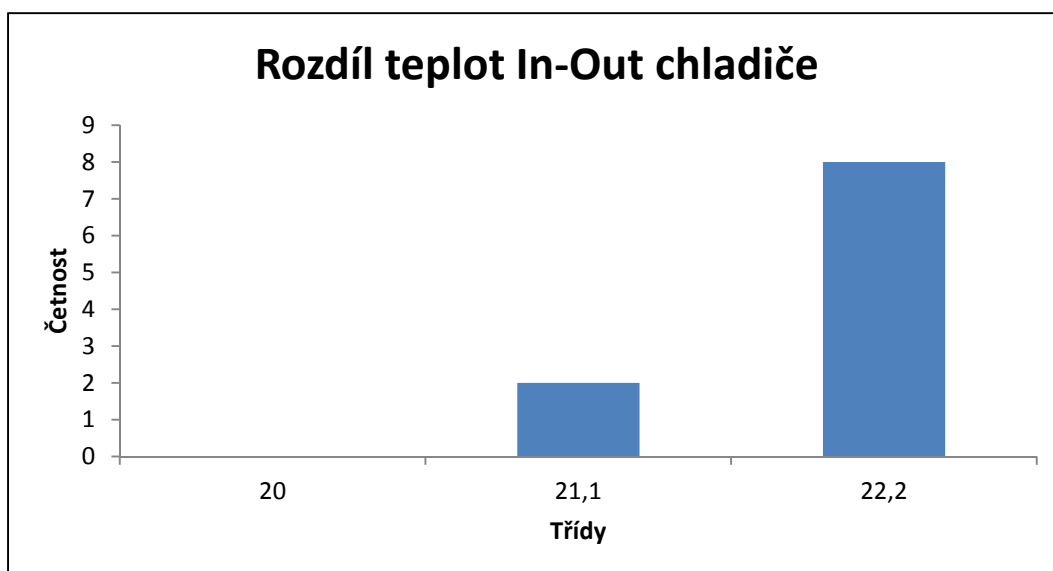
Zhodnocení systému MST2

Níže v tabulkách a v grafech je uvedena popisná statistika, histogramy a tabulky četností překročení mezí jednotlivých veličin pro celý soubor analyzovaných transformátorů osazených systémem MST2.

Rozdíl teplot In-Out chladiče

Tab. P5 - 22: Popisná statistika - Rozdíl teplot In-Out chladiče – MST2

Veličina	Rozdíl teplot In-Out chladiče
Limit - Varování	20 K
Počet překročení	10
Střední hodnota	21,7 K
Směr. odchylka	0,8 K
Variační koeficient	3,90%
Maximum	22,2 K
Minimum	20,1 K



Obr. P5 - 21: Histogram - Rozdíl teplot In-Out chladiče - MST2

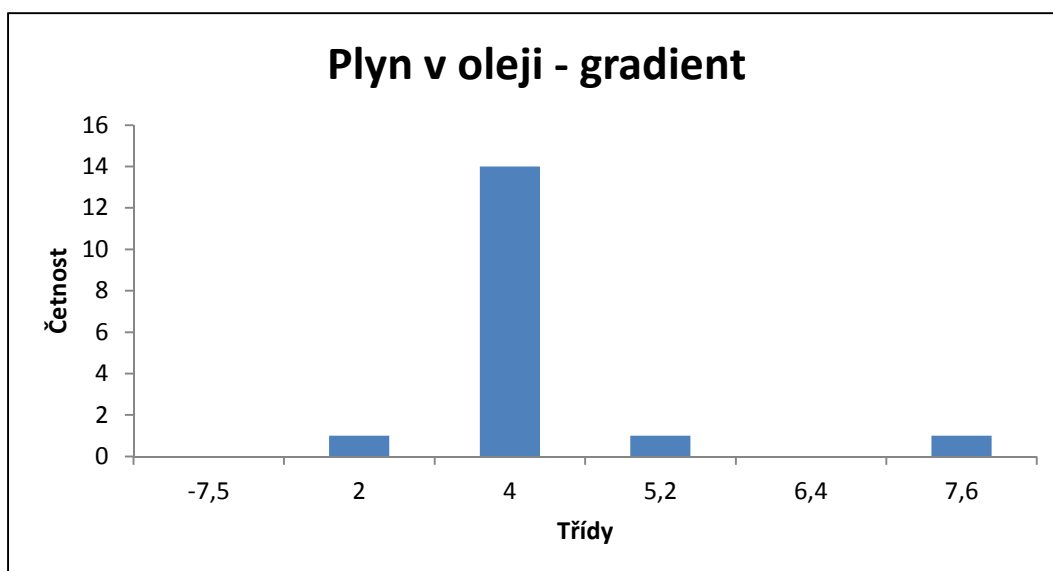
Tab. P5 - 23: Třída a četnosti - Rozdíl teplot In-Out chladiče - MST2

Třída	Četnost
<20	0
20 - 21,1	2
> 21,1	8

Plyn v oleji - gradient (24h-Interval)

Tab. P5 - 24: Popisná statistika - Plyn v oleji - gradient (24h-Interval) - MST2

Veličina	Plyn v oleji - gradient (24h-Interval)
Limit - Varování	2 ppm/h
Limit - Alarm	4 ppm/h, - 4 ppm/h
Počet překročení	17
Střední hodnota	2,33 ppm/h
Směr. odchylka	2,82 ppm/h
Variační koeficient	121,40%
Maximum	7,5 ppm/h
Minimum	- 7,4 ppm/h



Obr. P5 - 22: Histogram - Plyn v oleji - gradient (24h-Interval) - MST2

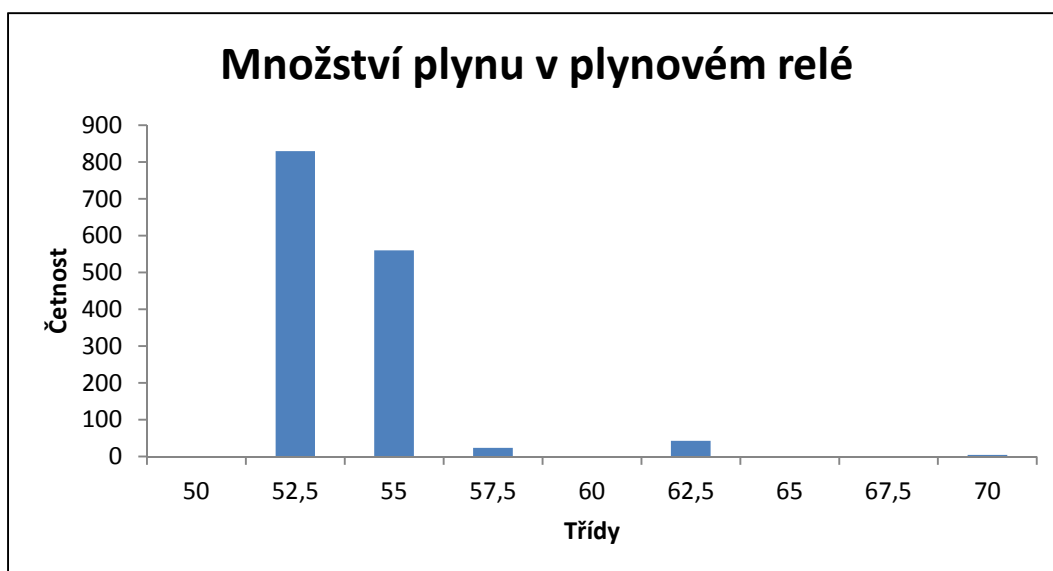
Tab. P5 - 25: Třídy a četnosti - Plyn v oleji - gradient (24h-Interval) - MST2

Třídy	Četnost
<-7,5	0
-7,5 - 2	1
2 - 4	14
4 - 5,2	1
5,2 - 6,4	0
> 6,4	1

Množství plynu v plynovém relé

Tab. P5 - 26: Popisná statistika - Množství plynu v plynovém relé - MST2

Veličina	Množství plynu v plynovém relé
Limit - Varování	50 ml
Limit - Alarm	60 ml
Počet překročení	1458
Střední hodnota	52,5 ml
Směr. odchylka	2 ml
Variační koeficient	3,90%
Maximum	69 ml
Minimum	50,0 ml



Obr. P5 - 23: Histogram - Množství plynu v plynovém relé - MST2

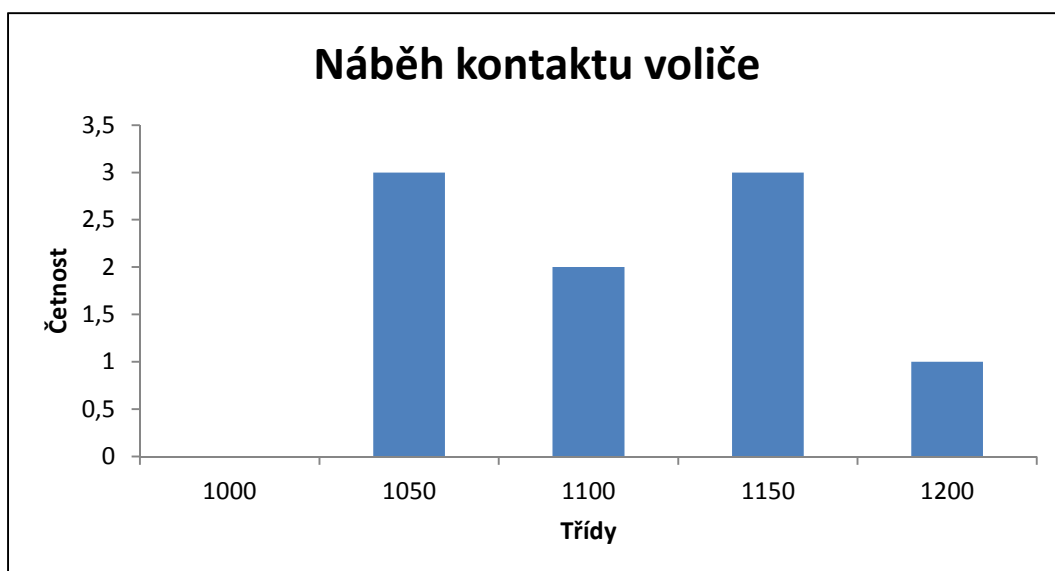
Tab. P5 - 27: Třídy a četnosti - Množství plynu v plynovém relé - MST2

Třídy	Četnost
<50	0
50 - 52,5	829
52,5 - 55	560
55 - 57,5	23
57,5 - 60	0
60 - 62,5	42
62,5 - 65	0
65 - 67,5	0
> 67,5	4

Náběh kontaktu voliče OLTC

Tab. P5 - 28: Popisná statistika - Náběh kontaktu voliče - MST2

Veličina	Náběh kontaktu voliče
Limit - Varování	1000 W
Limit - Alarm	1200 W
Počet překročení	9
Střední hodnota	1080,4 W
Směr. odchylka	60,1 W
Variační koeficient	5,6%
Maximum	1167,8 W
Minimum	1004,9 W



Obr. P5 - 24: Histogram - Náběh kontaktu voliče - MST2

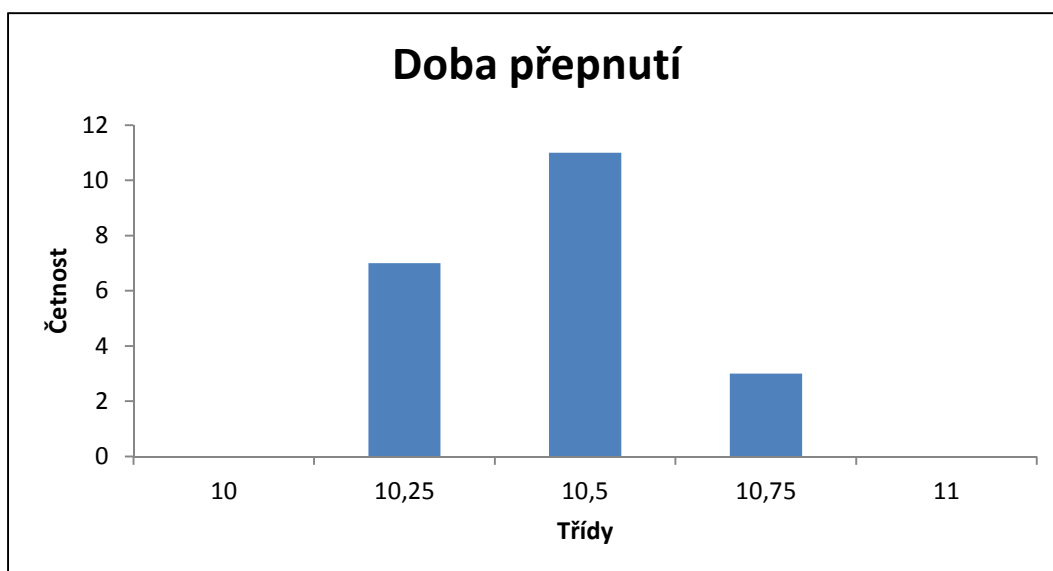
Tab. P5 - 29: Třídy a četnosti - Náběh kontaktu voliče - MST2

Třídy	Četnost
<1000	0
1000 - 1050	3
1050 - 1100	2
1100 - 1150	3
>1150	1

Doba přepnutí OLTC

Tab. P5 - 30: Popisná statistika - Doba přepnutí OLTC - MST2

Veličina	Doba přepnutí
Limit - Varování	6,5 s
Limit - Alarm	8,5 s
Počet překročení	21
Střední hodnota	10,31 s
Směr. odchylka	0,14 s
Variační koeficient	1,30%
Maximum	10,57 s
Minimum	10,10 s



Obr. P5 - 25: Histogram - Doba přepnutí OLTC - MST2

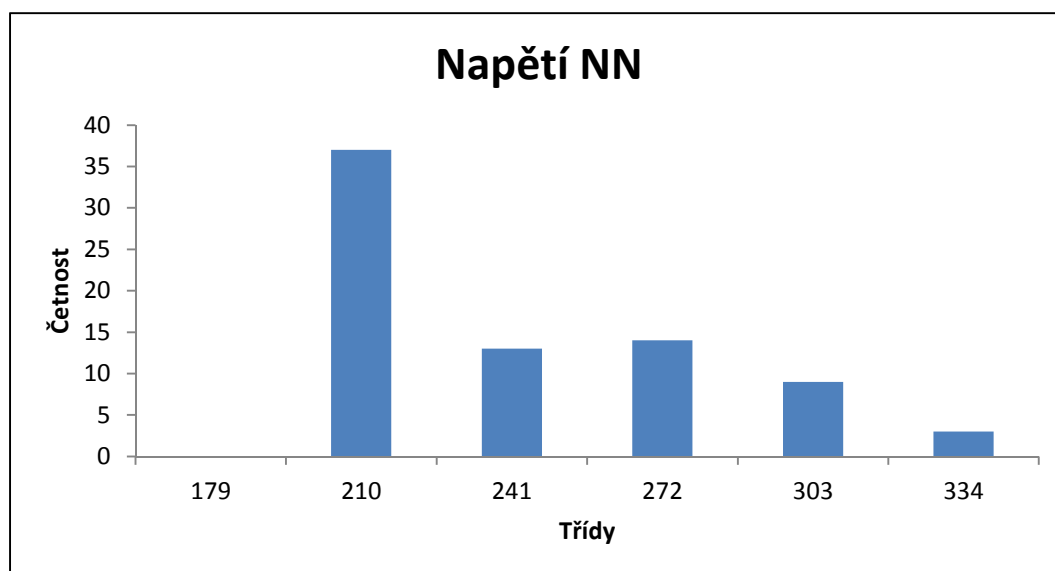
Tab. P5 - 31: Třídy a četnosti - Doba přepnutí OLTC - MST2

Třídy	Četnost
<10	0
10 - 10,25	7
10,25 - 10,5	11
10,5 - 10,75	3
>10,75	0

Napětí NN – 121 kV

Tab. P5 - 32: Popisná statistika - Napětí NN - MST2

Veličina	Napětí NN
Jmen. hodnota - nejvyšší odbočka	135,5 kV
Jmen. hodnota - nejnižší odbočka	106,5 kV
Limit - Varování	184 kV
Limit - Alarm	215 kV
Počet překročení	76
Střední hodnota	228 kV
Směr. odchylka	37,9 kV
Variační koeficient	16,6%
Maximum	330,2 kV
Minimum	179,4 kV



Obr. P5 - 26: Histogram - Napětí NN - MST2

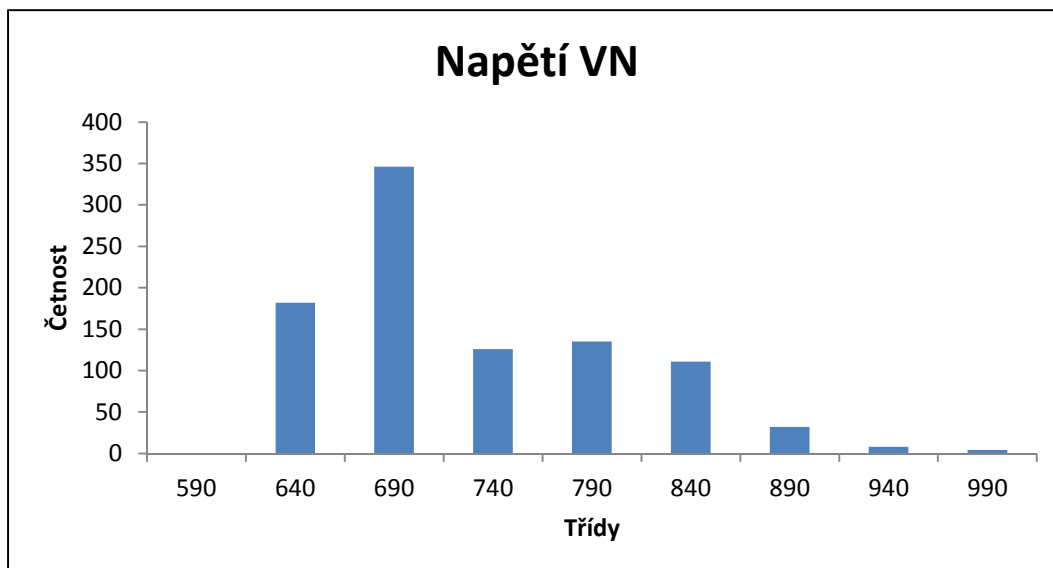
Tab. P5 - 33: Třídy a četnosti - Napětí NN - MST2

Třídy	Četnost
<179	0
179 - 210	37
210 - 241	13
241 - 272	14
272 - 303	9
>303	3

Napětí VN – 400 kV

Tab. P5 - 34: Popisná statistika - Napětí VN - MST2

Veličina	Napětí VN
Jmen. hodnota	400 kV
Limit - Varování	600 kV
Limit - Alarm	700 kV
Počet překročení	944
Střední hodnota	708,5 kV
Směr. odchylka	72,9 kV
Variační koeficient	10,3%
Maximum	988,5 kV
Minimum	590,4 kV



Obr. P5 - 27: Histogram - Napětí VN - MST2

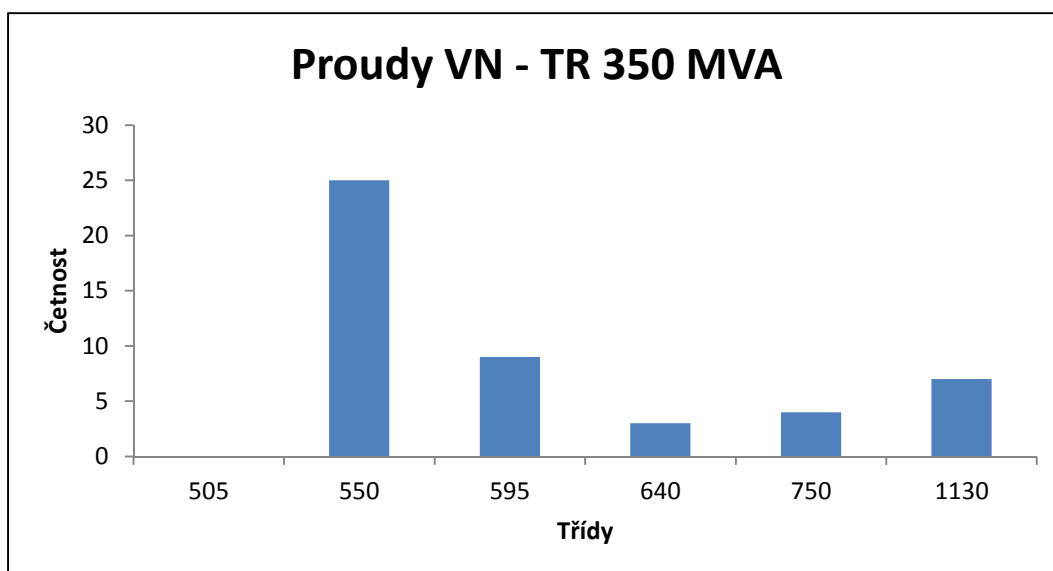
Tab. P5 - 35: Třídy a četnosti - Napětí VN - MST2

Třídy	Četnost
<590	0
590 - 640	182
640 - 690	346
690 - 740	126
740 - 790	135
790 - 840	111
840 - 890	32
890 - 940	8
>940	4

Proudy zatížení VN – TR 350 MVA

Tab. P5 - 36: Popisná statistika – Proudy zatížení VN (TR 350 MVA) - MST2

Veličina	Proudy zatížení VN
Jmen. hodnota	505,2 A
Limit - Varování	510 A
Limit - Alarm	550 A
Počet překročení	48
Střední hodnota	604,5 A
Směr. odchylka	132,5 A
Variační koeficient	21,9%
Maximum	1129 A
Minimum	505,8 A



Obr. P5 - 28: Histogram - Proudy zatížení VN (TR 350 MVA) - MST2

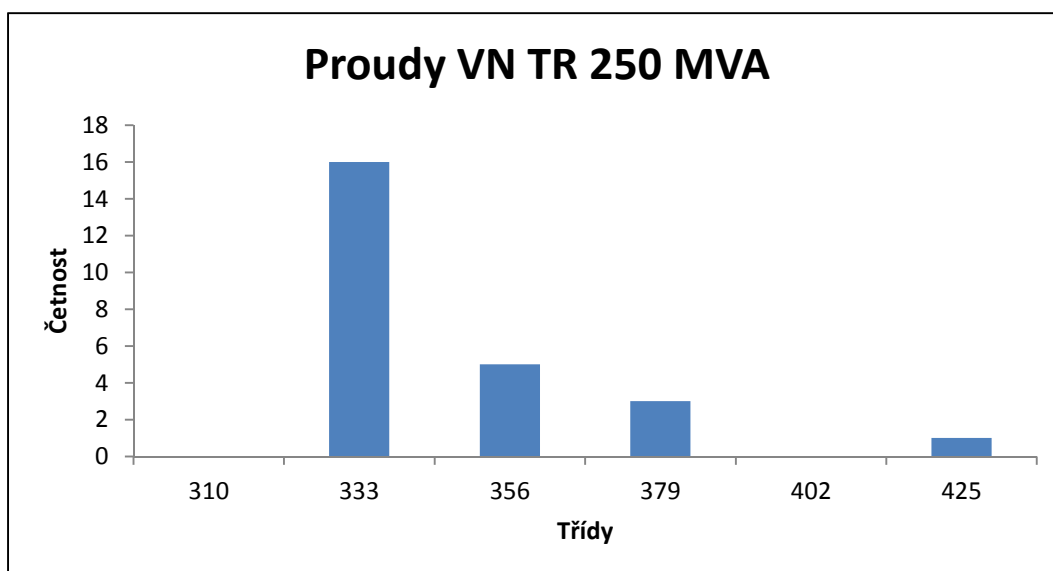
Tab. P5 - 37: Třídy a četnosti - Proudy zatížení VN (TR 350 MVA) - MST2

Třídy	Četnost
<505	0
505 - 550	25
550 - 595	9
595 - 640	3
640 - 750	4
>750	7

Proudy zatížení VN – TR 250 MVA

Tab. P5 - 38: Popisná statistika – Proudy zatížení VN (TR 250 MVA) - MST2

Veličina	Proudy zatížení VN
Jmen. hodnota	360 A
Limit - Varování	310 A
Limit - Alarm	350 A
Počet překročení	25
Střední hodnota	331,5 A
Směr. odchylka	26,6 A
Variační koeficient	8,0%
Maximum	422,6 A
Minimum	310,7 A



Obr. P5 - 29: Histogram - Proudy zatížení VN (TR 250 MVA) - MST2

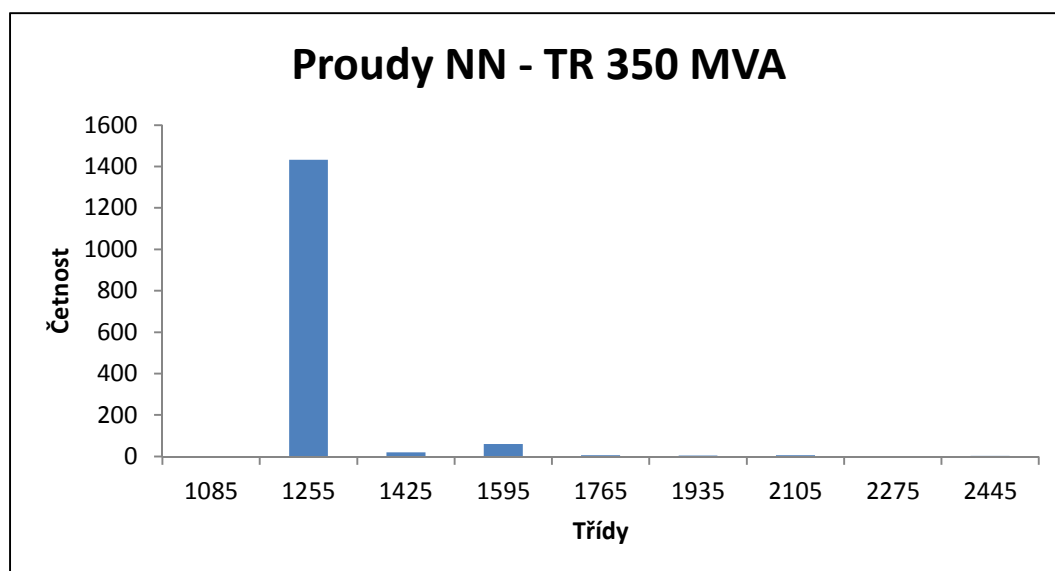
Tab. P5 - 39: Třídý a četnosti - Proudy zatížení VN (TR 250 MVA) - MST2

Třídý	Četnost
<310	0
310 - 333	16
333 - 356	5
356 - 379	3
379 - 402	0
>402	1

Proudy zatížení NN – TR 350 MVA

Tab. P5 - 40: Popisná statistika – Proudy zatížení NN (TR 350 MVA) - MST2

Veličina	Proud zatížení NN
Jmen. hodnota - nejvyšší odbočka	1491,1 A
Jmen. hodnota - nejnižší odbočka	1897,8 A
Limit - Varování	1090 A, 1450 A, 1900 A
Limit - Alarm	1150 A, 1500 A, 2000 A
Počet překročení	1531
Střední hodnota	1122,6 A
Směr. odchylka	121,1 A
Variační koeficient	10,8%
Maximum	2440,75 A
Minimum	1085,4 A



Obr. P5 - 30: Histogram - Proudy zatížení NN (TR 350 MVA) - MST2

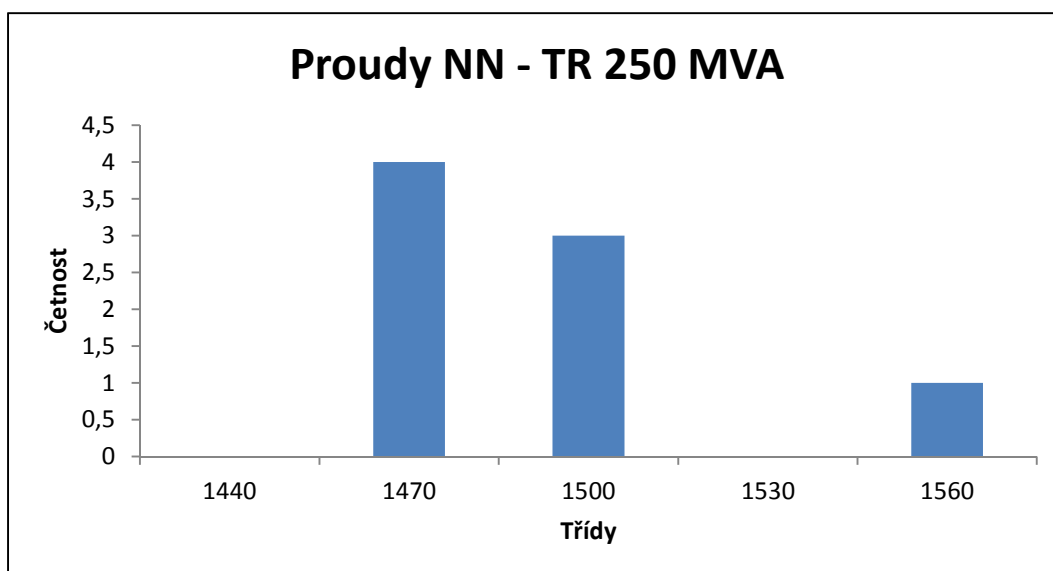
Tab. P5 - 41: Třídy a četnosti - Proudy zatížení NN (TR 350 MVA) - MST2

Třídy	Četnost
<1085	0
1085 - 1255	1433
1255 - 1425	19
1425 - 1595	60
1595 - 1765	6
1765 - 1935	5
1935 - 2105	6
2105 - 2275	0
>2275	2

Proudy zatížení NN – TR 250 MVA

Tab. P5 - 42: Popisná statistika – Proudy zatížení NN (TR 250 MVA) - MST2

Veličina	Proud zatížení NN
Jmen. hodnota - nejvyšší odbočka	1065 A
Jmen. hodnota - nejnižší odbočka	1355 A
Limit - Varování	1400 A
Limit - Alarm	1450 A
Počet překročení	8
Střední hodnota	1475,6 A
Směr. odchylka	35,6 A
Variační koeficient	2,4%
Maximum	1553,5 A
Minimum	1440 A



Obr. P5 - 31: Histogram - Proudy zatížení NN (TR 250 MVA) - MST2

Tab. P5 - 43: Třídy a četnosti - Proudy zatížení NN (TR 250 MVA) - MST2

Třídy	Četnost
<1440	0
1440 - 1470	4
1470 - 1500	3
1500 - 1530	0
>1530	1

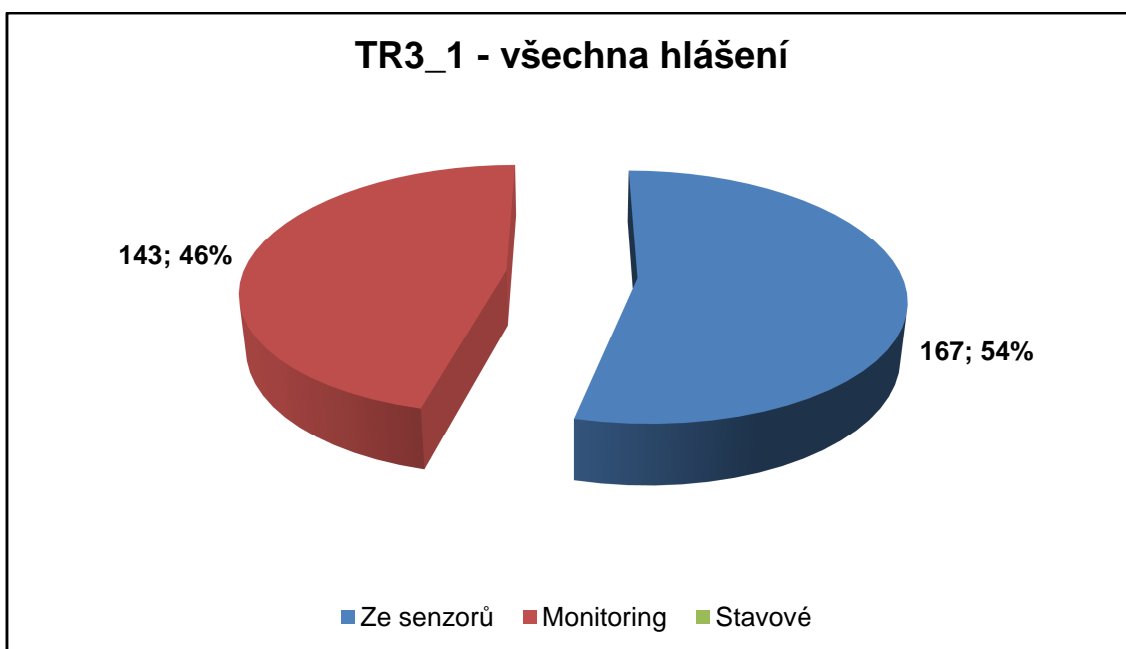
Příloha 6

Rozbor generovaných hlášení monitorovacími systémy 3. generace (MST3) nasazených na transformátorech přenosové soustavy

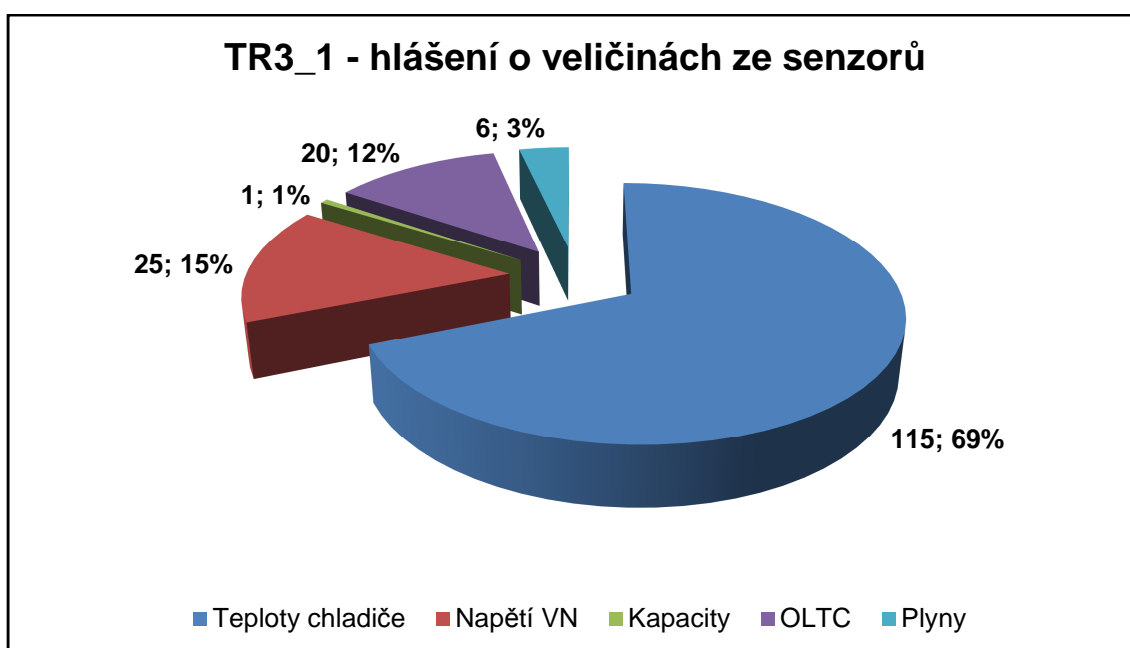
Monitorovací systémy 3. generace (MST3) jsou nasazeny na 8 transformátorech přenosové soustavy, které z důvodu nezávislosti a komerční zdrženlivosti označím jako transformátory TR3_1, TR3_2, TR3_3, TR3_4, TR3_5, TR3_6, TR3_7 a TR3_8, a u nichž byla provedena analýza hlášení za jejich jednoroční provoz.

Transformátor TR3_1

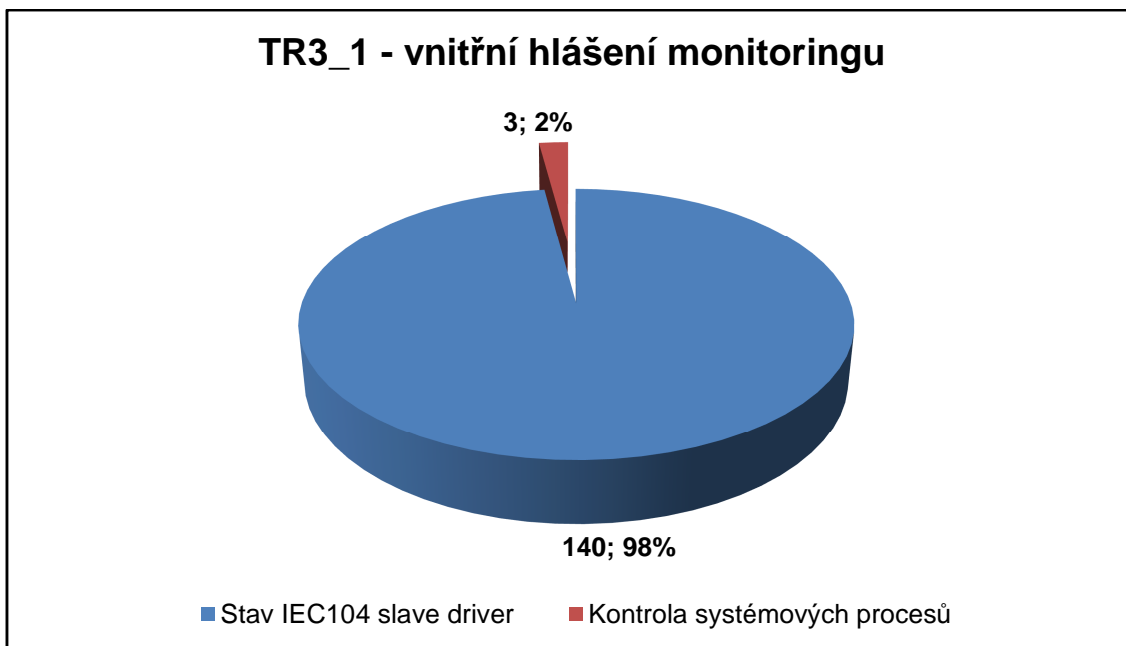
U transformátoru TR3_1 se vyskytlo celkem 310 hlášení, z nichž 143 bylo vnitřních hlášení monitoringu a 167 bylo generováno senzory o veličinách. Ze 143 vnitřních hlášení bylo 140 vyvoláno hlášením "Stav IEC104 slave driver". Celkem 115 hlášení bylo generováno jako "Rozdíl teplot oleje jednotlivých chladičů" transformátoru. Ty většinou vznikly, když byly vypnuté příslušné chladiče (čerpadlo a ventilátor) a vznikl velký teplotní rozdíl oleje mezi vstupem a výstupem chladiče. Rozložení hlášení jednotlivých kategorií je vidět na obr. P6 - 1, 2, 3.



Obr. P6 - 1: Rozložení všech hlášení generovaných u TR3_1



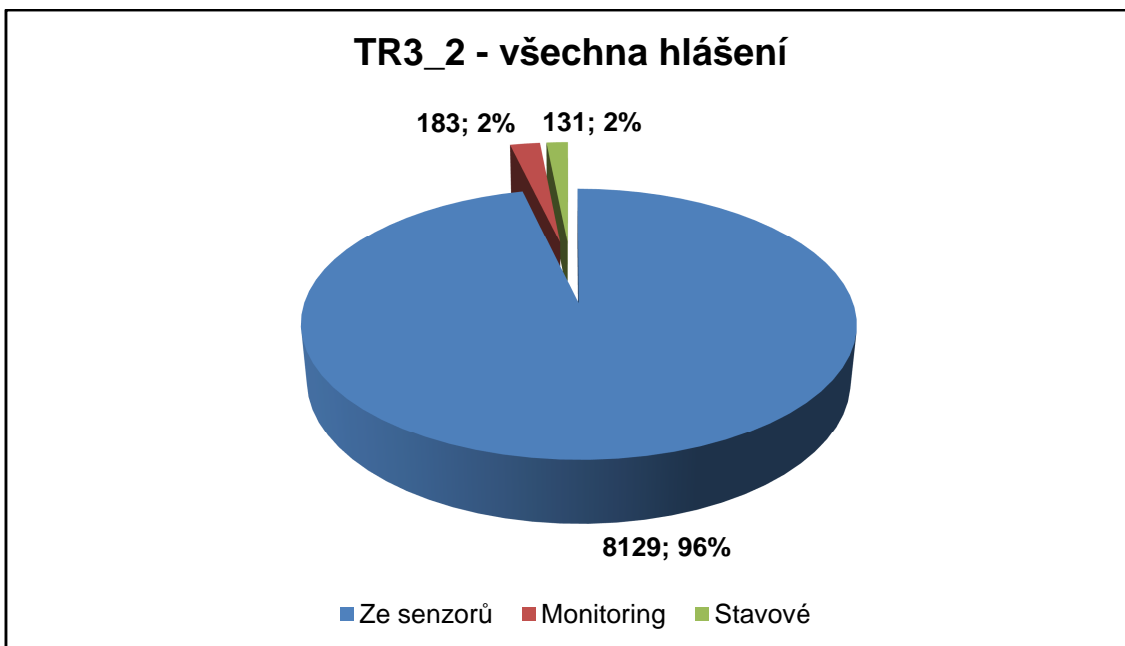
Obr. P6 - 2: Rozložení hlášení o veličinách ze sensorů u TR3_1



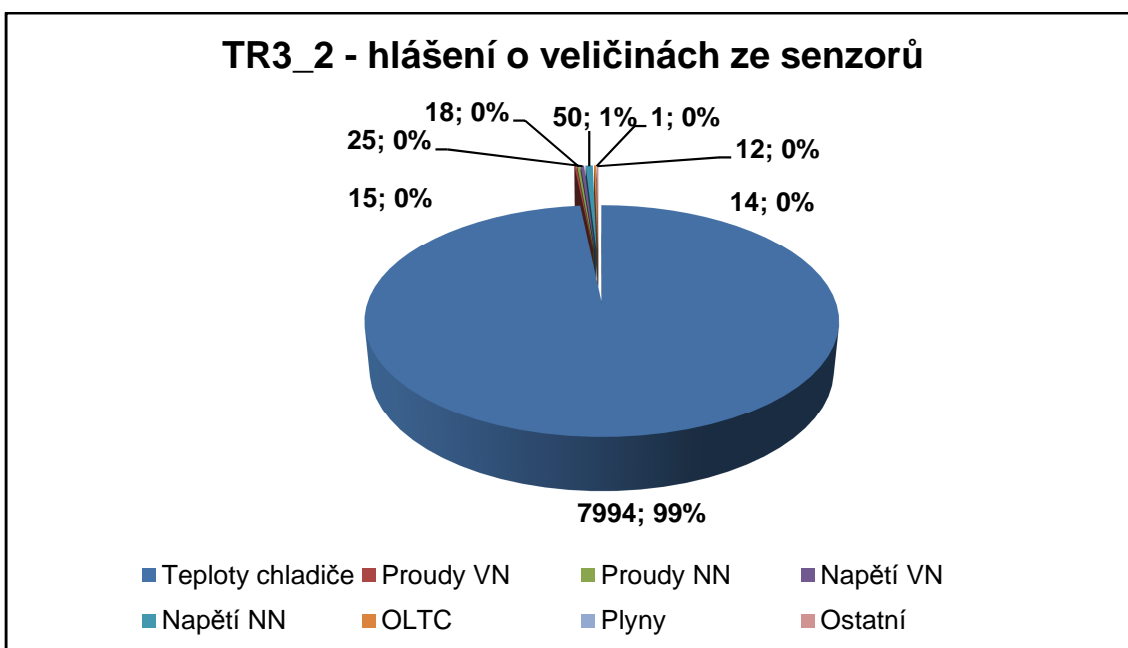
Obr. P6 - 3: Rozložení vnitřních hlášení monitoringu u TR3_1

Transformátor TR3_2

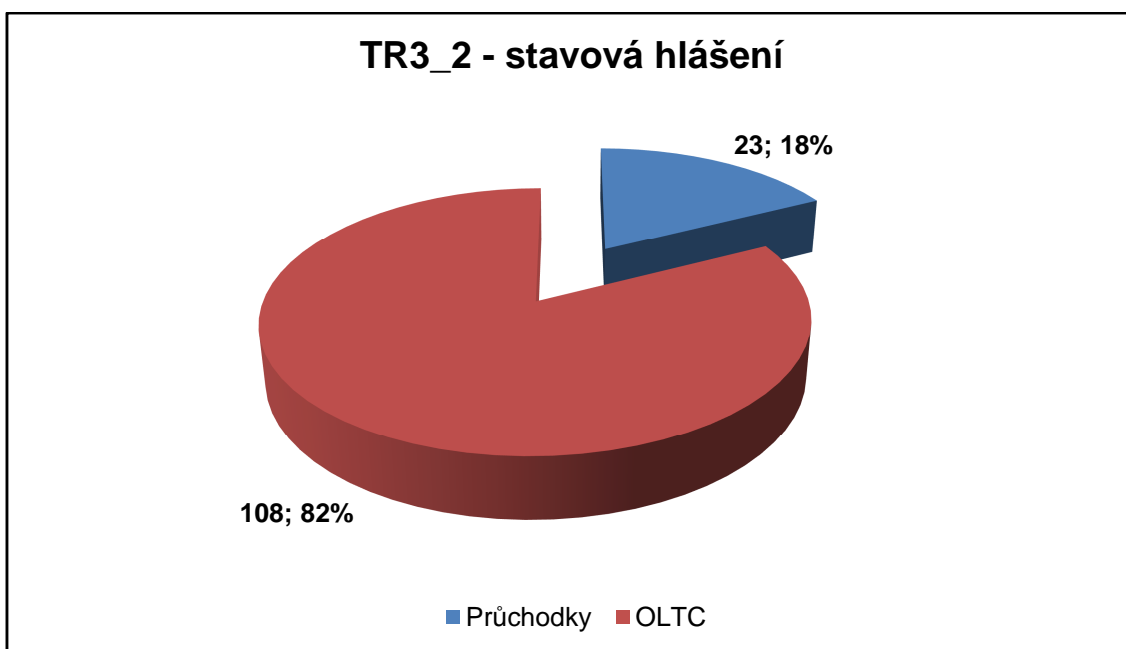
V průběhu provozu transformátoru TR3_2 bylo celkem generováno 8443 hlášení. Z nich bylo 8129 generováno jako hlášení o veličinách ze senzorů, 183 jako vnitřní a 131 jako stavová hlášení. Až 7591 hlášení vzniklo díky překročení výstupní teploty oleje z chladiče 3 (vyšší než 90 °C). Ze stavových hlášení jich bylo 82 % způsobeno hlášením "Stav OLTC" (hlášky "Doba přepnutí je příliš krátká" – 41x a "Motor běží, odbočky se nemění" – 41x). Vnitřní hlášení monitoringu byly generovány jako "Stav IEC104 slave driver" – 127x a "Kontrola systémových procesů" – 56x. Rozložení hlášení jednotlivých kategorií je vidět na obr. P6 - 4, 5, 6, 7.



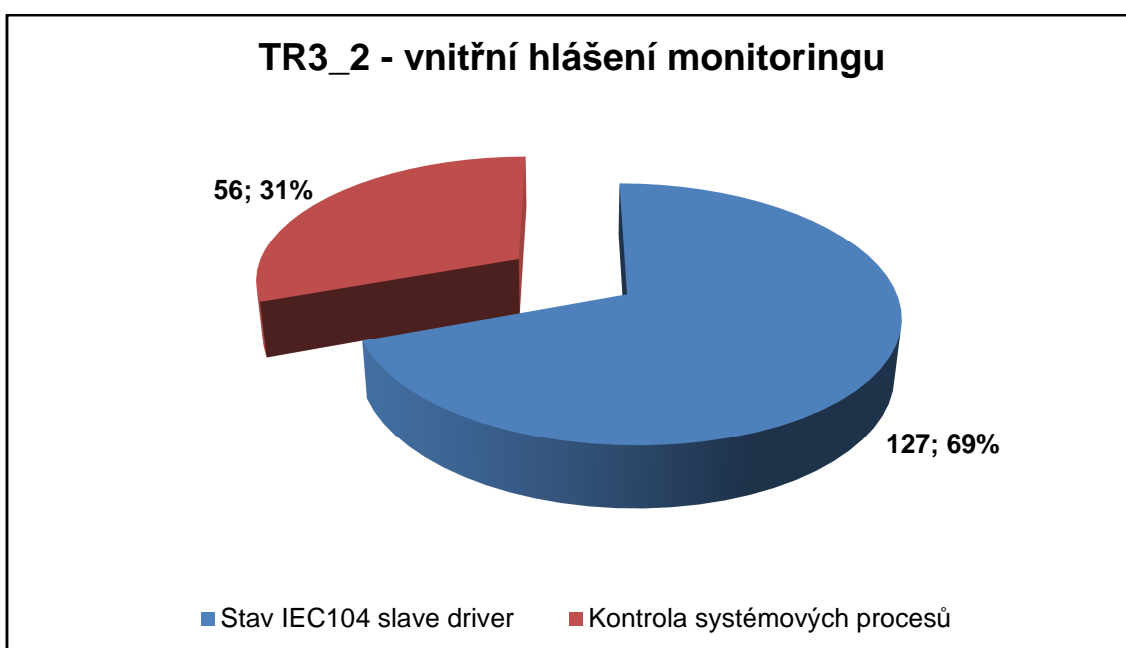
Obr. P6 - 4: Rozložení všech hlášení generovaných u TR3_2



Obr. P6 - 5: Rozložení hlášení o veličinách ze sensorů u TR3_2



Obr. P6 - 6: Rozložení stavových hlášení u TR3_2

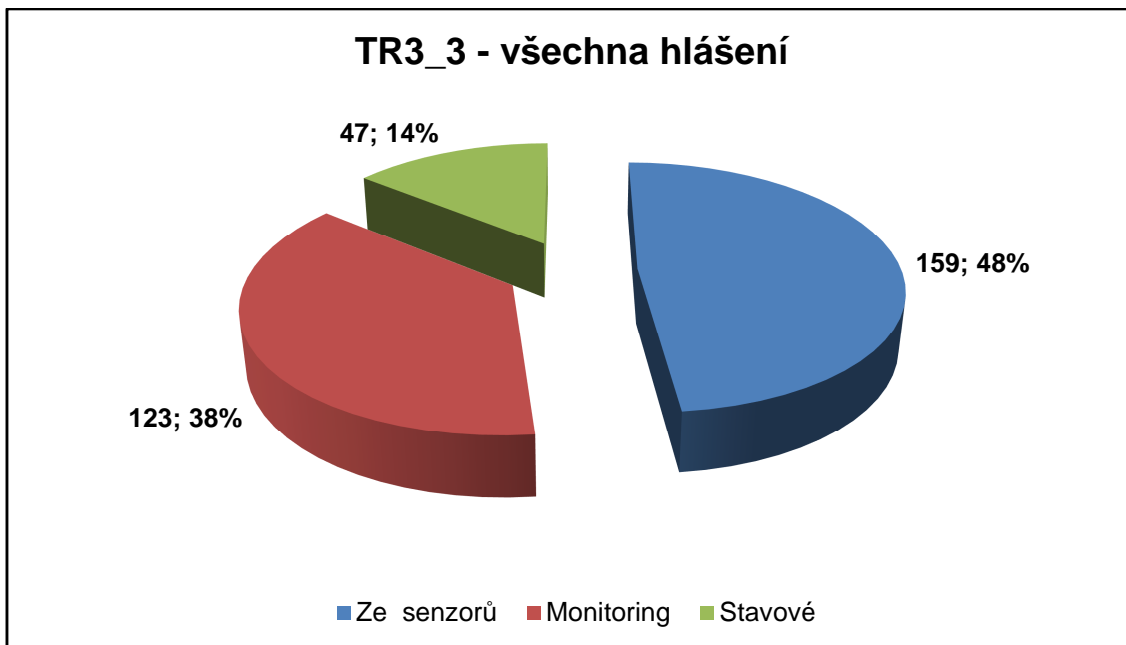


Obr. P6 - 7: Rozložení vnitřních hlášení monitoringu u TR3_2

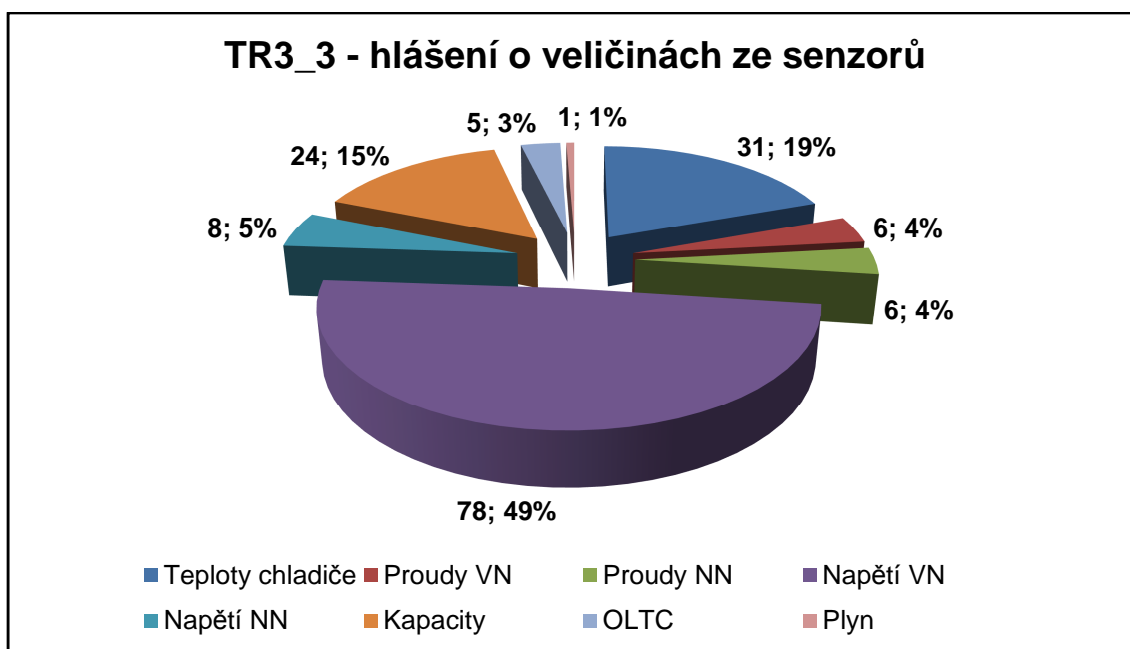
Transformátor TR3_3

Z celkového počtu 329 hlášení, jich 38 % bylo generováno jako vnitřní, 48 % o veličinách ze senzorů a 14 % jako stavová hlášení. Opět nejvíce vnitřních hlášení – 119 bylo generováno jako "Stav IEC104 slave driver". Celkem 39 stavových hlášení vzniklo díky stavu průchodek (hláška "Přepětí" – 32x). Hlášení "Napětí VN"

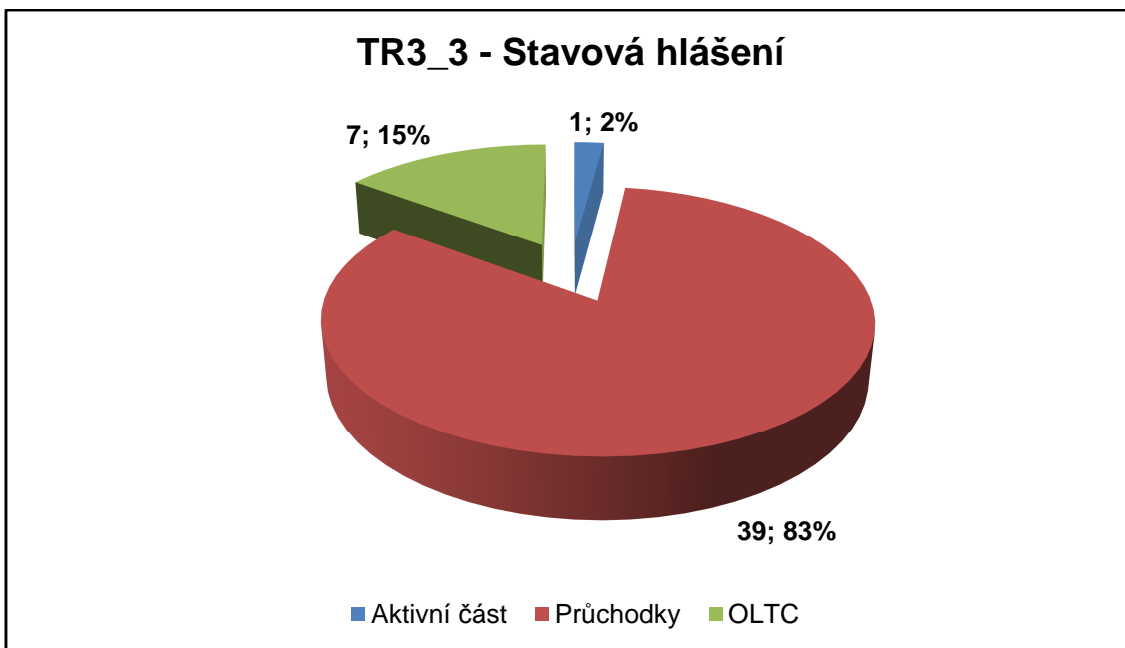
jednotlivých fází překročilo nastavené meze 78x, což je téměř ½ všech hlášení o veličinách ze senzorů. Rozložení hlášení jednotlivých kategorií je vidět na obr. P6 - 8, 9, 10 a 11.



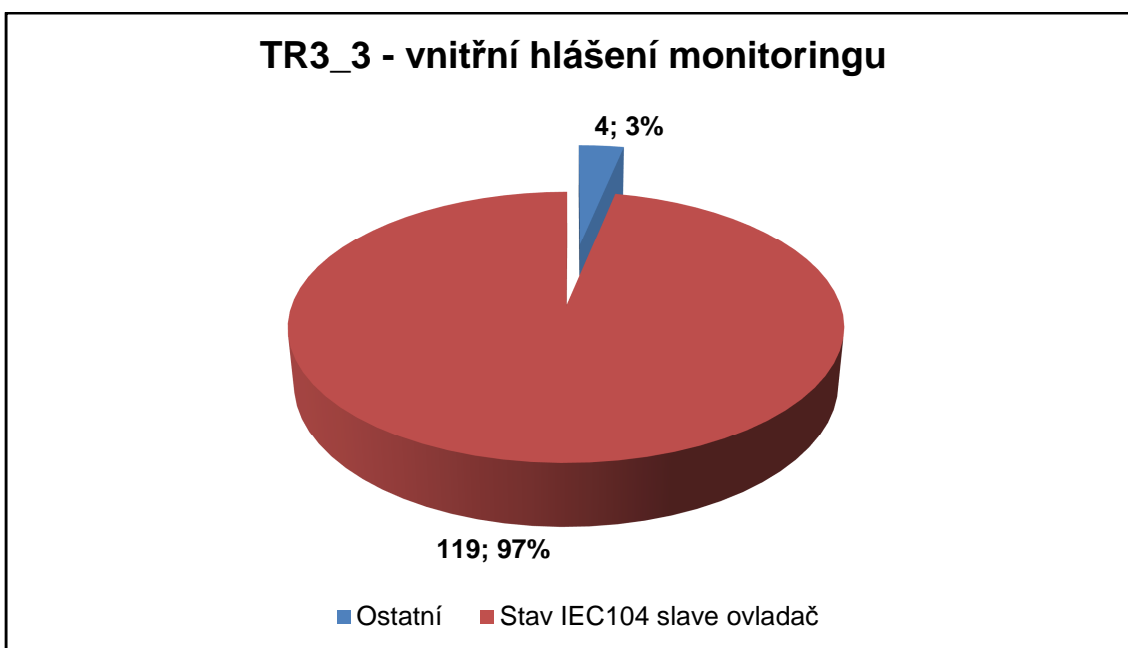
Obr. P6 - 8: Rozložení všech hlášení generovaných u TR3_3



Obr. P6 - 9: Rozložení hlášení o veličinách ze senzorů u TR3_3



Obr. P6 - 10: Rozložení stavových hlášení u TR3_3

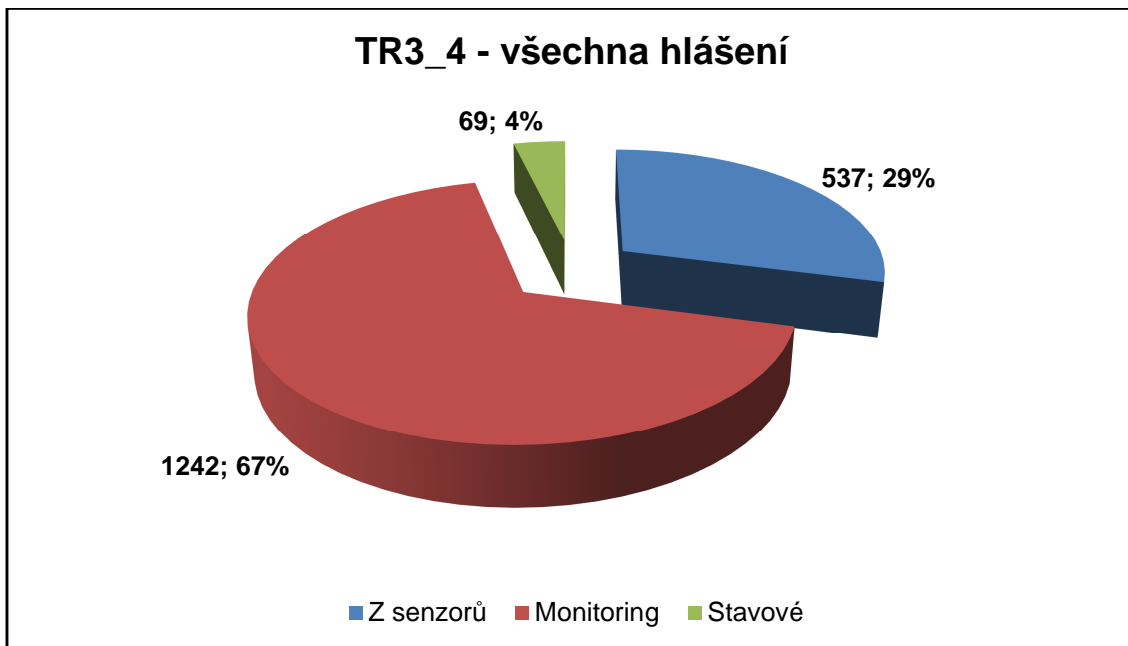


Obr. P6 - 11: Rozložení vnitřních hlášení monitoringu u TR3_3

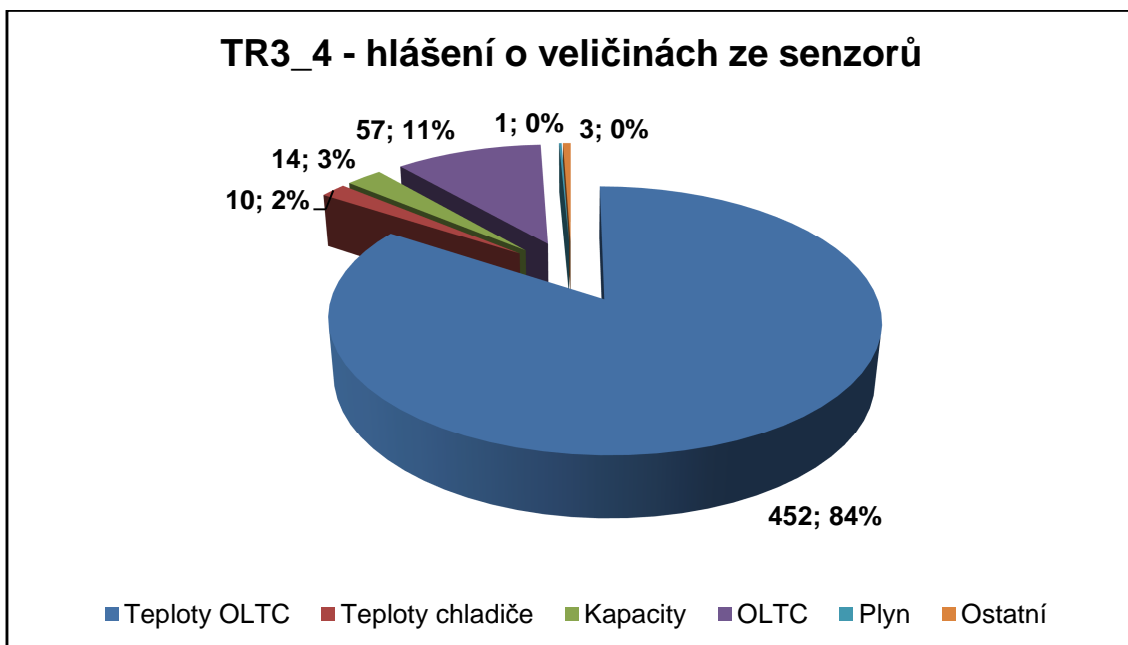
Transformátor TR3_4

Až 67 % z celkového počtu všech hlášení, které vznikly během jednoročního provozu TR3_4 bylo generováno jako vnitřní, 4 % jako stavová a 29 % o veličinách ze senzorů. Téměř všechna vnitřní hlášení monitoringu (1239 z 1243) způsobilo opět hlášení "Stav IEC104 slave driver". Tři hlášení, jmenovitě "Teplota

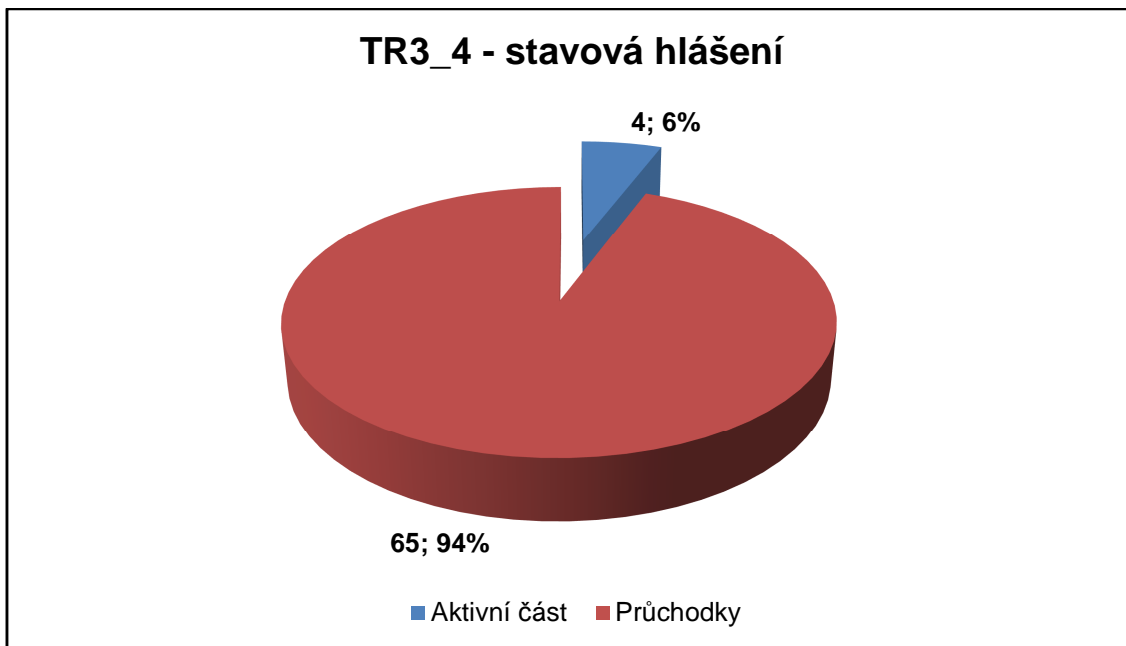
oleje OLTC3", "Rozdíl teploty OLTC3-tank" a "Rozdíl teploty OLTC1-tank" společně (zejména hláška "RANGE_1" – překročení rozsahu) vyvolaly až 84 % všech hlášení o veličinách od senzorů. Dále 11 % všech hlášení o veličinách ze senzorů způsobilo hlášení "Náběh kontaktu voliče", které překročilo nastavenou hodnotu 57x. Ze stavových hlášení byla nejvýznamnější "Stav průchodek" (65 z 69 alarmů). Rozložení hlášení jednotlivých kategorií je vidět na obr. P6 - 12, 13, 14 a 15.



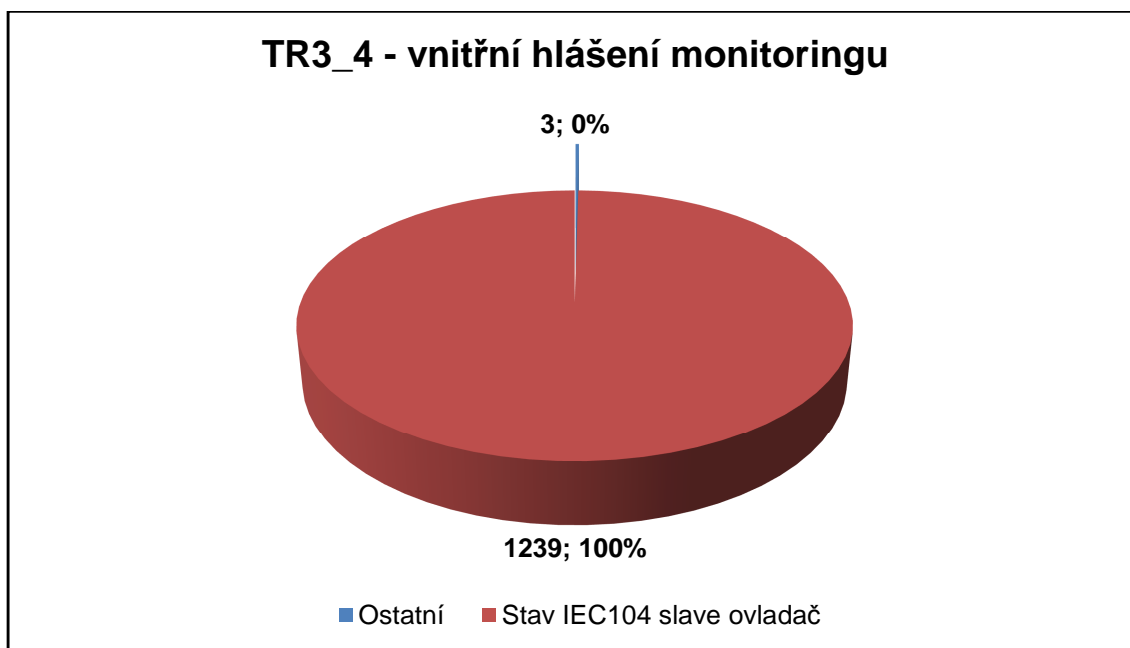
Obr. P6 - 12: Rozložení všech hlášení generovaných u TR3_4



Obr. P6 - 13: Rozložení hlášení o veličinách ze senzorů u TR5_4



Obr. P6 - 14: Rozložení stavových hlášení u TR3_4

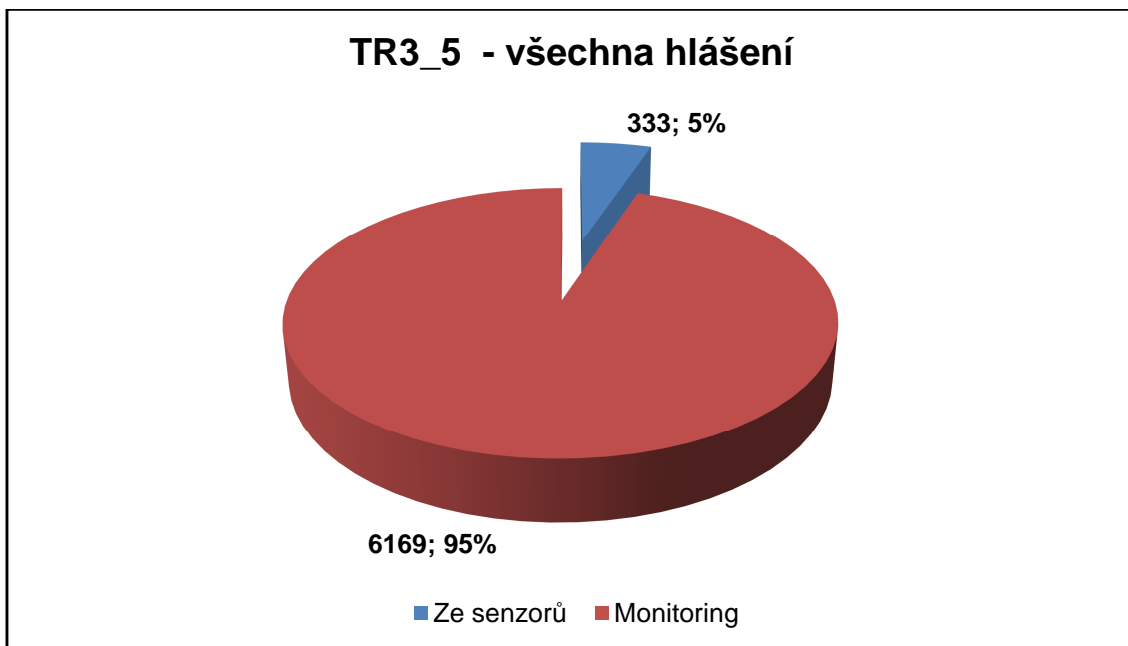


Obr. P6 - 15: Rozložení vnitřních hlášení monitoringu u TR3_4

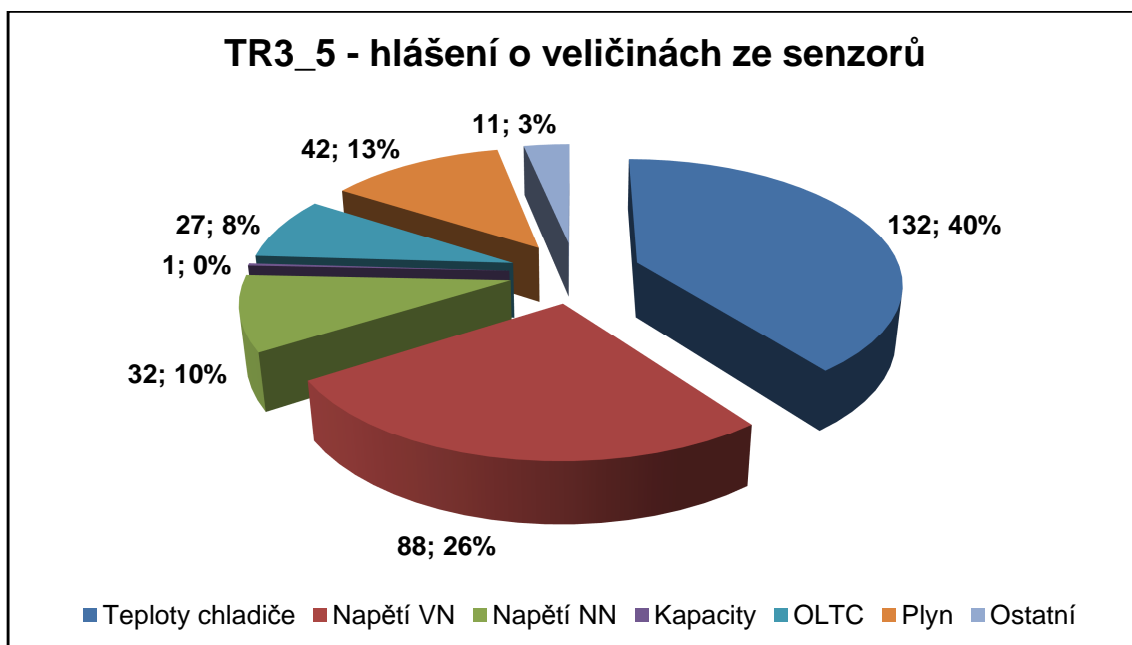
Transformátor TR3_5

V provozu transformátoru TR3_5 bylo generováno 6502 hlášení, z nichž 6169 jako vnitřní a 333 o veličinách od senzorů. V případě vnitřních hlášení byla nejčastějšími hlášeními "Stav IEC104 slave driver" (5914 alarmů) a "Volná paměť systému [kByte]" – 254x. Hlášení "Stav snímače plynu v oleji" byl generován 40x.

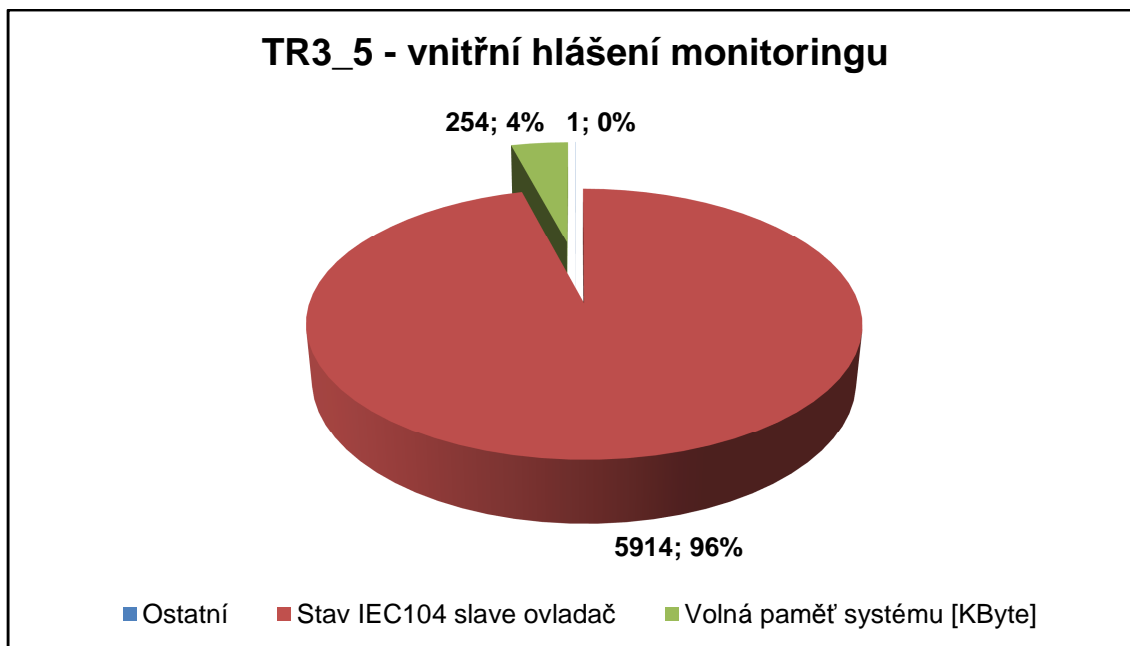
Až 132 hlášení o veličinách ze senzorů vzniklo jako hlášení "Rozdíl teplot oleje In-Out" od jednotlivých chladičů transformátoru. Dále 88 hlášení vzniklo překročením nastavených limitů hlášení "Napětí VN" jednotlivých fází. Ve 26 případech byla doba u hlášení "Doba přepnutí OLTC" vyšší než nastavená. Rozložení hlášení jednotlivých kategorií je vidět na obr. P6 - 16, 17 a 18.



Obr. P6 - 16: Rozložení všech hlášení generovaných u TR3_5



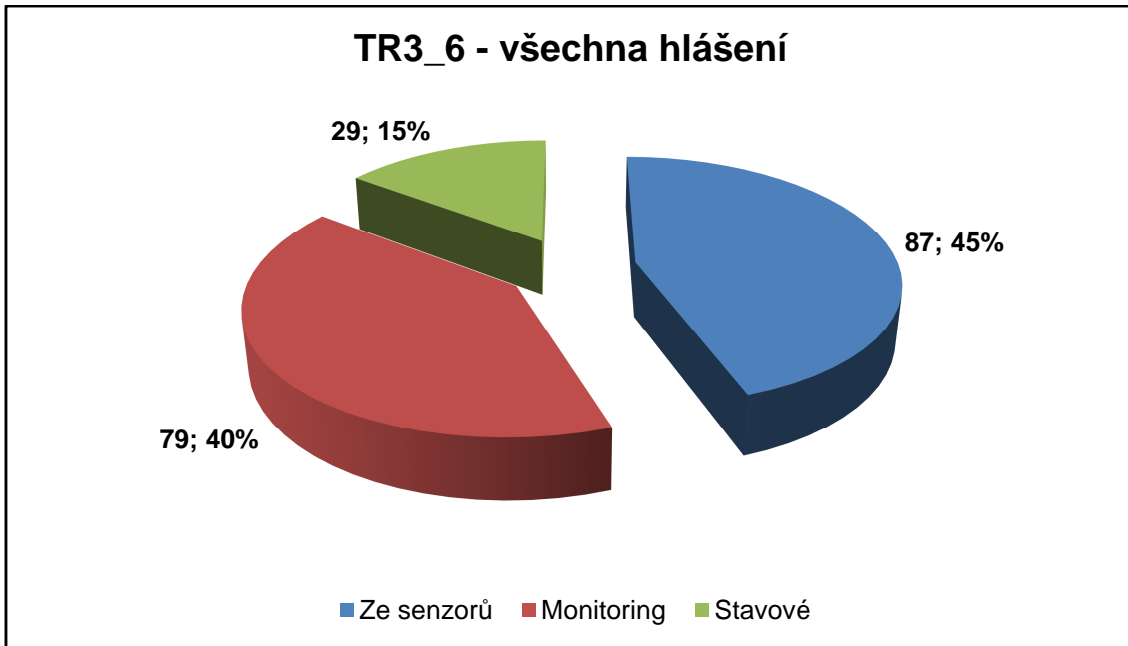
Obr. P6 - 17: Rozložení hlášení o veličinách ze senzorů u TR3_5



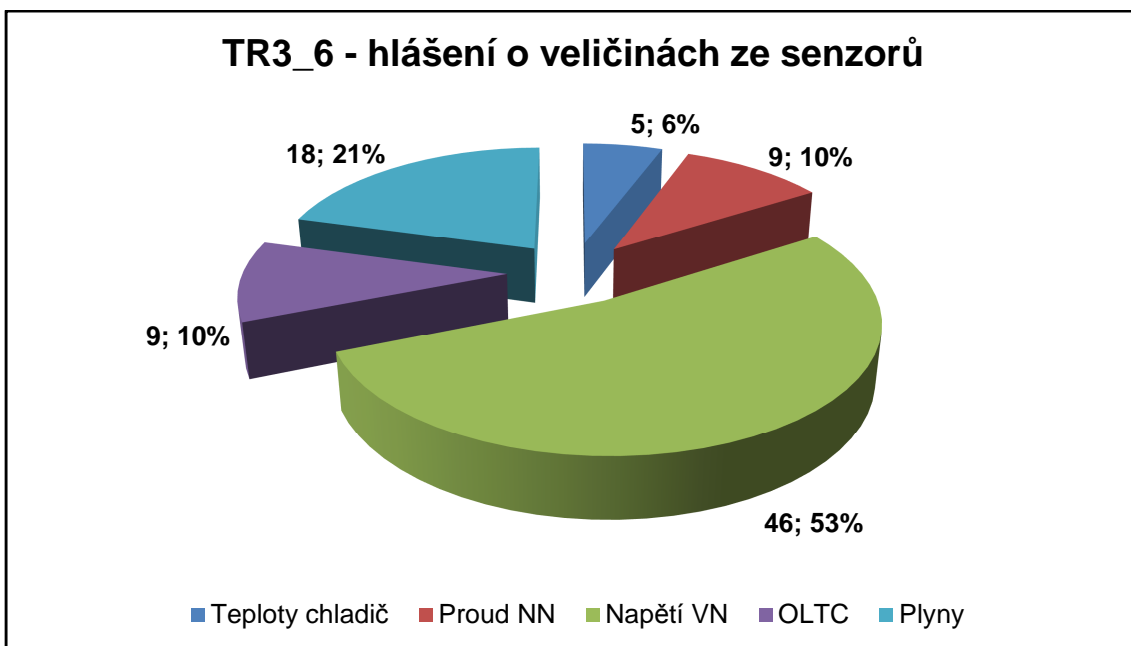
Obr. P6 - 18: Rozložení vnitřních hlášení monitoringu u TR3_5

Transformátor TR3_6

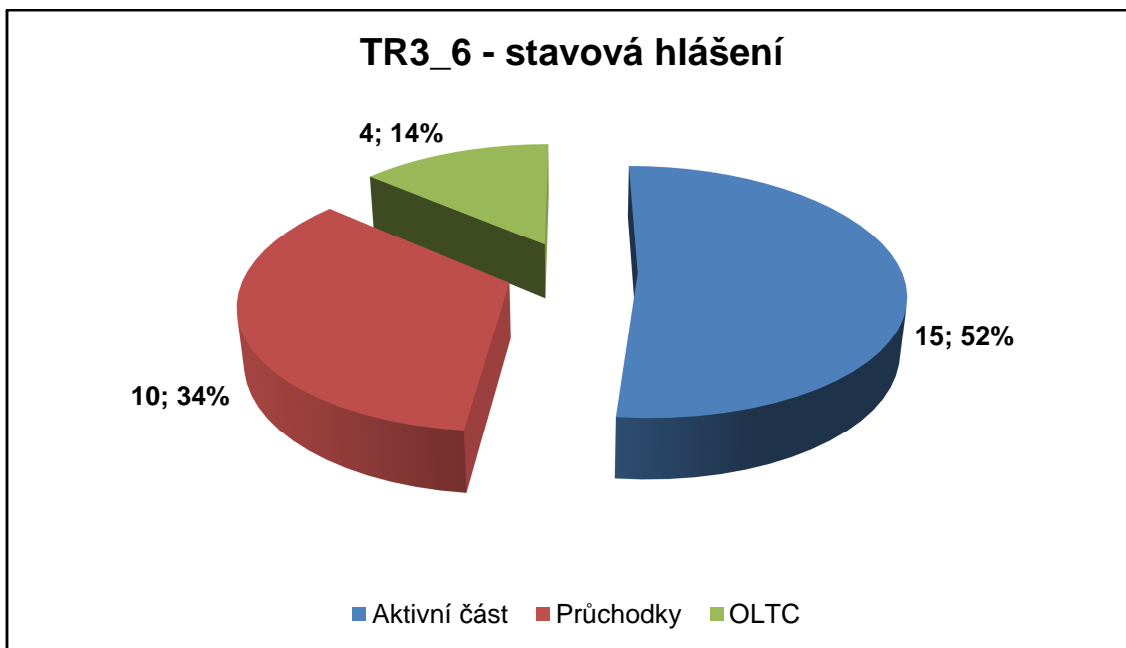
V průběhu provozu transformátoru TR3_6 vzniklo 195 hlášení, z nichž 79 bylo vnitřních, 87 o veličinách ze senzorů a pouze 29 stavových hlášení. 78 vnitřních hlášení bylo generováno jako "Stav IEC104 slave driver". U stavových hlášení bylo generováno 10x "Stav průchodek" (varování "Nadproud", varování "Přepětí"), 15x "Stav aktivního dílu" (varování "Gradient plynu v oleji", "Nefunkčnost Hydranu") a 4x "Stav přepínače" (varování "Čas přepnutí je příliš dlouhý"). Celkem ve 46 případech hlášení o veličinách ze senzorů bylo překročeno "Napětí VN" u jednotlivých fází. Rozložení hlášení jednotlivých kategorií je vidět na obr. P6 - 19, 20, 21 a 22.



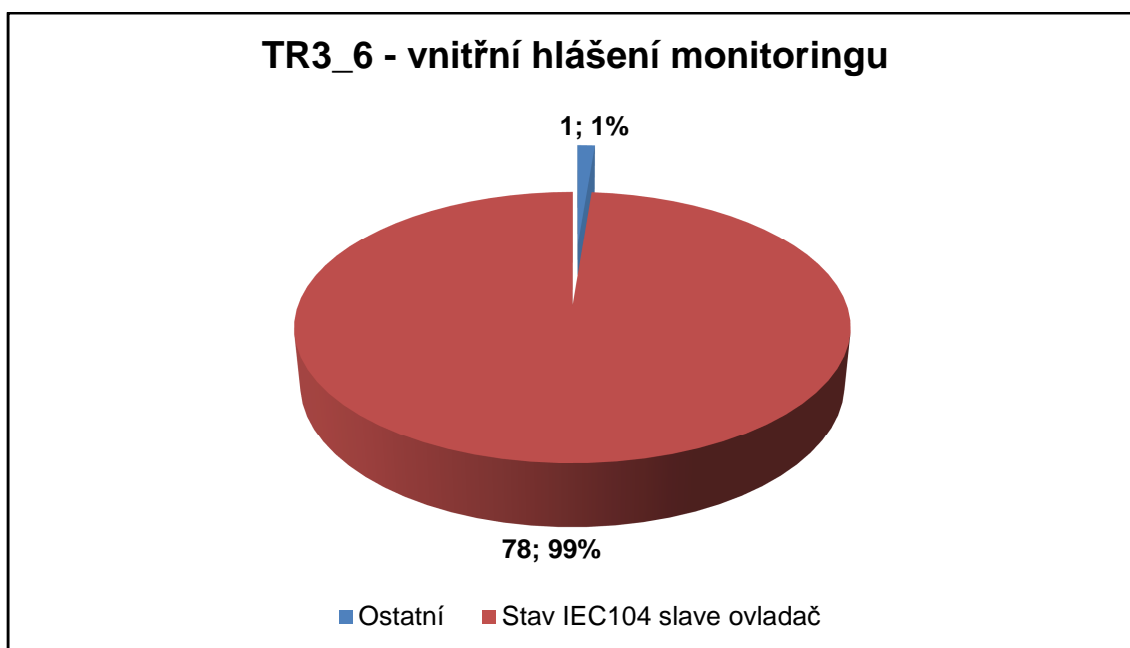
Obr. P6 - 19: Rozložení všech hlášení generovaných u TR3_6



Obr. P6 - 20: Rozložení hlášení o veličinách ze sensorů u TR3_6



Obr. P6 - 21: Rozložení stavových hlášení u TR3_6

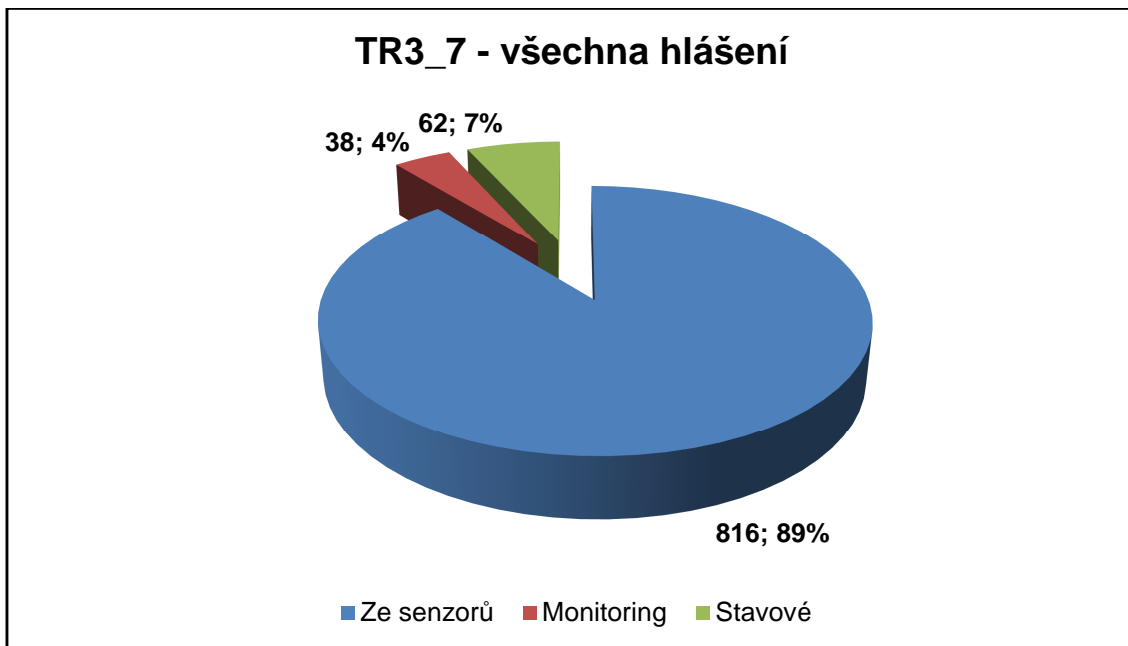


Obr. P6 - 22: Rozložení vnitřních hlášení monitoringu u TR3_6

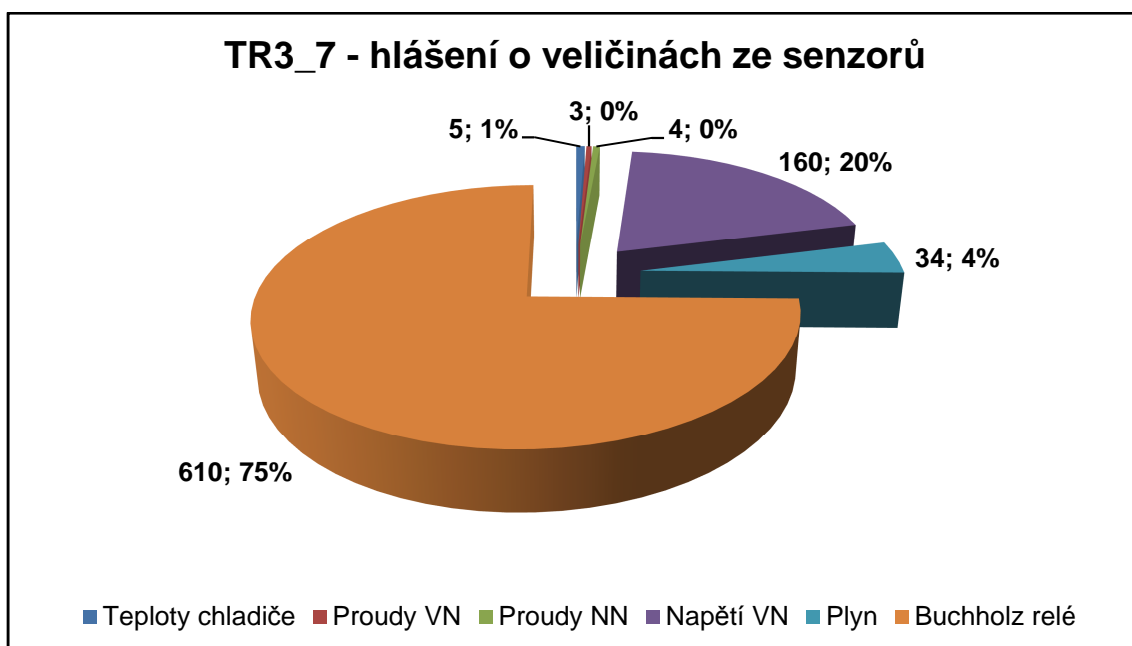
Transformátor TR3_7

Za provozu transformátoru TR3_7 bylo až 89 % všech hlášení generováno jako hlášení o veličinách ze senzorů, 4 % jako vnitřní a 7 % jako stavové. Ve 38 případech vzniklo vnitřní hlášení "Stav IEC104 slave driver". Ze stavových hlášení stojí za zmínku zejména "Stav aktivního dílu", hláška "Nefunkčnost Hydranu" 34x

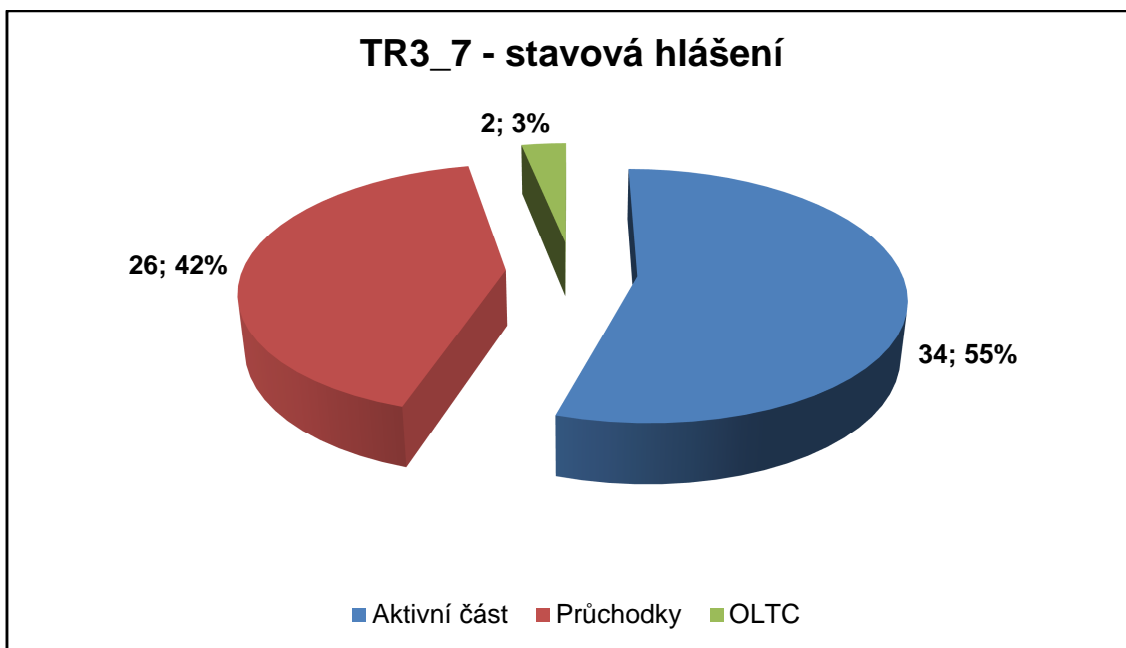
a "Stav průchodek", varování "Přepětí" 26x, tudíž 60 z 62 alarmů vzniklo díky těmto dvěma hlášením. Z celkového počtu 782 hlášení o veličinách ze senzorů bylo 160 generováno díky překročení hodnoty hlášení "Napětí VN" jednotlivých fází a 610 díky hlášení "Množství plynu v Buchholzově relé", hláška typu "RANGE_1" znamenající překročení rozsahu (záporné hodnoty plynu v Buchholzově relé senzoru). Rozložení hlášení jednotlivých kategorií je vidět na obr. P6 - 23, 24, 25 a 26.



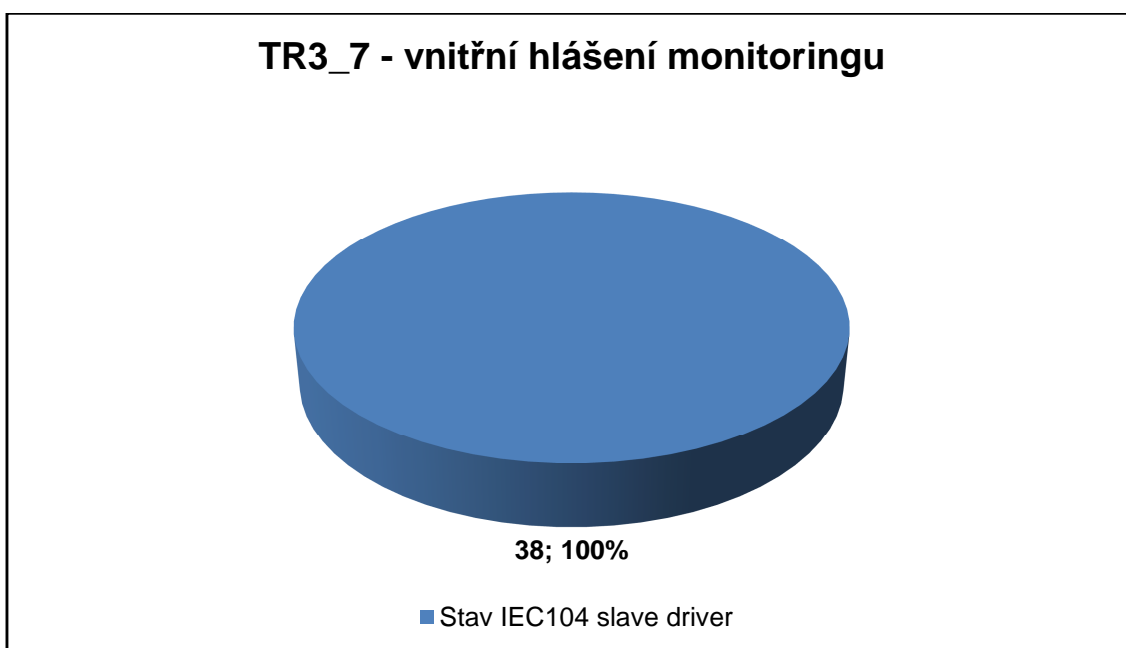
Obr. P6 - 23: Rozložení všech hlášení generovaných u TR3_7



Obr. P6 - 24: Rozložení hlášení o veličinách ze senzorů u TR3_7



Obr. P6 - 25: Rozložení stavových hlášení u TR3_7

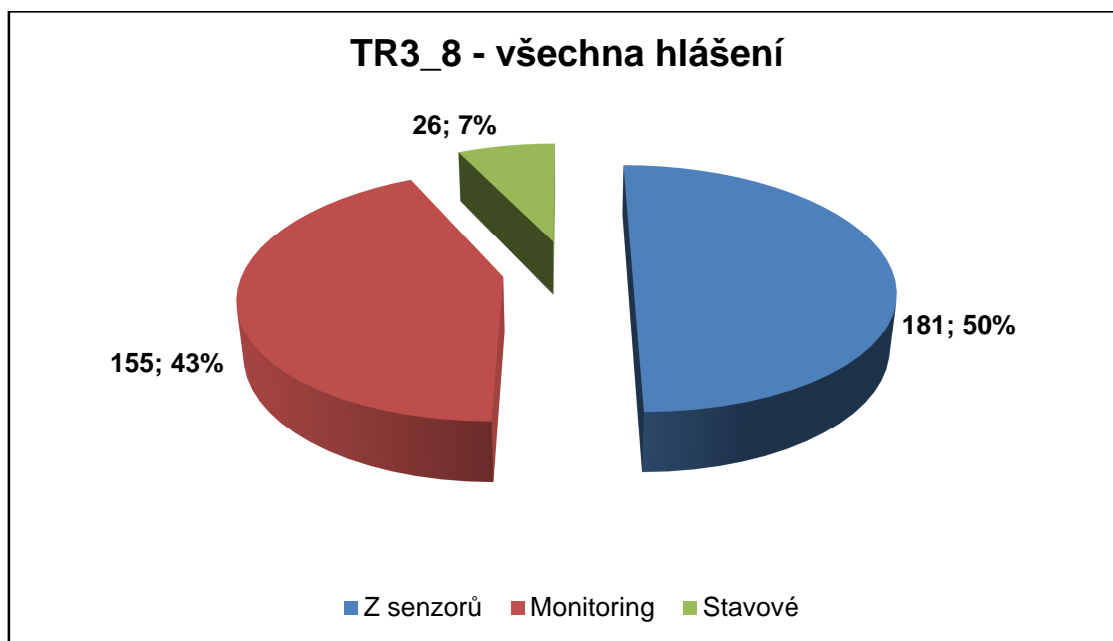


Obr. P6 - 26: Rozložení vnitřních hlášení monitoringu u TR3_7

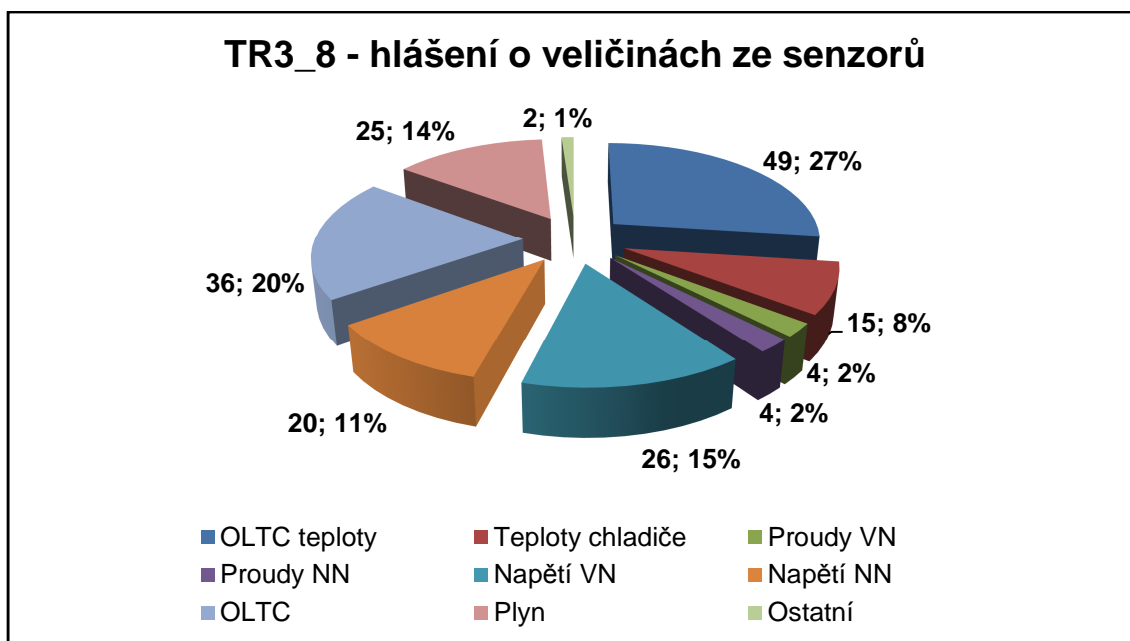
Transformátor TR3_8

U transformátoru TR3_8 se vyskytlo celkem 362 hlášení, z nichž 43 % bylo vnitřních, 7 % bylo stavových a 50 % bylo generováno o veličinách ze senzorů. Ve 154 případech bylo vnitřní hlášení generováno jako "Stav IEC104 slave driver". Téměř všechna stavová hlášení vznikla díky hláše "Nefunkčnost Hydranu" u hlášení

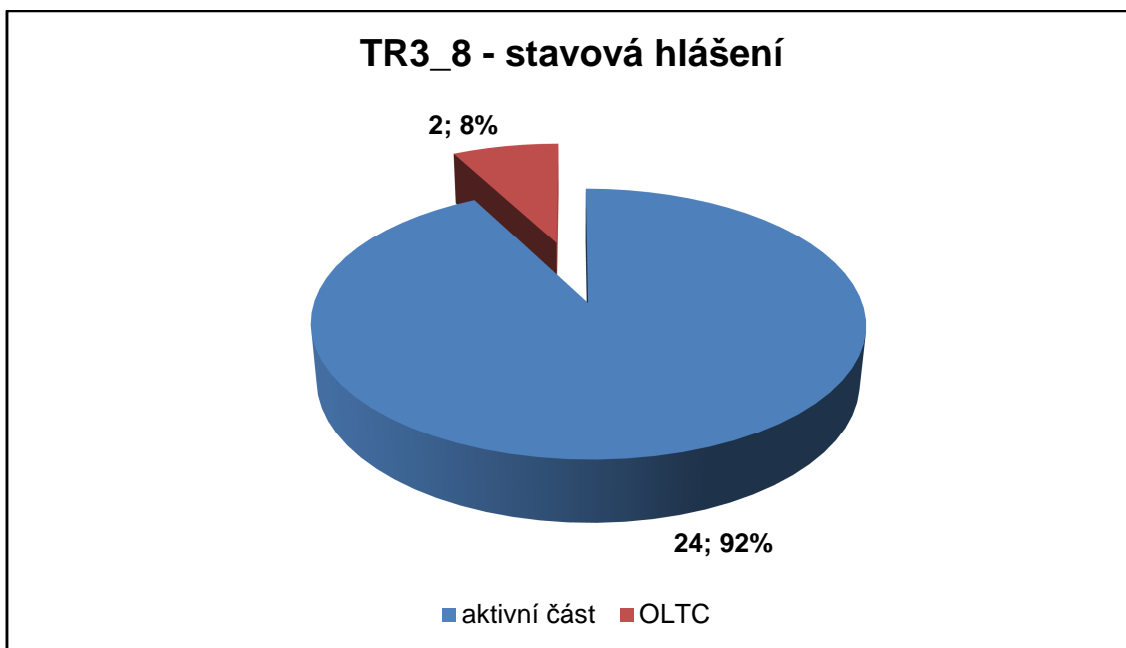
"Stav aktivní části". Až 49 hlášení o veličinách ze senzorů bylo generováno díky dvěma hlášením "Teplota oleje OLTC3" a "Rozdíl teploty oleje OLTC3-tank". Dále 15 hlášení vzniklo díky hlášení "Rozdíl teplot oleje In-Out jednotlivých chladičů" transformátoru. Až 26 hlášení vzniklo díky překročení hodnoty hlášení "Napětí VN" jednotlivých fází. Hlášení "Doba zapínacího proudu OLTC" byla generována díky překročení nastavené doby 27x a hlášení "Náběh kontaktu voliče" pak 8x. Rozložení hlášení jednotlivých kategorií je vidět na obr. P6 - 27, 28, 29 a 30.



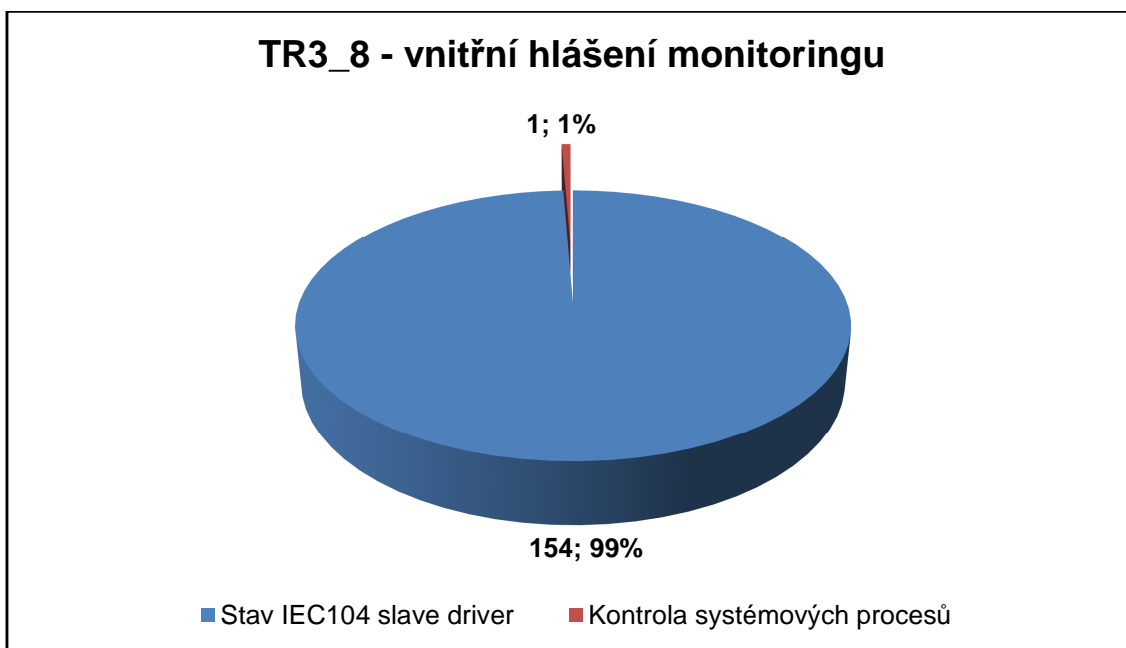
Obr. P6 - 27: Rozložení všech hlášení generovaných u TR3_8



Obr. P6 - 28: Rozložení hlášení o veličinách ze senzorů u TR3_8



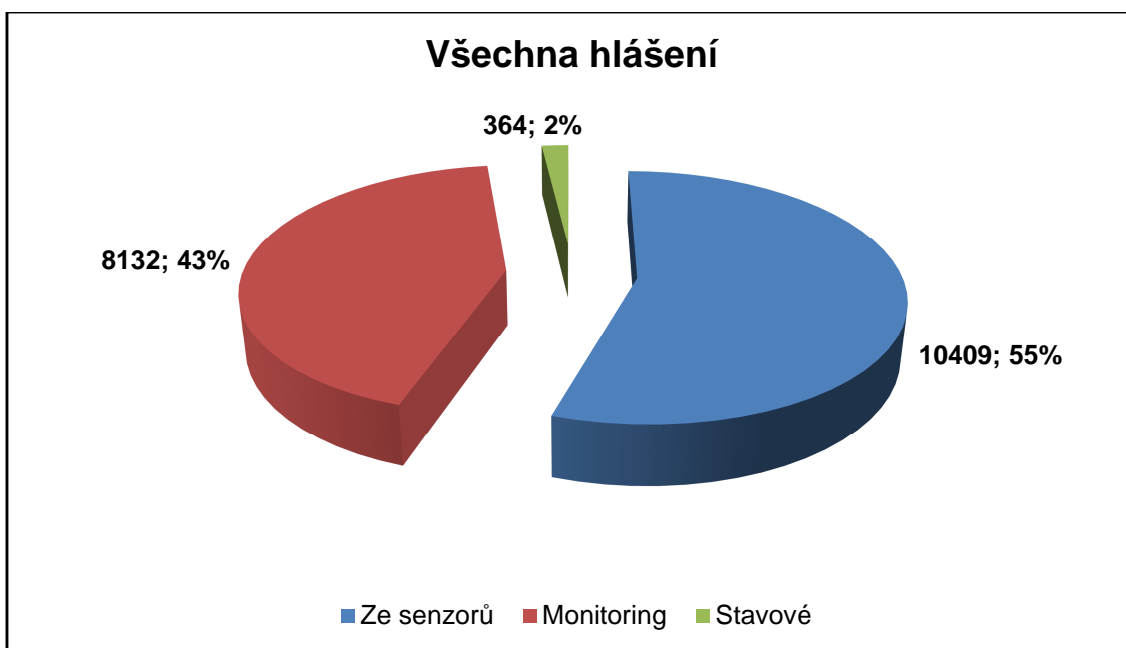
Obr. P6 - 29: Rozložení stavových hlášení u TR3_8



Obr. P6 - 30: Rozložení vnitřních hlášení monitoringu u TR3_8

Celkové zhodnocení hlášení generovaných monitorovacími systémy 3. generace MST3

U všech osmi analyzovaných transformátorů se vyskytlo celkem 18 905 hlášení, z nichž 55 % (10 409x) bylo o veličinách ze senzorů, 2 % (364x) stavových hlášení a 43 % (8132x) vnitřních hlášení monitoringu. Rozložení všech hlášení generovaných u všech osmi analyzovaných transformátorů je vidět na obr. P6 - 31.



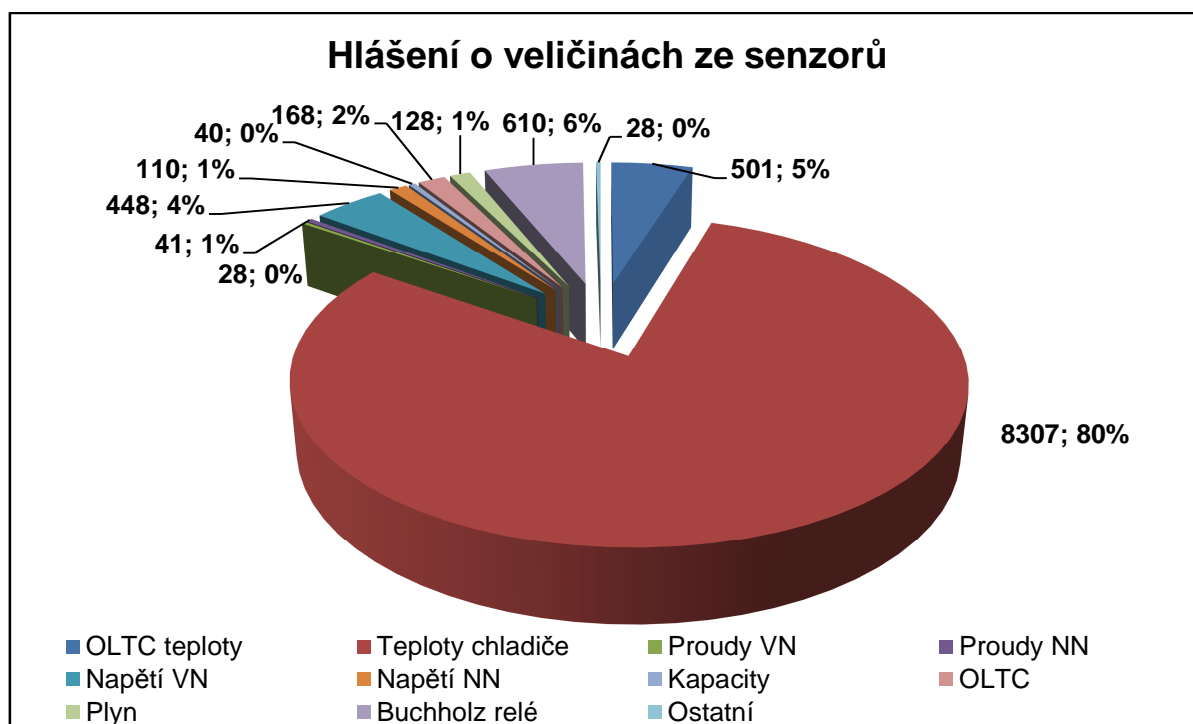
Obr. P6 - 31: Rozložení všech hlášení generovaných u všech osmi analyzovaných transformátorů

Hlášení o veličinách ze senzorů

Hlášení "Napětí VN" jednotlivých fází patřilo mezi nejčastěji se vyskytující u 5 transformátorů (TR3_3, TR3_5, TR3_6, TR3_7 a TR3_8). U tří transformátorů patřilo mezi nejčastější hlášení o veličinách ze senzorů hlášení "Rozdíl teplot oleje In-Out jednotlivých chladičů" transformátoru (TR3_1, TR3_5 a TR3_8), což je poplatné nastavení, které je u nich 10 a 15 K pro varování a alarm. U transformátorů TR3_4 a TR3_8 se velice často vyskytovala hlášení "Náběh kontaktu voliče", "Teplota oleje OLTC3" a "Rozdíl teplot oleje OLTC3-tank". U transformátoru TR3_2 se hlášení "Výstupní teplota oleje z chladiče 3" objevilo 7591x. Hlášení "Množství plynu v Buchholzově relé" bylo u transformátoru TR3_7 generováno 610x.

U transformátoru TR3_5 se velice často vyskytovalo hlášení "Doba přepnutí OLTC" a u transformátoru TR3_8 zase hlášení "Doba zapínacího proudu OLTC".

Z následujících údajů je vidět, že nejvíce hlášení o veličinách ze senzorů je generováno u OLTC (teploty 5 % a činnost OLTC 2%), chladičů (80 %) u napětí VN jednotlivých fází (4 %). Nejčastěji generovanými hlášeními byly teploty oleje chladičů (hlášení "Výstupní teplota" či "Rozdíl teplot In-Out chladiče") a pouze u TR3_7 hlášení "Množství plynu v Buchholzově relé" (6 %). Rozložení všech hlášení o veličinách ze senzorů je vidět na obr. P6 - 32.

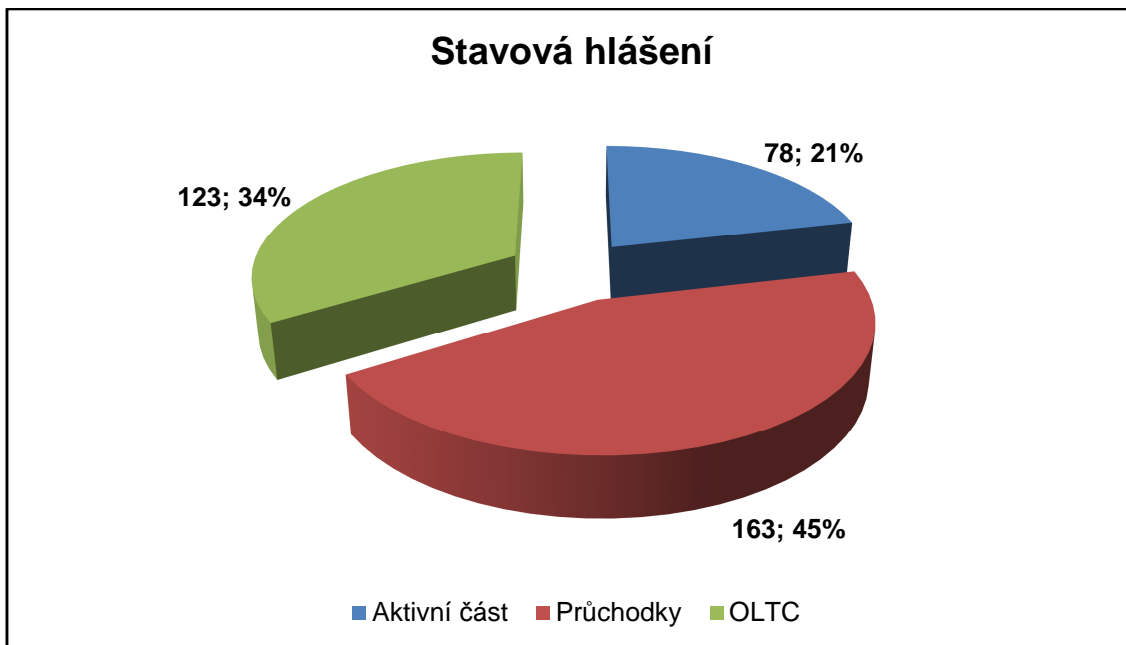


Obr. P6 - 32: Rozložení hlášení o veličinách ze senzorů generovaných u všech osmi analyzovaných transformátorů

Stavová hlášení

Stavová hlášení "Stav průchodek" se často vyskytovala u 4 transformátorů TR3_3, TR3_4, TR3_6 a TR3_7, kde se většinou jednalo o varování typu "Přepětí". U tří transformátorů (TR3_6, TR3_7 a TR3_8) bylo často generované hlášení "Stav aktivního dílu", zejména hláška "Nefunkčnost Hydranu". V případě jednoho transformátoru (TR3_2 – 108 alarmů) bylo nejčastější stavové hlášení "Stav OLTC".

Celkem 45 % všech stavových hlášení bylo generováno jako "Stav průchodek", 34 % jako "Stav OLTC" a 21 % jako "Stav aktivního dílu". Rozložení všech stavových hlášení je vidět na obr. P6 - 33.

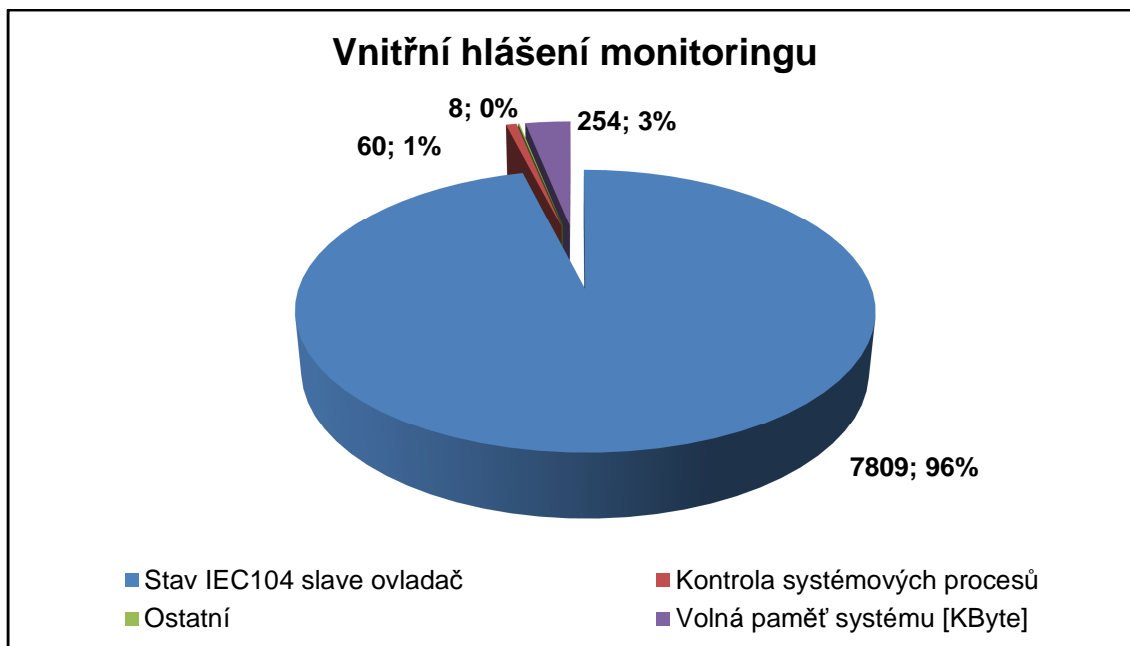


Obr. P6 - 33: Rozložení stavových hlášení generovaných u všech osmi analyzovaných transformátorů

Vnitřní hlášení monitoringu

U všech osmi hodnocených transformátorů bylo nejčastější vnitřní hlášení monitoringu "Stav IEC104 slave driver". Větší počet hlášení (56x) bylo typu "Kontrola systémových procesů", jež se objevilo u transformátoru TR3_2. Hlášení "Volná paměť systému [kByte]" bylo generováno 254x u transformátoru TR3_5.

Hlášení "Stav IEC104 slave driver" bylo generováno v 96 % všech vnitřních hlášení monitoringu, hlášení "Volná paměť systému [kByte]" ve 3 % a "Kontrola systémových procesů" v 1 % výskytu všech vnitřních hlášení monitoringu. Rozložení všech vnitřních hlášení monitoringu je vidět na obr. P6 - 34.



Obr. P6 - 34: Rozložení vnitřních hlášení monitoringu generovaných u všech osmi analyzovaných transformátorů

Monitorovací systém 3. generace MST3 je nasazen na 8 třífázových transformátorech. U všech 8 hodnocených transformátorů bylo generováno 55 % hlášení o veličinách ze senzorů, 43 % vnitřních hlášení monitoringu a pouze 2 % stavových hlášení. U uvedených 8 transformátorů patřilo mezi nejčastěji generovaná vnitřní hlášení monitoringu hlášení "**Stav IEC104 slave ovladač**", které se vyskytovalo v 95 % všech případů. Stavová hlášení jsou generována, jakožto výsledek souboru senzorů sledujících danou část transformátoru a jejich výskyt není příliš častý. U hlášení o veličinách ze senzorů bude nutné zjistit příčiny častého výskytu hlášení u **teplot chladičů**, u **napětí VN** jednotlivých fází a u **teplot a veličin charakterizující stav OLTC**. Bude taktéž nutné zjistit důvod generování hlášení "**Množství plynu v Buchholzově relé**" u transformátoru TR3_7.

Příloha 7

Analýza mezí generování jednotlivých hlášení monitorovacími systémy 3. generace (MST3) nasazených na transformátorech přenosové soustavy

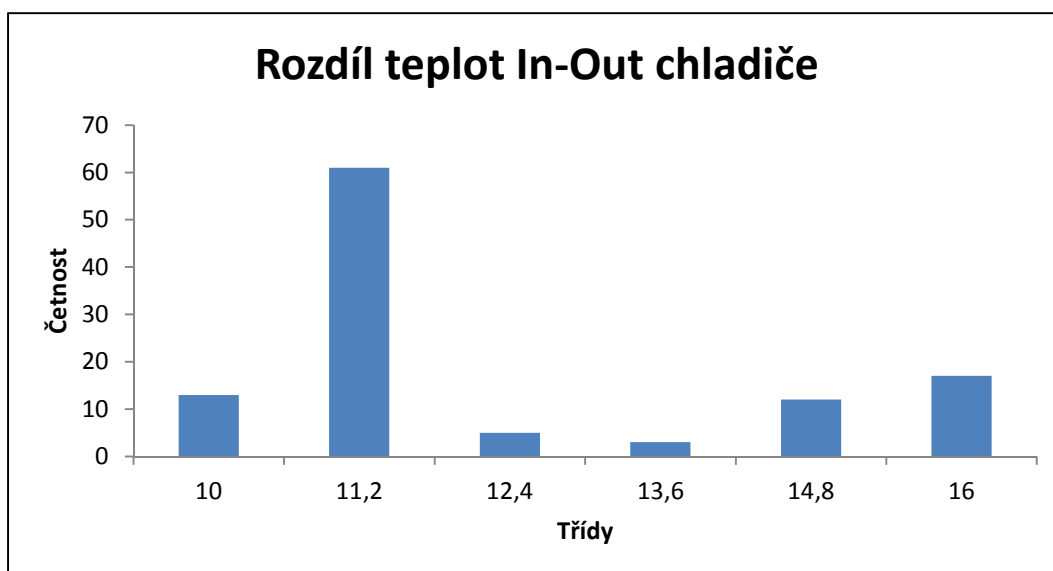
Monitorovací systémy 3. generace (MST3) jsou nasazeny na 8 transformátorech přenosové soustavy, které z důvodu nezávislosti a komerční zdrženlivosti označím jako transformátory TR3_1, TR3_2, TR3_3, TR3_4, TR3_5, TR3_6, TR3_7 a TR3_8, a u nichž byla provedena analýza mezí (limitů) generování jednotlivých hlášení (překročení mezí) za jejich jednoroční provoz.

Transformátor TR3_1

Nejčastěji překročené meze veličin se objevily u veličin „Vyšší napětí VN“ a „Rozdíl teplot In-Out chladiče“. Jejich popisná statistika je uvedena v tab. P7 – 1, 2 a histogramy jsou vidět na obr. P7 - 1, 2.

Tab. P7 - 1: Popisná statistika - Rozdíl teplot In-Out chladiče – TR3_1

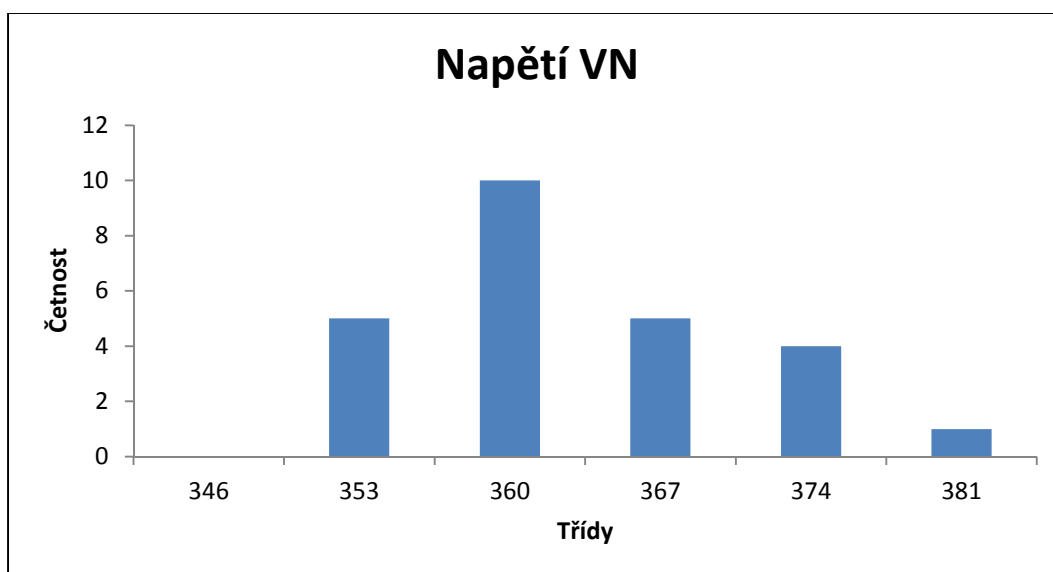
Veličina	Rozdíl teplot In-Out chladiče
Limit - Varování	10 K
Limit - Alarm	15 K
Počet překročení	111
Střední hodnota	11,6 K
Směr. odchylka	2 K
Variační koeficient	17,50%
Maximum	15,9 K
Minimum	10 K



Obr. P7 - 1: Histogram - Rozdíl teplot In-Out chladiče - TR3_1

Tab. P7 - 2: Popisná statistika - Napětí VN - TR3_1

Veličina	Napětí VN
Jmen. hodnota	400 kV
Limit - Varování	346 kV
Počet překročení	25
Střední hodnota	359,2 kV
Směr. odchylka	7,8 kV
Variační koeficient	2,2%
Maximum	380 kV
Minimum	346,3 kV



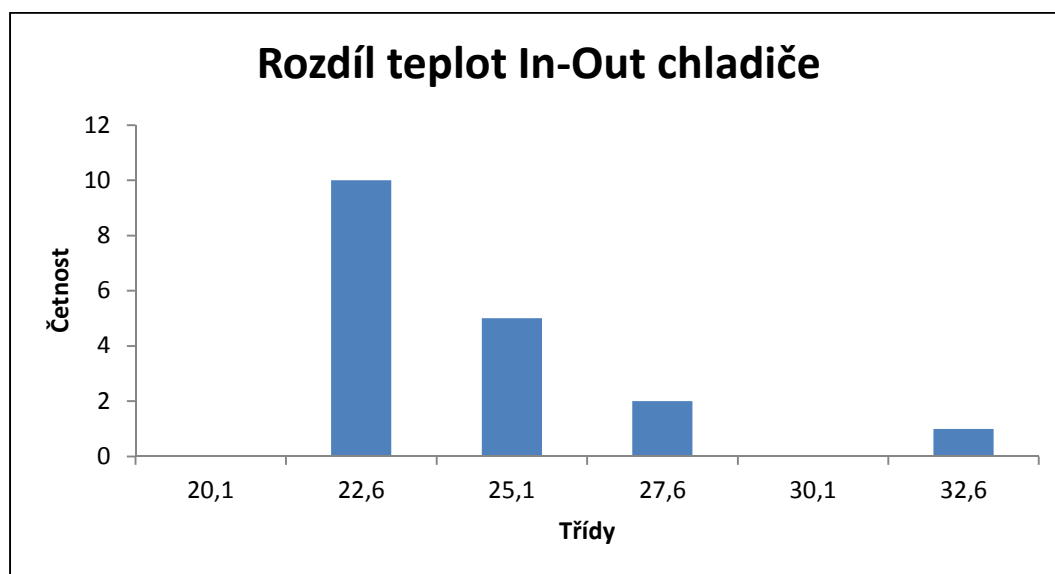
Obr. P7 - 2: Histogram - Napětí VN - TR3_1

Transformátor TR3_2

Nejčastěji překročené meze veličin se objevily u veličin „Vyšší napětí VN“, „Nižší napětí NN“, „Proudy zatížení vyššího napětí VN“, „Proudy zatížení nižšího napětí NN“, „Rozdíl teplot In-Out chladiče“ (bez započtení chladiče 3, jehož měření výstupní teploty oleje vykazovalo problémy) a „Výstupní teplota oleje chladiče 3“. Jejich popisná statistika je uvedena v tab. P7 – 3, 4, 5, 6, 7, 8 a histogramy jsou vidět na obr. P7 – 3, 4, 5, 6, 7, 8.

Tab. P7 - 3: Popisná statistika - Rozdíl teplot In-Out chladiče - TR3_2

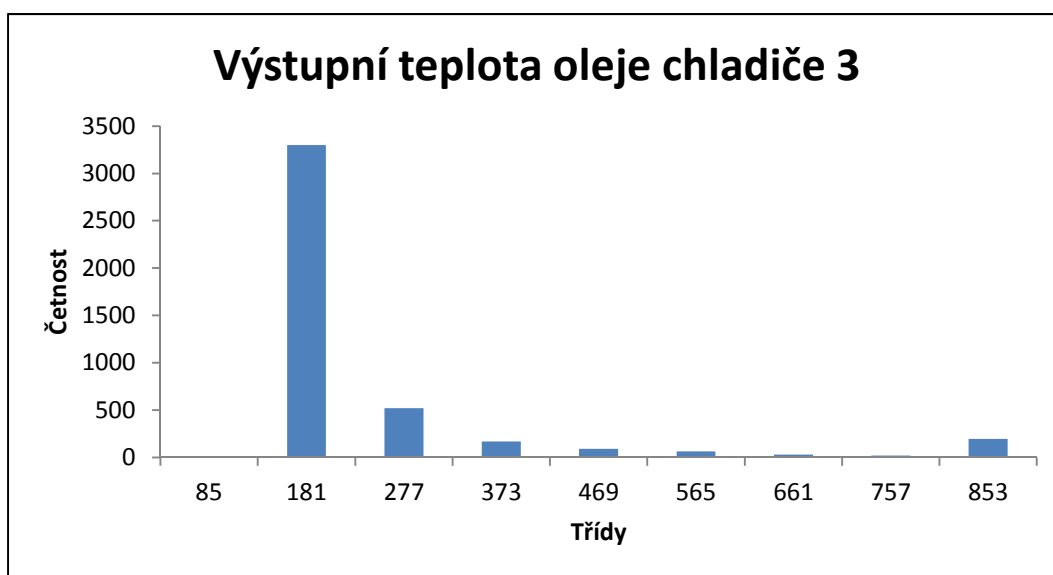
Veličina	Rozdíl teplot In-Out chladiče
Limit - Varování	22 K
Limit - Alarm	25 K
Počet překročení	18
Střední hodnota	23,8 K
Směr. odchylka	2,8 K
Variační koeficient	11,60%
Maximum	32,5 K
Minimum	20,2 K



Obr. P7 - 3: Histogram - Rozdíl teplot In-Out chladiče - TR3_2

Tab. P7 - 4: Popisná statistika - Výstupní teplota oleje chladiče 3 - TR3_2

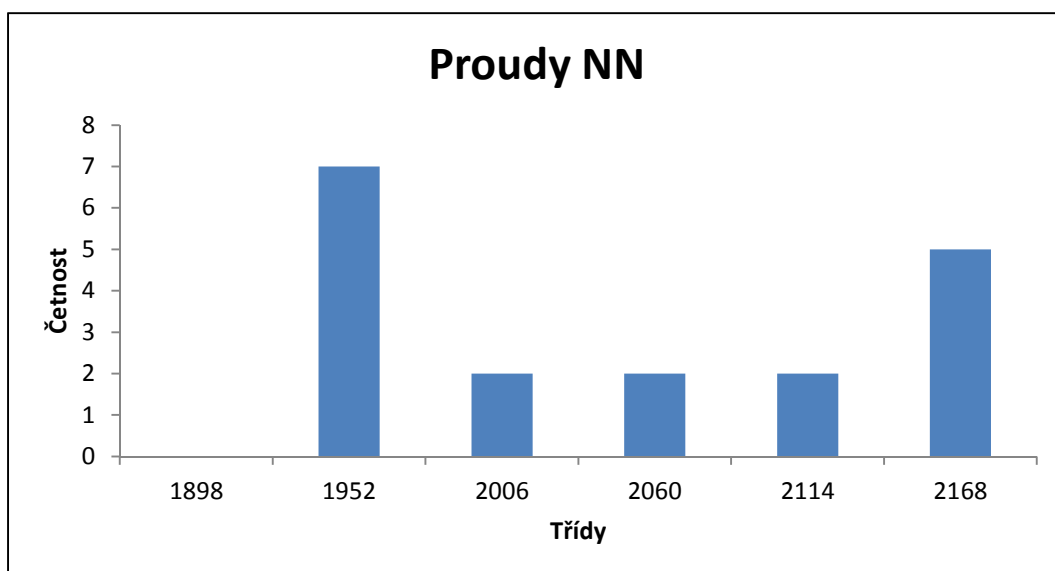
Veličina	Výstupní teplota oleje chladiče 3
Limit - Varování	90 °C
Limit - Alarm	110 °C
Počet překročení	4391
Střední hodnota	193,6 °C
Směr. odchylka	168,8 °C
Variační koeficient	87,20%
Maximum	850 °C
Minimum	85 °C



Obr. P7 - 4: Histogram - Výstupní teplota oleje chladiče 3 - TR3_2

Tab. P7 - 5: Popisná statistika - Proudové zatížení NN - TR3_2

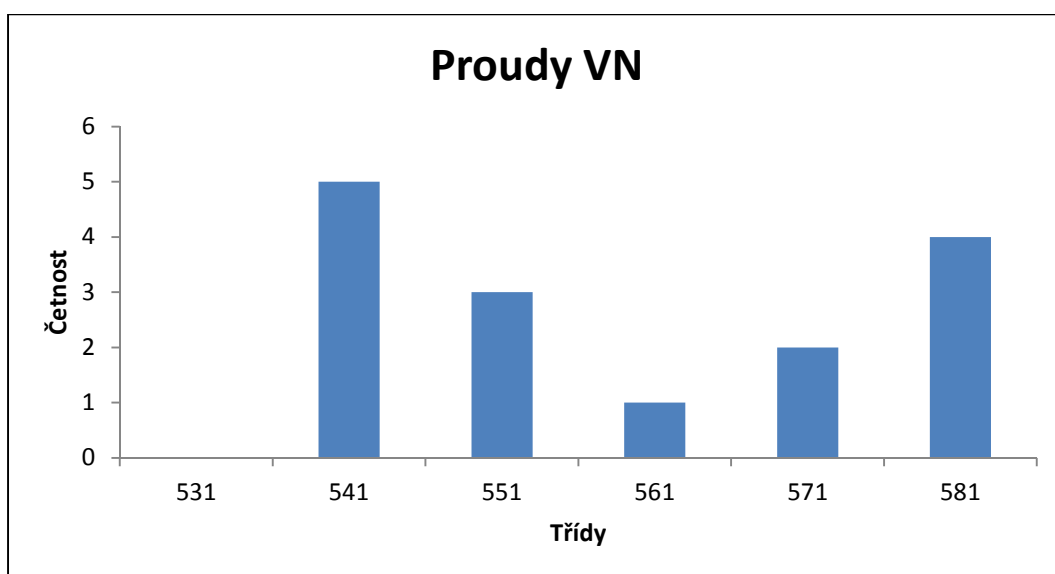
Veličina	Proudové zatížení NN
Jmen. hodnota - nejvyšší odbočka	1491,1 A
Jmen. hodnota - nejnižší odbočka	1897,8 A
Limit - Varování	1898 A
Limit - Alarm	2088 A
Počet překročení	18
Střední hodnota	2023,4 A
Směr. odchylka	98,1 A
Variační koeficient	4,8%
Maximum	2166,6 A
Minimum	1898,9 A



Obr. P7 - 5: Histogram - Proudy zatížení NN - TR3_2

Tab. P7 - 6: Popisná statistika - Proudy zatížení VN - TR3_2

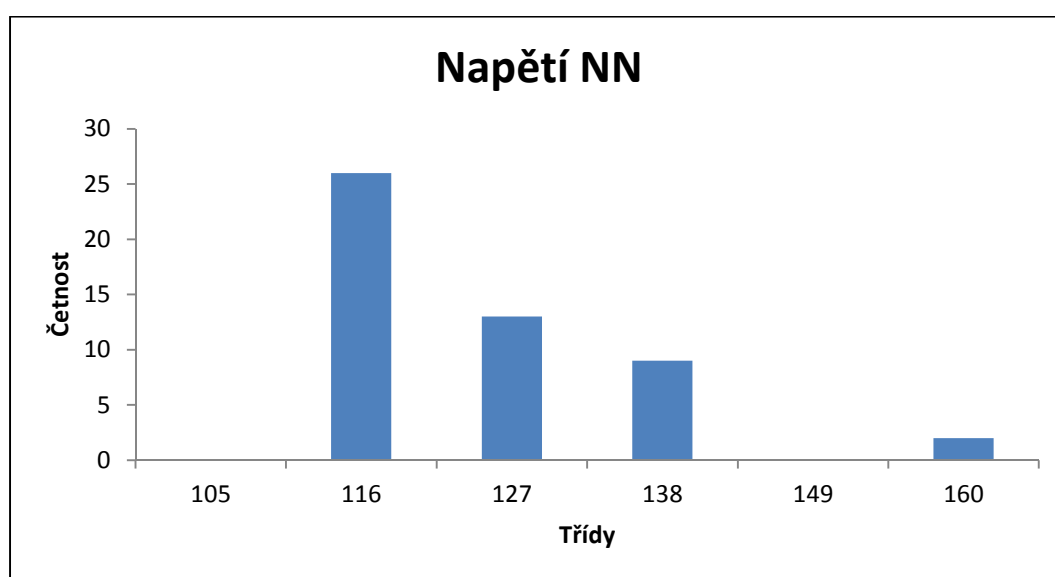
Veličina	Proudy zatížení VN
Jmen. hodnota	505,2 A
Limit - Varování	530 A
Limit - Alarm	556 A
Počet překročení	15
Střední hodnota	552,7 A
Směr. odchylka	18,5 A
Variační koeficient	3,4%
Maximum	579,1 A
Minimum	531,4 A



Obr. P7 - 6: Histogram - Proudy zatížení VN - TR3_2

Tab. P7 - 7: Popisná statistika - Napětí NN - TR3_2

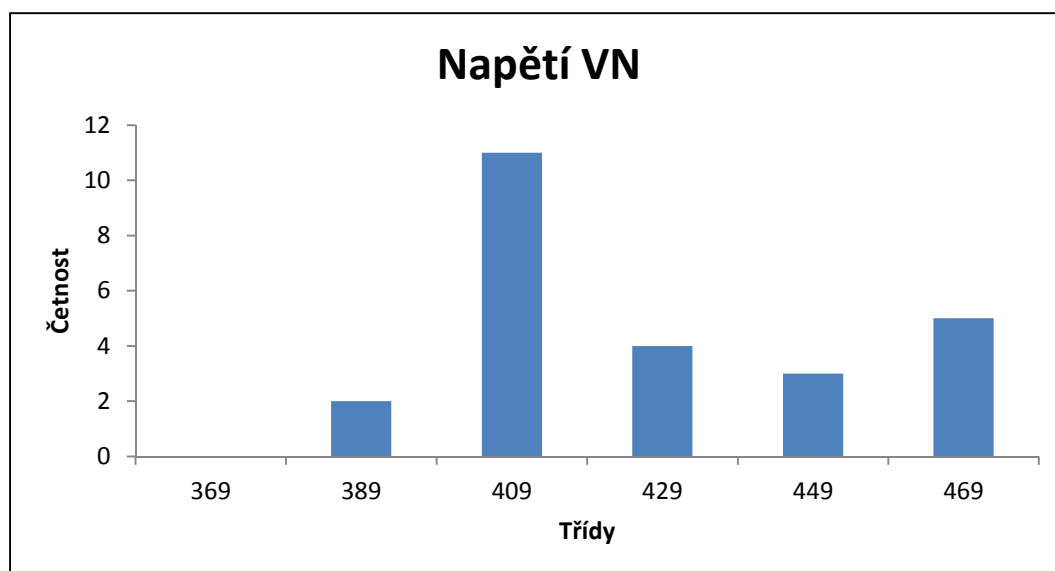
Veličina	Napětí NN
Jmen. hodnota - nejvyšší odbočka	135,5 kV
Jmen. hodnota - nejnižší odbočka	106,5 kV
Limit - Varování	105 kV
Limit - Alarm	119 kV
Počet překročení	50
Střední hodnota	119,5 kV
Směr. odchylka	11 kV
Variační koeficient	9,2%
Maximum	159,2 kV
Minimum	105,4 kV



Obr. P7 - 7: Histogram - Napětí NN - TR3_2

Tab. P7 - 8: Popisná statistika - Napětí VN - TR3_2

Veličina	Napětí VN
Jmen. hodnota	400 kV
Limit - Varování	360 kV
Limit - Alarm	410 kV
Počet překročení	25
Střední hodnota	417,6 kV
Směr. odchylka	27,6 kV
Variační koeficient	6,6%
Maximum	466,8 kV
Minimum	369,7 kV



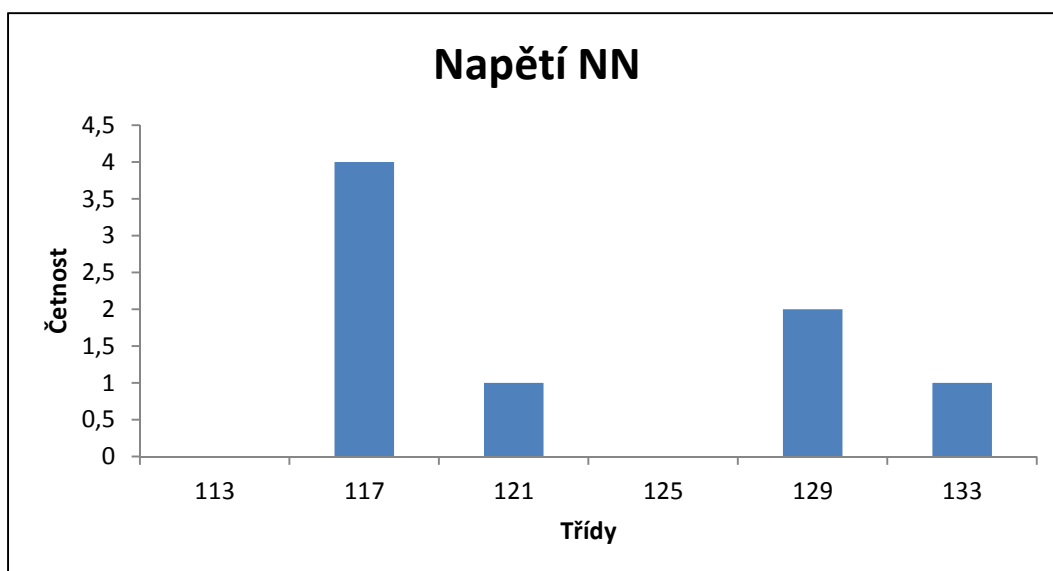
Obr. P7 - 8: Histogram - Napětí VN - TR3_2

Transformátor TR3_3

Nejčastěji překročené meze veličin se objevily u veličin „Vyšší napětí VN“, „Nižší napětí NN“, „Rozdíl teplot In-Out chladiče“. Jejich popisná statistika je uvedena v tab. P7 - 9, 10, 11 a histogramy jsou vidět na obr. P7 – 9, 10, 11.

Tab. P7 - 9: Popisná statistika - Napětí NN - TR3_3

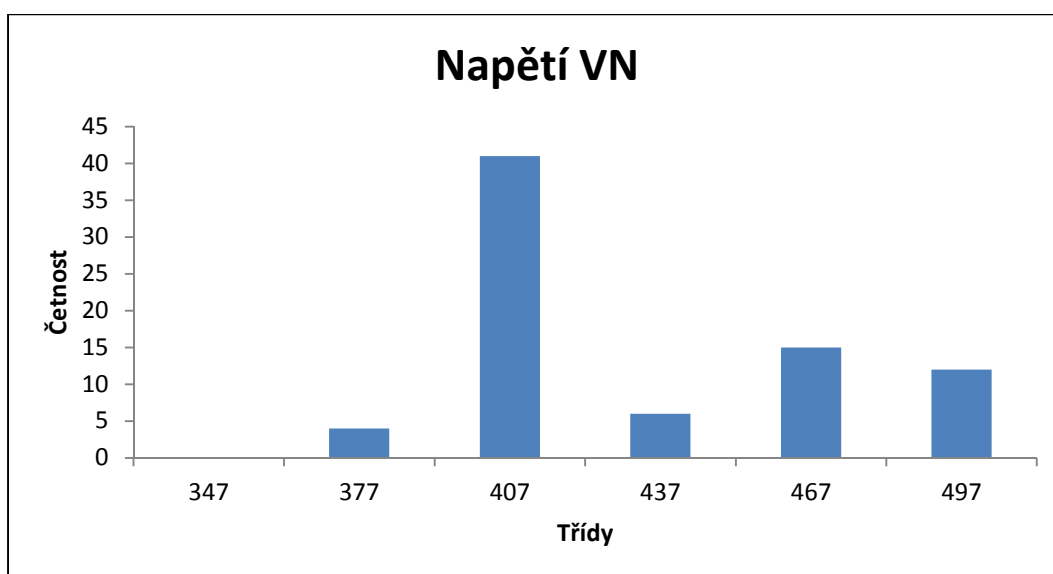
Veličina	Napětí NN.
Jmen. hodnota - nejvyšší odbočka	135,5 kV
Jmen. hodnota - nejnižší odbočka	106,5 kV
Limit - Varování	105 kV
Limit - Alarm	119 kV
Počet překročení	8
Střední hodnota	119,6 kV
Směr. odchylka	6,5 kV
Variační koeficient	5,5%
Maximum	130 kV
Minimum	113,7 kV



Obr. P7 - 9: Histogram - Napětí NN - TR3_3

Tab. P7 - 10: Popisná statistika - Napětí VN - TR3_3

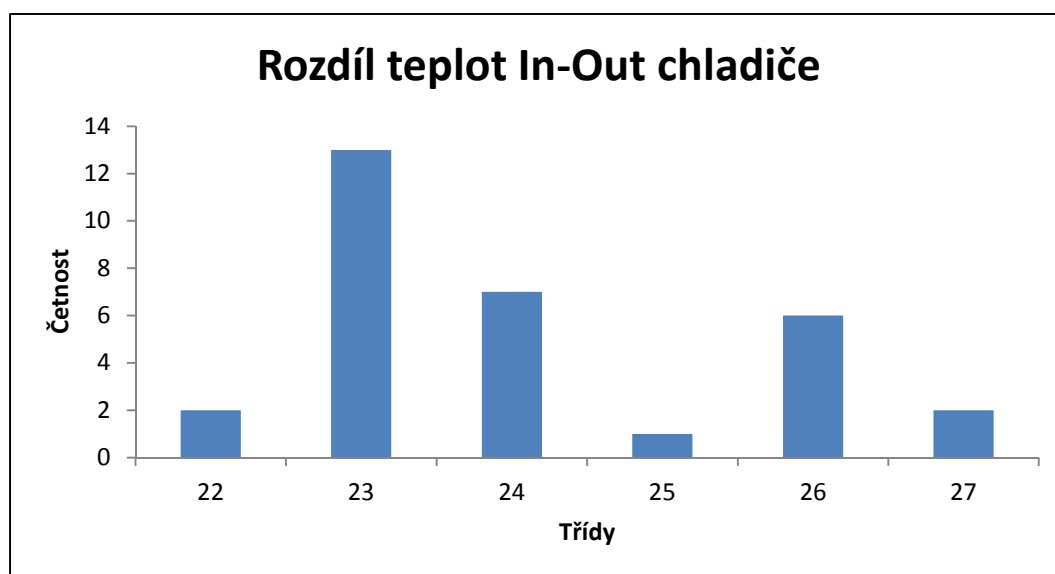
Veličina	Napětí VN
Jmen. hodnota	400 kV
Limit - Varování	346 kV
Limit - Alarm	393 kV
Počet překročení	78
Střední hodnota	415 kV
Směr. odchylka	40,4 kV
Variační koeficient	9,7%
Maximum	495,7 kV
Minimum	347,9 kV



Obr. P7 - 10: Histogram - Napětí VN - TR3_3

Tab. P7 - 11: Popisná statistika - Rozdíl teplot In-Out chladiče - TR3_3

Veličina	Rozdíl teplot In-Out chladiče
Limit - Varování	22 K
Limit - Alarm	25 K
Počet překročení	31
Střední hodnota	23,6 K
Směr. odchylka	1,4 K
Variační koeficient	5,90%
Maximum	26,7 K
Minimum	22 K



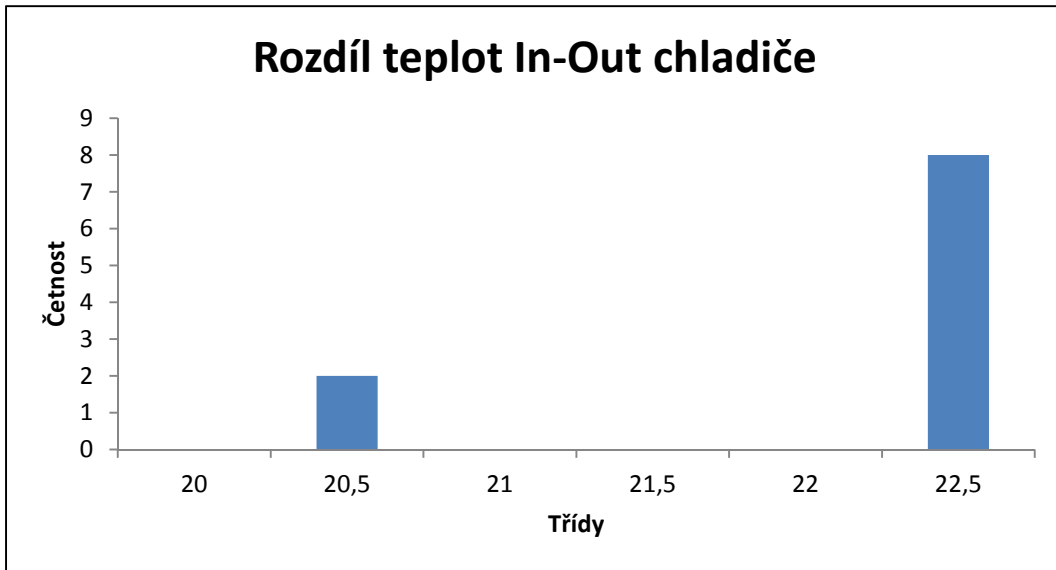
Obr. P7 - 11: Histogram - Rozdíl teplot In-Out chladiče - TR3_3

Transformátor TR3_4

Nejčastěji překročené meze veličin se objevily u veličin „Rozdíl teplot In-Out chladiče“, „Náběh kontaktu voliče“. Jejich popisná statistika je uvedena v tab. P7 - 12, 13 a histogramy jsou vidět na obr. P7 - 12, 13.

Tab. P7 - 12: Popisná statistika - Rozdíl teplot In-Out chladiče - TR3_4

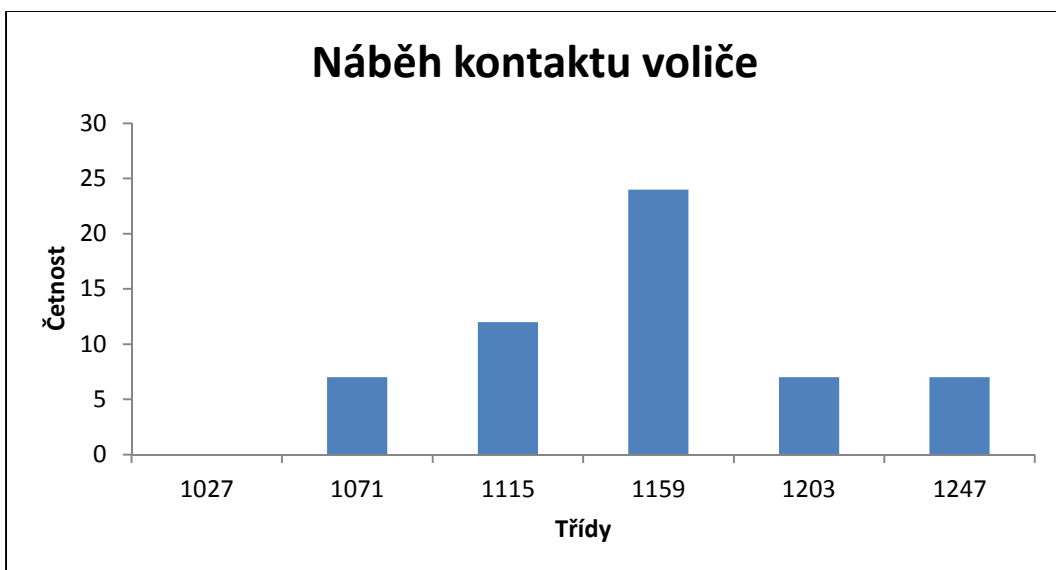
Veličina	Rozdíl teplot chladiče
Limit - Varování	22 K
Počet překročení	10
Střední hodnota	21,7 K
Směr. odchylka	0,8 K
Variační koeficient	3,90%
Maximum	22,2 K
Minimum	20,1 K



Obr. P7 - 12: Histogram - Rozdíl teplot In-Out chladiče - TR3_4

Tab. P7 - 13: Popisná statistika - Náběh kontaktu voliče OLTC - TR3_4

Veličina	Náběh kontaktu voliče
Limit - Varování	1000 W
Limit - Alarm	1200 W
Počet překročení	57
Střední hodnota	1136,8 W
Směr. odchylka	47,3 W
Variační koeficient	4,2%
Maximum	1244,8 W
Minimum	1027,5 W



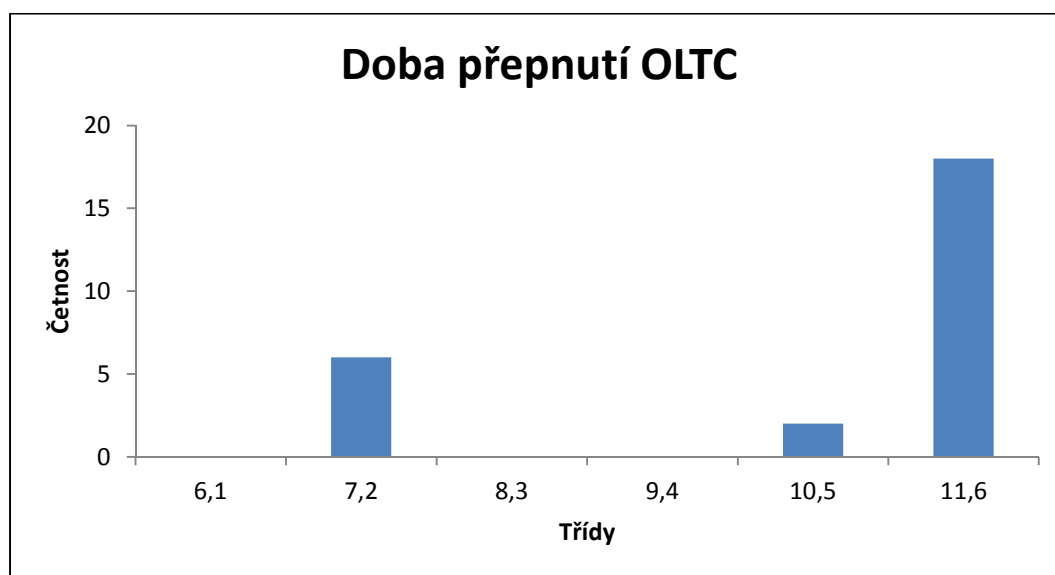
Obr. P7 - 13: Histogram - Náběh kontaktu voliče OLTC - TR3_4

Transformátor TR3_5

Nejčastěji překročené meze veličin se objevily u veličin „Rozdíl teplot In-Out chladiče“, „Doba přepnutí OLTC“, „Vyšší napětí VN“, „Nižší napětí NN“. Jejich popisná statistika je uvedena v tab. P7 – 14, 15, 16, 17 a histogramy jsou vidět na obr. P7 – 14, 15, 16, 17.

Tab. P7 - 14: Popisná statistika - Doba přepnutí OLTC - TR3_5

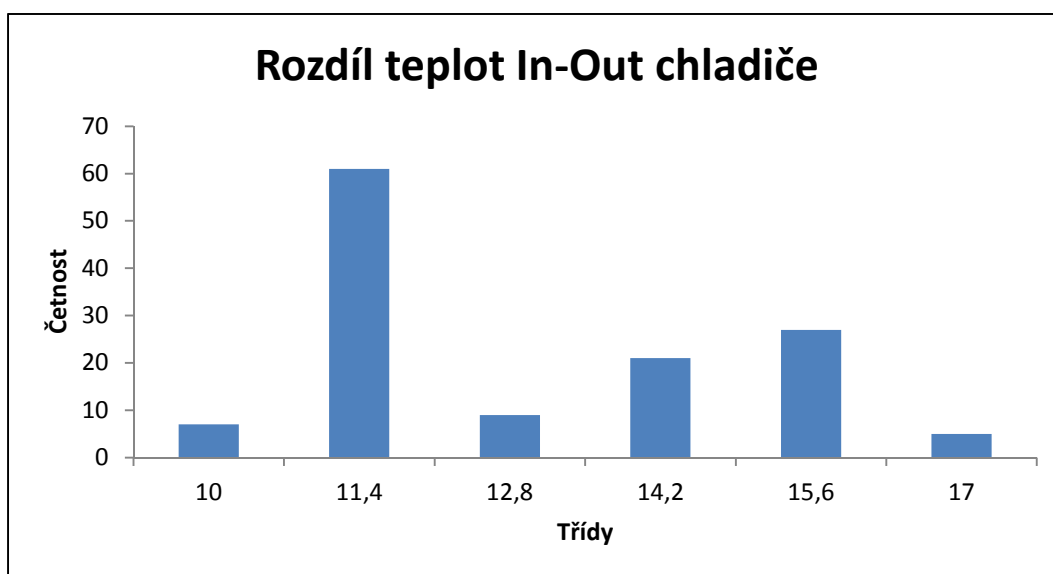
Veličina	Doba přepnutí OLTC
Limit - Varování	6 s
Limit - Alarm	8 s
Počet překročení	26
Střední hodnota	10,1 s
Směr. odchylka	2,2 s
Variační koeficient	22,00%
Maximum	11,5 s
Minimum	6,2 s



Obr. P7 - 14: Histogram - Doba přepnutí OLTC - TR3_5

Tab. P7 - 15: Popisná statistika - Rozdíl teplot In-Out chladiče - TR3_5

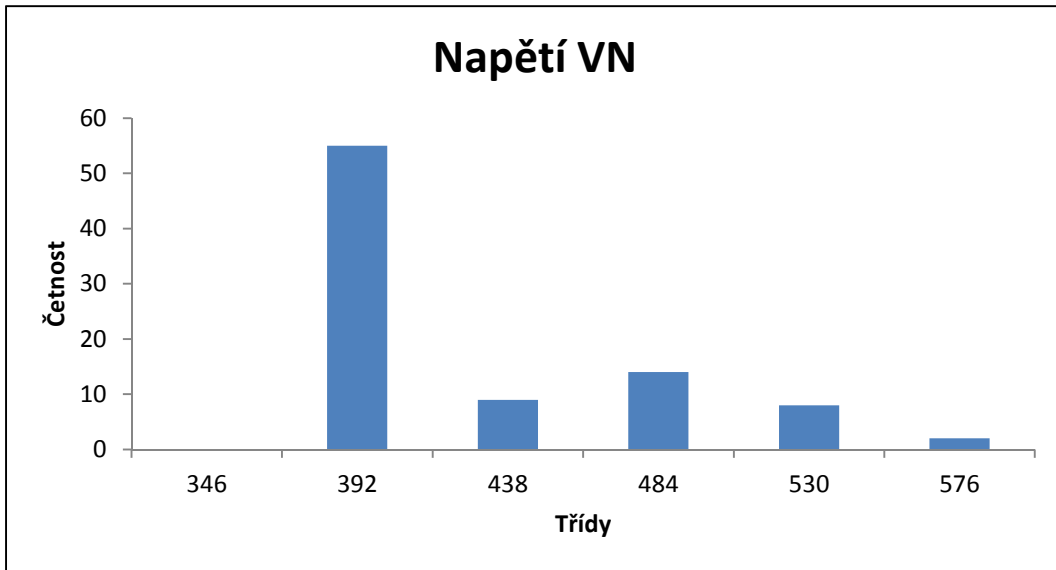
Veličina	Rozdíl teplot In-Out chladiče
Limit - Varování	10 K
Limit - Alarm	15 K
Počet překročení	130
Střední hodnota	12,2 K
Směr. odchylka	2,2 K
Variační koeficient	18,20%
Maximum	16,6 K
Minimum	10 K



Obr. P7 - 15: Histogram - Rozdíl teplot In-Out chladiče - TR3_5

Tab. P7 - 16: Popisná statistika - Napětí VN - TR3_5

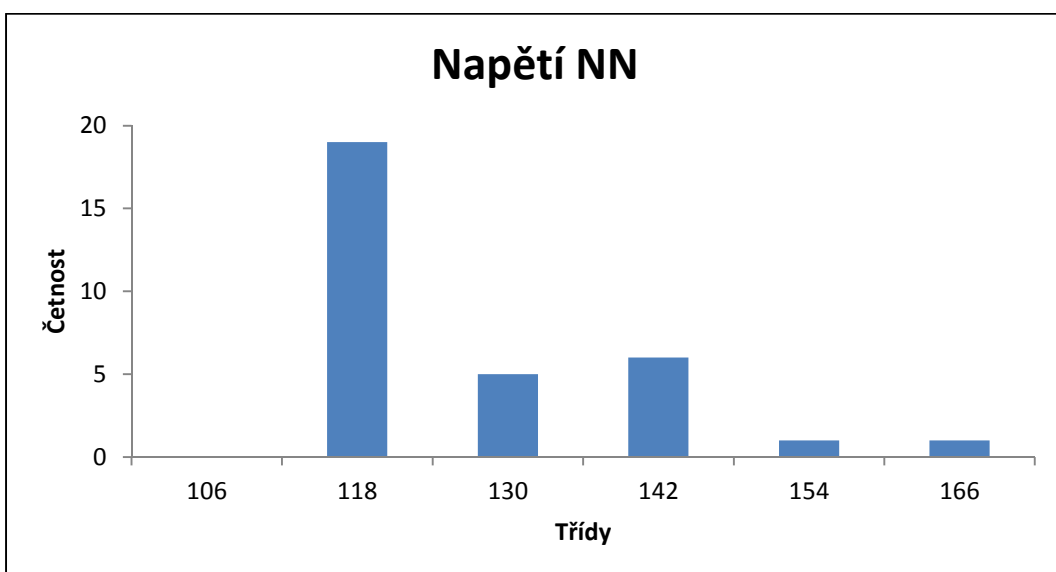
Veličina	Napětí VN
Jmen. hodnota	400 kV
Limit - Varování	346 kV
Limit - Alarm	393 kV
Počet překročení	88
Střední hodnota	405,1 kV
Směr. odchylka	53,5 kV
Variační koeficient	13,2%
Maximum	575,4 kV
Minimum	346,3 kV



Obr. P7 - 16: Histogram - Napětí VN - TR3_5

Tab. P7 - 17: Popisná statistika - Napětí NN - TR3_5

Veličina	Napětí NN
Jmen. hodnota - nejvyšší odbočka	135,5 kV
Jmen. hodnota - nejnižší odbočka	106,5 kV
Limit - Varování	105 kV
Limit - Alarm	119 kV
Počet překročení	32
Střední hodnota	120 kV
Směr. odchylka	12,8 kV
Variační koeficient	10,7%
Maximum	161,2 kV
Minimum	106,3 kV



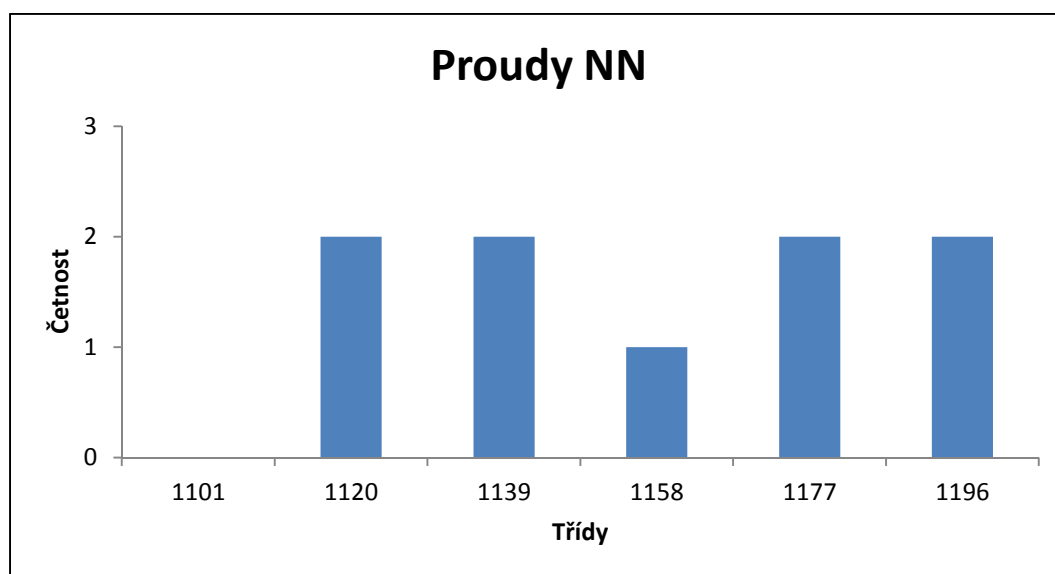
Obr. P7 - 17: Histogram - Napětí NN - TR3_5

Transformátor TR3_6

Nejčastěji překročené meze veličin se objevily u veličin „Vyšší napětí VN“, „Proudy zatížení nižšího napětí – NN“. Jejich popisná statistika je uvedena v tab. P7 - 18, 19 a histogramy jsou vidět na obr. P7 - 18, 19.

Tab. P7 - 18: Popisná statistika - Proudy zatížení NN - TR3_6

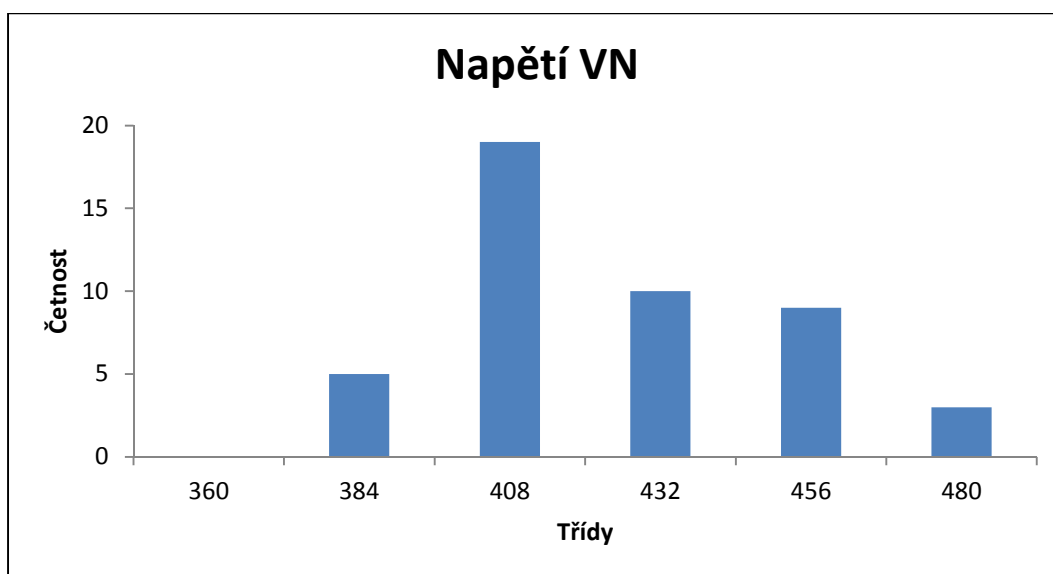
Veličina	Proudy zatížení NN
Jmen. hodnota - nejvyšší odbočka	1065,1 A
Jmen. hodnota - nejnižší odbočka	1355,5 A
Limit - Varování	1100 A
Limit - Alarm	1150 A
Počet překročení	9
Střední hodnota	1147 A
Směr. odchylka	31,9 A
Variační koeficient	2,8%
Maximum	1194,5 A
Minimum	1101,6 A



Obr. P7 - 18: Histogram - Proudy zatížení NN - TR3_6

Tab. P7 - 19: Popisná statistika - Napětí VN - TR3_6

Veličina	Napětí VN
Jmen. hodnota	400 kV
Limit - Varování	360 kV
Limit - Alarm	420 kV
Počet překročení	46
Střední hodnota	413,8 kV
Směr. odchylka	27,6 kV
Variační koeficient	6,7%
Maximum	479,2 kV
Minimum	360,5 kV



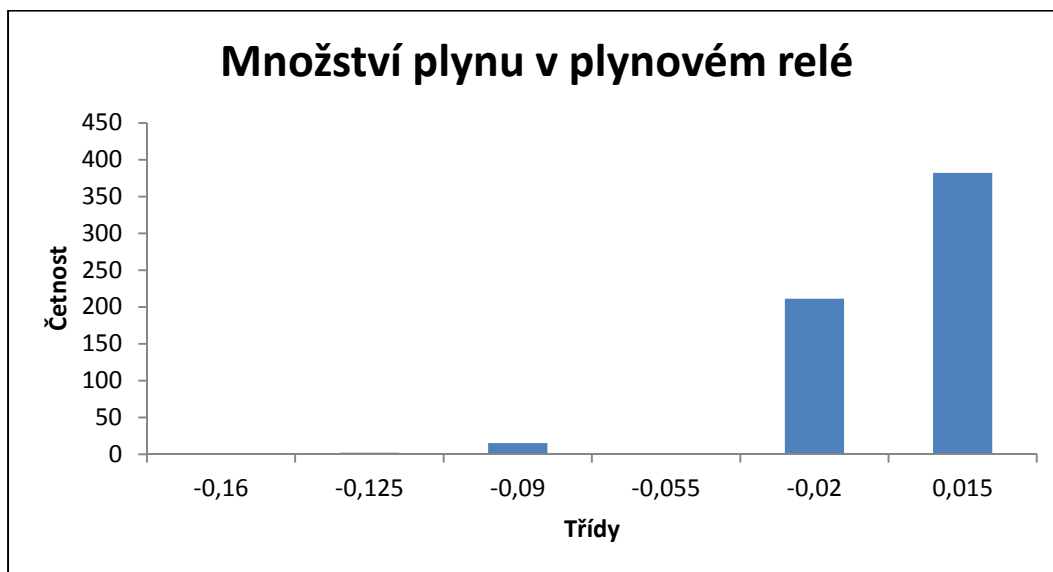
Obr. P7 - 19: Histogram - Napětí VN - TR3_6

Transformátor TR3_7

Nejčastěji překročené meze veličin se objevily u veličin „Vyšší napětí VN“, „Množství plynu v plynovém relé – BR“. Jejich popisná statistika je uvedena v tab. P7 - 20, 21 a histogramy jsou vidět na obr. P7 - 20, 21.

Tab. P7 - 20: Popisná statistika - Množství plynu v plynovém relé - TR3_7

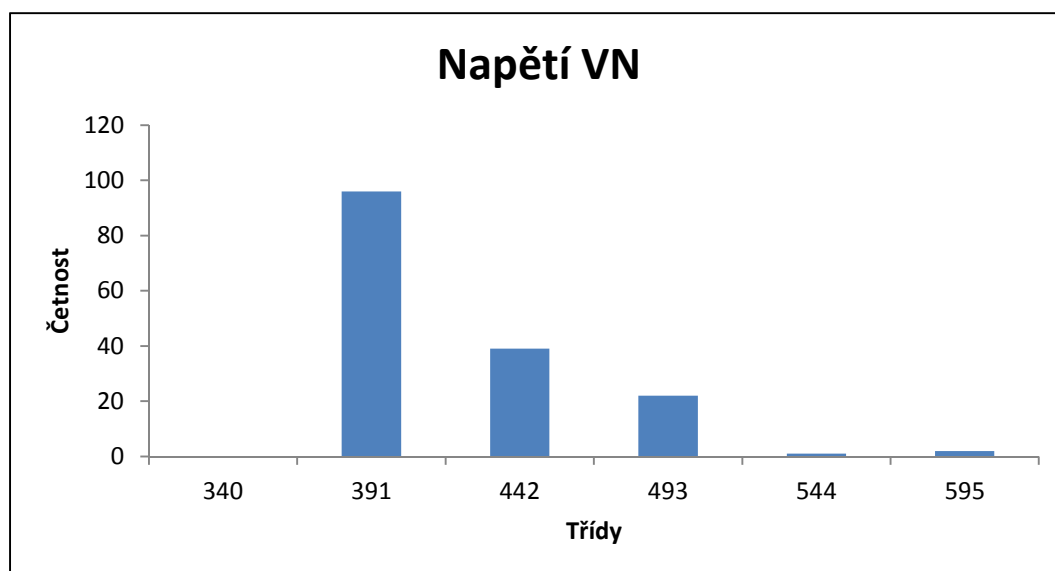
Veličina	Množství plynu v plynovém relé
Limit - Varování	0 ml
Počet překročení	610
Střední hodnota	- 0,02 ml
Směr. odchylka	0,02 ml
Variační koeficient	90,3%
Maximum	-0,01 ml
Minimum	- 0,16 ml



Obr. P7 - 20: Histogram - Množství plynu v plynovém relé - TR3_7

Tab. P7 - 21: Popisná statistika - Napětí VN - TR3_7

Veličina	Napětí VN
Jmen. hodnota	400 kV
Limit - Varování	346 kV
Limit - Alarm	393 kV
Počet překročení	160
Střední hodnota	396,3 kV
Směr. odchylka	41,4 kV
Variační koeficient	10,4%
Maximum	591,1 kV
Minimum	340,3 kV



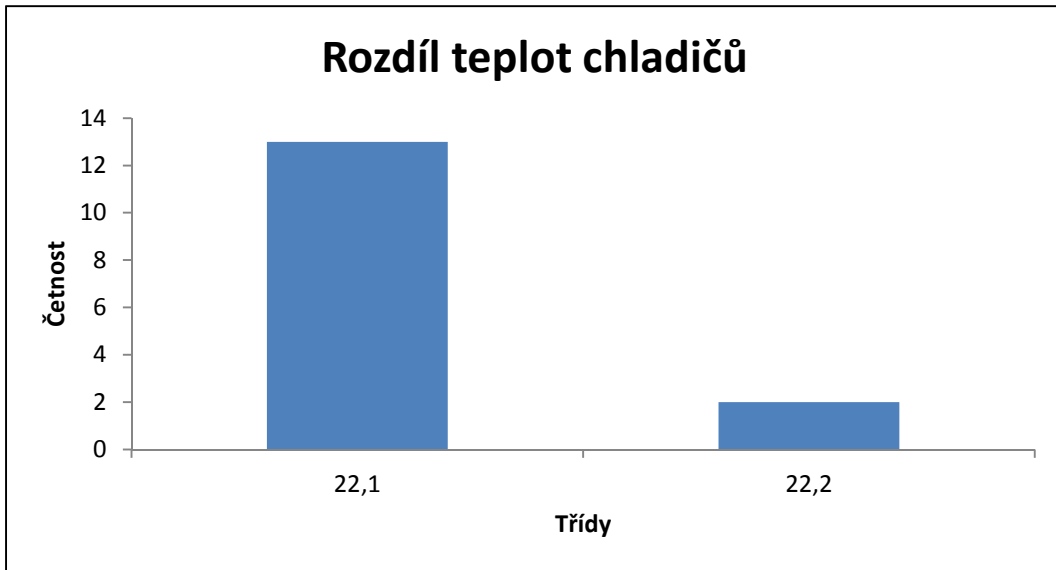
Obr. P7 - 21: Histogram - Napětí VN - TR3_7

Transformátor TR3_8

Nejčastěji překročené meze veličin se objevily u veličin „Vyšší napětí VN“, „Nižší napětí NN“, „Doba zapínacího proudu OLTC“, „Náběh kontaktu voliče“, „Rozdíl teplot In-Out chladiče“. Jejich popisná statistika je uvedena v tab. P7 – 22, 23, 24, 25, 26 a histogramy jsou vidět na obr. P7 – 22, 23, 24, 25, 26.

Tab. P7 - 22: Popisná statistika - Rozdíl teplot In-Out chladiče - TR3_8

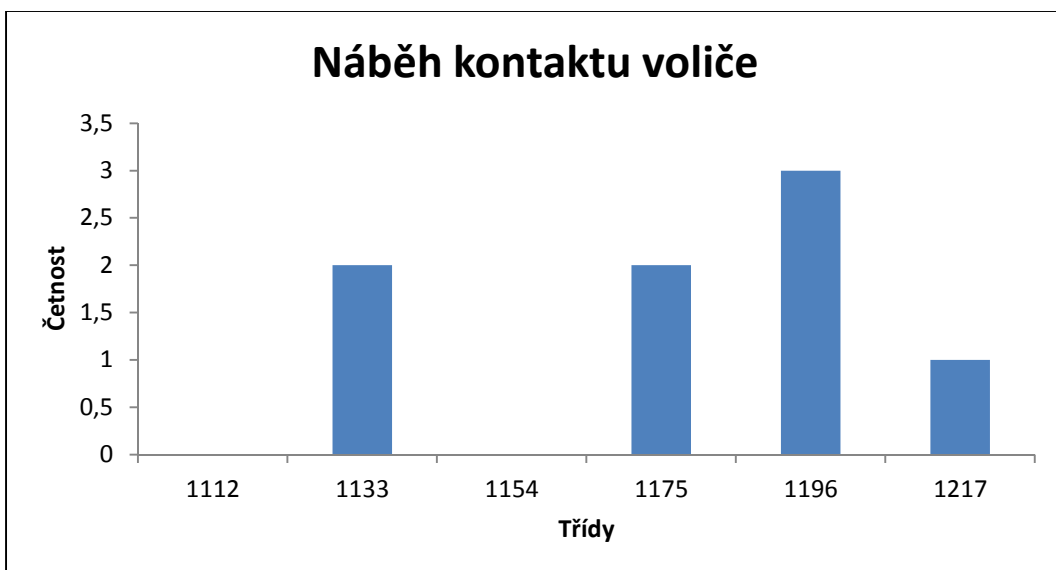
Veličina	Rozdíl teplot In-Out chladič
Limit - Varování	22 K
Počet překročení	15
Střední hodnota	22,1 K
Směr. odchylka	0,03 K
Variační koeficient	0,20%
Maximum	22,2 K
Minimum	22,1 K



Obr. P7 - 22: Histogram - Rozdíl teplot In-Out chladiče - TR3_8

Tab. P7 - 23: Popisná statistika - Náběh kontaktu voliče - TR3_8

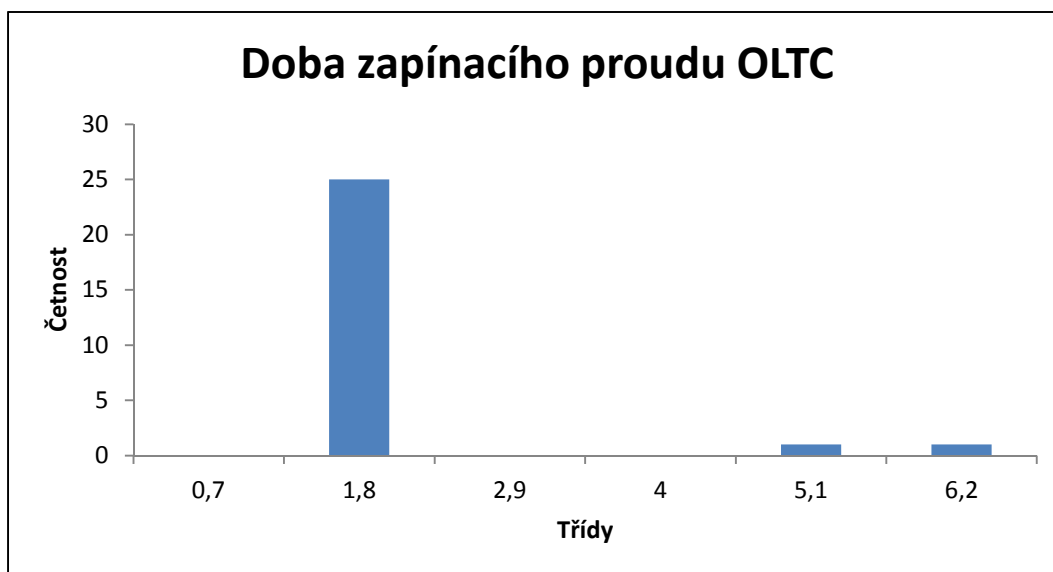
Veličina	Náběh kontaktu voliče
Limit - Varování	1000 W
Limit - Alarm	1200 W
Počet překročení	8
Střední hodnota	1167,5 W
Směr. odchylka	34,4 W
Variační koeficient	2,9%
Maximum	1213,7 W
Minimum	1113 W



Obr. P7 - 23: Histogram - Náběh kontaktu voliče - TR3_8

Tab. P7 - 24: Popisná statistika - Doba zapínacího proudu OLTC - TR3_8

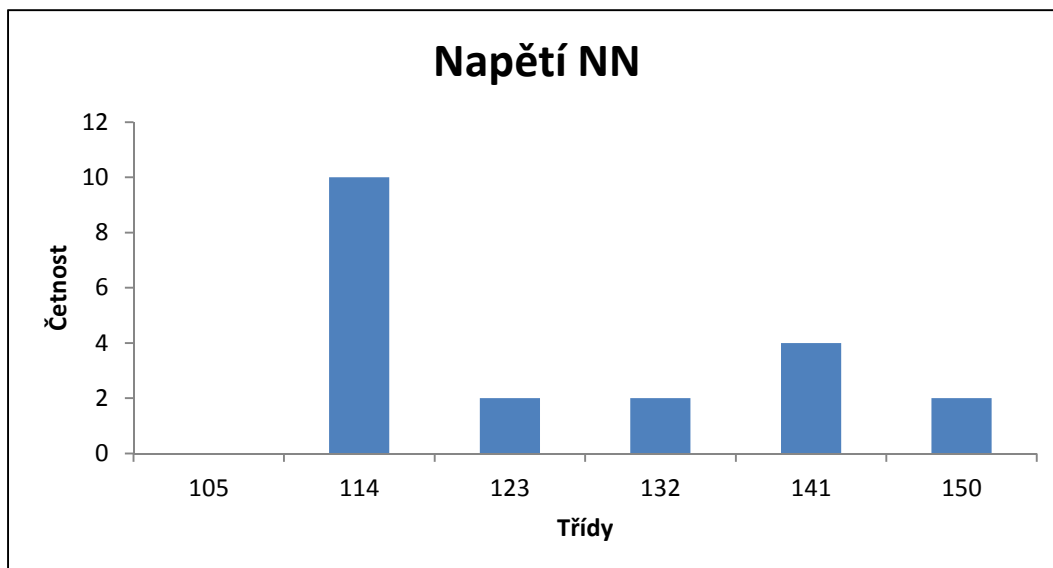
Veličina	Doba zapínacího proudu OLTC
Limit - Varování	0,5 s
Limit - Alarm	0,8 s
Počet překročení	27
Střední hodnota	1,2 s
Směr. odchylka	1,3 s
Variační koeficient	107,9%
Maximum	5,9 s
Minimum	0,7 s



Obr. P7 - 24: Histogram - Doba zapínacího proudu OLTC - TR3_8

Tab. P7 - 25: Popisná statistika - Napětí NN - TR3_8

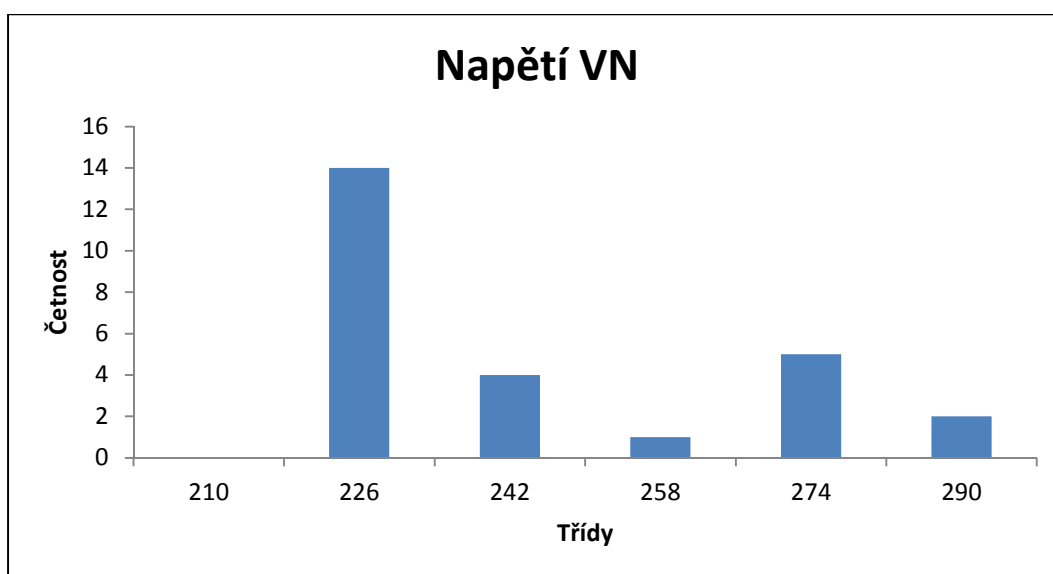
Veličina	Napětí NN
Jmen. hodnota - nejvyšší odbočka	135,5 kV
Jmen. hodnota - nejnižší odbočka	106,5 kV
Limit - Varování	105 kV
Limit - Alarm	122 kV
Počet překročení	20
Střední hodnota	120,5 kV
Směr. odchylka	13,5 kV
Variační koeficient	11,2%
Maximum	145,4 kV
Minimum	105,4 kV



Obr. P7 - 25: Histogram - Napětí NN - TR3_8

Tab. P7 - 26: Popisná statistika - Napětí VN - TR3_8

Veličina	Napětí VN
Jmen. hodnota	230 kV
Limit - Varování	200 kV
Limit - Alarm	233 kV
Počet překročení	26
Střední hodnota	236,4 kV
Směr. odchylka	23,1 kV
Variační koeficient	9,8%
Maximum	285,8 kV
Minimum	210,2 kV



Obr. P7 - 26: Histogram - Napětí VN - TR3_8

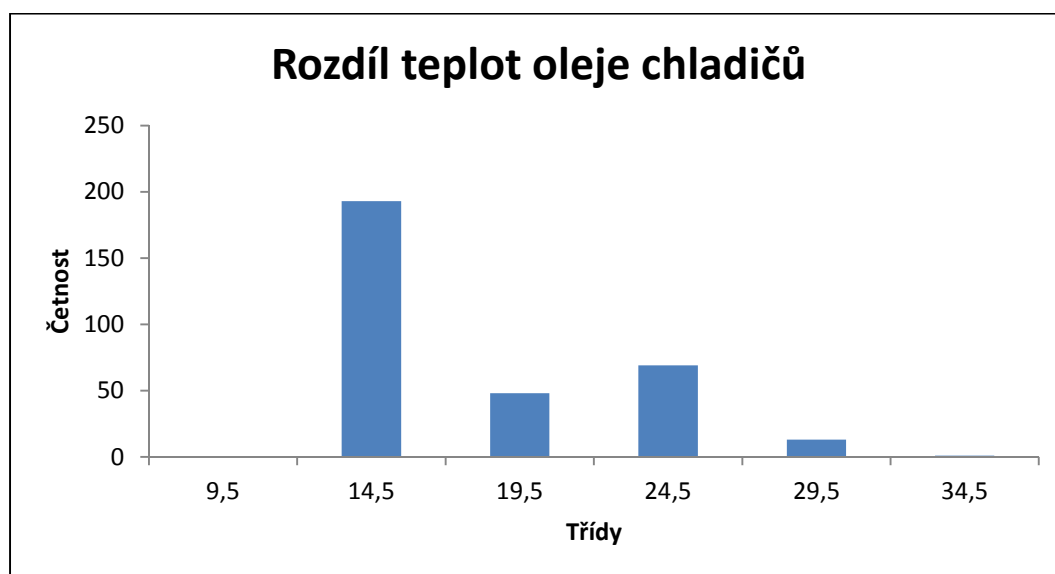
Zhodnocení systému MST3

Níže v tabulkách a v grafech je uvedena popisná statistika, histogramy a tabulky četností překročení mezí jednotlivých veličin pro celý soubor analyzovaných transformátorů osazených systémem MST3.

Rozdíl teplot In-Out chladiče

Tab. P7 - 27: Popisná statistika - Rozdíl teplot In-Out chladiče – MST3

Veličina	Rozdíl teplot In-Out chladiče
Limit - Varování	10 K, 22 K
Limit - Alarm	15 K, 25 K
Počet překročení	324
Střední hodnota	14,7 K
Směr. odchylka	5,3 K
Variační koeficient	35,60%
Maximum	32,5 K
Minimum	10 K



Obr. P7 - 27: Histogram - Rozdíl teplot In-Out chladiče - MST3

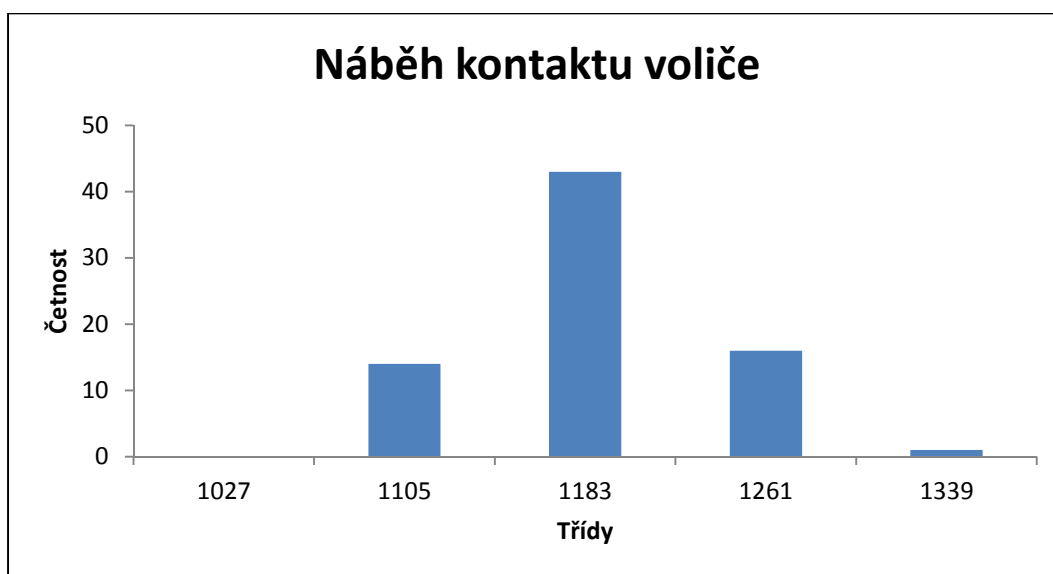
Tab. P7 - 28: Třídy a četnosti - Rozdíl teplot In-Out chladiče - MST3

Třídy	Četnost
<9,5	0
9,5 - 14,5	193
14,5 - 19,5	48
19,5 - 24,5	69
24,5 - 29,5	13
>29,5	1

Náběh kontaktu voliče OLTC

Tab. P7 - 29: Popisná statistika – Náběh kontaktu voliče OLTC - MST3

Veličina	Náběh kontaktu voliče
Limit - Varování	1000 W
Limit - Alarm	1200 W
Počet překročení	74
Střední hodnota	1154,9 W
Směr. odchylka	110 W
Variační koeficient	9,5%
Maximum	2000 W
Minimum	1027,5 W



Obr. P7 - 28: Histogram - Náběh kontaktu voliče OLTC - MST3

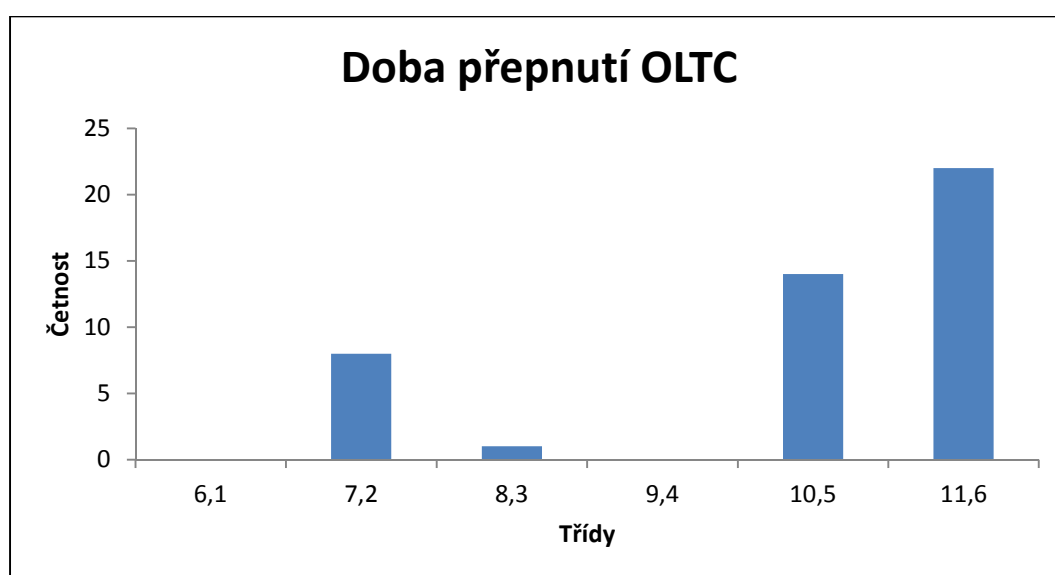
Tab. P7 - 30: Třídy a četnosti - Náběh kontaktu voliče OLTC - MST3

Třídy	Četnost
<1027	0
1027 - 1105	14
1105 - 1183	43
1183 - 1261	16
>1261	1

Doba přepnutí OLTC

Tab. P7 - 31: Popisná statistika – Doba přepnutí OLTC - MST3

Veličina	Doba přepnutí OLTC
Limit - Varování	6 s, 7,5 s
Limit - Alarm	8 s, 8,5 s
Počet překročení	45
Střední hodnota	10,0 s
Směr. odchylka	1,9 s
Variační koeficient	19,10%
Maximum	11,5 s
Minimum	6,2 s



Obr. P7 - 29: Histogram - Doba přepnutí OLTC - MST3

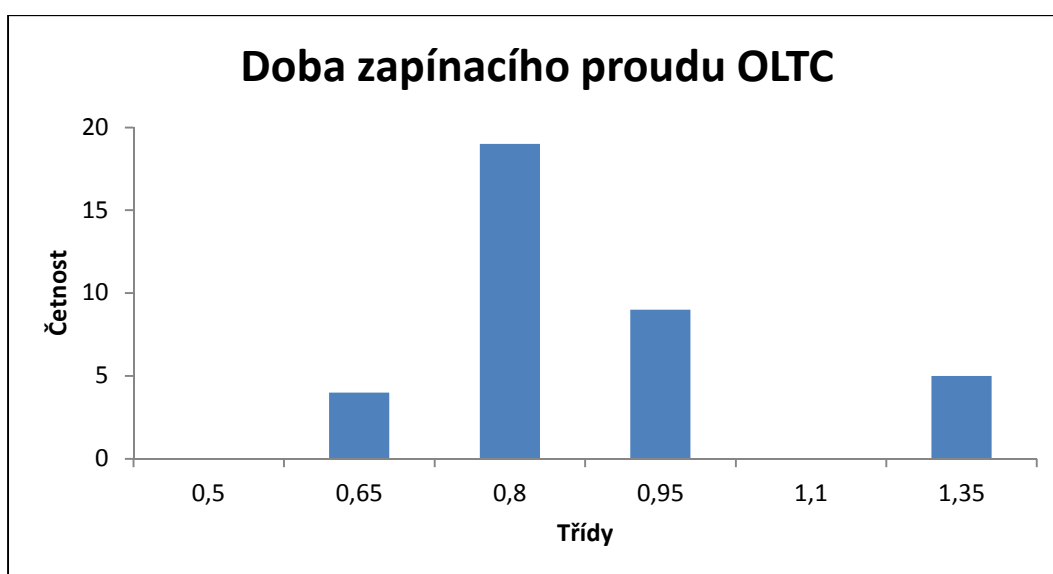
Tab. P7 - 32: Třídy a četnosti - Doba přepnutí OLTC - MST3

Třídy	Četnost
<6,1	0
6,1 - 7,2	8
7,2 - 8,3	1
8,3 - 9,4	0
9,4 - 10,5	14
>10,5	22

Doba zapínacího proudu OLTC

Tab. P7 - 33: Popisná statistika – Doba zapínacího proudu OLTC - MST3

Veličina	Doba zapínacího proudu OLTC
Limit - Varování	0,5 s
Limit - Alarm	0,8 s
Počet překročení	37
Střední hodnota	1,2 s
Směr. odchylka	1,3 s
Variační koeficient	109,7%
Maximum	5,9 s
Minimum	0,5 s



Obr. P7 - 30: Histogram - Doba zapínacího proudu OLTC - MST3

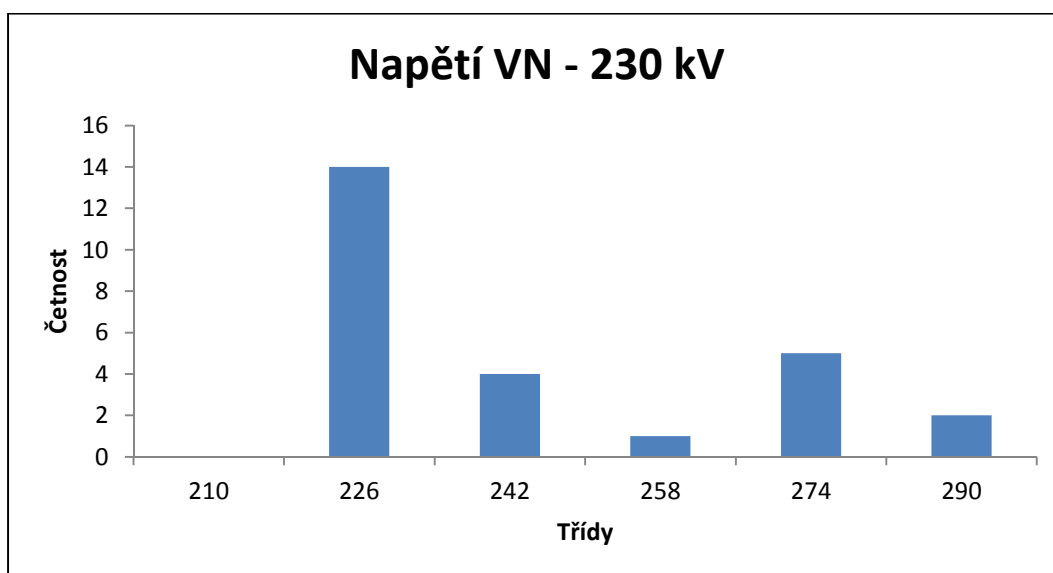
Tab. P7 - 34: Třída a četnosti - Doba zapínacího proudu OLTC - MST3

Třída	Četnost
<0,5	0
0,5 - 0,65	4
0,65 - 0,8	19
0,8 - 0,95	9
0,95 - 1,1	0
>1,1	5

Napětí VN (230 kV)

Tab. P7 - 35: Popisná statistika – Napětí VN (230 kV) - MST3

Veličina	Napětí VN
Jmen. hodnota	230 kV
Limit - Varování	200 kV
Limit - Alarm	233 kV
Počet překročení	26
Střední hodnota	236,4 kV
Směr. odchylka	23,1 kV
Variační koeficient	9,8%
Maximum	285,8 kV
Minimum	210,2 kV



Obr. P7 - 31: Histogram - Napětí VN (230 kV) - MST3

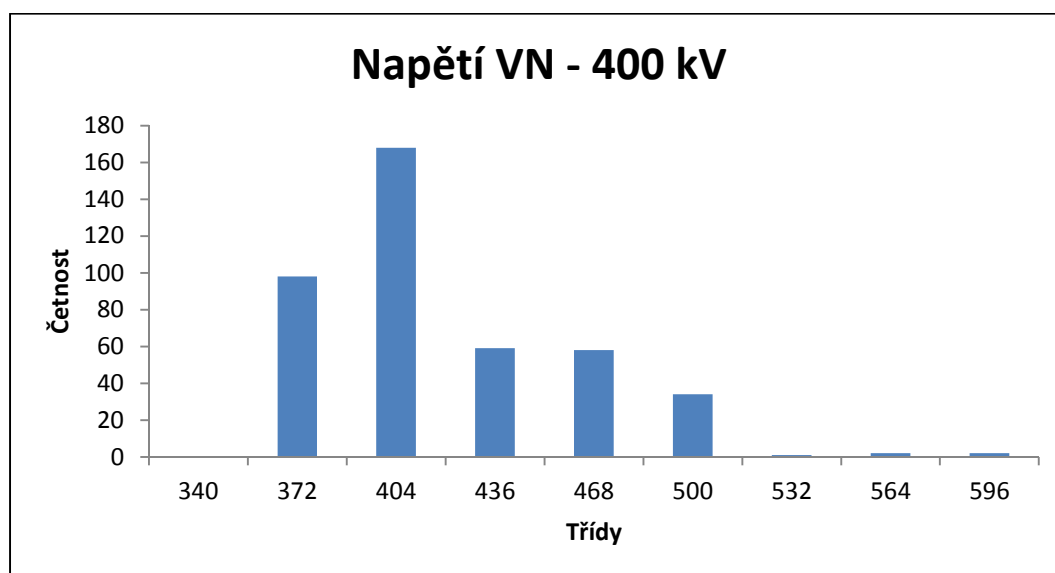
Tab. P7 - 36: Třídý a četnosti - Napětí VN (230 kV) - MST3

Třídý	Četnost
<210	0
210 - 226	14
226 - 242	4
242 - 258	1
258 - 274	5
>274	2

Napětí VN (400 kV)

Tab. P7 - 37: Popisná statistika - Napětí VN (400 kV) - MST3

Veličina	Napětí VN
Jmen. hodnota	400 kV
Limit - Varování	346 kV, 360 kV
Limit - Alarm	393 kV, 410 kV, 420 kV
Počet překročení	422
Střední hodnota	402,5 kV
Směr. odchylka	43 kV
Variační koeficient	10,7%
Maximum	591,1 kV
Minimum	340,3 kV



Obr. P7 - 32: Histogram - Napětí VN (400 kV) - MST3

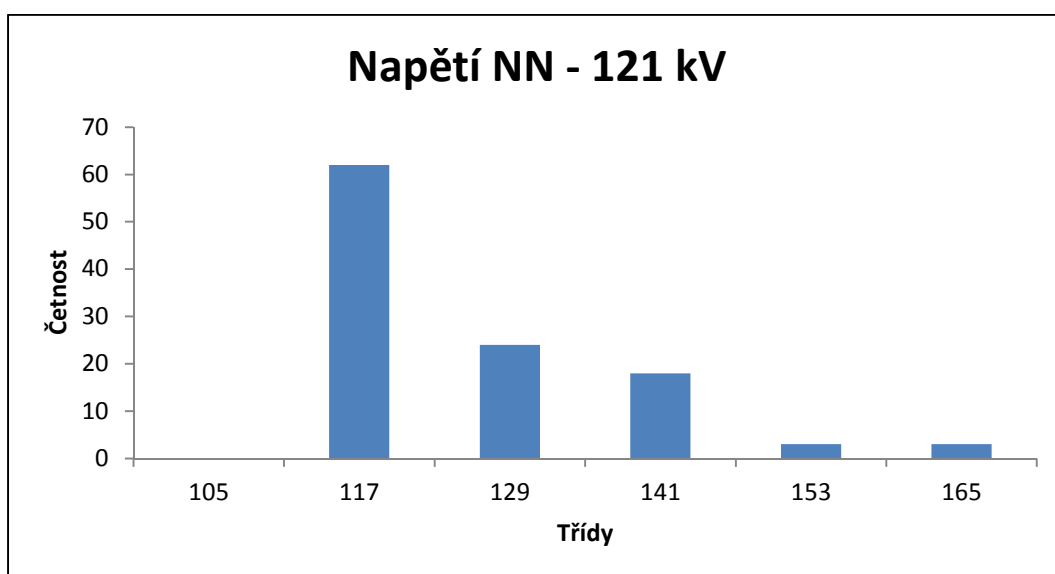
Tab. P7 - 38: Třídy a četnosti - Napětí VN (400 kV) - MST3

Třídy	Četnost
<340	0
340 - 372	98
372 - 404	168
404 - 436	59
436 - 468	58
468 - 500	34
500 - 532	1
532 - 564	2
>564	2

Napětí NN (121 kV)

Tab. P7 - 39: Popisná statistika - Napětí NN (121 kV) - MST3

Veličina	Napětí NN
Jmen. hodnota - nejvyšší odbočka	135,5 kV
Jmen. hodnota - nejnižší odbočka	106,5 kV
Limit - Varování	105 kV
Limit - Alarm	119 kV, 122 kV
Počet překročení	110
Střední hodnota	119,8 kV
Směr. odchylka	11,7 kV
Variační koeficient	9,7%
Maximum	161,2 kV
Minimum	105,4 kV



Obr. P7 - 33: Histogram - Napětí NN (121 kV) - MST3

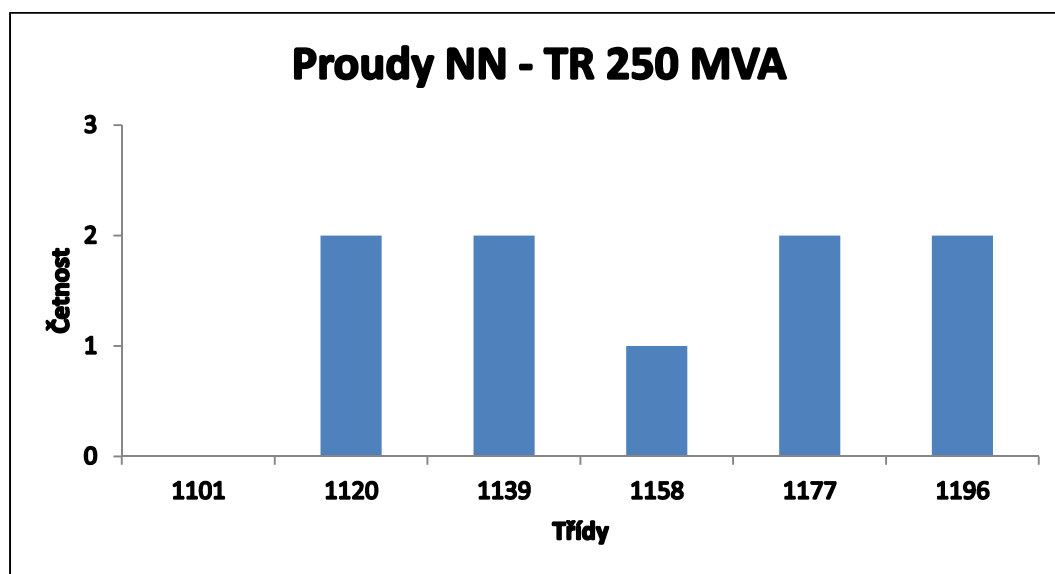
Tab. P7 - 40: Třídý a četnosti - Napětí NN (121 kV) - MST3

Třídý	Četnost
<105	0
105 - 117	62
117 - 129	24
129 - 141	18
141 - 153	3
>153	3

Proudy zatížení NN (250 MVA)

Tab. P7 - 41: Popisná statistika – Proudy zatížení NN (250 MVA) - MST3

Veličina	Proudy zatížení NN
Jmen. hodnota - nejvyšší odbočka	1065,1 A
Jmen. hodnota - nejnižší odbočka	1355,5 A
Limit - Varování	1100 A
Limit - Alarm	1150 A
Počet překročení	9
Střední hodnota	1147 A
Směr. odchylka	31,9 A
Variační koeficient	2,8%
Maximum	1194,5 A
Minimum	1101,6 A



Obr. P7 - 34: Histogram - Proudy zatížení NN (250 MVA) - MST3

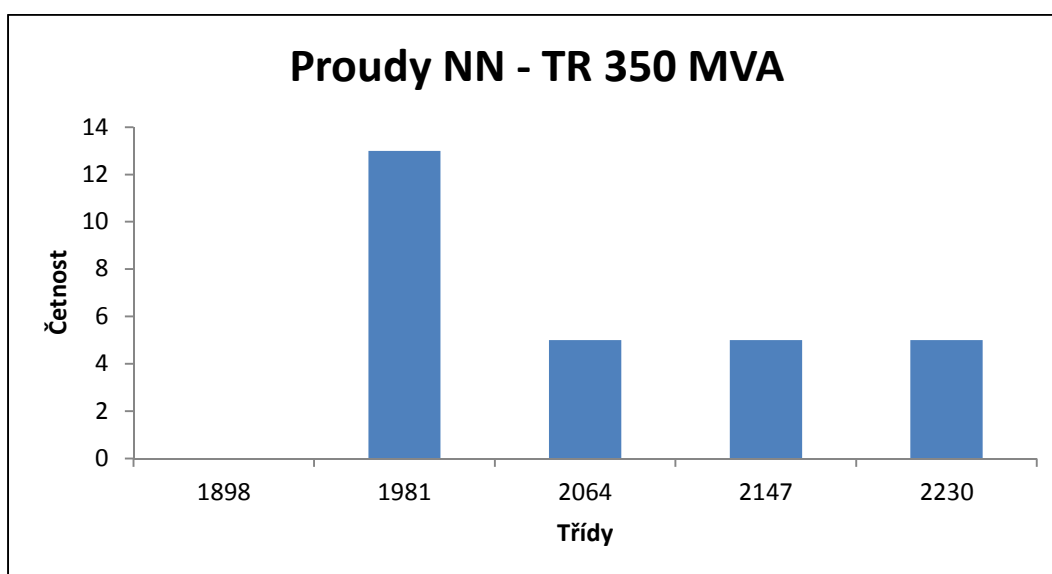
Tab. P7 - 42: Třídý a četnosti - Proudy zatížení NN (250 MVA) - MST3

Třídý	Četnost
<1101	0
1101 - 1120	2
1120 - 1139	2
1139 - 1158	1
1158 - 1177	2
>1177	2

Proudy zatížení NN (350 MVA)

Tab. P7 - 43: Popisná statistika - Proudy zatížení NN (350 MVA) - MST3

Veličina	Proud zatížení NN
Jmen. hodnota - nejvyšší odbočka	1491,1 A
Jmen. hodnota - nejnižší odbočka	1897,8 A
Limit - Varování	1898 A
Limit - Alarm	2088 A
Počet překročení	28
Střední hodnota	2023,7 A
Směr. odchylka	109,5 A
Variační koeficient	5,4%
Maximum	2227,1 A
Minimum	1898,9 A



Obr. P7 - 35: Histogram - Proudy zatížení NN (350 MVA) - MST3

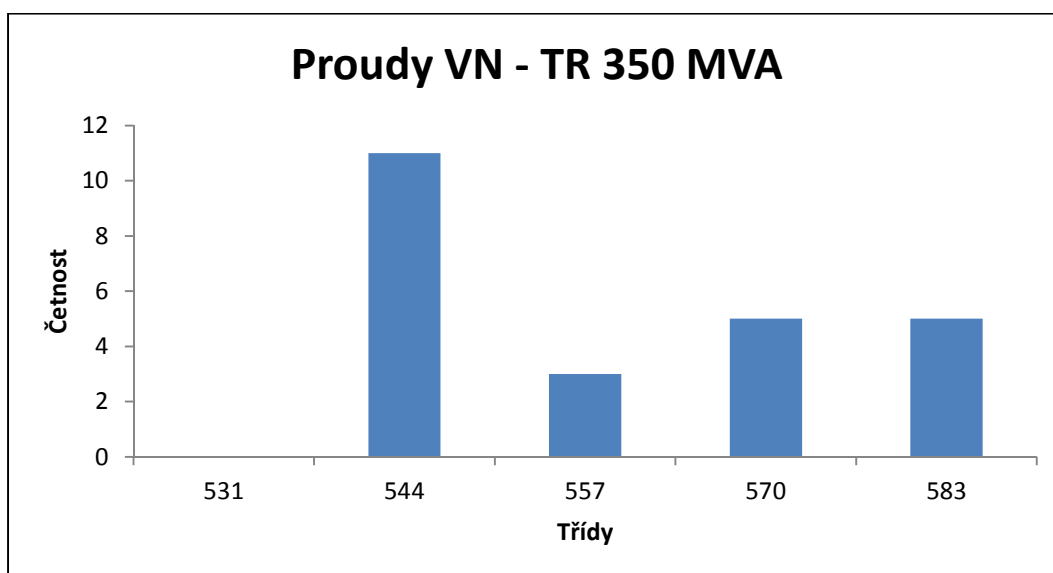
Tab. P7 - 44: Třídý a četnosti - Proudy zatížení NN (350 MVA) - MST3

Třídý	Četnost
<1898	0
1898 - 1981	13
1981 - 2064	5
2064 - 2147	5
>2147	5

Proudy zatížení VN (350 MVA)

Tab. P7 - 45: Popisná statistika - Proudy zatížení VN (350 MVA) - MST3

Veličina	Proud zatížení VN
Jmen. hodnota	505,2 A
Limit - Varování	530 A
Limit - Alarm	556 A
Počet překročení	24
Střední hodnota	551,7 A
Směr. odchylka	17,7 A
Variační koeficient	3,2%
Maximum	579,1 A
Minimum	531,4 A



Obr. P7 - 36: Histogram - Proudy zatížení VN (350 MVA) - MST3

Tab. P7 - 46: Třidy a četnosti - Proudy zatížení VN (350 MVA) - MST3

Třidy	Četnost
<531	0
531 - 544	11
544 - 557	3
557 - 570	5
>570	5