

**Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích**

Pedagogická fakulta – Katedra fyziky

**Návrh kontinuálního monitorovacího systému  
výkonového transformátoru**

Bakalářská práce

Vedoucí práce: Ing. Michal Šerý

Autor: Jiří Rozmiller

## **Anotace**

Práce se zabývá popisem účelu instalace kontinuálního monitorovacího systému výkonových olejových transformátorů, seznámení s principem jeho fungování včetně popisu monitorovaných a vyhodnocovaných veličin. Dále je zde uveden krátký přehled historie používání těchto systémů v České Republice, současný stav nabízené techniky, porovnání odlišných metod měření zásadních veličin a jejich vizualizace.

Cílem této práce je nejen poskytnout ucelený náhled do této problematiky, ale i ověření výsledků poskytovaných kontinuálním monitorovacím systémem jinými způsoby monitorování parametrů výkonového transformátoru. Výsledky a vhodnost použití jednotlivých systémů a metod měření je zhodnocena v závěrečné kapitole.

Klíčová slova: kontinuální monitorovací systém, on-line diagnostika, monitorované veličiny, měření, expertní systém.

## **Annotation**

Work deals with the description of the purpose of installing continuous monitoring of power transformer oil, familiarization with the principle of its operation, including a description of monitored and evaluated variables. Furthermore, there is given a brief overview of the history of the use of these systems in the Czech Republic, the current state of technology offered, compared different methods of measuring key variables and their visualization.

The aim of this work is not only to provide a comprehensive insight into this issue, but also check the results provided a continuous monitoring system in other ways to monitor parameters of power transformer. Results and the suitability of different systems and methods measurements is evaluated in the final chapter.

Keywords: continuous monitoring system, on-line diagnostics, monitoring variables, measurements, expert system.

**Prohlášení:**

Prohlašuji, že svoji bakalářskou práci na téma Návrh kontinuálního monitorovacího systému výkonového transformátoru jsem vypracoval samostatně pouze s použitím pramenů a literatury uvedených v seznamu citované literatury.

Prohlašuji, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb. v platném znění souhlasím se zveřejněním své bakalářské práce, a to v nezkrácené podobě pedagogickou fakultou elektronickou cestou ve veřejně přístupné části databáze STAG provozované Jihočeskou univerzitou v Českých Budějovicích na jejích internetových stránkách.

V Českých Budějovicích

dne 11.4.2010

Děkuji ing. Michalu Šerému za odborné vedení, cenné rady a připomínky při vypracování mé bakalářské práce. Dále bych rád poděkoval svým kolegům ing.Vladislavu Dohnalovi a ing.Vladanovi Hanákovi za poskytnuté podněty a podporu.

# Obsah

|                                                                                                                                                    |               |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------|
| Úvod.....                                                                                                                                          | -7-           |
| <b>1 Účel monitorovacího systému .....</b>                                                                                                         | <b>- 9 -</b>  |
| 1.1 Nejčastější příčiny havárií (izolační systém, aktivní část).....                                                                               | - 9 -         |
| 1.2 Nejdůležitější indikace (plyny v oleji, částečné výboje, teplota, vlhkost)...                                                                  | - 9 -         |
| 1.3 Záznam změn (nevratné, přechodné).....                                                                                                         | - 11 -        |
| 1.4 Predikce možného vývoje poruchy.....                                                                                                           | - 12 -        |
| <b>2 „Analýza“ monitorovacích systémů používaných v České Republice .....</b>                                                                      | <b>- 14 -</b> |
| 2.1 Použití v přenosových soustavách a výrobnách el.energie.....                                                                                   | - 14 -        |
| 2.2 Rozsah diagnostiky (kompromis mezi náklady a eliminací havárií, změna strategie údržby, prodloužení životnosti stroje).....                    | - 16 -        |
| 2.3 Havárie transformátoru a ekonomické dopady (nevýroba) .....                                                                                    | - 19 -        |
| <b>3 Monitorované veličiny .....</b>                                                                                                               | <b>- 20 -</b> |
| 3.1 Měřené veličiny .....                                                                                                                          | - 20 -        |
| 3.1.1 Měření napětí a proudů .....                                                                                                                 | - 20 -        |
| 3.1.2 Měření přepětí a nadproudů .....                                                                                                             | - 20 -        |
| 3.1.3 On-line diagnostika průchodek .....                                                                                                          | - 21 -        |
| 3.1.4 Měření částečných výbojů .....                                                                                                               | - 22 -        |
| 3.1.5 Měření plynů v oleji.....                                                                                                                    | - 23 -        |
| 3.1.6 Měření teplot.....                                                                                                                           | - 23 -        |
| 3.1.7 Měření teploty přepínače odboček.....                                                                                                        | - 23 -        |
| 3.1.8 Měření proudu, výkonu pohonu přepínače .....                                                                                                 | - 24 -        |
| 3.1.9 Měření stavových (dvouhodnotových) veličin .....                                                                                             | - 24 -        |
| 3.2 Odvozené veličiny .....                                                                                                                        | - 24 -        |
| 3.2.1 Fázový úhel, účinník.....                                                                                                                    | - 24 -        |
| 3.2.2 Výkon činný, jalový.....                                                                                                                     | - 25 -        |
| 3.2.3 Ztrátový činitel průchodek.....                                                                                                              | - 25 -        |
| 3.2.4 Podíly fázových napětí - indikace změn kapacit průchodek.....                                                                                | - 26 -        |
| 3.2.5 Časové řady a trendy veličin.....                                                                                                            | - 27 -        |
| 3.2.6 Výpočet nejteplejšího místa vinutí .....                                                                                                     | - 28 -        |
| 3.2.7 Energetická bilance transformátoru .....                                                                                                     | - 28 -        |
| <b>4 Současný stav nabízené techniky, porovnání odlišných metod měření .....</b>                                                                   | <b>- 29 -</b> |
| 4.1 Teplota nejteplejšího místa vinutí (hot spot) .....                                                                                            | - 29 -        |
| 4.1.1 Model nejteplejšího místa vinutí ( klasické měřidlo) .....                                                                                   | - 29 -        |
| 4.1.2 Elektronické teplotní monitory (ETM) .....                                                                                                   | - 30 -        |
| 4.1.3 Měření teploty vinutí optickými vlákny .....                                                                                                 | - 30 -        |
| 4.2 Analýza plynů rozpuštěných v oleji.....                                                                                                        | - 31 -        |
| 4.2.1 Systém HYDRAN.....                                                                                                                           | - 31 -        |
| 4.2.2 Systémy TRANSFIX a CANTRONIC – monitorování obsahu několika plynů nezávisle .....                                                            | - 32 -        |
| 4.2.3 Porovnání systémů .....                                                                                                                      | - 39 -        |
| 4.3 Monitorování částečných výbojů.....                                                                                                            | - 39 -        |
| 4.4 Monitorování přenosové funkce .....                                                                                                            | - 40 -        |
| <b>5 Porovnání naměřených hodnot získaných analýzou rozpuštěných plynů a obsahu vody v transformátorovém oleji výkonového transformátoru .....</b> | <b>- 41 -</b> |
| 5.1 Hodnoty naměřené monitorovacím systémem .....                                                                                                  | - 41 -        |
| 5.2 Hodnoty naměřené přenosným analyzátozem oleje Transport-X .....                                                                                | - 42 -        |
| 5.3 Hodnoty naměřené v laboratoři ČEZ-ETE .....                                                                                                    | - 44 -        |

|     |                                                       |        |
|-----|-------------------------------------------------------|--------|
| 5.4 | Hodnoty uvedené Zkušební laboratoří firmy ORGREZ..... | - 48 - |
| 5.5 | Kriteriální hodnoty dle ČEZ PN 00/05 .....            | - 50 - |
| 5.6 | Zhodnocení zjištěných výsledků.....                   | - 52 - |

|                   |             |
|-------------------|-------------|
| <b>Závěr.....</b> | <b>-55-</b> |
|-------------------|-------------|

|                                |             |
|--------------------------------|-------------|
| <b>Použitá literatura.....</b> | <b>-58-</b> |
|--------------------------------|-------------|

|                     |             |
|---------------------|-------------|
| <b>Zkratky.....</b> | <b>-59-</b> |
|---------------------|-------------|

|                     |             |
|---------------------|-------------|
| <b>Přílohy.....</b> | <b>-60-</b> |
|---------------------|-------------|

## Úvod

Z pohledu spolehlivosti energetické soustavy patří transformátory k nejdůležitějším prvkům. Pro zabezpečení jejich bezporuchového chodu má naprosto zásadní význam elektrotechnologická diagnostika, a proto jí musíme věnovat patřičnou pozornost nejen při výrobě, ale i během vlastního provozování. (Slovo diagnostika má svůj původ v řeckém slově *diagnosis* znamenajícím rozpoznání, určení stavu).

Existují dva hlavní způsoby diagnostických šetření závislé na tom, zda je diagnostikované zařízení mimo provoz - testovací (off-line) diagnostika, nebo zda je v provozu - provozní (on-line) diagnostika.

On-line diagnostika je stále více žádaná, z hlediska prováděných diagnostických šetření je však velmi náročná, neboť je zde možné využít jen některých metod. Celý systém musí být propojen s přímým ukládáním snímaných parametrů.

V této části je důležité nejen sledování vývoje parametrů zařízení, ale také vytvoření databází (historií dat) popisujících vlastní rozvoj chování zařízení. Dle těchto získaných parametrů lze zpracovat prognózu chování diagnostikovaného objektu v následujícím období. Úkolem předpovědi poruchových stavů je správným způsobem signalizovat zhoršení parametrů diagnostikovaného zařízení a určit moment, kdy lze opravou nebo výměnou prvku zamezit této události.

Elektrotechnologická prognostika je vlastně dokončením funkce diagnostiky, tedy tím, co je od ní v této oblasti očekáváno. Tím se dostáváme k nejmodernějšímu druhu provozní diagnostiky a prognostiky, což je užití expertního monitorovacího systému.

Kromě technické náročnosti je třeba při projektování a nasazení expertního systému zohlednit i finanční nákladnost. Měl by být aplikována tam, kde bude mít skutečné opodstatnění - to je u důležitých elektrických zařízení (tzn. nejen u transformátorů strategických rozvodů, ale např. i u turboalternátorů a hydroalternátorů klíčových elektráren, atd.).

Práce je rozdělena do pěti kapitol, přičemž první čtyři se zabývají popisem účelu instalace monitorovacího systému výkonových olejových transformátorů, seznámení s principem jeho fungování včetně popisu monitorovaných veličin. Dále je zde uveden krátký přehled historie používání těchto systémů v ČR, současný stav nabízené techniky, porovnání odlišných metod měření zásadních veličin a jejich vizualizace. Poslední pátá kapitola obsahuje vlastní porovnání naměřených hodnot získaných

analýzou rozpuštěných plynů a obsahu vody v transformátorovém oleji výkonového transformátoru pomocí kontinuálního monitorovacího systému, přenosného analyzátoru oleje Transport-X, smluvní akreditované Zkušební laboratoře firmy Orgrez a Podnikové laboratoře ČEZ-ETE. V závěru jsou shrnuty naměřené hodnoty sledovaných veličin a vhodnost použití porovnávaných systémů a metod měření.

Mezi přílohy jsem zařadil fotodokumentaci havárie transformátoru, konkrétně se jedná o poruchu jednotky vyvedení výkonu 2AT3 druhého výrobního bloku ETE z 2.6.2004, aby si čtenář mohl udělat představu o devastačních následcích rychle se rozvíjející se poruchy. Jako další přílohy jsou zde pro názornost přiloženy originální odečtené hodnoty z operátorské stanice kontinuálního monitorovacího systému a výpis z mobilního analyzátoru Transport-X. Na závěr jsou přiloženy protokoly měření Podnikové laboratoře ČEZ-ETE a akreditované Zkušební laboratoře firmy Orgrez, také pro představu čtenáře jakým způsobem pracuje profesionální elektrotechnická laboratoř.

# 1 Účel monitorovacího systému

## 1.1 Nejčastější příčiny havárií (izolační systém, aktivní část)

Základním diagnostickým indikátorem, který má podstatný vliv na bezporuchový chod transformátoru je stav izolačního systému. Izolační systém výkonových transformátorů je tvořen kombinací minerálního oleje a celulózového papíru, tedy materiálů, které jsou velmi citlivé na působení provozních degradačních činitelů a jejichž stárnutí může značně ohrozit bezporuchový chod stroje. Při provozu transformátoru je tedy nutné zabývat se nejen sledováním parametrů vypovídajících o stavu izolačního systému, ale i činitelů přispívajících k jeho degradaci [2].

Ze statistiky příčin havárií velkých strojů vyplývá, že pro podchycení největšího procenta závad by měl být monitorován izolační systém a aktivní část (vinutí, magnetický obvod). Nejdůležitějšími parametry indikujícími stav vinutí a hlavní izolace jsou *plyny rozpuštěné v oleji a částečné výboje*. Dalšími faktory, které ovlivňují rychlost stárnutí izolačního systému papír-olej jsou *teplota, obsah vlhkosti a přítomnost kyslíku*. Životnost transformátoru je limitována především životností papírové izolace, která je podstatně kratší než životnost ostatních konstrukčních dílů.

Rozsah diagnostiky je dán kompromisem mezi náklady na instalaci a provoz diagnostického systému a odhadem úspor vzniklých eliminací pravděpodobného počtu havárií, změnou strategie údržby se snížením potřeby náhradních dílů, pracnosti a prodloužení životnosti sledovaného stroje.

Měření diagnostických veličin za plného chodu stroje je však značně komplikované, a to jednak z důvodu zachování bezpečnosti při měření, tak i z důvodu nutnosti eliminace značného rušení, které běžný provoz transformátoru provází.

Nezastupitelnou funkcí trvalého monitoringu transformátorů je i záznam všech dostupných informací v případě poruchy či havárie stroje. Tyto informace by pak měly vést k předcházení podobných poruch na ostatních transformátorech.

## 1.2 Nejdůležitější indikace (plyny v oleji, výboje, teplota, vlhkost)

Monitorovací systémy se konfiguruji v různém rozsahu měřených veličin zpravidla s ohledem na výkon a důležitost transformátoru. Monitorují se následující veličiny:

**Jádro a vinutí:**

- proudy a napětí, výkony
- přepětí a nadproudy
- obsah plynů v oleji
- vlhkost oleje
- výpočet stárnutí izolace
- částečné výboje

**Teploty:**

- teplota oleje u víka nádoby
- okolní teplota
- teplota nejteplejšího místa každého vinutí
- přímé měření teploty vinutí
- teplota oleje u dna nádoby
- teploty na vstupu a výstupu chladičů
- teploty vzduchu na vstupu a výstupu chladičů

**Průchodky:**

- ztrátový činitel
- kapacita
- částečné výboje

**Chladicí systém:**

- provozní stav čerpadel a ventilátorů
- detekce poruchy ventilátorů a čerpadel
- provozní hodiny ventilátorů a čerpadel
- porucha průtoku oleje

### **Přepínač odboček transformátoru :**

- indikátor polohy
- rozdíl teploty oleje v hlavní nádobě a v přepínači
- hladina oleje
- napětí a proud motoru přepínače

### **1.3 Záznam změn (nevratné, přechodné)**

Hlavním úkolem provozní on-line diagnostiky je na základě monitorovaných parametrů zaznamenávat změny stavu diagnostikovaného objektu a to jak trvalé, *nevratné*, tak i *přechodné* a predikovat možný vývoj poruchy [5].

Kontinuální monitorovací systém výkonového transformátoru se skládá z části sběru komunikačních dat a z části sběru dvouhodnotových a analogových dat. Pro měření dvouhodnotových a analogových dat jsou využity vhodně nakonfigurované měřicí ústředny.

Část sběru komunikačních dat se skládá především z centrální jednotky hlavního (nadřazeného) systému, která začleňuje kontinuální monitorovací systém a zároveň realizuje některé společné procesy systému KMS jako sběr teplot a vlhkosti, komunikace s analyzátory plynů, výpočet dalších kontinuálně měřených analogových signálů a analýzu naměřených signálů.

Všechny komponenty systému KMS jsou časově synchronní s HS a systémem GPS, proto jsou časy událostí a zaznamenané průběhy porovnatelné nejenom v rámci systému KMS a hlavním systémem, ale i např. se systémem ČEPS.

V rámci hlavního systému je realizována tvorba poruchových hlášení zasílaných na operátorské pracoviště, tj. „Překročení nastavených signálních resp. výstražných limitů parametrů transformátorů“ a „Porucha systému KMS“.

Komponenty KMS komunikují se serverem centrální jednotky a do tohoto serveru hlavního systému ukládají přímo nebo zprostředkovaně naměřená data. Data získaná systémem KMS jsou uložena v hlavním systému standardním způsobem a proto jsou dohledatelná a zobrazitelná prostředky definovaného uživatelského WWW rozhraní.

Součástí monitorovacího systému transformátorů je modulární expertní systém, který je určen především k sledování stavu výkonových transformátorů, analýze

sledovaných stavů a veličin, vyhodnocování spolehlivosti, ale i k archivaci veličin a rychlému varování.

## **1.4 Predikce možného vývoje poruchy**

### **Před instalací kontinuálního monitorovacího systému**

Vyhodnocování obsahu plynů rozpuštěných v oleji transformátorů je řešeno periodickými odběry vzorků oleje, následně jsou prováděny analýzy rozpuštěných plynů v externích laboratořích. Periodickými odběry a měřeními jsou získávány informace o skutečném stavu transformátorů s platností pouze v okamžiku odběrů vzorků oleje. V době provozu transformátorů (mezi odběry vzorků), nejsou prakticky žádné informace o skutečném stavu transformátorů a o probíhajících změnách izolačního systému transformátorů vlivem zatížení a provozních událostí (působení blízkých a vzdálených zkratů, přepětí apod.) a tím ani o vzniku a rozvoji možných poruch [6].

To představuje velký potenciální prostor pro vznik velkých poruch a havárií olejových transformátorů i při bezchybném provádění ostatní (periodické) diagnostiky.

### **Po instalaci kontinuálního monitorovacího systému**

Systém umožní získat přehled o aktuálním stavu výkonového transformátoru, jeho vývoji v čase a na základě toho snížit důsledky potenciálních poruch transformátorů:

- Minimalizací ztrát ve výrobě kvalifikovaným rozhodnutím na základě vyhodnocování archivovaných dat z kontinuálního monitorování
- Možnosti dále provozovat transformátor vykazující zárodečnou nebo i pokročilou závadu, která se rychle nerozvíjí až do plánované odstávky (kontroly, revize atd.)
- Posouzením nutnosti blízkého plánovaného odstavení (víkend, svátky apod.) pro provedení opravy nebo bezodkladného odstavení pro výměnu transformátoru při rychle se rozvíjejících závadách

- Snížením rozsahu poškození transformátoru a okolních zařízení včasným odstavením z provozu a následnou opravou nebo výměnou za rezervní transformátor, kdy oprava může být provedena v menším rozsahu
- Snížením doby odstavení výrobního bloku (závodu/provozu) pro vynucenou výměnu transformátoru s možností přípravy výměny „zhoršujícího se transformátoru“ náhradním transformátorem

Po instalaci monitorovacího systému budou více pod kontrolou průběhy degračních jevů a vzroste možnost předejít těžkým izolačním poruchám vedoucím k poruchám transformátorů a vnitřním zkratům transformátorů se všemi důsledky.

## **2 „Analýza“ monitorovacích systémů používaných v České Republice**

### **2.1 Použití v přenosových soustavách a výrobnách el.energie**

První monitorovací systémy použité na transformátorech firmy ČEZ vyvinul v polovině 90. let EGÚ Laboratoř VVN pro autotransformátor 400/110 kV v rozvodně Řeporyje a pro blokový transformátor 400/15 kV v elektrárně Dukovany. Oba systémy pracují dodnes.

Později po oddělení ČEPS od ČEZu dodala několik jednodušších systémů pro ČEPS firma Hesla, která však dnes již neexistuje. V posledních letech se u ČEPS často stávají monitorovací systémy součástí dodávky nových transformátorů, takže jich je v nadřazené síti v provozu již několik desítek a ČEPS se tak stal největším uživatelem monitorovacích systémů na transformátorech.

V následující tabulce je přehled používaných typů monitorovacích systémů a výčet jejich funkcí. V tabulce je symbolem 1f označeno měření v jedné fázi a 3f měření ve všech třech fázích. Tabulka nezahrnuje některé specifické funkce, které se vyskytují pouze u jednoho systému.

| skupina funkcí         | funkce                                    | ELIN | TEC | MS2000 | Hesia | EGÚ |
|------------------------|-------------------------------------------|------|-----|--------|-------|-----|
| <b>elektrické</b>      |                                           |      |     |        |       |     |
|                        | Proud VN                                  | 3f   | 1f  | 3f     | 3f    | 3f  |
|                        | Proud NN                                  | 1f   | 1f  | 3f     | 3f    |     |
|                        | Napětí VN                                 | 3f   | 1f  | 3f     |       | 3f  |
|                        | Napětí NN                                 | 1f   |     |        |       | 3f  |
|                        | Výkon MVA                                 | ano  |     | ano    |       | ano |
| <b>přepínač</b>        | Poloha odbočky                            | ano  | ano | ano    | ano   |     |
|                        | Výchozí poloha přepínače                  |      |     | ano    |       |     |
|                        | Přepínač - počet přepnutí volič           | ano  |     | ano    |       | ano |
|                        | teplota oleje přepínače                   |      |     | ano    |       |     |
|                        | spínaný proud (zatížení)                  |      |     | ano    |       |     |
| <b>teploty</b>         | teplota - olej nahoře                     | ano  | ano | ano    | ano   | ano |
|                        | teplota - olej dole                       | ano  | ano |        |       | ano |
|                        | teplota - hot spot vinutí VN              | ano  | ano | ano    |       |     |
|                        | teplota - hot spot vinutí NN              | ano  | ano |        |       |     |
|                        | teplota okolí                             | ano  | ano | ano    | ano   | ano |
|                        | teplota magnet. obvodu                    | ano  |     |        |       |     |
|                        | hladina oleje v konzervátoru              |      |     | ano    |       |     |
| <b>stárnutí</b>        | v letech                                  |      | ano |        |       |     |
|                        | relativní (%)                             |      | ano |        |       |     |
|                        | simulace při přetížení                    | ano  | ano | ano    |       |     |
|                        | doba provozu                              | ano  |     |        |       |     |
|                        | spotřebovaná životnost                    |      |     | ano    |       |     |
|                        | max. doba nouzového provozu při přetížení |      |     | ano    |       |     |
| <b>chlazení</b>        | chlazení - stavy                          | ano  | ano | ano    | ano   | ano |
|                        | teplota RD1 - vrchní                      | ano  | ano | ano    | ano   | ano |
|                        | teplota RD1 - spodní                      | ano  | ano | ano    | ano   | ano |
|                        | teplota RD2 - vrchní                      | ano  | ano | ano    | ano   |     |
|                        | teplota RD2 - spodní                      | ano  | ano | ano    | ano   |     |
|                        | dobu chlazení v hod.                      | ano  |     | ano    |       |     |
| <b>plyny, voda</b>     |                                           |      |     |        |       |     |
|                        | H2                                        | ano  | ano |        |       |     |
|                        | obsah plynu v oleji                       |      |     | ano    |       | ano |
|                        | gradient plynu v oleji                    |      |     | ano    |       |     |
|                        | vlhkost v přepínači                       | ano  | ano | ano    |       |     |
|                        | vlhkost v trafu                           | ano  | ano | ano    |       |     |
|                        | vzduch v potrubí konzervátoru             | ano  |     |        |       |     |
|                        | voda - papír - výpočet                    | ano  |     |        |       |     |
|                        | acetylén                                  |      |     |        |       |     |
|                        | množství plynu v plynovém relé            |      |     | ano    |       |     |
| <b>vinutí</b>          | pohyby                                    |      |     |        | ano   |     |
| <b>průchodky</b>       |                                           |      |     |        |       |     |
|                        | odchylky kapacit průchodek (z napětí)     |      |     |        |       | ano |
|                        | odchylka tg δ                             |      |     |        |       | ano |
| <b>přechodné jevy</b>  | časový záznam přepětí a nadproudů VN      |      |     |        |       | ano |
|                        | časový záznam přepětí a nadproudů NN      |      |     |        |       | 3f  |
| <b>částečné výboje</b> | snímání úrovně částečných výbojů VN       |      |     |        |       | ano |
|                        | snímání úrovně částečných výbojů NN       |      |     |        |       | ano |

Tabulka č.1 Přehled používaných typů monitorovacích systémů a výčet jejich funkcí.

## 2.2 Rozsah diagnostiky (kompromis mezi náklady a eliminací havárií, změna strategie údržby, prodloužení životnosti stroje)

Efektivním využíváním transformátorů vzhledem k jejich stavu se zabývá obor nazývaný „*Life Management*“, který se stal důležitým nejenom z hlediska zajištění větší spolehlivosti, ale i z důvodů snížení provozních nákladů. Správné uplatňování jednotlivých kroků life managementu vede k prodloužení životnosti transformátorů a prodloužení doby mezi jednotlivými údržbovými prostoji. [1]

Plán life managementu má za úkol, na základě dlouhodobého sledování stavu transformátoru, identifikovat včas počáteční problémy, ještě předtím než povedou k poruchám, prodloužit dobu života na maximální možnou a určit vhodný okamžik náhrady transformátorové jednotky.

Life management by také měl určit zatěžovací plán jednotlivých transformátorů a poskytnout podklady pro identifikaci:

- poruchy transformátoru, které mohou být odstraněny
- transformátorů, které by mohly být zrenovovány
- transformátorů, které by měli být přemístěny
- transformátorů, které by měli být zrušeny (překročení hranice životnosti)

Nezbývá tedy, než posoudit stav všech transformátorů na základě diagnostických měření a srovnat vývoj diagnostikovaných parametrů s měřeními, které byly prováděny v pravidelných intervalech po celou dobu provozu stroje. Je tedy výhodné zavést jednotný systém shromažďování údajů o daném stroji a vytvořit propojení s vyhodnocovacím procesem, který provede konečné rozhodnutí. [1]

Důležitým úkolem je také vybrání vhodného souboru diagnostických metod, který je schopen pokrýt všechny parametry, které jsou potřebné. Shrme-li obsah předchozích odstavců, Life management by měl sestávat z následujících základních kroků:

- *analýza rizik*, nebo-li určení rizikových transformátorů
- *ohodnocení stavu* transformátorů na základě diagnostických metod
- *vytvoření programu* řízení životního cyklu

**Analýza rizik** je důležitou součástí life managementu, protože riziko je definováno jako „budoucí nejistota“, v našem případě nejistota budoucí poruchy transformátoru.

Zkoumáme tedy zejména:

- počet poruch
- závažnost (důsledek) poruchy

Podstatou risk managementu je zvětšení oblasti, kde můžeme kontrolovat výsledky a naopak minimalizovat oblasti, které kontrolovat nemůžeme. V našem případě je tedy nejdůležitějším krokem identifikovat dva důležité body:

- 1) určit pravděpodobnost výskytu neočekávané události (analýza historie na základě statistických dat a posudků expertů)
- 2) výpočet následků (náklady vyplývající z výpadku transformátoru)

Statistické hodnoty jako jsou rok výroby, výrobce, provozní historie, stav životního prostředí, historie poruch, testy oleje aj., ty všechny nám mohou pomoci určit zda se transformátor neblíží ke konci své životnosti. [1] Analýza rizik samozřejmě používá jenom statistické metody, ale pomáhá nám identifikovat a zvýraznit transformátor, který je největším rizikem.

**Ohodnocení (vnějšího a vnitřního) stavu** - zatížení, provozní historie, záznam poruch a diagnostických měření jsou důležitými podklady pro stanovení stavu transformátoru. Podívejme se na jednotlivé položky vnitřního stavu trochu podrobněji.

*Zatížení a záznam provozních operací* – mohou vypovídat velmi mnoho o zbytkové životnosti izolačního systému. To vyžaduje přesné záznamy nejen o samotném provozním zatížení, ale také například o teplotních poměrech pro danou zátěž. Tyto údaje nebývají vždy k dispozici, musíme tak vystačit se znalostí poměrů při jmenovitém zatížení a z dokumentace provozních veličin pak hodnoty při krátkodobých přetíženích. Ostatní hodnoty se určí aproximací ze známých údajů. Výsledkem by měl být rozumný odhad zbytkové životnosti izolačního systému transformátoru.

*Záznamy o poruchách* – v blízkosti nebo přímo na transformátoru jsou ukazatelem namáhání, kterému bylo vystaveno vinutí. Patří sem například poruchy na průchodkách, problémy a poruchy přepínače odboček, nejružnější události na sběrnících a selhání vypínačů. Všechny tyto poruchy se souhrnně podílejí na stavu vinutí transformátoru. Další informace nám přinesou výsledky nejružnějších diagnostických metod. Jejich použití má svůj nezanedbatelný přínos. Každá metoda je zaměřena na konkrétní část transformátoru a až teprve komplexní srovnání jednotlivých výsledků má vypovídající schopnost o celkovém stavu.

Stanovení vnitřního stavu transformátoru je nákladná záležitost a také časově náročná. Rozhodnutí o vykonání této procedury by mělo být uděláno s velkou rozvahou, dále je vhodné zvážit případnou výměnu některých komponent. Vnitřní inspekce by měla obsahovat :

- kontrolu jádra a jednotlivých cívek
- kontrolu sběrnic a vodičů
- kontrolu přepínače odboček
- kontrolu průchodek a měřících transformátorů

Tento výčet určitě není zcela úplný a obsahuje pouze nejdůležitější součásti, kterých by se kontrola měla týkat.

*Vytvoření programu řízené životnosti* - poté co jsou stanovena rizika a máme dokončeno ohodnocení stavu vytypovaných jednotek, můžeme přistoupit k poslednímu kroku. Výčet proměnných a jednotlivých okolností, které určují technické a finanční rozhodnutí jsou ovšem takové, že je nemožné stanovit široký soubor pravidel nebo standardů pro řízení životního cyklu stárnoucích transformátorů musíme vzít v úvahu fakt, že nepřímé náklady neočekávané havárie mohou být několikrát nákladnější než původní instalace transformátoru (výpadek dodávky, ztráta z prodeje, náklady na ekologické vyčištění) a potřebný čas na obnovení velkých transformátorových jednotek může být v rozmezí šesti až dvanácti měsíců, někdy i déle.

Ideální strategií je ustanovení dozoru, který bude sledovat dané transformátorové jednotky a poskytne informace k rozpoznání případů uvedených v odstavci „Plán life managementu“. [1] Tím se nastaví priority pro jejich opravy, renovace, přemístění nebo výměnu.

Další postup spočívá v *zavedení zatěžovací politiky* - na základě výsledků posouzení stavu konkrétních jednotek můžeme vypracovat plán dynamického zatěžování nebo vytipovat jednotky vhodné pro krátkodobé přetěžování. Takto zavedený systém umožňuje řídit a prodlužovat životnost transformátorů.

## 2.3 Havárie transformátoru a ekonomické dopady (nevýroba)

Poruchy v přenosových a distribučních soustavách se podílejí na 90 % všech problémů v oblasti dodávek elektrické energie. Klíčovým faktorem je spolehlivost provozu jednotlivých prvků soustavy, v našem případě výkonového transformátoru.

Životnost transformátoru je často definována jako časový úsek od data výroby do doby, než mechanická pevnost izolace klesne na 50 % své původní hodnoty vlivem tepelného stárnutí materiálu. Ztráta mechanické pevnosti nastává, když dojde k porušení izolace působením teploty.

Intenzita poruch roste exponenciálně s teplotou, teplota transformátoru však neroste přímo úměrně s přetížením. Teplotní setrvačnost pouzdra, vinutí, jádra a oleje tak dovoluje přetěžovat transformátor po určitou dobu bez vlivu na zkrácení životnosti jeho jednotlivých částí, jestliže je počáteční teplota pod štítkovou hodnotou. Extrémní přetížení však může vést k přetečení oleje, extrémním tlakům nebo prasknutí nádoby.

Nejenom zatěžování má znatelný vliv na životnost transformátorů, ale mnoho poruch vzniká i v důsledku poruch na straně nižšího napětí. Výsledné poruchové proudy tečou přes transformátor a otřásají vinutím s mechanickou silou úměrnou druhé mocnině velikosti amplitudy poruchového proudu. Jestliže se v důsledku tepelného stárnutí zhorší vlastnosti izolace, nemusí vinutí vydržet tyto poruchové proudy a to má za následek vnitřní poruchu transformátoru.

Náklady vyvolané nečekanou havárií transformátoru mohou i několikrát převýšit počáteční investice. Výdaje na pořízení nového transformátoru nebo na jeho opravu se v současné době pohybují v řádu desítek milionů korun. Celkové náklady nejsou určeny jenom na renovaci a náhradu porouchaného prvku, ale jsou také tvořeny náklady na vyčištění místa, ztrátu spojenou s „nevýrobou“ a nedodržení smluvních závazků.

Tlak konkurenčního prostředí výrazným způsobem ovlivňuje výši investičních nákladů na obnovu a údržbu, což zvyšuje riziko neplánovaného výpadku a tím se snižuje spolehlivost systému jako celku.

**Příklad havárie** výkonového transformátoru je uveden v příloze č.1. Konkrétně se jedná o poruchu jednotky vyvedení výkonu 2AT3 druhého výrobního bloku ETE z 2.6.2004.

## 3 Monitorované veličiny

### 3.1 Měření veličiny

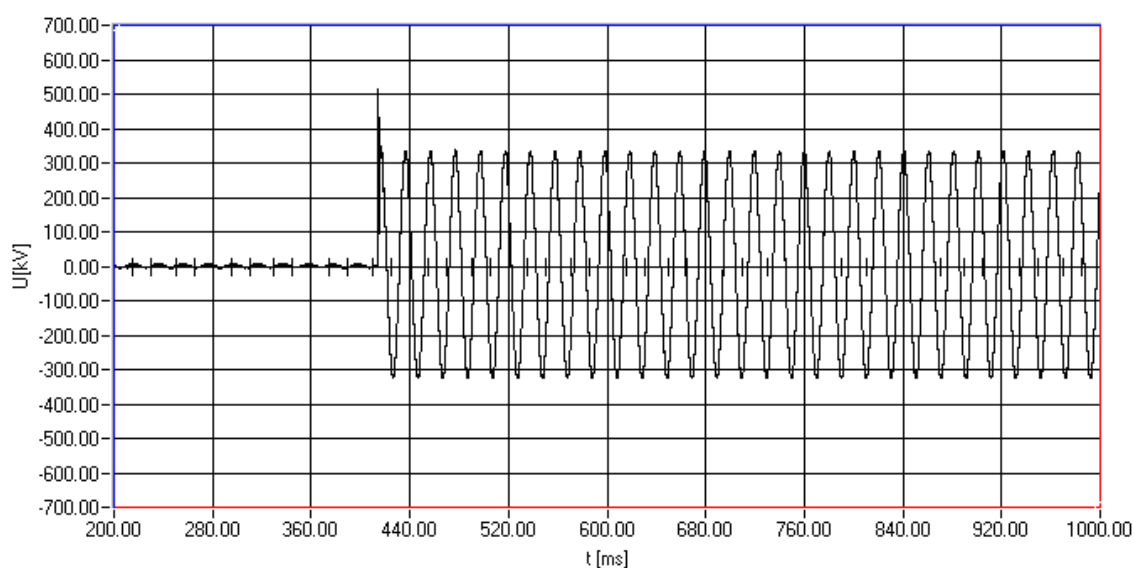
#### 3.1.1 Měření napětí a proudů

Umožňuje zaznamenávat výpadky napětí, popř. jeho mimořádné hodnoty (dočasná přepětí) v souvislosti s vývojem jiných veličin. Je nutné pro výpočet aktuální hodnoty činného a jalového výkonu. Historické řady výkonu dávají možnost sledovat přetížení. Výkon respektive proudy jsou důležitou veličinou v tepelné a energetické bilanci transformátoru a pro výpočet nejteplejšího místa vinutí. Vyhodnocení záznamu průběhu napětí a proudu má nezastupitelnou úlohu při analýzách poruch.

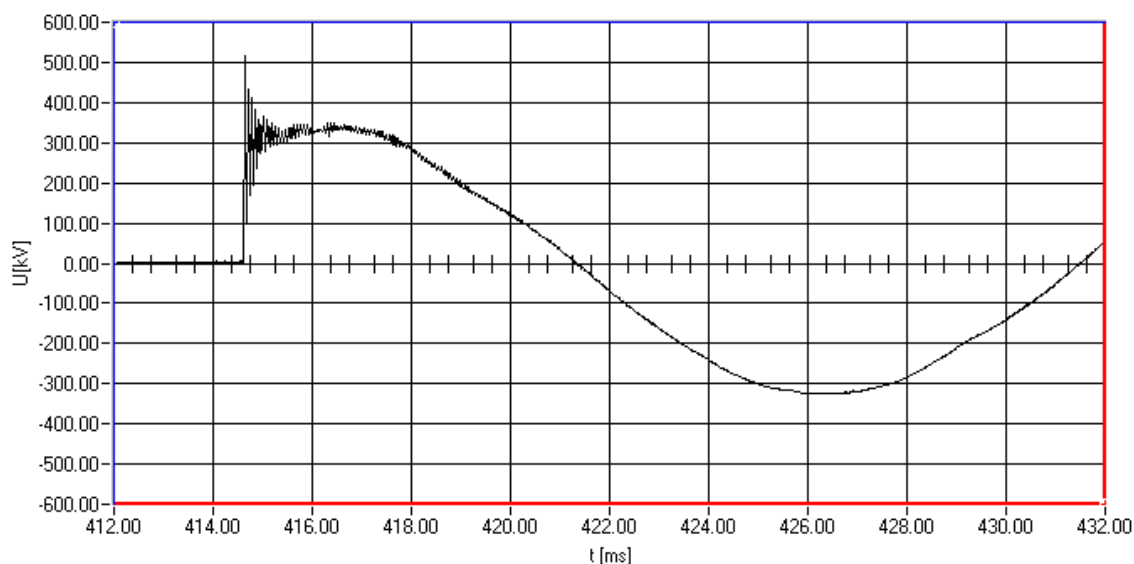
#### 3.1.2 Měření přepětí a nadproudů

Umožňuje sledovat, jakým vnějším přepětíovým a nadproudovým stresům je transformátor vystaven např. spínacím nebo atmosférickým přepětím, zda se vyskytují rezonanční a další jevy, které zkracují život izolačnímu systému trať. Jsou důležité při vyšetřování poruchy, při jejichž analýze lze prokázat, že příčinou nebylo přepětí, jak se často tvrdí. Zaznamenávají se reálné časové průběhy těchto veličin.

Na obrázcích je ukázán záznam přepětíového jevu - *zapnutí transformátoru* naprázdno. Nejprve je plný záznam z dostatečným pretriggerem, následuje detail s dostatečným vertikálním i horizontálním rozlišením.



Obrázek č.1 Záznam přepětíového jevu (plný)



Obrázek č.2 Záznam přepětového jevu (detail)

### 3.1.3 On-line diagnostika průchodek

Průchodky jsou z hlediska poruch izolace jedním z nejcitlivějších prvků transformátorů, statistiky uvádějí, že se podílí významným procentem na jejich poruchách. Jak dále vyplyne, monitorovací systém v daném složení sleduje trvale částečné výboje v průchodkách (spolu s transformátorem), změny ztrátového činitele průchodek a změny jejich kapacity. Tyto tři metody se vzájemně překrývají jen částečně, spíše se doplňují a každá může indikovat jiný typ poruchy izolace.

**Ztrátový činitel průchodek** (měření úhlů mezi fázory napětí měřených z průchodek). Sledování změn ztrátového činitele průchodek zachytí nárůst nad 1 % ztrátového činitele průchodky indikující zhoršení jejího izolačního stavu, lze tak předejít její destrukci, která má vždy vážné následky (exploze vnitřní nebo vnější části průchodky).

**Změny kapacity průchodek** (měření napětí z průchodek - výpočet poměru fázových napětí). Napětí měřené z průchodek je měřeno z kapacitních děličů, u nichž hlavní kapacitu tvoří průchodka. Změna její kapacity způsobí změnu měřeného napětí.

Protože poměr fázových napětí v sítích VVN je velmi stálý a mění se v rozsahu pouze 1 %, lze z jeho změny větší než 2 % usuzovat na změnu kapacity. K té dochází při proražení jedné nebo více izolačních vrstev mezi polepy buď vlivem přepětí nebo zhoršení izolačního stavu. Protože není nikdy jisté, zda se jedná o poruchu, která se bude nebo nebude dál šířit, průchodky se změnou kapacity se vyřazují z provozu.

### 3.1.4 Měření částečných výbojů

Při měření z průchodkových snímacích prvků lze zachytit pouze silné výboje řádu tisíců pC, které indikují zpravidla vážnou poruchu v izolačním systému transformátoru nebo průchodek, které povedou dříve nebo později k eskalaci poruchy a k havárii.

Proto v případě výskytu těchto výbojů je nutné neprodleně provést zesílenou diagnostiku = použít **ultrazvukový detektor** s mnoha sondami pro lokalizaci poruchy s možností ohodnotit nebezpečnost výbojů. Některé výboje např. při jiskření mezi pasivními kovovými částmi kostry s nahodilou izolací nebo porušenou původní izolací nemusí být nebezpečné pro izolační systém vinutí, ale jsou nežádoucí, protože mohou překrývat jiné více nebezpečné jevy a to i co se týká vývoje plynů.

Nebezpečné jsou všechny výboje ve vinutí, v prostoru vývodů k průchodkám a v průchodkách. Ty nevratně degradují papírovou izolaci - způsobují její zuhelnatění a vytváření vodivých cest. Výboje se postupně zvětšují, zvětšuje se jejich energie a tím pádem se urychluje jejich ničivý účinek až nakonec přerostou v oblouk či zkrat. Poslední stadium vývoje může být velmi rychlé a může trvat pouze několik hodin. Proto je nutné zachytit výboje v počátečním stádiu.

Měření částečných výbojů z průchodek umožňuje zachytit poruchu v izolačním systému transformátoru nebo průchodek dříve než dojde k nárůstu plynů v oleji. V případě současného měření plynů v oleji se při trvání poruchy více než deset hodin tato měření vzájemně podporují a dávají jistotu v určení diagnózy a v oprávněnosti zásahu. Příkladem poruchy může být výskyt elektricky vodivých nečistot v místě silného elektrického pole např. mezi deskami vinutí.

Měření částečných výbojů **sondami v pásmu UHF** umožňuje zachytit slabší výboje než metoda předešlá a to s úrovněmi stovky pC, což jsou výboje, které se na monitoru plynů projeví s velkým zpožděním mnoha desítek spíše stovek hodin. Navíc provede jejich hrubé zaměření, takže: zachytí poruchu v ranějším stádiu a umožňuje ji s větší časovou rezervou řešit za provozu transformátoru. Tuto metodu lze však nasadit až při opravě stávajících transformátorů spojenou s vypuštěním oleje, nebo u transformátorů nově vyrobených.

### **3.1.5 Měření plynů v oleji**

Zachycuje široký okruh poruch v izolačním systému transformátoru:

- Indikace vodíku může znamenat lokální přehřátí oleje, nízkoenergetické výboje
- Indikace acetylénu je vždy velmi nebezpečná a znamená vysokoenergetické výboje až oblouk
- Indikace CO provází překročení kritické teploty papíru a jeho nevratnou degradaci

### **3.1.6 Měření teplot**

Měření horní a spodní teploty je nutné pro výpočet nejteplejšího místa vinutí. K tomu je potřeba měřit další veličiny, jako jsou proudy všech vinutí. Znalost nejteplejšího místa vinutí je velmi užitečná při plánování trvalého přetěžování transformátoru a při stanovování rezerv dynamického přetížení. Je ho možné použít pro výpočet stárnutí izolace transformátoru.

Měření teplot na obou stranách nádoby transformátoru dává obraz vyváženosti proudění oleje, nově vzniklá nesymetrie teplot může indikovat zhoršení proudění oleje a lokální přehřívání vinutí.

Měření teplot v chladícím systému je nutné při hlídání tepelné a energetické bilance transformátoru, která neustále porovnává aktuální teploty se simulačním modelem rovnovážného stavu, který je součástí monitoru. Jakákoliv odchylka může znamenat poruchu nebo ztrátu účinnosti chlazení.

Z uvedeného popisu vyplývá, že sledování teplot v různých místech nelze dělit na jednotlivá měření, ale že tato dávají smysl jako celek. To platí i o měření teploty vzduchu vstupujícího a vystupujícího z ventilátorů a okolní teploty.

### **3.1.7 Měření teploty přepínače odboček**

Nejjednodušší způsob, jak indikovat možné nežádoucí trvalé ohřevy na kontaktech nebo při přepínání.

### 3.1.8 Měření proudu, výkonu pohonu přepínače

Touto jednoduchou metodou se trvale sleduje hladký chod přes kontakty. Nárůst výkonu, prodloužení doby přepínání zejména, když se opakuje v jedné poloze, může indikovat např. poškození kontaktů ať už mechanické, nebo elektrické.

### 3.1.9 Měření stavových (dvouhodnotových) veličin

Měření stavových veličin a z nich odvozených např. doba chodů čerpadel, ventilátorů apod. má funkci sledování opotřebení zařízení pro racionální plán údržby. Druhý význam je pro sledování komplexního stavu zařízení - energetická bilance - výpadky zařízení atd.

Zaznamenání průběhu změn dvouhodnotových veličin s malým časovým rozlišením (1 ms) zajistí důležité informace v případě poruchy transformátoru nebo jeho pomocného zařízení (např. chladicího systému).

## 3.2 Odvozené veličiny

Za odvozené veličiny se považují veličiny, které lze odvodit z veličin získaných měření (např. napětí, proudy, teploty). Odvozené veličiny lze rozdělit na *provozní* (výkon, účinník, fázový úhel) a *diagnostické* (změna kapacity průchodky, změna ztrátového činitele).

Provozní veličiny samy o sobě nedávají informaci o stavu izolačního systému transformátoru, ale v souvislosti s diagnostickými veličinami mohou poskytnout informaci o změně izolačního systému.

Z hlediska výpovědi schopnosti KMS by četnost ukládání těchto dat neměla být nižší než šest vzorků za hodinu.

### 3.2.1 Fázový úhel, účinník

Měří se fázový úhel mezi napětím a proudem každé fáze na primární i sekundární straně transformátoru. Pro měření fázového úhlu se provede záznam 40 period časového průběhu napětí a proudu, z průchodu nulou obou veličin se odečte fázový posuv.

Pro přesné měření fázového úhlu je třeba vzorkování minimálně 20 Ksample /s/kanál. Napětí a proud je možné snímat jak z PTN tak i z kapacitních průchodkových senzorů.

### 3.2.2 Výkon činný, jalový

Měří se podle vzorce:

$$P = 1 \div T \int u(t)i(t)dt, \quad Q = P \tan \varphi$$

### 3.2.3 Ztrátový činitel průchodek

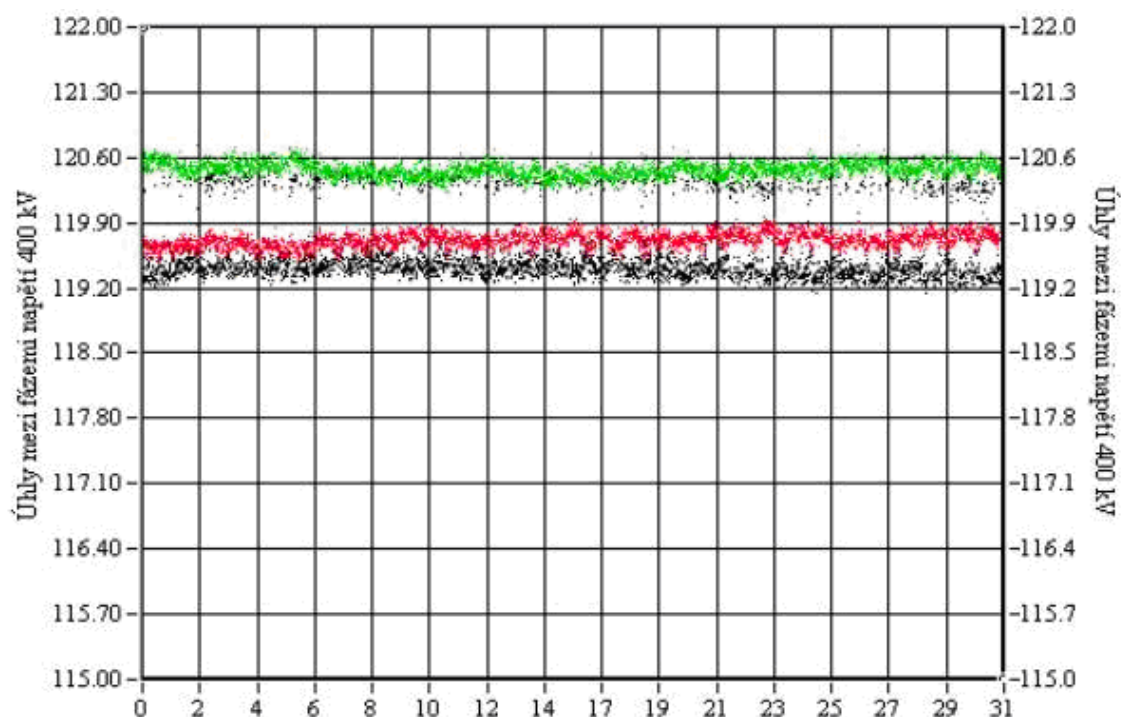
Pro měření ztrátového činitele průchodek je důležité snímání časových průběhů napětí z kapacitního děliče izolace průchodky. V normálním případě nízkého tg delta u všech průchodek, je vstupní a výstupní napětí děličů ve fázi a fázové úhly mezi napětími musí být 120°.

V případě, že dojde k nárůstu ztrátového činitele u jedné průchodky, v záznamech napětí se to projeví změnou dvou ze tří úhlů (třetí zůstává beze změny). Lze tedy touto metodou indikovat změny ztrátového činitele s tím, že výchozí stav se považuje za normální. Přitom zvýšení ztrátového činitele jedné z průchodek se projeví změnou zpožděním příslušného fázového napětí, tzn., že první změněný úhel je větší a druhý v pořadí je o stejný díl menší. V opačném případě lze uvažovat o souběžné identické změně tg u dvou průchodek, což lze vyloučit vzhledem k tomu, že jde o nezávislé izolační systémy nebo o vliv jiných změn.

Přesnost metody nezávisí na rozptylu parametrů ovlivňujících prvků (snímací prvky, izolační zesilovače), ale na jejich kolísání např. teplotou a změnou během doby. Citlivost metody pak lze chápat jako schopnost zjištění počátečních příznačných změn tg některé průchodky. Citlivost je limitována též časovým rozlišením tzn. v podstatě rychlostí vzorkování. Má-li být bezpečně indikován nárůst tg 5 %, musí být rozlišen úhel 3°. Minimální počet vzorků pro rozlišení tohoto úhlu je 2, tzn. je potřeba  $2 \times 120 = 240$  vzorků na periodu. Tedy vzorkovací rychlost by měla být minimálně 15 KSample/s/kanál. Prakticky se pak přesnost měření účinně zvyšuje odečtem úhlů ve čtyřiceti po sobě jdoucích periodách a výpočtem průměrných hodnot. Fázový posuv je tak určen s přesností na desetiny stupně a v průběhu měření kolísá v rozmezí

několika málo desetin stupně. Lze proto celkem spolehlivě zachytit posun fáze o jeden úhlový stupeň a tedy nárůst ztrátového činitele o 1,7 % . Zde je nutné poznamenat, že kvalitu tohoto měření nelze porovnávat s měřením tg průchodek na vypnutém stroji např. pomocí Scheringova můstku.

Měření za provozu má sloužit k včasnému odhalení hrubších závad, kdy lze předpokládat nárůst tg i na hodnoty kolem 10 % aniž by muselo bezprostředně dojít k průrazu průchodky.



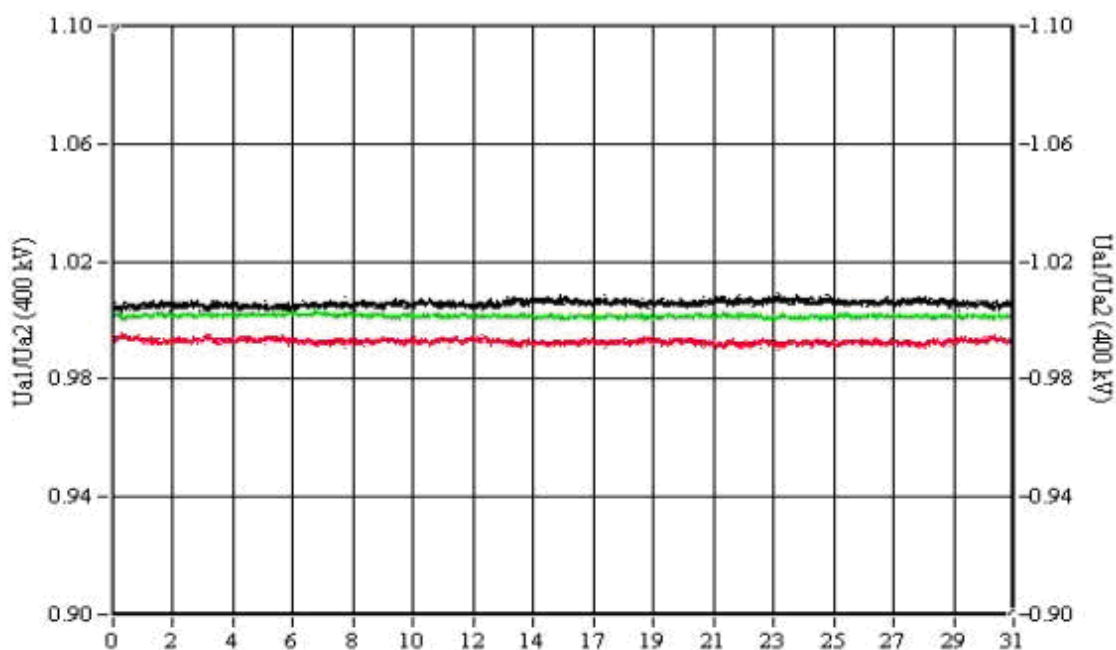
Obrázek č.3 Úhly mezi fázory napětí 400 kV

### 3.2.4 Podíly fázových napětí - indikace změn kapacit průchodek

Stejně tak jako při měření změn ztrátového činitele průchodek, možnost indikace změn kapacit průchodek vyplývá z faktu, že se napětí měří pomocí kapacitních děličů, jejichž horní kapacitor tvoří hlavní kapacita průchodek.

Za předpokladu, že rozdíly mezi velikostmi napětí jednotlivých fází se příliš nemění, lze ze změn jejich poměru soudit na měnící se poměr mezi celkovými převodními činiteli měřicích řetězců od průchodek až po digitizér měřicího počítače v jednotlivých fázích. Pokud všechny konstanty měřicích řetězců zachovávají stálost

s dostatečně malým celkovým rozptylem během roku, pak lze změny poměru měřených napětí výrazně převyšující rozptyl dvou výše uvedených faktorů přisuzovat změnám poměrů kapacit průchodek v jednotlivých fázích. Stejně jako v předešlém případě, pokud parametry identických měřicích řetězců měřících napětí jednotlivých fází podléhají stejným změnám na výsledku měření se to neprojeví (chyby měření se eliminují).



Obrázek č.4 Podíly fázových napětí

### 3.2.5 Časové řady a trendy veličin

Z měřených hodnot se budou vytvářet časové řady a automaticky počítat momentální trendy veličin. Zároveň se budou kontrolovat odpovídající relace s fyzikálně spřaženými veličinami, automaticky porovnávat s nastavenými limitními hodnotami úrovní a strmostí trendů a automaticky vyhlašovat alarmy při jejich překročení.

Všechny kritické hodnoty limitních úrovní a limitní hodnoty strmostí trendů bude možné provádět uživatelské změny nastavení oprávněným pracovníkům (přístup přes heslo), zrovna tak vhodný způsob kvitace/dočasného potlačení trvale působících jednotlivých alarmů oprávněnými pracovníky bez omezení funkčnosti zbývajících částí KMS.

### **3.2.6 Výpočet nejteplejšího místa vinutí**

K výpočtu je vytvořen digitální model systému transformátoru se vstupními veličinami: horní teplota oleje, dolní teplota oleje, teploty na vstupu a výstupu oleje do chladiče, proudy jednotlivými vinutími, trendy změny teplot a trendy změn proudů.

Trend teploty hot spot umožňuje ovládat dynamiku zatěžování a určit limitní dynamiky dočasného přetěžování transformátoru.

### **3.2.7 Energetická bilance transformátoru**

Tento model transformátoru kontroluje relace mezi výkonem, rozložením teplot oleje v nádobě, teplot oleje v chlazení, teplotami vzduchu na vstupu a výstupu chladiče a venkovní teplotou.

Odchylky parametrů od obvyklých relací signalizují změny, které mohou být diagnostikovány jako změna funkce určité části systému (chladič, změna proudění oleje v nádobě apod.)

## **4 Současný stav nabízené techniky, porovnání odlišných metod měření**

Ve světě jsou v současné době dostupné systémy kontroly a řízení činnosti transformátorů od jednoduchých analogových měřidel až po velmi sofistikované kontinuální monitorovací systémy, které zajišťují monitorovací, řídicí a komunikační funkce - to vše v jednom zařízení jako expertní systém.

Výroby monitorovacích systémů se ujaly zejména výrobci samotných výkonových transformátorů. Tyto firmy nabízejí monitorovací systémy jako součást dodávky nového transformátoru. Příkladem mohou být systémy od firem ELIN, ALSTHOM - systém MS2000, ABB - systém TEC, SIEMENS.

### **4.1 Teplota nejteplejšího místa vinutí (hot spot)**

Teplota nejteplejšího místa vinutí je nejpodstatnějším parametrem při zatěžování transformátoru na optimální maximum. Existují tři hlavní metody určení nejteplejšího místa vinutí:

- model vinutí - konvenční měřidlo
- výpočet (elektronické teplotní monitory)
- přímé měření hot spot optickými vlákny

#### **4.1.1 Model nejteplejšího místa vinutí (klasické měřidlo)**

Konvenční měřidlo teploty vinutí obsahuje jednak kapilární teploměr měřící teplotu horní vrstvy oleje a jednak malé topidlo, které ohřívá olej v místě měření a simuluje tak zvýšení teploty nejteplejšího místa vinutí oproti teplotě oleje (tzv teplotní gradient). Topidlem se prochází proud jedné z průchodek a výkon topidla se kalibruje pomocí proměnného odporu. Kalibrace topidla je založena na zahřívacích zkouškách, při nichž se měří nárůst průměrné teploty vinutí a teploty oleje. Rozdíl těchto teplot je průměrný gradient, který se použije k určení teploty nejteplejšího místa v souladu se standardy IEC a IEEE.

Nevýhodou těchto měřidel je malá přesnost kapilárních teploměrů 2 až 3 °C, která se časem zhoršuje na 5 až 7 °C, dále to že konvenční měřidla časem „zatuhnou“ a třetí

nevýhodou je, že neposkytují výstupní informaci v elektronickém formátu použitelnou v monitorovacích a řídicích systémech.

#### **4.1.2 Elektronické teplotní monitory (ETM)**

Použití elektronických teplotních monitorů se pro mnoho energetických společností stalo standardem. Nejjednodušší systémy ETM pracují přesně jako klasická měřidla - analogové modely vinutí s tím rozdílem, že přídatný nárůst teploty nejteplejšího místa vinutí nad teplotu oleje je přidán digitálně v počítači. Pokročilejší systémy zahrnují do výpočtu více údajů a provádějí mnohem přesnější výpočty nejteplejšího místa a nabízejí mnoho jiných diagnostických veličin a komunikačních funkcí.

Velkou výhodou ETM je jejich přesnost oproti klasickým modelům vinutí. Většina ETM používá k měření horní vrstvy oleje články Pt100. Rovněž digitální výpočet hot spot je s přesností desetin stupně narozdíl od mechanicky nastaveného klasického měřidla s postupným rozladováním. Druhou výhodou ETM je možnost nastavení časové konstanty, která odpovídá časové konstantě transformátoru. To je velmi důležité při krátkodobých přetíženích a vůbec při zátěžových přechodných stavech.

Jednoduché systémy ETM monitorují jedno vinutí v jedné fázi, pokročilejší systémy monitorují všechna vinutí ve všech fázích.

Pokročilé digitální systémy ETM umožňují vytvářet komplexnější tepelné modely transformátoru zahrnující systémy chlazení a celkovou energetickou bilanci transformátoru. Komplexní model umožňuje diagnostikovat jakékoliv odchylky od plně funkčního systému transformátoru a určit subsystém s poruchou.

Ucelené informace o funkci transformátoru a přesný výpočet hot spot a její dynamiky dává optimální podmínky pro rozhodování a hodnocení provozních stavů. Kvalitní dynamický algoritmus modelu transformátoru dává zpravidla možnost zatěžovat transformátor o 10 až 20 % nad obvyklé hodnoty.

#### **4.1.3 Měření teploty vinutí optickými vlákny**

Tepelné modely u pokročilých systémů ETM jsou komplexní a mohou být poměrně přesné, nicméně přesnost těchto výpočtů závisí na přesnosti kalibračních údajů pro

nastavení konstant modelu. Kalibrační údaje jsou zpravidla získány pomocí oteplovací zkoušky u výrobce.

Měření teploty optickými vlákny umožňuje měřit přímo teplotu nejteplejšího místa vinutí. Nicméně jsou tu dva hlavní důvody, proč společnosti jsou zdrženlivé vůči používání optických vláken pro měření teploty hot spot.

- 1) Vláknem byla velmi křehká a vyžadovala velký rádius při změně směru. Nyní jsou dostupná vlákna již pružnější, křehkým zůstává měřicí konec vlákna. Výrobci transformátorů již získali zkušenosti s instalací citlivých senzorů.
- 2) Cena - jako nová technologie byly optické systémy drahé. Nyní se již optické měření teploty vyskytuje jako subsystém některých nových cenově dostupných monitorovacích systémů transformátorů.

## **4.2 Analýza plynů rozpuštěných v oleji**

### **4.2.1 Systém HYDRAN**

V 90. letech se objevil první přístroj umožňující kontinuální sledování obsahu plynů rozpuštěných v oleji transformátoru. Byl to systém HYDRAN vyvinutý kanadskou firmou Syprotec. Tento systém pracující na principu spalitelnosti plynů indikuje obsah plynů v rozsahu 0 až 2000 ppm jedním číselným údajem D.U. v ppm, který vyjadřuje obsah čtyř spalitelných plynů podle následujícího vzorce:

$$\text{D.U. (ppm)} = \text{H}_2 \text{ (ppm)} + 0,18 \text{ CO (ppm)} + 0,08 \text{ C}_2\text{H}_2 \text{ (ppm)} + 0,015 \text{ C}_2\text{H}_4 \text{ (ppm)}$$

Nejcitlivější je tedy na vodík a jeho obsah měří v poměru 1:1. Obsah kyslíčnicku uhelnatého CO 100 ppm se zobrazí jako 18 ppm, 100 ppm acetylénu C<sub>2</sub>H<sub>2</sub> jako 8 ppm a konečně 100 ppm etylénu C<sub>2</sub>H<sub>4</sub> jako 1,5 ppm. Z pohledu uživatele: když např. Hydran indikuje obsah plynů 180 ppm, může se jednat o 180 ppm vodíku nebo 1000 ppm CO nebo 2250 ppm acetylénu atd. V reálné situaci číslo ukazatele indikuje nějakou kombinaci všech čtyř plynů.

Velkou nevýhodou čidla Hydranu je velmi malá citlivost na acetylén, který je velmi nebezpečný, protože se uvolňuje při poměrně energeticky silném jiskření v oleji a je známkou hrubé závady, která může vyústit v havárii. Proto dobrý monitor plynů v oleji by měl být citlivý právě na acetylén.

Lze tedy konstatovat, že čidlo Hydranu využívající principu spalování plynů je indikátor obsahu vodíku s malou citlivostí na uvedené další tři plyny, které mohou pouze zvýšit celkový ukazatel, takže není jasné, které plyny se v oleji vyskytují. Nicméně jako systém prvního varování nárůstu obsahu plynů v oleji čidlo Hydran funkci plní, protože většina poruch, které se mohou u transformátoru objevit je provázena uvolňováním vodíku. Systém HYDRAN M2 obsahuje navíc čidlo vlhkosti oleje.

Malou citlivost na acetylén firma vyřešila nabídkou systému Multi 2010, který používá dvě čidla v jednom monitoru, klasické čidlo HYDRAN + čidlo indikující obsah acetylénu s citlivostí 3 ppm.



Obrázek č.5 Analyzátor plynů Hydran Multi 2010

Další z nevýhod je např. značná citlivost čidla na vnější vlivy jako jsou nečistoty v oleji nebo změny jeho tlaku. Systém byl postupně inovován v elektronické části a komunikaci, ale základní princip zůstal.

Protože systém HYDRAN v 90. letech neměl prakticky konkurenci, měl i přes svoje nevýhody komerční úspěch a dnes je značně rozšířen. Lze říci, že ve své době splnil velmi dobře historickou roli technické inovace a zasloužil se nejvíce o všeobecné rozšíření aplikace monitorovacích systémů transformátorů, budoucnost však patří systémům, které jsou schopny on-line detekovat několik plynů, každý zvlášť, o nichž je pojednáno dále.

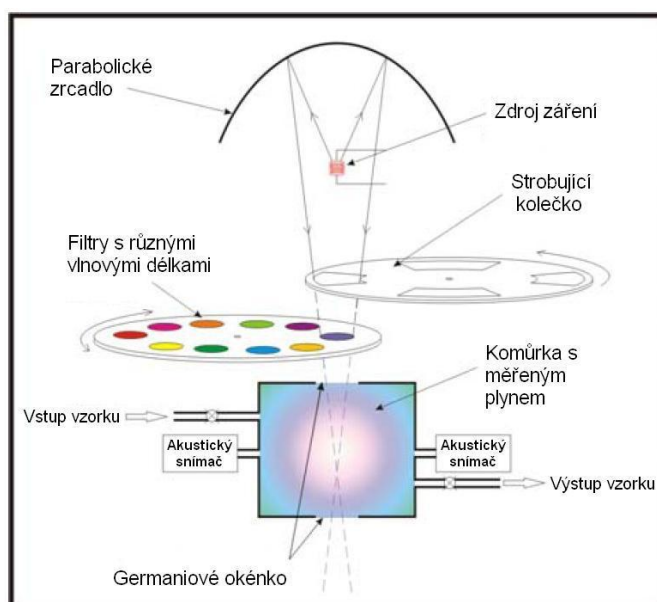
#### **4.2.2 Systémy TRANSFIX a CANTRONIC – monitorování obsahu několika plynů**

Koncem 90. let se objevily první systémy pro kontinuální sledování obsahu více plynů v oleji, jejich cena však byla tak vysoká, že nedošlo k jejich komerčnímu využití.

V poslední době se komerčně nabízejí dva systémy pro monitorování více plynů, jejichž cena je pouze necelý dvojnásobek ceny monitoru HYDRAN a pracují každý na jiném principu. Proto je vhodné porovnat vlastnosti obou systémů.

**Systém Transfix** - Firma Kelman přišla s novou provozně vyzkoušenou a spolehlivou technologií on-line analýzy plynů rozpuštěných v oleji (DGA – dissolved gas analysis) včetně analýzy vlhkosti v jednom zařízení, které se velmi jednoduše instaluje a vyžaduje minimální údržbu a nepotřebuje pravidelnou kalibraci. Kelman použil pro DGA princip fotoakustické spektroskopie nejprve u přenosného analyzátoru Transport X, který se ukázal velmi spolehlivý a přesný. Transfix používá úplně stejnou technologii a představuje novou generaci on-line monitorů plynů v oleji.

*Fotoakustický efekt* je způsoben schopností plynu absorbovat elektromagnetické záření (infrachervené světlo). Absorpcí záření se zvýší teplota plynu a pokud je plyn držen v utěsněném prostoru, tento nárůst teploty způsobí adekvátní nárůst tlaku. Pokud je světelný zdroj pulsující, bude odpovídajícím způsobem pulsovat i tlak a bude vytvářet tlakové vlny, které lze detekovat citlivými akustickými snímači.

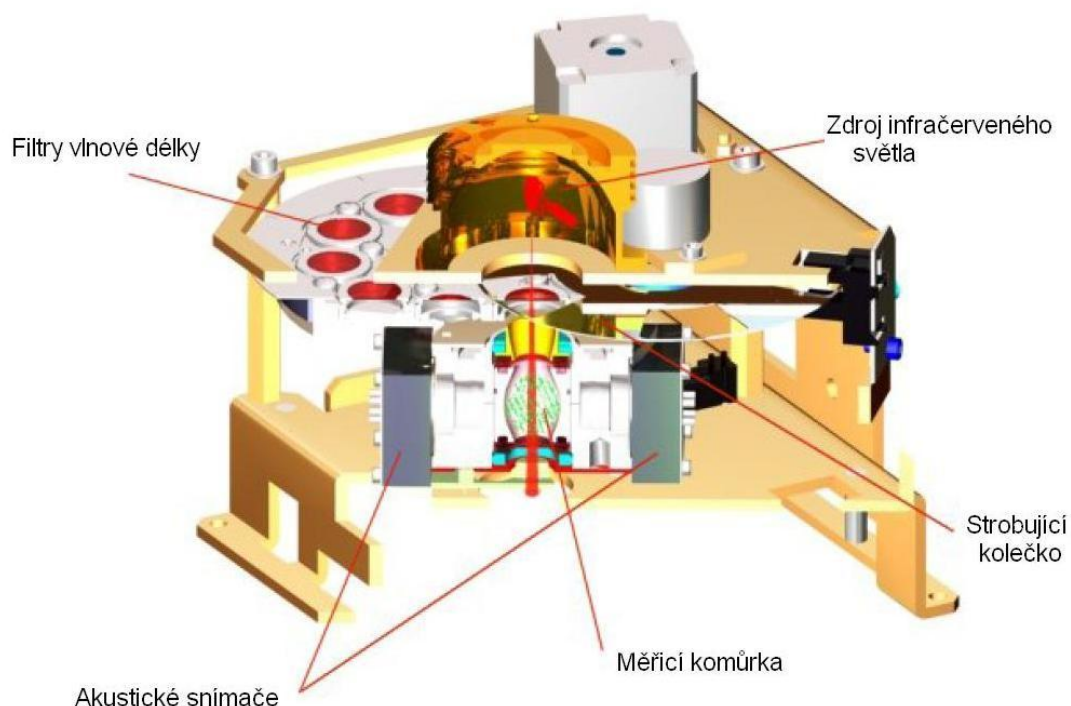


Obrázek č.6 Princip fotoakustické spektroskopie

Existují dvě klíčové skutečnosti, které umožňují využít tohoto efektu při analytickém měření. První je, že každý plyn má jedinečné absorpční spektrum, takže lze „naladit“ světelný zdroj tak, aby interagoval právě s tímto plynem. Druhou skutečností je, že úroveň absorpce je přímo úměrná koncentraci daného plynu.

Výběrem vhodných vlnových délek pulsujícího elektromagnetického záření a měřením úrovně výsledného akustického signálu je možné detekovat nejen pouhou přítomnost ale i koncentraci libovolného plynu i ve složité kompozici různých složek. To je základ fotoakustické spektroskopie [4].

*Fotoakustická spektroskopie* - jednoduchý zdroj se žhavým drátem generuje širokopásmové záření v infračerveném pásmu, které je soustředěno do měřicí komůrky pomocí parabolického zrcadla. Kolečko s výřezy rotuje konstantní rychlostí a způsobuje stroboskopický efekt zdroje záření. Než záření vstoupí do komůrky, projde jedním z mnoha optických filtrů. Tyto filtry jsou navrženy tak, aby propouštěly světlo určité vlnové délky, které excituje jednu složku (plyn), která je předmětem měření.



Obrázek č.7 Řez modulem DGA

Extrahovaný vzorek plynu je vpraven do komůrky, postupně se vkládají do cesty světla různé filtry a zaznamenává se akustická odezva, která dává koncentraci příslušného plynu.

Transfix je on-line DGA systém pro měření koncentrace plynů zcela soběstačný, nevyžadující žádné pomocné prostředky, náplně, které by se musely doplňovat, jako např. zásobníky nosných nebo kalibračních plynů.

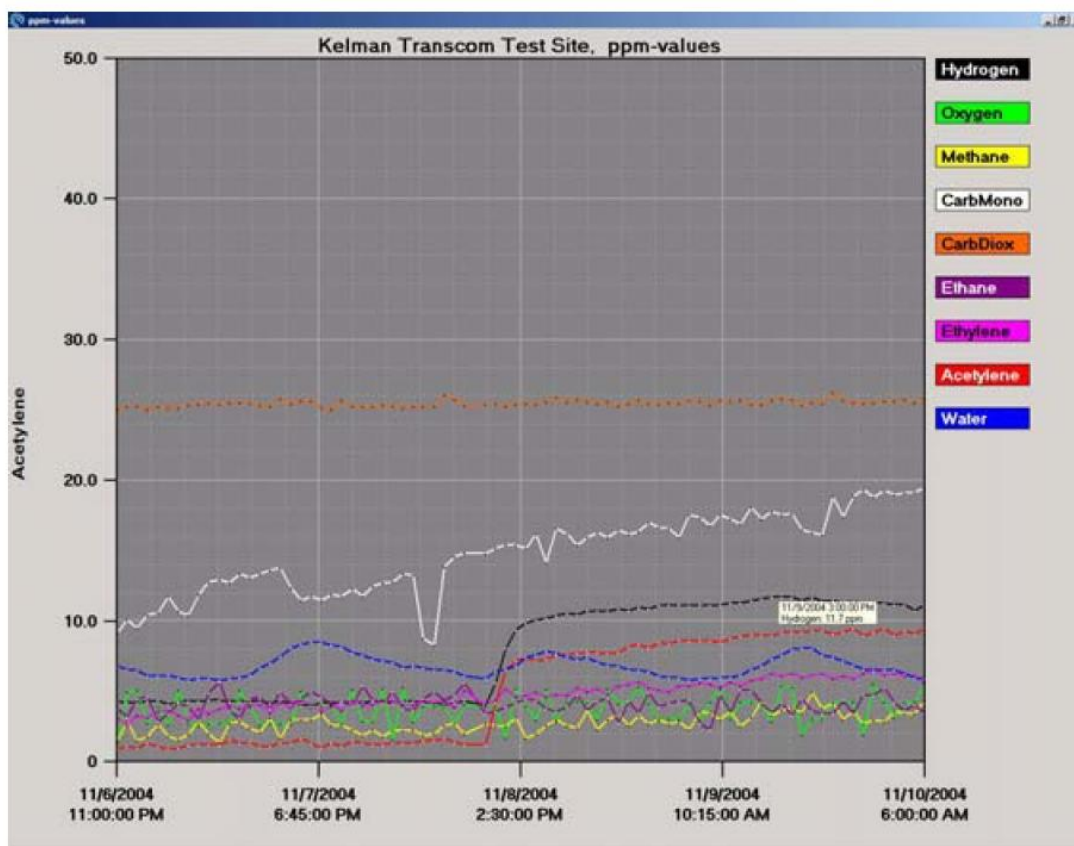
Rozbor vzorku provádí každou hodinu přímo v hlavní skřini (bez vnějších čidel). Olej je přiveden do analyzátoru nerez trubičkou z ventilu na nádobě a vrací se do jiného ventilu. Extrakce plynů nepoužívá membránu, nevyžaduje extrakci vakuem, ale extrakci provádí ze vzorku řízenou excitací s tím, že veškerý olej se opět vrací do nádoby transformátoru. Výsledky analýzy se ukládají do paměti s kapacitou 10 000 záznamů. Má širokou škálu možných prostředků lokální i dálkové komunikace a lze ho adaptovat na jakýkoliv systém.

| Separované látky                         | Nejnižší detekované limity | Kalibrovaný rozsah |
|------------------------------------------|----------------------------|--------------------|
| H <sub>2</sub> - vodík                   | 1 ppm                      | 1 ÷ 2 000 ppm      |
| CO <sub>2</sub> - oxid uhličitý          | 1 ppm                      | 1 ÷ 50 000 ppm     |
| CO – oxid uhelnatý                       | 1 ppm                      | 1 ÷ 50 000 ppm     |
| CH <sub>4</sub> - metan                  | 1 ppm                      | 1 ÷ 50 000 ppm     |
| C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> - etan     | 1 ppm                      | 2 ÷ 50 000 ppm     |
| C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> - etylén   | 2 ppm                      | 1 ÷ 50 000 ppm     |
| C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> - acetylén | 1 ppm                      | 1 ÷ 50 000 ppm     |
| O <sub>2</sub> - kyslík                  | 100 ppm                    | 100 ÷ 50 000 ppm   |
| H <sub>2</sub> O - voda                  | ±3 ppm                     | 1 ÷ 100 %          |

Tabulka č.2 Specifikace systému Transfix (přesnost je ± 10 % u oleje a ± 5 % u vody)

Transfix má mnoho možností nastavení alarmů s velkou flexibilitou konfigurace. Má šest nezávislých alarmů nastavitelných operátorem. Lze nastavovat hladiny, nárůsty, celková množství plynů a jejich poměry. Každý alarm může aktivovat LED diodu na čelním panelu jedno ze tří relé nebo poslat varovný signál. Systém obsahuje software umožňující konfigurovat alarmy, určit interval vzorkování, stahovat data zobrazit trendy.

Interval vzorkování lze nastavit od jedné hodiny až po 1 den po hodinách.

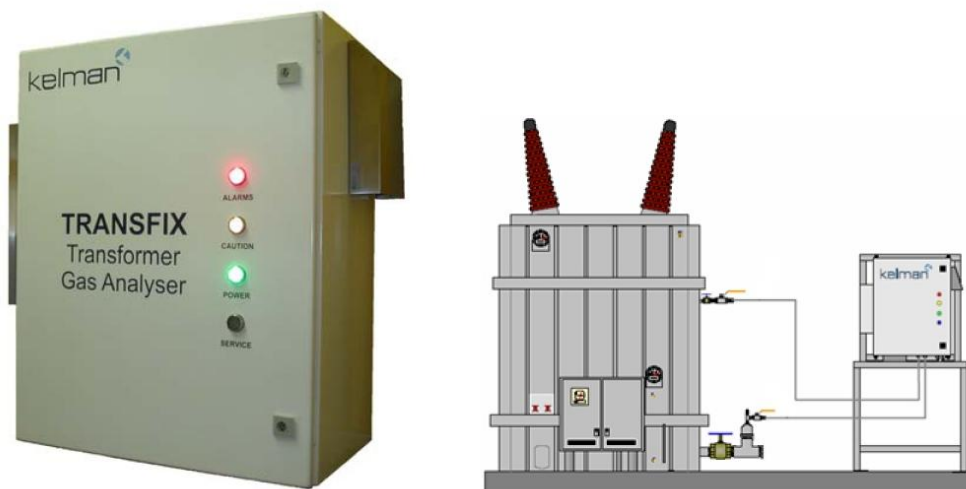


Obrázek č.8 Ukázka časového průběhu obsahu plynů

#### Technická data:

|                         |                                           |
|-------------------------|-------------------------------------------|
| Teplota okolí           | -40 až 55 °C (vzorek max. každé 2 hodiny) |
|                         | -10 až 45 °C (vzorek každou hodinu)       |
| Vrchní teplota oleje    | 10 až 110 °C                              |
| Teplota oleje na vstupu | 10 až 80 °C                               |
| Vlhkost vzduchu         | 10 až 95 % nekondenzující                 |
| Krytí                   | IP56                                      |
| Tlak oleje na vstupu:   | provozní 0 až 3 bar                       |
|                         | mimo provoz -1 až 6 bar                   |
| Váha                    | 81 kg                                     |
| Rozměry                 | 700 x 800 x 350 mm                        |

Skříň se nesmí montovat přímo na transformátor.



Obrázek č.9 Skříň monitoru , její umístění a připojení

#### Podmínky:

Transformátor musí obsahovat minerální olej podle IEC-296 bez PCB. Tlak oleje atmosférický nebo vyšší. Transfix nesmí být instalován na transformátor, který je pod vakuem a je pod napětím.

Pro připojení systému Transfix jsou potřeba dva ventily - vstupní a výstupní. Olej se odebírá v místě, kde je dobře promíchán a má reprezentativní parametry - ve vrchní části nádoby, vrací se do nádoby ventilem ve spodní části nádoby - může být vypouštěcí. Doporučuje se použít ventily přímo na nádobě transformátoru. Ventily v chladicím okruhu se použijí pouze není-li jiná možnost.

**Systém C202-6 Cantronic** - provádí on-line monitoring šesti plynů. Technologií detekce je chromatografie pomocí senzoru instalovaného na nádobě transformátoru, k extrakci používá membránu. Časová odezva senzoru je menší než 1s.

Vzorkování obsahuje velmi spolehlivou a stabilní separační membránu, chromatografická kolona má dlouhou životnost a krátký čas ustálení. Plynový senzor má rychlou odezvu.



Obrázek č.10 Ukázka instalovaného senzoru a vyhodnocovací jednotky

Má tři typy alarmů: vodík, acetylén a celkový obsah CxHx. Procesor umožňuje automatické vzorkování, nastavení alarmů, on-line, off-line diagnostiku, záznam historie, vytvářet zprávu v pravidelných intervalech.

#### Technická data:

|                            |                    |         |
|----------------------------|--------------------|---------|
| Senzor                     | 200 x 320 mm       | 12,6 kg |
| Vyhodnocovací jednotka     | 600 x 450 x 250 mm | 29 kg   |
| Provozní teplota           | -30 až 60 °C       |         |
| Rozsah tlaku oleje         | 0 až 200 kPa       |         |
| Kapacita paměti pro záznam | 10 let             |         |
| Síťová podpora             | až do 200 rozvoden |         |
| Komunikace                 | po portu RS-485    |         |

| Indikované látky                         | Kalibrovaný rozsah | Přesnost                          |
|------------------------------------------|--------------------|-----------------------------------|
| H <sub>2</sub> - vodík                   | 1 ÷ 1 000 ppm      | ±1 ppm nebo ±10 %, který je větší |
| C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> - acetylén | 3 ÷ 2 000 ppm      | ±1 ppm nebo ±10 %, který je větší |
| CH <sub>4</sub> - metan                  | 20 ÷ 2 000 ppm     | ±10 %                             |
| C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> - etylén   | 2 ÷ 1 000 ppm      | ±1 ppm nebo ±10 %, který je větší |
| C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> - etan     | 20 ÷ 2 000 ppm     | ±10 %                             |
| CO - oxid uhelnatý                       | 200 ÷ 2 000 ppm    | ±10 %                             |

Tabulka č.3 Specifikace systému Cantronic

#### Podmínky:

Systém vyžaduje připojení tlakové láhve s vysoce čistým dusíkem

### 4.2.3 Porovnání systémů

Hlavní rozdíl mezi systémy Transfix a Cantronic jsou v principu analýzy plynů. Zatímco systém Cantronic C202-6 používá klasický princip chromatografické analýzy se separací plynu na membráně, Transfix používá zcela nový princip fotoakustické analýzy s extrakcí plynů pomocí pomalé excitace. Je obtížné určit, který princip bude provozně spolehlivější a které měření bude přesnější.

Systém Transfix nevyžaduje žádná pomocná média, Cantronic vyžaduje připojení tlakové láhve s vysoce čistým dusíkem.

Oba systémy mají přesnost  $\pm 10\%$ , Transfix má větší citlivost (např. na acetylén) a větší rozsah měření (1 až 50000 oproti 3 až 2000 u Cantronic).

Transfix provádí měření nejčastěji každou hodinu, u Cantronic se uvádí rychlá reakce čidla, ale není jasné, jaký je časový rozvrh měření.

Skříň Transfix váží 81 kg a je rozměrnější než skříň systému Cantronic s váhou 29 kilogramů.

Cena systému Transfix je zhruba 850 tisíc Kč, systému Cantronic 750 tisíc Kč. Srovnáme-li tyto ceny s cenou již zastaralého systému Hydran, která je přibližně 450 tisíc Kč, nejedná se ani o dvojnásobek při mnohonásobně vyšší užitné hodnotě.

## 4.3 Monitorování částečných výbojů

Pokročilé monitorovací systémy obsahují subsystémy pro trvalou detekci částečných výbojů. Používají se čidla elektrických nebo akustických signálů nebo obojí.

U *elektrických čidel* pracujících v pásmu kmitočtů stovky kHz až jednotky MHz je hlavním problémem eliminace vnějších rušivých signálů jednak rádiových vysílačů, pulsů silové elektroniky, ale zejména koróny na vedení a kapacitních výbojů na částech pod napětím. Používají se selektory směru šíření signálů a digitální filtry. Dosažená citlivost elektrických monitorů výbojů je cca 1000 pC.

V poslední době se objevují *senzory v UHF pásmu*, jejichž aktivní snímací části (anténní tyče) zasahují do vnitřního prostoru nádoby. Tyto senzory snímají signály šířící se ne po vinutí ale vnitřním prostorem nádoby. Dosahují vyšší citlivosti než klasické snímače a zejména u nich se dosahuje lepšího odstupu měřených signálů od rušení, protože v pásmu UHF je rušivých signálů mnohem méně, např. koróna se v tomto pásmu neuplatňuje vůbec. V pásmu UHF lze také provádět časovou diskriminaci

signálů z několika vhodně rozmístěných čidel, což umožňuje alespoň hrubé zaměření zdroje signálů. Tyto systémy jsou však velmi drahé.

*Ultrazvukové snímání* používá piezoelektrické sondy přiložené na povrch nádoby a vhodně rozmístěné. Ultrazvukové signály od výbojů jsou rušeny signály vznikajícími mechanickým pohybem, např. vibracemi jádra, pohybem ventilátorů, čerpadel apod. Některé systémy s více sondami rozmístěnými po nádobě jsou schopné provádět zaměření zdroje akustických signálů, ale i tyto systémy jsou poměrně drahé.

#### **4.4 Monitorování přenosové funkce**

Pro včasnou detekci mechanické deformace nebo posunutí vinutí se používá trvalé vyhodnocování přechodových napět'ových jevů na obou stranách vinutí, které se on-line podrobují vhodné transformaci do frekvenčních spekter a jejich poměrem se získá přenosová funkce, která by měla být nezávislá na tvaru přechodových jevů ale pouze na geometrii vinutí a jádra.

Všeobecně jsou známy tři druhy přenosových funkcí pro srovnávací diagnostiku. Nejvíce používaná a nejpřesnější je *časová metoda* založená na porovnání monitorované přenosové funkce s výchozí přenosovou funkcí změřenou na tomtéž transformátoru dříve. Druhá metoda využívá *symetrie konstrukce transformátoru*, tu lze využít pouze pro krajní fáze. Třetí metoda nejméně přesná vychází z typově změřené *přenosové funkce*.

Hlavním problémem on-line metody přenosové funkce jako indikátoru deformace vinutí je jednak potřebný spektrální obsah u víceméně náhodných transient v oblasti desítek a stovek kHz, kde se změny polohy a deformace vinutí projeví nejvíce, jednak přesnost transformace vs citlivost na změny geometrie vinutí.

## **5 Porovnání naměřených hodnot získaných analýzou rozpuštěných plynů a obsahu vody v transformátorovém oleji výkonového transformátoru**

Cílem této kapitoly bylo porovnání (ověření) naměřených hodnot analýzy rozpuštěných plynů a obsahu vody v transformátorovém oleji výkonového transformátoru získaných různými měřicími přístroji a postupy oproti on-line diagnostikovaným hodnotám monitorovacího systému.

Ve stejný čas byly odečteny data z kontinuálního monitorovacího systému a odebrán vzorek transformátorového oleje z jednotky blokového transformátoru vyvedení výkonu 1AT1 prvního výrobního bloku ETE. Tento vzorek oleje jsem podrobil analýze rozpuštěných plynů a obsahu vody v přenosném analyzátoru oleje a plynu Transport-X (od firmy Kelman) a v laboratoři ČEZ-ETE. Nad rámec tohoto ověřování jsem v laboratoři provedl doplňkové měření elektrické pevnosti odebraného vzorku transformátorového oleje.

Pro finální porovnání byla jako referenční data, použita měření akreditované Zkušební laboratoře firmy ORGREZ, která tato měření smluvně zajišťuje pro ETE. I v tomto případě byl použit vzorek transformátorového oleje ze stejného odběru jako pro má měření.

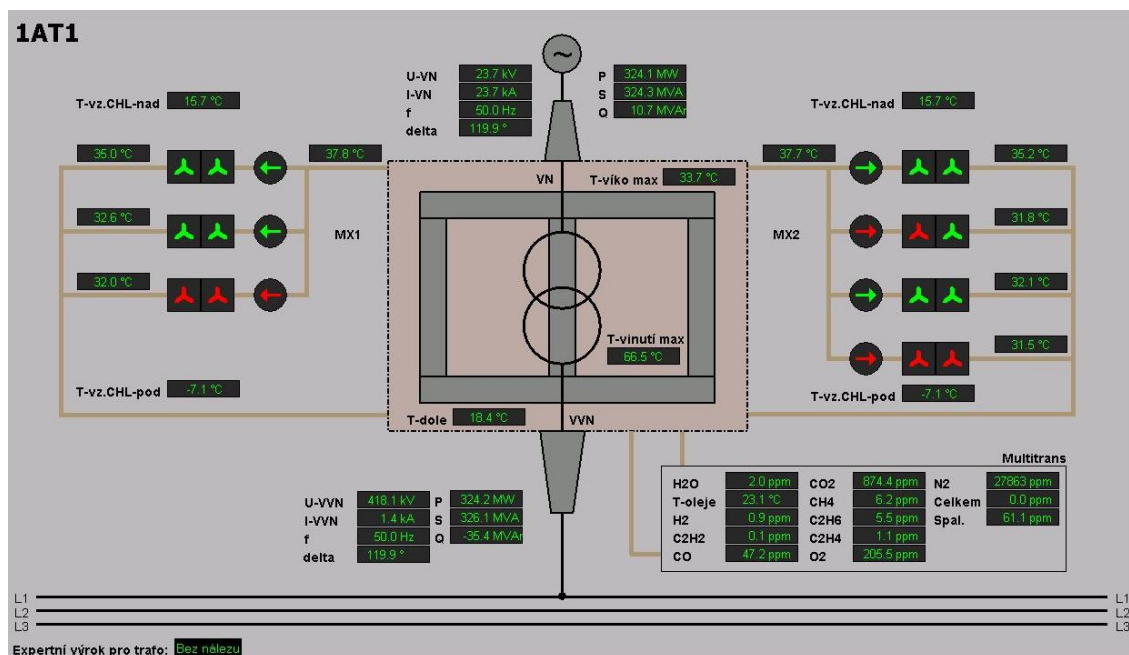
Všechny použité metody, postupy a naměřené hodnoty jsou uvedeny v níže uvedených podkapitolách.

### **5.1 Hodnoty naměřené monitorovacím systémem**

Odečet parametrů rozpuštěných plynů a obsahu vody v transformátorovém oleji blokového transformátoru 1AT1 byl proveden na operátorské stanici. Tyto parametry jsou on-line zobrazovány na základní obrazovce jednotky 1AT1 v pravém dolním rámečku viz.obr.č.11.

Hodnoty analýzy plynů a obsahu vody v elektroizolačních olejích se udávají v miligramech na kilogram ( $1 \text{ mg/kg} = 1 \text{ ppm}$ ). Odečtené hodnoty jsou uvedeny v následující tabulce č.4 (originální data v příloze č.2).

Specifikace použitého monitorovacího systému Transfix (separované látky, nejnižší detekované limity, kalibrovaný rozsah, přesnost) je uvedena v kapitole 4.2.2.



Obrázek č.11 Zákl.obrazovka jednotky 1AT1 (v rámečku parametry plynů a vody)

| KMS – plynová chromatografie a obsah vody a obsah vody |           |                                          |             |
|--------------------------------------------------------|-----------|------------------------------------------|-------------|
| H <sub>2</sub> - vodík                                 | 1,3 ppm   | CH <sub>4</sub> - metan                  | 7,7 ppm     |
| H <sub>2</sub> O - voda                                | 2,0 ppm   | C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> - acetylén | 0,1 ppm     |
| CO <sub>2</sub> - oxid uhličitý                        | 921,8 ppm | O <sub>2</sub> - kyslík                  | 2 138,0 ppm |
| CO - oxid uhelnatý                                     | 55,5 ppm  | N <sub>2</sub> - dusík                   | 2 873,5 ppm |
| C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> - etylén                 | 0,8 ppm   | Spaliny                                  | 69,6 ppm    |
| C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> - etan                   | 4,2 ppm   | Teplota oleje                            | 21,6 °C     |

Tabulka č.4 Naměřené hodnoty monitorovacím systémem

## 5.2 Hodnoty naměřené přenosným analyzátozem oleje Transport-X

TRANSPORT-X používá zcela novou technologii, která zaručuje přesné a opakovatelné výsledky DGA (Dissolved gas analysis), které uživatel obdrží v řádu minut přímo u transformátoru. V našem případě trval odběr vzorku transformátorového

oleje cca 10 minut a vlastní plynová chromatografie v mobilní jednotce dalších 25 minut.

| Indikované látky                         | Kalibrovaný rozsah | Přesnost                         |
|------------------------------------------|--------------------|----------------------------------|
| H <sub>2</sub> - vodík                   | 5 ÷ 5 000 ppm      | ±2 ppm nebo ±5 %, který je větší |
| CO <sub>2</sub> - oxid uhličitý          | 2 ÷ 50 000 ppm     | ±2 ppm nebo ±5 %, který je větší |
| C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> - acetylén | 0,5 ÷ 50 000 ppm   | ±2 ppm nebo ±5 %, který je větší |
| C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> - etylén   | 1 ÷ 50 000 ppm     | ±2 ppm nebo ±5 %, který je větší |
| CO - oxid uhelnatý                       | 1 ÷ 50 000 ppm     | ±2 ppm nebo ±5 %, který je větší |
| CH <sub>4</sub> - metan                  | 1 ÷ 50 000 ppm     | ±2 ppm nebo ±5 %, který je větší |
| C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> - etan     | 1 ÷ 50 000 ppm     | ±2 ppm nebo ±5 %, který je větší |

Tabulka č.5 Specifikace systému Transport-X (rozsah teplot 5 ÷ 40 °C, množství vzorku oleje je 50 ml a 5 ml plynu)



Obrázek č.12 Vstřikování vzorku oleje do zásobníku analyzátoru

Jednotka TRANSPORT-X má hlavní přednost v tom, že zkracuje dobu mezi odebráním vzorku a samotným testem. K dalším výhodám patří extrémně jednoduché ovládání, možnost testování plyných vzorků odebraných např.z Buchholzova relé a

široký měřicí rozsah společně s vysokou přesností pro všechny důležité plyny. Dále obsahuje software, který umožňuje ukládání, export, tvorbu trendů a analýzu výsledků. Jako nevýhoda mě napadá ovládací menu, které je v anglickém jazyce a nutnost provedení odběru vzorku vlastními silami.

Množství jednotlivých plynů v ppm nám umožňuje určit případně ověřit aktuální stav transformátoru. Hodnoty zjištěných plynů a vody ze vzorku transformátorového oleje blokového transformátoru 1AT1 jsou uvedeny v tabulce č.6 (originální výpis z mobilního analyzátoru je v příloze č.3).

| TRANSPORT-X – plynová chromatografie a obsah vody |           |                                              |          |
|---------------------------------------------------|-----------|----------------------------------------------|----------|
| <b>H<sub>2</sub></b> - vodík                      | < 5,0 ppm | <b>CH<sub>4</sub></b> - metan                | 14,0 ppm |
| <b>H<sub>2</sub>O</b> - voda                      | 6,0 ppm   | <b>C<sub>2</sub>H<sub>2</sub></b> - acetylén | 1,5 ppm  |
| <b>CO<sub>2</sub></b> - oxid uhličitý             | 917,0 ppm | <b>O<sub>2</sub></b> - kyslík                | ---      |
| <b>CO</b> - oxid uhelnatý                         | 47,0 ppm  | <b>N<sub>2</sub></b> - dusík                 | ---      |
| <b>C<sub>2</sub>H<sub>4</sub></b> - etylén        | 4,2 ppm   | <b>Spaliny</b>                               | ---      |
| <b>C<sub>2</sub>H<sub>6</sub></b> - etan          | 14,0 ppm  | <b>Teplota oleje</b>                         | 20,0 °C  |

Tabulka č.6 Naměřené hodnoty přenosným analyzátozem

### 5.3 Hodnoty naměřené v laboratoři ČEZ-ETE

Na závěr bylo provedeno měření obsahu vody transformátorového oleje v podnikové laboratoři Jaderné elektrárny Temelín. Voda může být v oleji přítomná ve třech formách: volná, emulgovaná a rozpuštěná. U trafoolejů již velmi malé množství vody ovlivňuje jejich izolační vlastnosti.

**Stanovení obsahu vody** bylo provedeno coulometrickou titrací dle Karl-Fischera s pomocí přístroje 737 KF Coulometer.

#### Podstata zkoušky:

Voda obsažená ve zkušebním vzorku reaguje s roztokem jódu a oxidu siřičitého ve směsi bazické sloučeniny (pyridin) s methanolem. Při coulometrické metodě se jód

vytváří elektrolytický podle Faradayova zákona z elektrolytu a reaguje stechiometricky s vodou, coulometr vyhodnocuje vylučování jódu z jodidového roztoku (anodická oxidace).

#### Postup zkoušky:

Injekční stříkačka se propláchne vzorkem. Vzorek se nasaje v množství dle předpokládaného obsahu vody, při nízkém obsahu obvykle cca 1,5 až 2,0 ml, vzorkovnice se ihned uzavře a stříkačka se vzorkem se vloží na misku vah. Váhy se vynulují. Na přístroji se stiskne tlačítko START a vzorek se nastříkne přes septum do měřicí nádoby s roztokem činidla. Prázdná stříkačka se znovu vloží na váhy, zjištěná diference udává hodnotu hmotnosti vzorku.



Obrázek č.13 Měřící aparatura

Přístroj 737 KF Coulometer provádí měření, jeho ukončení oznámí zvukovým signálem. Stiskne se tlačítko SMPL DATA a pomocí klávesnice se zadá hodnota hmotnosti vzorku v miligramech. Potvrdí se stisknutím tlačítka ENTER. Na displeji se nejprve objeví nápis IDI, po stisknutí tlačítka QUIT pak číselná hodnota obsahu vody v % hm. nebo v ppm (přístroj uvede příslušné jednotky).

#### Vyjádření výsledků:

Výsledkem zkoušky je hodnota obsahu vody zjištěná z displeje měřícího přístroje, přičemž měření obsahu vody se u jednoho vzorku opakuje minimálně 2x, u trafoolejů se může lišit maximálně o 1 ppm, jinak je nutno v měření pokračovat. Jako výsledná hodnota obsahu vody se zaznamená aritmetický průměr těchto stanovení. Zjištěné hodnoty obsahu vody ve vzorku transformátorového oleje blokového transformátoru 1AT1 jsou uvedeny v tabulce č.7, protokol laboratoře ETE je přílohou č.4.

| LABORATOŘ ČEZ-ETE - obsah vody |          |                             |
|--------------------------------|----------|-----------------------------|
| Q <sub>v</sub>                 | 3,9 ppm  | 1.měření                    |
| Q <sub>v</sub>                 | 3,0 ppm  | 2.měření                    |
| Q <sub>v</sub>                 | 3,45 ppm | Výsledný aritmetický průměr |

Tabulka č.7 Naměřené hodnoty Coulometrem

Nad rámec ověřování byla provedena i **zkouška elektrické pevnosti** odebraného transformátorového oleje. Tuto zkoušku jsem zařadil do ověření, protože hodnota průrazného napětí dává přímý obraz o tom, zda izolační olej vydrží v definovaných podmínkách určité elektrické namáhání, tedy zda bude schopen plnit svou funkci. Na velikost průrazného napětí má vliv celá řada faktorů, jako tvar elektrického pole, frekvence, čas působení napětí, teplota, *vlhkost* atd. Podle velikosti průrazného napětí lze usuzovat, zda olej neobsahuje vodu nebo nečistoty a zda není přesycen plyny. Hodnota průrazného napětí se udává v kilovoltech.

#### Podstata zkoušky:

Metoda spočívá v zjištění hodnoty napětí síťového kmitočtu, při níž dojde mezi dvěma elektrodami, umístěnými v definovaných podmínkách ve zkoušeném vzorku, k prvnímu výboji.

#### Postup zkoušky:

Ke zkoušce je zapotřebí cca 250 ml vzorku. Vzorek před zkouškou musí být vytemperován na teplotu laboratoře. Před naplněním měřicí nádoby se uzavřená

vzorkovnice se vzorkem několikrát (5x) opatrně bez natřásání převrátí dnem vzhůru tak, aby se nečistoty rovnoměrně rozmístily v celém objemu zkoušeného vzorku a nevznikly malé vzduchové bublinky. Zkontroluje se jiskřiště a zbaví se případných pevných nečistot a nánosů. Pomocí měrky se mezielektrodová vzdálenost nastaví na 2,5 mm. Elektrody i měřicí nádobka se opláchnou vzorkem. Potom se nádobka plní tak, aby vzorek stékal po stěně bez vytváření vzduchových bublin. Pokud vzniknou bubliny, odstraňují se promícháním čistou skleněnou tyčinkou. Po naplnění musí být elektrody minimálně 15 mm pod hladinou vzorku. Do nádobky se vloží míchadlo, naplněná měřicí nádobka se přikryje víčkem a umístí do měřicího přístroje.

Po 15 minutách od naplnění nádobky se připojí napětí na elektrody a plynule se zvyšuje až do průrazu. V jedné dávce vzorku se provede 6 průrazů za sebou v 5 minutových intervalech.



Obrázek č.14 Měřicí přístroj Baur DTA E

#### Vyjádření výsledků:

Jako výsledek stanovení se udává střední hodnota průrazného napětí, směrodatná odchylka a variační koeficient. Když je hodnota variačního koeficientu vyšší než 20 %,

provede se nové měření hodnoty průrazného napětí. Naměřené hodnoty průrazného napětí jsou uvedeny v tabulce č.8, protokol laboratoře ETE je přílohou č.4.

| <b>LABORATOŘ ČEZ-ETE - průrazné napětí</b> |         |                     |
|--------------------------------------------|---------|---------------------|
| <b>U<sub>p</sub></b> - průrazné napětí     | 83,0 kV | 1.měření            |
| <b>U<sub>p</sub></b> - průrazné napětí     | 85,6 kV | 2.měření            |
| <b>U<sub>p</sub></b> - průrazné napětí     | 78,2 kV | 3.měření            |
| <b>U<sub>p</sub></b> - průrazné napětí     | 70,0 kV | 4.měření            |
| <b>U<sub>p</sub></b> - průrazné napětí     | 63,1 kV | 5.měření            |
| <b>U<sub>p</sub></b> - průrazné napětí     | 68,5 kV | 6.měření            |
| <b>U<sub>p</sub></b> - průrazné napětí     | 74,7 kV | Střední hodnota     |
| <b>V</b>                                   | 11,9 %  | Variační koeficient |
| <b>s</b>                                   | 8,9 kV  | Směrodatná odchylka |

Tabulka č.8 Naměřené hodnoty průrazného napětí

## 5.4 Hodnoty uvedené Zkušební laboratoří firmy ORGREZ

Výsledky měření akreditované zkušební laboratoře firmy Orgrez jsem do své práce zahrnul ze dvou důvodů. Prvním důvodem byla naměřená data v elektrotechnické laboratoři, která jsem použil pro srovnání s daty, která byla odečtena z monitorovacího systému nebo mnou ověřovaná v mobilním analyzátoru Transport-X a podnikové laboratoři ČEZ-ETE. Druhým důvodem bylo použití Protokolu o měření blokového transformátoru 1AT1 jako přílohy mé bakalářské práce tak, aby si jakýkoliv čtenář mohl udělat představu o tom jakým způsobem pracuje profesionální Zkušební laboratoř (rozsah měření, použité metody a přístroje, hodnotící stanovisko, monitorování vývoje).

Rozbor izolačního oleje mimo jiných obsahoval měření elektrické pevnosti a obsahu vody. Zbývá měření respektive jejich výsledky jsou obsažena v přehledové tabulce Protokolu o měření na listu č.4 (protokol zkušební laboratoře je přílohou č.5).

**Stanovení obsahu vody** bylo provedeno dle ČSN EN 60814 (Izolační kapaliny - Stanovení vody automatickou coulometrickou titrací) přístrojem 684 KF Coulometer.

| LABORATOŘ ORGREZ - obsah vody |           |                             |
|-------------------------------|-----------|-----------------------------|
| <b>Q<sub>v</sub></b>          | 6,7 mg/kg | Výsledný aritmetický průměr |

Tabulka č.9 Naměřené hodnoty Coulometrem

Vyjádření výsledků:

Obsah vody v oleji vyhovuje pro stroj v provozu. Kvalitativní parametry vyhovují požadavkům pro izolační olej.

**Elektrická pevnost** minerálního izolačního oleje byla určena dle ČSN EN 60156 (Izolační kapaliny - Stanovení průrazného napětí). Pro měření byl použita zkoušečka olejů DTA Baur.

| LABORATOŘ ORGREZ - průrazné napětí     |         |                     |
|----------------------------------------|---------|---------------------|
| <b>U<sub>p</sub></b> - průrazné napětí | 79,8 kV | 1.měření            |
| <b>U<sub>p</sub></b> - průrazné napětí | 72,2 kV | 2.měření            |
| <b>U<sub>p</sub></b> - průrazné napětí | 58,4 kV | 3.měření            |
| <b>U<sub>p</sub></b> - průrazné napětí | 62,4 kV | 4.měření            |
| <b>U<sub>p</sub></b> - průrazné napětí | 77,2 kV | 5.měření            |
| <b>U<sub>p</sub></b> - průrazné napětí | 70,8 kV | 6.měření            |
| <b>U<sub>p</sub></b> - průrazné napětí | 70,1 kV | Střední hodnota     |
| <b>V</b>                               | 11,8 %  | Variační koeficient |
| <b>s</b>                               | 8,3 kV  | Směrodatná odchylka |

Tabulka č.10 Naměřené hodnoty průrazného napětí

Vyjádření výsledků:

Předložený vzorek oleje má dobré izolační vlastnosti. Kvalitativní parametry vyhovují požadavkům pro izolační olej.

**Plynově-chromatografická analýza plynů** rozpuštěných v oleji byla provedena metodou vícenásobné extrakce Toeplerovou vývěvou dle ČSN EN 60567 (Olejem plněná elektrická zařízení - Odběr vzorků plynů a oleje pro analýzu volných a rozpuštěných plynů).

| <b>LABORATOŘ ORGREZ - plynová chromatografie</b> |           |                                              |             |
|--------------------------------------------------|-----------|----------------------------------------------|-------------|
| <b>H<sub>2</sub></b> - vodík                     | 9,7 ppm   | <b>CH<sub>4</sub></b> - metan                | 4,2 ppm     |
| <b>H<sub>2</sub>O</b> - voda                     | ---       | <b>C<sub>2</sub>H<sub>2</sub></b> - acetylén | 0,8 ppm     |
| <b>CO<sub>2</sub></b> - oxid uhličitý            | 353,3 ppm | <b>O<sub>2</sub></b> - kyslík                | 1 608,4 ppm |
| <b>CO</b> - oxid uhelnatý                        | 32,3 ppm  | <b>N<sub>2</sub></b> - dusík                 | 4 104,9 ppm |
| <b>C<sub>2</sub>H<sub>4</sub></b> - etylén       | 0,9 ppm   | <b>Propan, propen</b>                        | 0,9 ppm     |
| <b>C<sub>2</sub>H<sub>6</sub></b> - etan         | 0,7 ppm   | <b>1-Buten</b>                               | 19,3 ppm    |

Tabulka č.11 Naměřené hodnoty plynové chromatografie

#### Vyjádření výsledků:

Celkový obsah plynů rozpuštěných v oleji vyhovuje pro stroj v provozu. Obsahy rozkladových plynů jsou nízké.

#### Závěrečné doporučení:

Další rozbor oleje doporučujeme provést po roce provozu stroje.

## **5.5 Kriteriační hodnoty dle ČEZ PN 00/05**

Tato podniková norma (Profylaktika elektrických strojů netočivých – výkonové transformátory) uvádí přehled diagnostických metod pro stroje uváděné do provozu, které mají poskytnout referenční hodnoty pro další provozní měření, dále přehled metod, které se provádí na strojích ve standardním provozu a přehled metod na strojích po podrobné kontrole. V normě jsou uvedeny kriteriační hodnoty pro posuzování výsledků jednotlivých měření a doporučené intervaly měření.

Tato norma se vztahuje na olejové výkonové transformátory VN, VVN a ZVN s výkonem nad 1,6 MVA včetně a na kondenzátorové průchodky VN, VVN a ZVN vybavené měřicím vývodem, které jsou ve vlastnictví ČEZ, a. s. [3]

| <b>KRITERIÁLNÍ HODNOTY - obsahu vody a průrazného napětí</b> |               |                                         |
|--------------------------------------------------------------|---------------|-----------------------------------------|
| <b>Q<sub>v</sub></b> – obsah vody                            | ≤ 10 ÷ 25 ppm | Obsah vody rozpuštěné v izolačním oleji |
| <b>U<sub>p</sub></b> - průrazné napětí                       | ≥ 75 ÷ 65 kV  | Průrazné napětí                         |

Tabulka č.12 Zjednodušená tabulka kritériálních hodnot (odpovídající hodnota dle stáří transformátoru)

Plyny se mohou v oleji rozpustit až do úplného nasycení oleje odpovídajícím plynem a jejich koncentrace, případně trend jejich vývinu, má vypovídací schopnost o aktuálním stavu transformátoru a do jisté míry i o typu, příčině a místě poruchy v transformátoru. [3]

| <b>KRITERIÁLNÍ HODNOTY - obsah rozkladových plynů</b> |           |                                              |        |
|-------------------------------------------------------|-----------|----------------------------------------------|--------|
| <b>H<sub>2</sub></b> - vodík                          | 140 ppm   | <b>C<sub>2</sub>H<sub>6</sub></b> - etan     | 70 ppm |
| <b>CO<sub>2</sub></b> - oxid uhličitý                 | 3 400 ppm | <b>CH<sub>4</sub></b> - metan                | 40 ppm |
| <b>CO</b> - oxid uhelnatý                             | 1 000 ppm | <b>C<sub>2</sub>H<sub>2</sub></b> - acetylén | 2 ppm  |
| <b>C<sub>2</sub>H<sub>4</sub></b> - etylén            | 30 ppm    | ---                                          | ---    |

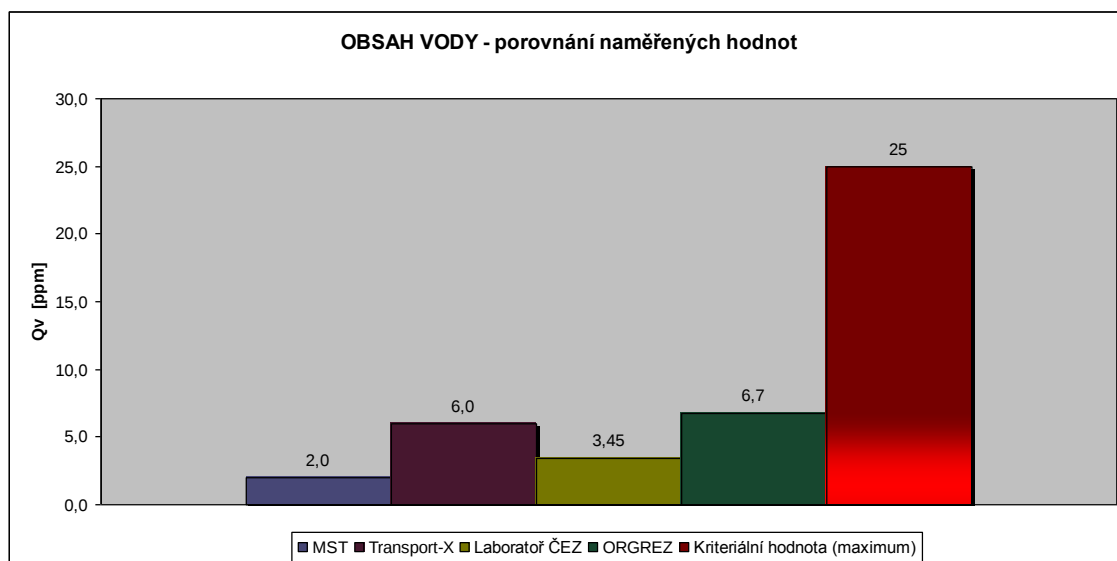
Tabulka č.13 Doporučené hodnoty rozkladových plynů podle ČSN EN 60599

Tyto kritériální hodnoty jsou stanoveny pro stroj v normálním stavu. Pokud přesáhne některá naměřená hodnota sledovaných veličin kritériální hodnoty normálního stavu, je nutno rozhodnout, jakou úpravu olejové náplně zvolit. [3]

## 5.6 Zhodnocení zjištěných výsledků

**Stanovení obsahu vody** - největší rozdíl 4,7 ppm byl zjištěn mezi naměřenými hodnotami monitorovacího systému (2 ppm) a Zkušební laboratoří Orgrez (6,7 ppm). V podnikové laboratoři ČEZ-ETE byla naměřena hodnota 3,45 ppm. Rozdíl v naměřených výsledcích byl s největší pravděpodobností způsoben přesností jednotlivých měřicích přístrojů ( $\pm 2 \div 3$  ppm nebo  $5 \div 10$  %). Velmi malý rozdíl výše uvedených naměřených hodnot obsahu vody poukazuje na důvěryhodnost výsledků, především porovnání on-line měření monitorovacího systému s výsledkem podnikové laboratoře vychází velmi dobře.

Všechny naměřené hodnoty byly hluboce pod kritériální hodnotou pro stroj v provozu a tím poukazují na výbornou izolační schopnost olejové náplně blokového transformátoru.

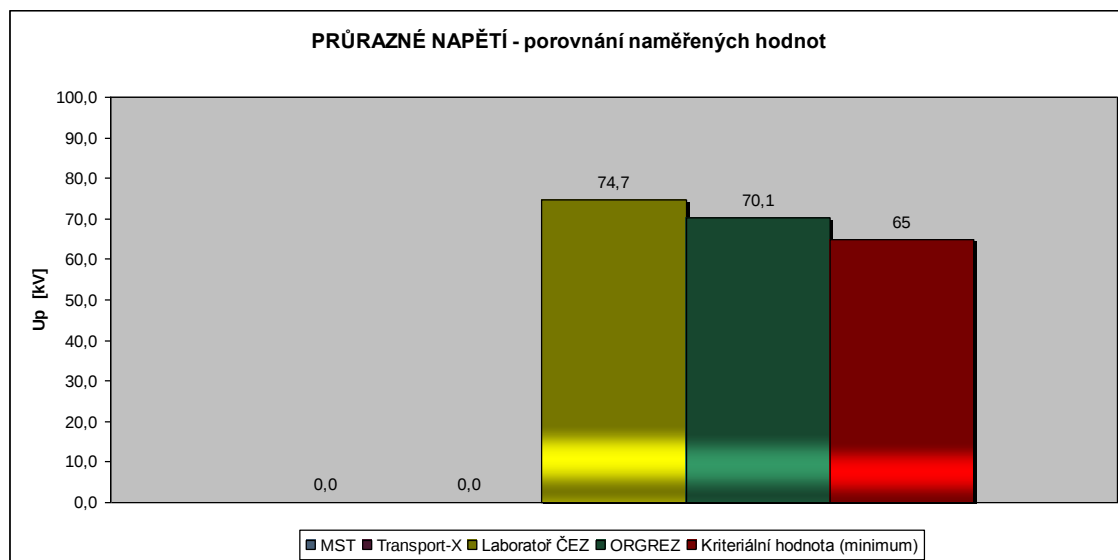


Graf č.1 Porovnání jednotlivých naměřených hodnot obsahu vody

**Elektrická pevnost** minerálního izolačního oleje byla v případě laboratoře ČEZ-ETE určena na 74,7 kV a v laboratoři Orgrez na 70,1 kV. Oba tyto výsledky potvrdily předchozí rozbor tzn. nízký obsah vody a dávají dobrý předpoklad pro nízký obsah nečistot v oleji a jeho nízkou nasycenost plyny. Kontinuální monitorovací systém

ani Mobilní analyzátor Transport-X neprovádějí analýzu elektrické pevnosti, proto jsou hodnoty v grafu uvedeny jako nulové.

Naměřené laboratorní hodnoty překračují minimální kritériální hodnotu, která je stanovena pro stroj v normálním stavu na 65 kV.



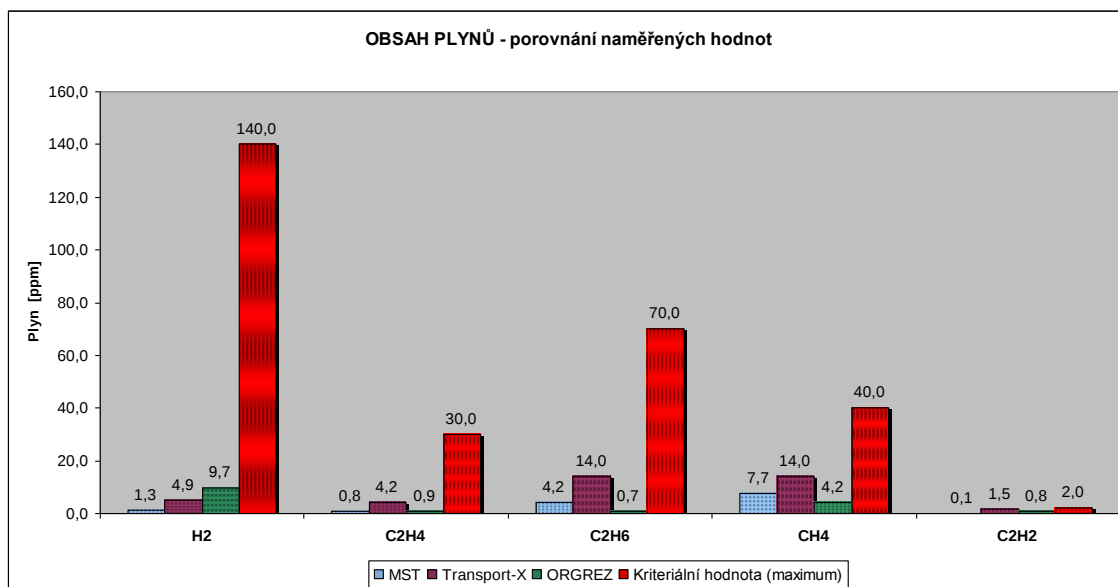
Graf č.2 Porovnání naměřených hodnot průrazného napětí

**Plynově-chromatografická analýza plynů** prokázala nízké koncentrace jednotlivých plynů. Tyto rozkladové plyny vznikly přirozeným stárnutím oleje a pevných izolací a následkem elektrického a tepelného namáhání, ke kterému dochází během různých poruch a vlastním provozem transformátoru.

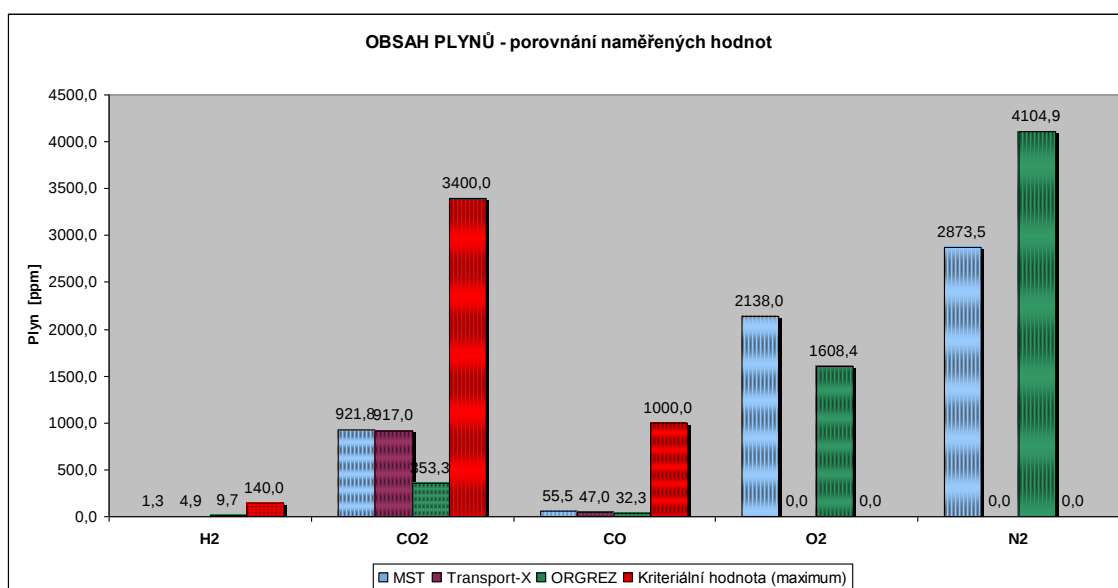
K hodnocení stavu olejové náplně můžeme říci, že celkový obsah plynů rozpuštěných v oleji dle ČEZ PN 00/05 (Profylaktika elektrických strojů netočivých - výkonové transformátory) vyhovuje pro stroj v provozu. Stejně tak hodnocení plynově-chromatografické analýzy plynů rozpuštěných v oleji dle ČSN EN 60599 (Elektrická zařízení v provozu plněná izolačním olejem - Pokyn pro interpretaci výsledků analýz rozpuštěných a volných plynů) prokázalo jejich nízký obsah, který odpovídá normálnímu stavu. Z hlediska výskytu rozkladových plynů je zařízení též schopno provozu.

Zobrazení výsledných hodnot analýzy rozkladových plynů a hodnot kyslíku a dusíku jsem rozdělil do dvou grafů z důvodu velmi rozdílných kvantitativních

parametrů. Přes toto rozdělení jsem se snažil, aby bylo na první pohled zcela zřejmé jak je toto spektrum velmi odlišné, což je vidět na vodíku, který je pro názornost zobrazen v obou níže přiložených grafech.



Graf č.3 Porovnání naměřených hodnot rozkladových plynů



Graf č.4 Porovnání naměřených hodnot rozkladových plynů a kyslíku a dusíku

ČEZ PN 00/05 nestanovuje kritériální hodnoty pro kyslík a dusík. Mobilní analyzátor Transport-X neprovádí analýzu těchto dvou plynů. Proto jsou hodnoty těchto parametrů v grafu vyjádřeny jako nulové.

## Závěr

V závěrečném zhodnocení bych chtěl shrnout několik zásadních hledisek, která by měla odpovědět zda (vůbec) a kdy je vhodné (výhodné) nasadit kontinuální monitorovací systém nebo použít mobilní analyzátor případně využít služeb akreditované zkušební laboratoře.

**Kvalita získaných dat** z výsledků měření plynové analýzy provedených jak v laboratorních podmínkách, mobilním analyzátozem tak i kontinuálním monitorovacím systémem je patrné, že se liší pouze v jednotkách ppm a dá se říci, že se naměřené hodnoty navzájem potvrzují. Na tomto místě je třeba připomenout, že velikost jednotky ppm je zjednodušeně řečeno jedna miliontina. Proto si zde dovoluji tvrdit, že všechny tři způsoby měření obsahu plynů v transformátorovém oleji jsou na vysoké kvalitativní úrovni a z pohledu uživatele (zákazníka) naprosto rovnocenné.

**Komfort získávání dat** je u všech měření naprosto rozdílný. Nejvyšší komfort poskytuje kontinuální monitorovací systém, který provádí vzorkování automaticky a výsledky měření zobrazuje v reálném čase na operátorské stanici. Pro mobilní analyzátor Transport-X nebo zkušební laboratoř musí provádět odběr vzorku transformátorového oleje a jeho rozbor, technik s příslušnou elektrotechnickou kvalifikací (práce v blízkosti VN/VVN) a znalostí práce se vzorky tak, aby nedošlo k jejich znehodnocení. Dalším významným vlivem pro odběr vzorku je počasí, které v případě deště nebo sněžení nedovoluje tento odběr provést. Výsledky měření u mobilního analyzátoru známe do cca 30 minut. Do procesu získávání dat u zkušební laboratoře vstupuje ještě transport vzorku do laboratoře, jeho vlastní rozbor a zaslání výsledku měření zákazníkovi zpět, což trvá i několik dní.

**Možnost dalšího využití dat** je také velmi odlišná. Kontinuální monitorovací systém je schopen na základě měření signalizovat alarmy mezních hodnot nastavených uživatelem (například kritériální hodnoty stanovené podnikovou normou ČEZ) nebo definovaných výrobcem transformátoru. Dále signalizovat stav komponent a pomocných systémů transformátoru jako je chlazení (olejová čerpadla, ventilátory), přepínače odboček, elektrické napájení rozvodné skříně transformátoru, stav stabilního hasícího zařízení atd. Další jeho důležitou úlohou je zobrazování trendů vývoje jednotlivých parametrů provozovaného stroje, které je možné nastavit v automatickém módu nebo definovat uživatelem na operátorské stanici. Tyto trendy je schopen

poskytovat i mobilní analyzátor Transport-X, který doplní výsledek měření do časové osy jednotlivých trendů tak často, jak často provádí uživatel rozbor vzorku oleje dané transformátorové jednotky. Zkušební laboratoř také umí zasadit výsledky svých měření do trendů dle požadavku zákazníka, pokud provádí měření opakovaně nebo pokud je známa historie transformátoru.

**Finanční náklady** spojené se získáním dat jsou jednoznačně nejnižší při využití služeb akreditované zkušební laboratoře, kdy v případě odběru a rozboru vzorku oleje jedné transformátorové jednotky činí několik tisíc korun. Pořizovací cena mobilního analyzátoru Transport-X je přibližně jeden milion korun, přičíst musíme náklady na kvalifikovaného technika, který provádí nejen odběr vzorku, jeho vyhodnocení, ale i přenos výsledků do výše uvedených trendů. Nejdražší z této trojice je monitorovací systém kdy náklady na jeho instalaci, odzkoušení a uvedení do provozu dosahují až k cca osmi milionům korun na jeden transformátor. Tato cena však razantně klesá při zapojení více transformátorových jednotek do jednoho monitorovaného uzlu. Dále nesmíme zapomenout na náklady spojené s jeho každoroční údržbou včetně správy softwaru a operátorských stanic.

**Shrnutí** výše popsaných specifik jednotlivých způsobů měření je dle mého názoru následující. Využití služeb zkušební laboratoře je cenově velmi výhodné a opodstatněné pro provozovatele transformátoru nevelké důležitosti, kdy perioda jednotlivých měření může být i několik měsíců a výsledky měření bude znát za několik dnů. Zákazník získá profesionální služby podpořené mnohaletými zkušenostmi.

Použití mobilního analyzátoru vidím pro provozovatele více transformátorových jednotek vyšší důležitosti např. transformovny, který má ve svém týmu elektrotechnický personál. Při vhodně zvolené konfiguraci obsluhy je relativně malý tým schopen obsáhnout měření a sledování trendů mnoha transformátorových jednotek a to se zpožděním v řádech hodin. Nevýhodou analyzátoru je nemožnost provádět rozbor kyslíku a dusíku obsaženého v oleji.

Určení kontinuálního monitorovacího systému vidím jednoznačně pro transformátory nejvyšší důležitosti jako je transformátor vyvedení výkonu výroby elektrické energie nebo transformovny poblíž takového zdroje. Nemyslím si, že by monitorovací systém dokázal zabránit poruše transformátoru, ale jeho on-line monitoring dokáže signalizovat možný rozvoj poruchy a tím naplánovat nejvhodnější možný termín jeho opravy nebo výměny. To by mělo v konečném důsledku přinést finanční úsporu, protože bude pokryta nasmlouvaná dodávka elektrické energie i přes

vysoké finanční nároky na instalaci takového systému. Další výhodu vidím v zabezpečení stability rozvodné sítě v České republice minimalizováním neplánovaných výpadků velkých zdrojů elektrické energie.

## Použitá literatura

- [1] CHEMIŠINEC, I.; PROCHÁZKA, R. Life management jako nástroj k prodloužení životnosti výkonových transformátorů. Informační portál : Česká energetika, 2007 [cit. 2010-04-11]. Dostupné z WWW: <<http://www.ceskaenergetika.cz/>>.
- [2] RŮŽIČKOVÁ, V. *Aspekty on-line diagnostiky transformátorů*. Plzeň, 2007. 4 s. Oborová práce. FEL ZČU Plzeň.
- [3] Česko. Profylaktika el.strojů netočivých – výkonové transformátory. In *ČEZ PN 00/50*. 2002, 0,- Kč, s. 93.
- [4] VOJÁČEK, A. Principy analyzátorů plynů. *E-časopis Automatizace* [online]. 22.5.2006, 0, [cit. 2010-04-11]. Dostupný z WWW: <<http://automatizace.hw.cz>>.
- [5] KUBOŠ, D.; STRAKA, V. On-line monitorování výkonových transformátorů, nový přístup ke zlepšování spolehlivosti provozu. *časopis Automa*. 2004, 12, s. 1-3.
- [6] PROSR, P. Diagnostika olejem plněných transformátorů . *E-časopis ElectroScope* [online]. 24.10.2008, 0, [cit. 2010-04-11]. Dostupný z WWW:<[http://147.228.94.30/index.php?option=com\\_content=view&id=119&Itemid=38](http://147.228.94.30/index.php?option=com_content=view&id=119&Itemid=38)>. ISSN 1802-4564.

## Seznam zkratek

CJ - centrální jednotka

ČEPS - Česká energetická přenosová soustava

ČEZ - České energetické závody

DGA - analýza plynů rozpuštěných v oleji (dissolved gas analysis)

D.U. - neurčitost měření (chyba)

ETM- elektronický teplotní monitor

ETE - jaderná elektrárna Temelín

GPS - polohový družicový systém (Global Positioning System)

HS - hlavní systém

IEC - Mezinárodní elektrotechnický výbor (International Electrotechnical Commission,  
Ženeva, Švýcarsko)

IEEE - Institut elektrotechnických a elektronických inženýrů (Institute of Electrotechnic  
and Electronic Engineers, Piscataway, USA)

KMS - kontinuální monitorovací systém

ppm - Parts per million = dílů či částic na jeden milion

PCB - polychlorované bifenyly

PN - podniková norma

PTN - přístrojový transformátor napětí

UHF - ultra vysoká frekvence

VN - vysoké napětí

VVN - velmi vysoké napětí

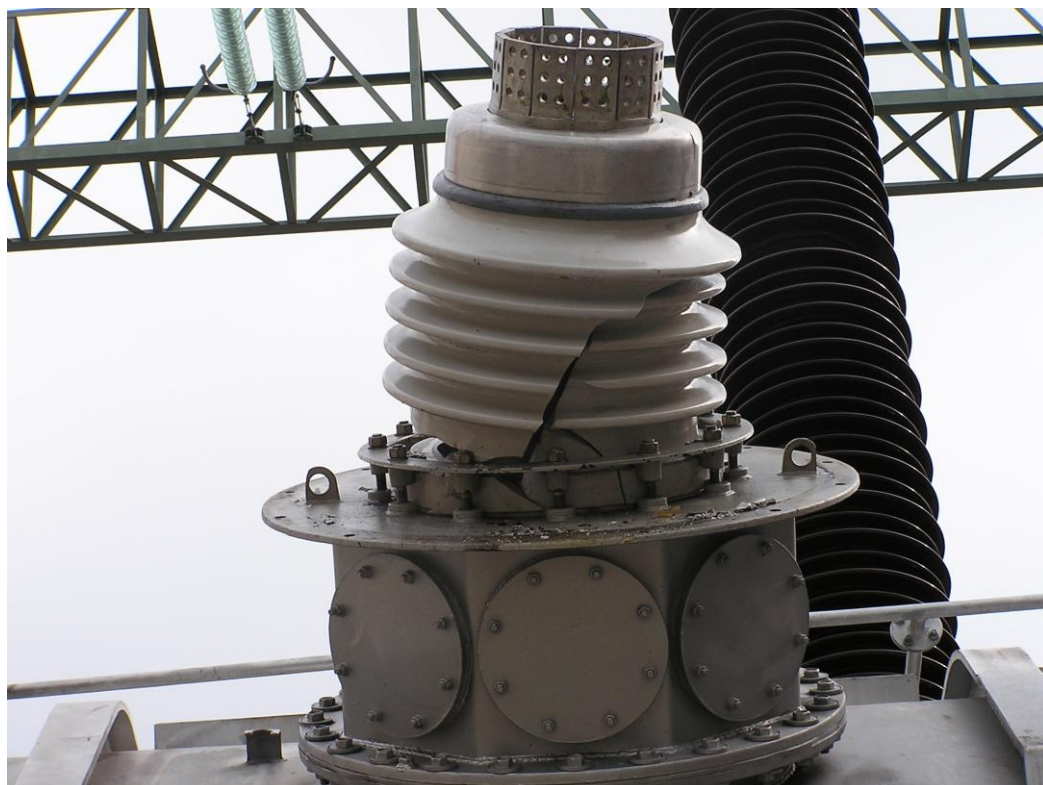
ZVN - zvlášť vysoké napětí

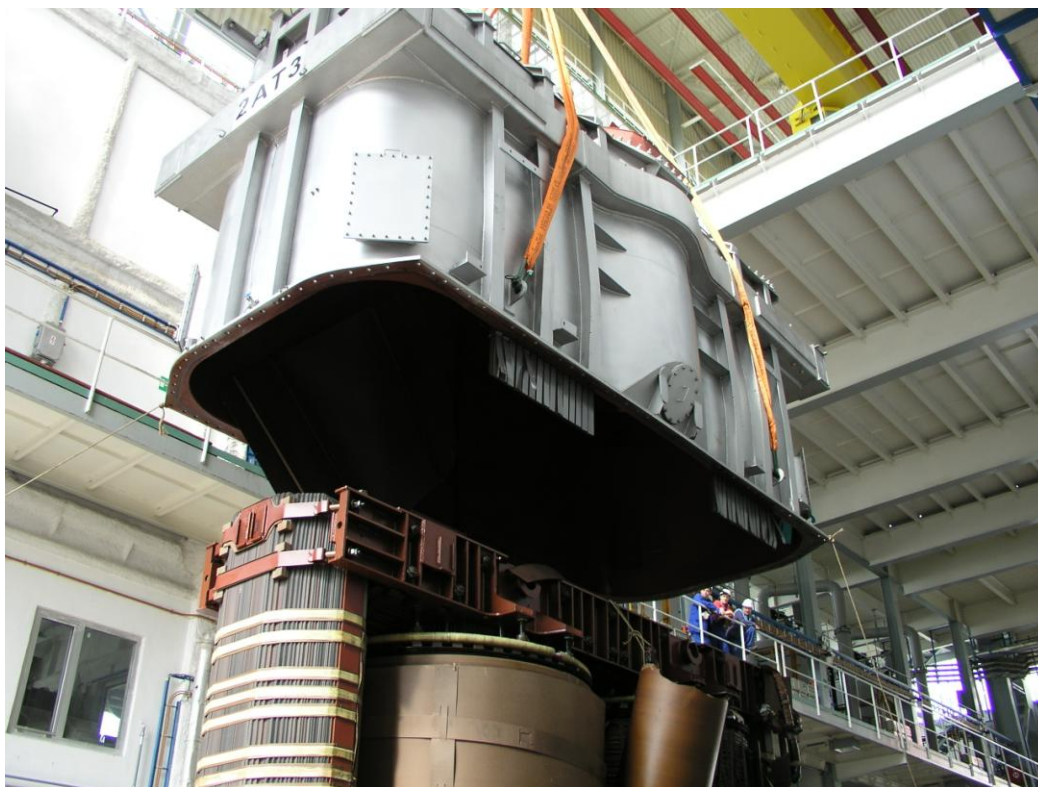
## Přílohy

### Příloha č.1: Příklad havárie výkonového transformátoru 2AT3 2HVB ETE



Obrázek č.1 Poškozená (vypouklá) nádoba, č.2 Poškozená průchodka 24 kV





Obrázek č.3 Zvedání poškozeného zvonu



Obrázek č.4 Poškozená izolace a zkratované vinutí



Obrázek č.5 Deformovaná konstrukce



Obrázek č.6 Detail vinutí



Obrázek č.7 Další detail vinutí



Obrázek č.8 Obnažené místo zkratu

## **Príloha č.2:** Sejmutá data z monitorovacího systému

systáte je 14.01.2010 11:03:45

| Trídění | Modul              | Vstup | Zapojen | Označení            | Název                                                                 | Čas                 | Délka | Průměr    | Min. | Max. | Rozměr | Kvalita |
|---------|--------------------|-------|---------|---------------------|-----------------------------------------------------------------------|---------------------|-------|-----------|------|------|--------|---------|
| 7501    | 1NEMES-MST_CJ_A.X1 | 1     | ✓       | MST-1AT1-DATA-VALID | Data analyzátoru plynů rozpuštěných v oleji 1AT1 - MULTITRANS platná  | 14.01.2010 10:52:15 | 0     | 1         |      |      | -      | Detail  |
| 7502    | 1NEMES-MST_CJ_A.X1 | 2     | ✓       | MST-1AT1-PGA-STATE  | Stav analyzátoru plynů rozpuštěných v oleji 1AT1 - MULTITRANS         | 14.01.2010 10:52:15 | 0     | 0         |      |      | -      | Detail  |
| 7503    | 1NEMES-MST_CJ_A.X1 | 3     | ✓       | MST-1AT1-H2         | Koncentrace vodíku rozpuštěného v oleji 1AT1 - MULTITRANS             | 14.01.2010 10:52:15 | 0     | 1,291     |      |      | ppm    | Detail  |
| 7504    | 1NEMES-MST_CJ_A.X1 | 4     | ✓       | MST-1AT1-CO2        | Koncentrace oxidu uhličitého rozpuštěného v oleji 1AT1 - MULTITRANS   | 14.01.2010 10:52:15 | 0     | 921,775   |      |      | ppm    | Detail  |
| 7505    | 1NEMES-MST_CJ_A.X1 | 5     | ✓       | MST-1AT1-CO         | Koncentrace oxidu uhelnatého rozpuštěného v oleji 1AT1 - MULTITRANS   | 14.01.2010 10:52:15 | 0     | 55,496    |      |      | ppm    | Detail  |
| 7506    | 1NEMES-MST_CJ_A.X1 | 6     | ✓       | MST-1AT1-C2H4       | Koncentrace etylénu rozpuštěného v oleji 1AT1 - MULTITRANS            | 14.01.2010 10:52:15 | 0     | 0,842     |      |      | ppm    | Detail  |
| 7507    | 1NEMES-MST_CJ_A.X1 | 7     | ✓       | MST-1AT1-C2H6       | Koncentrace etanu rozpuštěného v oleji 1AT1 - MULTITRANS              | 14.01.2010 10:52:15 | 0     | 4,158     |      |      | ppm    | Detail  |
| 7508    | 1NEMES-MST_CJ_A.X1 | 8     | ✓       | MST-1AT1-CH4        | Koncentrace metanu rozpuštěného v oleji 1AT1 - MULTITRANS             | 14.01.2010 10:52:15 | 0     | 7,748     |      |      | ppm    | Detail  |
| 7509    | 1NEMES-MST_CJ_A.X1 | 9     | ✓       | MST-1AT1-C2H2       | Koncentrace acetylénu rozpuštěného v oleji 1AT1 - MULTITRANS          | 14.01.2010 10:52:15 | 0     | 0,055     |      |      | ppm    | Detail  |
| 7510    | 1NEMES-MST_CJ_A.X1 | 10    | ✓       | MST-1AT1-H2O        | Vlhkost oleje 1AT1 - MULTITRANS                                       | 14.01.2010 10:52:15 | 0     | 2         |      |      | ppm    | Detail  |
| 7511    | 1NEMES-MST_CJ_A.X1 | 11    | ✓       | MST-1AT1-O2         | Koncentrace kyslíku rozpuštěného v oleji 1AT1 - MULTITRANS            | 14.01.2010 10:52:15 | 0     | 213,779   |      |      | ppm    | Detail  |
| 7512    | 1NEMES-MST_CJ_A.X1 | 12    | ✓       | MST-1AT1-COMB       | Koncentrace spalitelných plynů rozpuštěných v oleji 1AT1 - MULTITRANS | 14.01.2010 10:52:15 | 0     | 69,59     |      |      | ppm    | Detail  |
| 7513    | 1NEMES-MST_CJ_A.X1 | 13    | ✓       | MST-1AT1-N2         | Koncentrace dusíku rozpuštěného v oleji 1AT1 - MULTITRANS             | 14.01.2010 10:52:15 | 0     | 28735,037 |      |      | ppm    | Detail  |
| 7514    | 1NEMES-MST_CJ_A.X1 | 14    | ✓       | MST-1AT1-TOTAL      | Koncentrace všech plynů rozpuštěných v oleji 1AT1 - MULTITRANS        | 14.01.2010 10:52:15 | 0     | 0         |      |      | ppm    | Detail  |
| 7515    | 1NEMES-MST_CJ_A.X1 | 15    | ✓       | MST-1AT1-PRESS-OIL  | Tlak oleje v přístroji MULTITRANS - 1AT1                              | 14.01.2010 10:52:15 | 0     | 52,047    |      |      | kPa    | Detail  |
| 7516    | 1NEMES-MST_CJ_A.X1 | 16    | ✓       | MST-1AT1-T-OIL      | Teplota oleje v přístroji MULTITRANS - 1AT1                           | 14.01.2010 10:52:15 | 0     | 21,586    |      |      | °C     | Detail  |
| 7517    | 1NEMES-MST_CJ_A.X1 | 17    | ✓       | MST-1AT1-T-AIR      | Teplota vzduchu v okolí přístroje MULTITRANS - 1AT1                   | 14.01.2010 10:52:15 | 0     | 2,561     |      |      | °C     | Detail  |
| 7518    | 1NEMES-MST_CJ_A.X1 | 18    | ✓       | MST-1AT1-T-NORM     | Normalizovaná teplota v MULTITRANS pro měření konc plynů - 1AT1       | 14.01.2010 10:52:15 | 0     | 20        |      |      | °C     | Detail  |

18 záznamů

Pozn: Hodnoty průměr aj. jsou zaokrouhleny na 3 des. místa

Pozn.: Signalizace kvality informace.

**sloupce Čas, Průměr, Min, Max**  
 • Je-li rozdíl času oproti aktuálnímu vyslání do hodnoty Timeout, jsou označeny **zeleně** (Detail) černozářadí pokud je čas ok ale kvalita horší, jinak **červeně**

**sloupec Kvalita**

• Pokud je přesná, je kvalita pro daný signál nesnáš.

• Je-li hodnota signálu sdělována z jiné DB:

○ pokud je kladná, pak číslo určuje stáří informace ve vteřinách,

do hodnoty 10 je **zeleně**, jinak **červeně**

○ pokud je záporná, číslo (kóna) znamená kód chyby přístupu ke zdroji dat tj.:

- **0** = vzdálená DB signalizuje neplatnost proměnné
- **1** = vzdálený zdroj se o tuto proměnnou momentálně nezajímá (nejistěná hodnota)
- **R** = špatný formát dat (chyba komunikace)

**Příloha č.3:** Data vytištěná mobilním analyzátozem Transport-X



Kelman Ltd. TRANSPORT X.

DGA Results

Type:  
Transformer

Equipment ID:  
IAT1

Location:  
Temelin

Manufacturer:  
ZAPOROZ

Sampling Pt:  
MULTITRANS

Sample Source:  
Oil Sample

Date:  
14 Jan 10 10:03 AM

|                |       |     |
|----------------|-------|-----|
| Hydrogen       | H2:   | <5  |
| Water          | H2O:  | 6   |
| CarbonDioxide  | CO2:  | 917 |
| CarbonMonoxide | CO:   | 47  |
| Ethylene       | C2H4: | 4,2 |
| Ethane         | C2H6: | 14  |
| Methane        | CH4:  | 14  |
| Acetylene      | C2H2: | 1,5 |

TDCG : 120

Diagnosis Tools:  
(See TRANSPORT X for  
more information)

Key Gas:  
(Selected by user)  
None Selected

Rogers 3:  
Thermal  
(> 700 C)

Duval's Triangle:  
Thermal fault  
(> 700 C)

Japan ETRA Pattern:  
(Selected by user)  
None Selected

Japan ETRA Diagram:  
Diagram A:  
Discharges +  
Overheating  
Diagram B:  
Discharges +  
Overheating (High  
Temperature)

Transformer Condition:  
Normal  
Caution Gases:  
None  
Warning Gases:  
None

**Příloha č.4:** Protokol podnikové laboratoře ČEZ-ETE

**PROTOKOL**  
**Kontrola kvality elektroizolačního oleje**  
Oddělení chemické režimy

Číslo protokolu: 20100114-13

| Označení odběru | Název odběru                           | Datum odběru     | ID vzorku |
|-----------------|----------------------------------------|------------------|-----------|
| 11AT1L1001      | blokové trafo - spodní odběrový ventil | 14.01.2010 07:30 | 1062479   |
| Parametr        | Metodika                               | Hodnota          | Jednotka  |
| teplota         | tep.vzorek                             | 30               |           |
| pr.napětí       | Pr-nap-op                              | 74,7             |           |
| pr.napětí       | Pr-napeti                              | 61,2             |           |
| voda            | Voda-t                                 | 3,5              | %         |
| směr. od.       | s                                      | 14,5             |           |
| směr. od.       | s-op                                   | 8,9              |           |
| var. koef       | Var-koe-op                             | 11,9             | %         |
| var. koef       | Var-koef                               | 23,6             | %         |

Protokol vytvořil:

Dršina Jaroslav

Datum vytvoření:

14.01.2010 12:49

Ing. Jaroslav Dršina CSc.  
Laborať kontrolы olejů

## Příloha č.5: Protokol zkušební laboratoře Orgrez



**ORGREZ, a.s. Divize elektrotechnických laboratoří**

Vitkova 17, Praha 8 - Karlín, 186 00  
Tel.: +420 222314320 Fax: +420 224817403 E-mail: laborg@orgrez.cz



**Zkušební laboratoř E01 č. 1179.2 – akreditovaná Českým institutem pro akreditaci, o.p.s.**



# Protokol o měření

26/2010-O

|                           |                                                                           |
|---------------------------|---------------------------------------------------------------------------|
| Jméno a adresa zákazníka: | I&C Energo, a.s. Divize Temelín<br>Temelín - elektrárna<br>373 05 Temelín |
| Zkoušený předmět:         | 1AT1                                                                      |
| Výrobní číslo:            | 143643                                                                    |
| Provozovatel:             | ČEZ, a.s. Jaderná elektrárna Temelín                                      |
| Zařízení:                 | výkonový transformátor                                                    |
| Provozní stav:            | zařízení v provozu                                                        |
| Datum vystavení:          | 19.01.2010                                                                |
| Typ:                      | ODC400000/400-U1                                                          |
| Výrobce:                  | ZTR (SSSR)                                                                |
| Rok výroby:               | 1990                                                                      |
| Napětí:                   | 420/24 kV                                                                 |
| Výkon:                    | 400 MVA                                                                   |
| Hmotnost náplně:          | 44 000 kg                                                                 |
|                           | Zařízení je hermetizováno.                                                |

Vysvětlivky: TN - neakreditovaná zkouška.

List číslo: 1 / 5

Tento protokol nesmí být bez písemného souhlasu zkušební laboratoře reprodukován jinak, než jako celek.  
Výsledky měření se týkají pouze zkoušeného předmětu a nenahrazují jiné dokumenty.



**ORGREZ, a.s.**  
**Zkušební laboratoř E01**  
Vítkova 17  
Praha 8 - Karlín, 186 00

Počet listů: 5  
List číslo: 2

## **Použité přístroje a zařízení, nejistota měření**

### **VZORKOVÁNÍ**

Protokol o měření: 26/2010-O

*Provedl*

**Odběr izolační kapaliny:**

*Vladimír Hola*

Plán vzorkování byl určen požadavky zákazníka.

### **ANALÝZA IZOLAČNÍ KAPALINY**

Protokol o měření: 26/2010-O

*Provedl*

**Podmínky v laboratoři:**

*Ing. Lenka Košanová*

- 1) Digitální teploměr a vlhkoměr, v.č. 200002875, typ GFTH 100, výrobce Greisinger.
- 2) Digitální barometr, typ GDH11A, výrobce Greisinger.

**Stanovení hodnoty průrazného napětí kapalných izolantů (Up):**

*Ing. Lenka Košanová*

- 1) Zkoušečka olejů (nastaven režim stálého míchání), v.č. 89290732, typ DTA, výrobce BAUR.

*Rozšířená nejistota měření:  $\pm 7\%$  z MH.*

**Stanovení obsahu vody v izolačním oleji (Qv):**

*Ing. Lenka Košanová*

- 1) Coulometr, v.č. IMO/176, typ 684 KF, výrobce Metrohm.
- 2) Analytické váhy, v.č. K9300294, typ Helago, HM 202, výrobce A&D Instruments Ltd..

*Rozšířená nejistota měření:  $\pm 10\%$  z MH.*

**Číslo kyselosti (ČK):**

*Ing. Lenka Košanová*

- 1) Analytické váhy, v.č. K9300294, typ Helago, HM 202, výrobce A&D Instruments Ltd..
- 2) Předvážky, v.č. 8790, typ MC1, LC 202S, výrobce Sartorius.
- 3) Titroprocesor 682, v.č. 166/263, typ 1.682.0010, výrobce Metrohm.
- 4) Dosimat 682, v.č. 4G1/398, typ 1.665.0030, výrobce Metrohm.

*Rozšířená nejistota měření:  $\pm 15\%$  z MH.*

**Ztrátový činitel, relat. permitivita a vnitřní rezistivita:**

*Ing. Lenka Košanová*

- 1) Místek pro měření ztrátového činitele a kapacity, v.č. 114733, typ 2821/ZK, výrobce Tettex Instruments.
- 2) Teraohmmetr (nastavena intenzita el. pole 250 V/mm), v.č. 278340, typ 7KA1100, výrobce SIEMENS.

**Relativní mezipovrchové napětí olej-voda a stanovení hustoty:**

*Ing. Lenka Košanová*

- 1) Čítač kapek, typ MPN3, výrobce Orgrez, r.v. 2004.
- 2) Hustoměr 800-900kg/m<sup>3</sup>, v.č. 112420, výrobce Polsko, r.v. 1989.
- 3) Teploměr -10°C až 110°C, v.č. 98115.
- 4) Digitální teploměr a vlhkoměr, v.č. 200002875, typ GFTH 100, výrobce Greisinger.

**Obsah antioxidačního inhibitoru (Qi):**

*Ing. Lenka Košanová*

- 1) Infračervený spektrometr, v.č. 469, typ M 500, výrobce Buck Scientific Inc..

### **PLYNY ROZPUŠTĚNÉ V OLEJI**

Protokol o měření: 26/2010-O

*Provedl*

*Martin Nič*

- 1) Digitální barometr, typ GDH11A, výrobce Greisinger.
- 2) Piraniho vakuometr, v.č. 17430, typ VPR1, výrobce Laboratorní přístroje Praha.
- 3) Toeplerova pumpa, v.č. 9460591, výrobce Ströhlein Instruments.
- 4) Plynový chromatograf s TCD a FID detektory, v.č. 3030G12259, typ HP 5890 Series II, výrobce Hewlett Packard, r.v. 1990.
- 5) Integrátor, v.č. 2841A11029, typ 3396A, výrobce Hewlett Packard.
- 6) Teploměr -30°C až 50°C, v.č. 97114.

Dokument zpracován a archivován programem Visual Regol Pro. Vytvorené ORGREZ, a.s. - Divize elektrotechnických lab. © 1994-2009



**ORGREZ, a.s.**  
**Zkušební laboratoř E01**  
Vitkova 17  
Praha 8 - Karlín, 186 00

Počet listů: 5  
List číslo: 2a

## **Použité přístroje a zařízení, nejistota měření**

*Uvedená rozšířená nejistota měření je součinem standardní nejistoty měření a koeficientu rozšíření  $k=2$ , což pro normální rozdělení odpovídá pravděpodobnosti pokrytí asi 95%. Standardní nejistota měření byla určena v souladu s dokumentem EA 4/02.  
MH ... měřená hodnota.*



**ORGREZ, a.s.**  
**Zkušební laboratoř E01**  
Vitkova 17  
Praha 8 - Karlín, 186 00

Počet listů: 5  
List číslo: 3

## Rozbor izolačního oleje

Protokol o měření: 26/2010-O (výr. č.: 143643)  
Místo odběru: Nádoba stroje, dole  
Teplota oleje při odběru: 35°C / 30°C (sníh) - horní / dolní vrstva oleje  
Izolační kapalina: minerální izolační olej  
Barva oleje: světle žlutý  
Datum odběru vzorku: 14.01.2010 (odběr proveden zkušební laboratoří: Vladimír Hla, 0003 dle SOP  
Datum příjmu vzorku: 15.01.2010 2-02/72 (ČSN EN 60567 kap. 4-5; ČSN 34 6433; ZM-02))  
Datum měření: 15.01.2010

Teplota okolí v laboratoři: 21°C Relativní vlhkost vzduchu v laboratoři: 22%

| Zkouška                                   | Jednotka          | Předpis                             | Hodnota                       |
|-------------------------------------------|-------------------|-------------------------------------|-------------------------------|
| U <sub>p1-6</sub>                         | kV/2,5 mm         | SOP 2-11/72 (ČSN EN 60156; ZM-04)   | 79,8 72,2 58,4 62,4 77,2 70,8 |
| U <sub>p</sub>                            | kV/2,5 mm         |                                     | 70,1                          |
| s                                         | kV/2,5 mm         |                                     | 8,3                           |
| V                                         | %                 |                                     | 11,8                          |
| Q <sub>v</sub> ( <i>Q<sub>v20</sub></i> ) | mg/kg             | SOP 2-10/72 (ČSN EN 60814; ZM-03)   | (4,1) 6,7                     |
| ČK                                        | mg KOH/g          | SOP 2-14/72 (ČSN EN 62021-1; ZM-12) | 0,001                         |
| tgδ <sub>20</sub>                         | x10 <sup>-2</sup> | SOP 2-12/72 (ČSN EN 60247; ZM-13)   | 0,000                         |
| tgδ <sub>70</sub>                         | x10 <sup>-2</sup> |                                     | 0,000                         |
| tgδ <sub>90</sub>                         | x10 <sup>-2</sup> |                                     | 0,012                         |
| ε <sub>r20</sub>                          | -                 | SOP 2-12/72 (ČSN EN 60247; ZM-13)   | 2,206                         |
| ε <sub>r70</sub>                          | -                 |                                     | 2,143                         |
| ε <sub>r90</sub>                          | -                 |                                     | 2,117                         |
| ρ <sub>20</sub>                           | GΩm               | SOP 2-12/72 (ČSN EN 60247; ZM-13)   | 99 158,5                      |
| ρ <sub>70</sub>                           | GΩm               |                                     | 29 747,5                      |
| ρ <sub>90</sub>                           | GΩm               |                                     | 16 526,4                      |
| σ                                         | mN/m              | SOP 2-15/72                         | 57                            |
| ρ <sub>v</sub>                            | g/ml              | SOP 2-15/72 (ČSN EN ISO 3675)       | 0,867                         |
| Q <sub>i</sub>                            | % hmot.           | SOP 2-16/72 (IEC 60666) †N          | 0,29                          |



**ORGREZ, a.s.**  
**Zkušební laboratoř E01**  
Vítkova 17  
Praha 8 - Karlín, 186 00

Počet listů: 5  
List číslo: 4

## **Plýnově-chromatografická analýza plynů** **rozpuštěných v oleji**

**metoda vícenásobné extrakce Toeplerovou vývěvou**

Protokol o měření: 26/2010-O (výr. č.: 143643)  
Místo odběru: Nádoba stroje, dole  
Teplota oleje při odběru: 35°C / 30°C (sníh) - horní / dolní vrstva oleje  
Izolační kapalina: minerální izolační olej  
Datum odběru vzorku: 14.01.2010 (odběr proveden zkušební laboratoří: Vladimír Hla, 0003 dle SOP  
Datum příjmu vzorku: 15.01.2010 2-02/72 (ČSN EN 60567 kap. 4-5; ČSN 34 6433; ZM-02))  
Analýza provedena: 15.01.2010

Teplota okolí v laboratoři: 25°C Absolutní atmosférický tlak v laboratoři: 1001 hPa

| Detekovaný plyn   | Jednotka | Obsah | Detekovaný plyn | Jednotka | Obsah   |
|-------------------|----------|-------|-----------------|----------|---------|
| Vodík             | μl/l     | 9,7   | Propan, propen  | μl/l     | 0,9     |
| Oxid uhelnatý     | μl/l     | 32,3  | 1-Buten         | μl/l     | 19,3    |
| Metan             | μl/l     | 4,2   | Dusík           | μl/l     | 4 104,9 |
| Etan              | μl/l     | 0,7   | Kyslík          | μl/l     | 1 608,4 |
| Etylen            | μl/l     | 0,9   | Oxid uhličitý   | μl/l     | 353,3   |
| Acetylen          | μl/l     | 0,8   |                 |          |         |
| Součet uhlovodíků | μl/l     | 6,6   | Q <sub>p</sub>  | % obj.   | 0,64    |

ND - plyn nedetekován, tzn. obsah je pod mezí detekce metody.

Analýza provedena dle SOP 2-23/72 (ČSN EN 60567).

Celkový obsah plynů rozpuštěných v oleji stanoven dle SOP 2-23/72 (ČSN EN 60567).

| Poměr plynů     | Hodnota | Poměr plynů                 | Hodnota |
|-----------------|---------|-----------------------------|---------|
| Acetylen/Etylen | —       | Oxid uhličitý/Oxid uhelnatý | —       |
| Etylen/Etan     | —       | Dusík/Kyslík                | 2,55    |
| Metan/Vodík     | —       |                             |         |
| Etan/Metan      | —       |                             |         |



**ORGREZ, a.s.**  
**Zkušební laboratoř E01**  
Vitkova 17  
Praha 8 - Karlín, 186 00

Počet listů: 5  
List číslo: 5

Protokol o měření: 26/2010-O

Protokol vystavil: Ing. Lenka Košanová



Datum vydání: 19.01.2010

Protokol vydal:

Ing. Jiří Brázdil, Ph.D., MBA  
vedoucí zkušební laboratoře

**K O N E C   P R O T O K O L U**

Upozornění: Následující text je mimo rozsah akreditace.

**Stanovisko vztahující se na výsledky měření uvedené v protokolu 26/2010-O**

Hodnocení stavu olejové náplně dle ČEZ PN 00/05 (Profylaktika elektrických strojů netočivých - výkonové transformátory).

Předložený vzorek oleje má dobré izolační vlastnosti. Obsah vody v oleji vyhovuje pro stroj v provozu. Kvalitativní parametry vyhovují požadavkům na nový olej. Obsah inhibitoru je dostatečný. Další rozbor oleje doporučujeme provést po roce provozu stroje.

Hodnocení celkového obsahu plynů rozpuštěných v oleji dle ČEZ PN 00/05 (Profylaktika elektrických strojů netočivých - výkonové transformátory).

Celkový obsah plynů vyhovuje pro stroj v provozu.

Hodnocení plynově-chromatografické analýzy plynů rozpuštěných v oleji (DGA) dle normy ČSN EN 60599 (2000).

Obsahy rozkladových plynů jsou nízké.

Průměrný denní vývin rozkladových plynů od poslední analýzy odpovídá normálnímu stavu.

Z hlediska výskytu rozkladových plynů je zařízení schopno provozu.



**ORGREZ, a.s.**  
**Zkušební laboratoř E01**  
Vitkova 17  
Praha 8 - Karlín, 186 00

Počet listů: 5  
List číslo: 5a

**ORGREZ, a.s.**

divize elektrotechnických laboratoří  
Praha 8, Vitkova 17  
tel.: 222314320, fax: 224817403

Datum vydání: 19.01.2010

  
-----  
Ing. Jiří Brázdil, Ph.D., MBA  
ředitel divize