



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV VÝROBNÍCH STROJŮ, SYSTÉMŮ A
ROBOTIKY

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF PRODUCTION MACHINES, SYSTEMS AND
ROBOTICS

DIAGNOSTICKÉ METODY SLEDOVÁNÍ PLYNŮ ROZPUŠTĚNÝCH V TRANSFORMÁTOROVÉM OLEJI

DIAGNOSTICS METHODS OF DISSOLVED GAS IN TRANSFORMER OIL
OBSERVATION

DIPLOMOVÁ PRÁCE
MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

BC. MATĚJ HINDRA

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR
BRNO 2012

ING. MARTIN MINISTR

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav automobilního a dopravního inženýrství
Akademický rok: 2011/2012

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

student(ka): Bc. Matěj Hindra

který/která studuje v **magisterském navazujícím studijním programu**

obor: **Výrobní stroje, systémy a roboty (2301T041)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma diplomové práce:

Diagnostické metody sledování plynů rozpuštěných v transformátorovém oleji

v anglickém jazyce:

Diagnostics Methods of Dissolved Gas in Transformer oil Observation

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Výkonové olejové transformátory produkují během svého přirozeného stárnutí v izolačním oleji různé plyny. Tyto plyny mohou vypovídat mnohé o stavu sledovaného zařízení.

Cíle diplomové práce:

Porovnání metod sloužících k monitoringu plynů rozpuštěných v oleji.
Porovnání metod k interpretaci těchto plynů.

Seznam odborné literatury:

Mentlík, V., aj.. Diagnostika elektrických zařízení. BEN - technická literatura, Praha 2008. 439 s. ISBN 978-80-7300-232-9.

ČSN EN 60 599. Elektrická zařízení v provozu plněná izolačním olejem - Pokyn k interpretaci výsledků analýz rozpuštěných a volných plynů. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2000. 88 s. Třídící znak 34 6726.

ČSN EN 60 567 ed. 2. Olejem plněná elektrická zařízení - Odběr vzorků plynů a oleje pro analýzu volných a rozpuštěných plynů - Návod. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2006. 56 s. Třídící znak 34 6726.

IEEE Std C57.104TM. IEEE Guide for the Interpretation of Gases Generated in Oil-Immersed Transformers. New York: The Institute of Electrical and Electronics Engineers, 2009. 28 s.

Vedoucí Diplomové práce: Ing. Martin Ministr

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2011/2012.

V Brně, dne 20. 01. 2012

L.S.

doc. Ing. Petr Blecha, Ph.D.
Ředitel ústavu

prof. Miroslav Doupovec, CSc
Dekan fakulty

Abstrakt

Tato diplomová práce se věnuje rozboru diagnostických metod využívaných v praxi. Je rozdělena do dvou částí, a to na část teoretickou a praktickou.

Teoretická část se nejprve zabývá obecným popisem transformátorů. Dále jsou zde uvedeny systémy odběrů vzorků olejů z transformátorů s izolačním systémem olej – papír. Další důležitou částí je popis plynové chromatografie a systému TRANSPORT X. Součástí práce je také popis nejdůležitějších vyhodnocovacích metod vhodných k posouzení stavu transformátoru.

Abstract

This thesis is devoted to analysis of the diagnostic methods used in practice. It is divided into two parts: theoretical and practical.

The theoretical part concerns with the general description of the transformers. Further it provils informatik about systems for sampling oil from transformers with insulating oil – paper system. Another important part is the description of gas chromatography and TRANSPORT X. Description of the most appropriate evaluation methods for assessment of the state of the transformer is included as well.

Klíčová slova

Chromatografie, výkonové transformátory, TRANSPORT X, diagnostika, diagnostické metody.

Key words

Chromatography, Power Transformers, TRANSPORT X, Diagnostic, Diagnostic Methods.

Hindra, M., *Diagnostické metody sledování plynů rozpuštěných v transformátorovém oleji Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2012. 59 s.* Vedoucí diplomové práce Ing. Martin Ministr

Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci vypracoval samostatně a vyznačil všechny citace z pramenů.


V Brně Dne 25. 05. 2012

.....
Matěj Hindra

Poděkování:

Rád bych poděkoval vedoucímu mé diplomové práce Ing. Martinu Ministrovi, za jeho odborné vedení, rady a připomínky, které mi velmi pomohly při zpracování práce.

Dále bych chtěl poděkovat společnostem ČEPS, a.s. ORGREZ, a.s. a EGÚ Brno, a.s. za poskytnuté údaje plynové chromatografie a samozřejmě rodině za podporu, kterou mi během zpracování diplomové práce poskytla.

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 7
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

OBSAH

ÚVOD	8
1 VÝKONOVÉ TRANSFORMÁTORY	10
1.1 Výkonové transformátory olej - Papír	10
1.2 Diagnostika Izolačních Kapalin	11
1.3 Metodika odběru vzorků kapalných izolantů	11
1.3.1 Provádění odběrů vzorků obsahujících plyny	11
1.3.2 Metody umožňující plynovou extrakci ze vzorku oleje	13
1.4 Chromatografické metody	14
1.4.1 Příklad chromatogramu s jeho popisem	15
1.4.2 Kapalinová chromatografie	16
1.4.3 Plynová chromatografie	16
1.5 TRANSPORT X (DGA - Dissolved gas analysis – Analýza rozpuštěných plynů)	17
1.5.1 Foto-akustická spektroskopie	18
1.5.2 Popis analyzátoru TRANSPORT X	19
2 METODY ANALÝZY POMĚRŮ PLYNŮ V DIAGNOSTICE VÝKONOVÝCH TRANSFORMÁTORŮ	20
2.1 Vývoj plynů v transformátoru	20
2.2 Metoda sledování poměrových kritérií pro posouzení stavu transformátoru	21
2.2.1 Pomocná Kritéria	22
2.3 Duvalův trojúhelník	23
2.4 Rogersova metoda	24
2.5 Doernenburgova metoda	25
3 ZMĚŘENÉ DIAGNOSTICKÉ VELIČINY	26
3.1 Porovnání plynové chromatografie a systému TRANSPORT X	26
3.1.1 Porovnání dle statistické hypotézy	27
3.1.2 Posouzení metod dle analytických kritérií	30
3.1.3 Vyhodnocení porovnání přístroje Transport X a plynové chromatografie	34
3.2 Hodnocení vybraných metod poměrů plynů	34
3.2.1 Duvalův trojúhelník	34
3.2.2 Doernenburgova metoda	38
3.2.3 Rogersovou metodou (1)	40
3.2.4 Rogersovou metodou (2)	43
3.2.5 Metodou sledování poměrových kritérií IEC 60599	45
4 ZÁVĚR	48
SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	49
SEZNAM PŘÍLOH	50

ÚVOD

Elektrická energie je jednou z nejdůležitějších součástí moderního života, bez které si jej dokážeme jen těžko představit. Její spotřeba stále narůstá, i proto jsou kladeny velké nároky na bezporuchovost distribučních sítí. Jelikož výkonové transformátory jsou jedním z nejdůležitějších prvků rozvodné sítě, tyto nároky se přenáší i na ně.

Výkonové transformátory jsou velmi nákladná zařízení a v jejich životě může vlivem přirozeného stárnutí dojít k různým poruchám a haváriím. Tyto události mohou způsobit značné škody na transformátoru, ale hlavně výpadky v energetické síti, což může způsobit velké sekundární finanční ztráty. Proto se klade stále větší důraz na diagnostiku transformátorů a předcházení nežádoucích stavů.

Jak ukazuje Tab. 1.0 [1] k poruchám v transformátorech dochází z různých příčin.

Tab. 1.0 Nejčastější příčiny poruch [1]

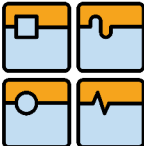
Příčina	Zasažený systém	Procentuální podíl
Chyba izolace	Izolační systém	26 %
Chyba výroby	Není specifikováno	24 %
Neznámá	Není specifikováno	16 %
Zkrat	Izolační systém /Elektrický obvod	7 %
Nesprávná údržba	Není specifikováno	5 %
Přetížení	Izolační systém	5 %
Kontaminace oleje	Izolační systém	4 %
Přetížení	Izolační systém /Mechanické části konstrukce	4 %
Požár/exploze	Izolační systém /Chladicí nádoba s příslušenstvím	3 %
Blesk	Izolační systém	3 %
Povodeň	Chladicí nádoba s příslušenstvím	2 %
Vlhkost	Chladicí nádoba s příslušenstvím	1 %

Nejčastější příčinou poruch a havárií, je právě izolační systém transformátoru. Z těchto důvodů se předkládaná práce zabývá otázkou diagnostických metod sledování plynů rozpuštěných v oleji jako primárního identifikátoru těchto poruch.

Práce je členěna do několika částí. První část se především zaměřuje na rozdělení transformátorů, na popis postupů a nejčastěji využívaných systémů pro analýzu plynů v olejových transformátorech v České republice.


Druhá část práce je věnována nejdůležitějším metodám analýzy poměrů plynů v diagnostice výkonových transformátorů. Jednotlivé metody jsou zde stručně popsány a nechybí ani uvedení způsobu využití při vyhodnocování stavu transformátorů.

Praktickým vyhodnocením systémů využívaných pro analýzu vzorku plynů z kapalných izolantů se pak zabývá třetí část diplomové práce.

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 9
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

V závěrečné části je uvedeno porovnání jednotlivých metod a jejich vzájemná interakce.

Pro potřebu materiálu, ve kterém jsou přehledně uvedeny metody využívající se při diagnostice plynů rozpuštěných v oleji, si tato práce klade za cíl přinést přehledné a ucelené pojednání o jednotlivých metodách a systémech, které mohou být uplatněny při diagnostice tak, aby mohla sloužit jako základní informační materiál o využitelnosti těchto systémů a metod v praxi.

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 10
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

1 VÝKONOVÉ TRANSFORMÁTORY

1.1 VÝKONOVÉ TRANSFORMÁTORY OLEJ - PAPIR

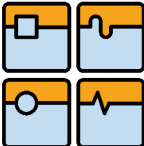
Transformátory se řadí mezi netočivé elektrické stroje. Jsou konstrukčně navrhovány jako jednoduchá a spolehlivá zařízení a umožňují přenos elektrické energie na velké vzdálenosti. Zařazení transformátorů do energetické soustavy a jejich výsledná spolehlivost je klíčová pro správnou funkci této soustavy. Tomu je také přizpůsobená rozmanitost provedení, které je vytvářeno na základě požadavků uživatelů.

Transformátory můžeme dle různých hledisek rozdělovat do tříd, které se odvíjí od funkčních provedení, a jsou úzce spojeny s jejich použitím:

- Dle počtu fází
 - Jednofázové
 - Trojfázové
 - Speciální
- Dle provedení konstrukce
 - Plášťové
 - Jádrové
 - Toroidní
- Dle použití
 - Dvoj-vinutový
 - Troj-vinutový
 -
- Suché
 - Plynné chladicí médium, vzduch
 - Do napětí 38kV , výkonu 10 MVA
 - Při chlazení FS₆ napětí až do 75 kV
- Zalévané
 - Vinutí zalito pryskyřicí
 - Může být také provedeno systémem *resin-rich* nebo VPI
 - Do napětí 35 kV a výkonu 20 MVA (lze zvýšit až na 35 MVA)
- S izolačním systémem olej – papír
 - Stroje do vysokých napětí a výkonů
 - Nejčastěji používaný systém

Nejrozšířenější a také nejdůležitější skupinou jsou transformátory s izolačním systémem olej – papír, na kterou se tato diplomová práce zaměřuje. Této skupině je obecně věnována zvláštní pozornost a je kladen velký důraz na splnění provozních a bezpečnostních požadavků.

K tomu významnou měrou přispívá elektrotechnická diagnostika, zabývající se záznamem a vyhodnocováním měřených veličin. Jejím hlavním posláním je ověření,

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 11
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

jestli stroj splňuje podmínky v souladu s předepsanými normami a eventuálně, jestli nový transformátor odpovídá objednavce zákazníka v plném rozsahu.

1.2 DIAGNOSTIKA IZOLAČNÍCH KAPALIN

Diagnostika izolačního oleje je součástí celkové diagnostiky dielektrického podsystému každého elektrického zařízení plněného olejem. [2]

Diagnostické metody izolačních kapalin můžeme dělit podle množství různých kritérií. Z hlediska provozu je nejdůležitější, jestli je stroj potřeba odpojit od sítě, tedy off-line diagnostika nebo zda nepřetržitě sledujeme stav v běžném provozu, tzv. on-line diagnostika. Jako samostatnou skupinu lze také uvést zkoušky zabývající se kapalnými izolanty.

Za nejdůležitější skupinou výkonových transformátorů lze považovat tu s izolačním systémem olej-papír, proto jsou oleje brány jako hlavní izolační kapaliny u výkonových transformátorů.

U olejů se berou v potaz hodnoty jako jejich viskozita, dobrá oxidační stálost, elektrická pevnost a teplotní stabilita.

1.3 METODIKA ODBĚRU VZORKŮ KAPALNÝCH IZOLANTŮ

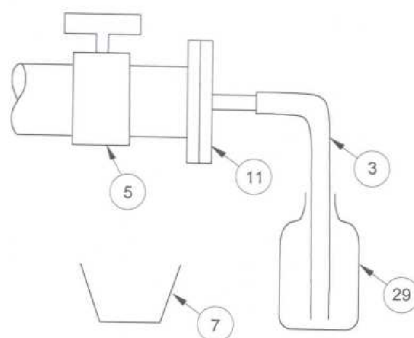
Před samotným rozborem oleje vždy musíme odebrat jeho vzorek a také jej přepravit do místa diagnostiky. Je tedy kladen důraz na získání kvalitního a reprezentativního vzorku, který je rozhodujícím činitelem pro správnost diagnózy výkonového transformátoru. Pokud není vzorek správně odebrán, může i přes správné provedení zkoušek docházet ke zkreslování výsledků a z toho vyplývajícím chybným závěrům a stanoviskům.

Vzorky plynů a olejů musí být nezaměnitelně značeny a dopraveny k analýze v co nekratším čase, aby byla minimalizována degenerace vzorku. Pokud se ve vzorku vyskytuje kyslík, může s olejem reagovat. Reakci můžeme zpomalit zamezením přístupu světla do vzorku.

1.3.1 Provádění odběrů vzorků obsahujících plyny

a) Odběr vzorků oleje do láhve

Vzorek je odebírán do plastové nebo skleněné láhve o objemu 0,5 až 2,5 litru. Vyhovující láhve jsou vybaveny závitovými plastovými uzávěrkami s konickým polyuretanovým těsněním. Odběr vzorků do láhve je relativně snadný. Pomocí hadice s vhodnými vlastnostmi připojené k transformátoru necháme vytéct jeden až dva litry oleje, konec hadice umístíme ke dnu vzorkovací láhve a tu pomalu naplníme. Láhev uzavřeme po přetečení vhodného množství oleje.

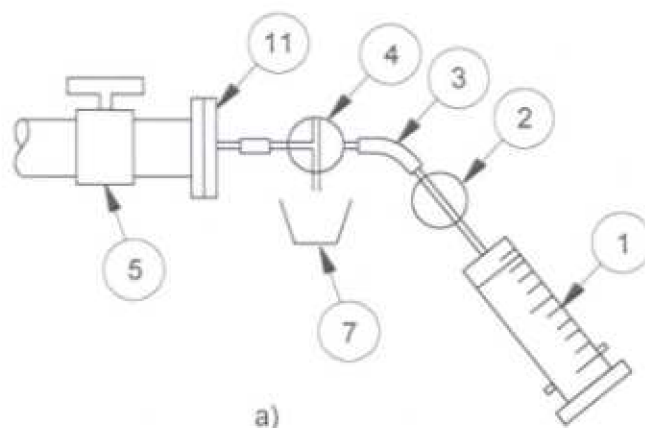


Obr 1.1 Příklad vzorkování do láhve [3]

Legenda: 3 – Pryžová spojovací hadice, 5 – Vzorkovací ventil zařízení, 7 – Odpadní nádoba, 11 – Slepá příruba, 29 - Láhev


b) Odběr vzorku injekční stříkačkou

Tento způsob je nejčastěji využívanou metodou odběru. Používají se plynotěsné injekční stříkačky opatřené stupnicí o vhodném objemu od 20 ml do 250 ml. Doporučené jsou skleněné stříkačky se zabroušeným pístem či pístem s teflonovým těsněním. Stříkačka musí být vybavena kohoutem umožňující hermetické uzavření. Převážná nádoba pro stříkačky musí být konstruována tak, aby stříkačka držela spolehlivě na svém místě, ale píst byl volně pohyblivý. Doporučené zapojení aparatury je uvedeno na obr 1.2. Spojení jsou doporučována co nejkratší. Odběrový ventil se otevře. Trojcestný kohout se přestaví tak aby olej ze spojovací hadice vytékal do odpadu. Potom se trojcestný kohout přestaví do polohy připojující injekční stříkačku. Uzavíracím kohoutem se otevře a injekční stříkačka se naplní. Když je odebrán vzorek, uzavře se uzavírací kohout a odběrový ventil a aparatura se odpojí. Je vhodné použít co největší injekční stříkačku vhodnou pro daný vzorek, aby těsnicí plocha pístu byla co možná nejdelší.



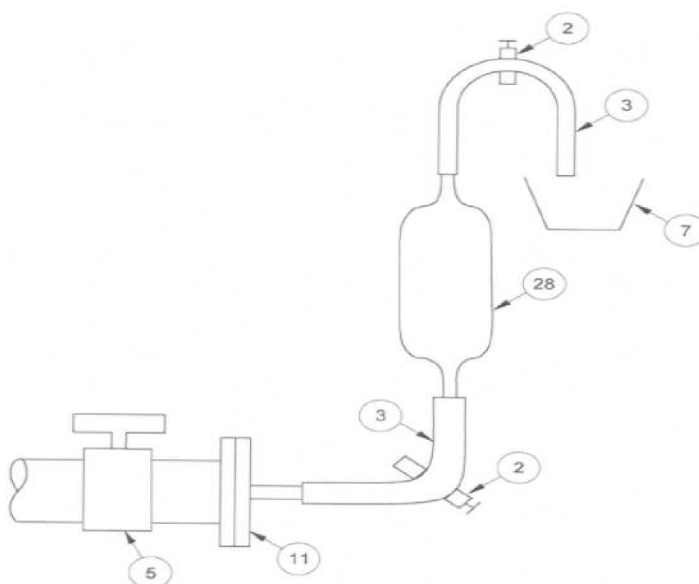
Obr 1.2 Odběr vzorku injekční stříkačkou [3]

Legenda: 1 – Injekční stříkačka 2 – Uzavírací kohout, 3 – Pryžová spojovací hadice, 4 – Trojcestný uzavírací kohout, 5 – Vzorkovací ventil zařízení, 7 – Odpadní nádoba, 11 – Slepá příruba,

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 13
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

c) Odběr vzorku pomocí vzorkovací trubice

Vzorkovnice o objemu od 250ml do 1l je ze skla či kovu. Vzorkovnice se připojuje k odběrovému ventilu olejivzdornými hadicemi a k uzavírání je opatřena uzavíracími ventily. Samotný odběr se provede umístěním volného konce spojovací trubice na odběrový ventil. Otevře se odběrový ventil a přivodní uzavírací ventil vzorkovnice. Pak se pootoží i výstupní uzavírací ventil, olej se nechá odtékat do odpadu, dokud neodteče ze vzorkovnice 1l až 2l a pak se výtok oleje zavře nejprve vnějším a pak vnitřním ventilem a nakonec se uzavře i vzorkovací ventil.



Obr 1.3 Odběr vzorku vzorkovací trubicí [3]

Legenda: 2 – Uzavírací ventil, 3 – Pryžová spojovací hadice, 5 – Vzorkovací ventil zařízení, 7 – Odpadní nádoba, 11 – Slepá příruba, 28 – Vzorkovací trubice


Stejně jako u výše zmíněných odběrů oleje se postupuje i v případě odběru plynů transformátoru pomocí plynového relé. Používá se převážně odběr vzorku plynů injekční stříkačkou, vytěsňováním olejem a pomocí vakua.

1.3.2 Metody umožňující plynovou extrakci ze vzorku oleje.

a) Vícenásobná vakuová extrakce (Toeplerova vývěva)

Díky této metodě je možné dosáhnout vysokého stupně extrakce přesahující 97%. Aparatura využívána touto metodou ovšem není normalizovaná a může se mírně lišit.

Vývěva umístěná do extrakční baňky odsává plyny z oleje a následně je kumuluje v oddělené byretě. V ní se po dokončení vícenásobné extrakce stanovuje celkový objem plynů za normálních podmínek. Největším záporem této metody je, že pro extrakci plynů používá rtuť. Rtuť negativně ovlivňuje

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 14
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

životní prostředí a zdraví člověka, proto se od tohoto způsobu extrakce upouští a jako alternativa se používá metoda head-space.

b) Metoda jednorázové vakuové extrakce (částečné odplynění)

Extrakce plynu je realizována jediným průběhem vakua, z tohoto důvodu je celkový objem extrahovaného plynu závislý na jeho rozpustnosti v oleji. Využívá se Toeplerovy vývěvy, proto je systém extrahování plynu obdobný jako u předchozí metody, pouze s nižší účinností.

c) Metoda stripping

Pro extrakci plynu ze vzorku je využíváno nosného plynu probíhajícího malým množstvím oleje (0,25ml až 5ml) vstříkovaným do stripéru. Využívá se různých konstrukcí stripérů, jako například z borosilikátového skla nebo nerezové oceli.

d) Metoda head-space

Olej se vpravuje do skleněné vialy, která je v kontaktu s plynou fází. Část plynů rozpuštěných v oleji přejde do prostoru s plynou fází (head-space), dokud jsou dodrženy podmínky rovnosti teploty tlaku a třepání. Pro stanovení koncentrací každého plynu v prostoru head-space jsou užívané kalibrační křivky [3]. Pro tuto metodu je důležité mít přístroj kalibrován, aby byly výsledky reprodukovatelné a nedocházelo chybám.

1.4 CHROMATOGRAFICKÉ METODY

Chromatografické metody využívají systému separace v rámci opakovaných ustanovování rovnovážných stavů dvou nesmíselných fází. Tyto fáze se dělí na stacionární nepohyblivou fázi jako je tuhá látka či kapalina a druhou mobilní fázi v podobě plynu či kapaliny. Tato kapitola se vzhledem k její rozsáhlosti zaměří na stručné rozdělení metod chromatografie a budou vybrány nejvyužívanější v oblasti diagnostiky olejů.

Hlavním rozdělením chromatografických metod z hlediska olejové diagnostiky je dle mobilní fáze:

a. Plynová chromatografie GC (Gas Chromatography)

b. Kapalinová chromatografie LC (Liquid Chromatography)

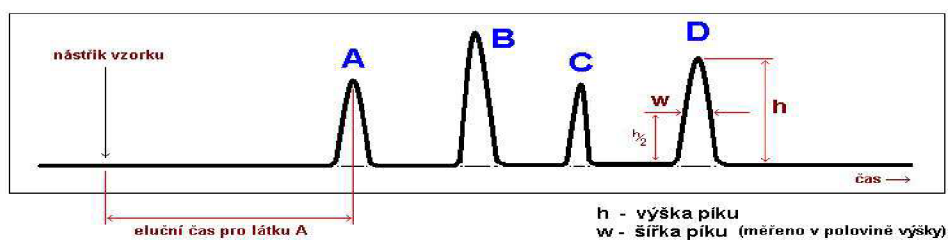
Podrobnější dělení je zobrazeno v Tab. 1.1

Tab. 1.1 Obecné rozdělení chromatografických metod podle typu [2].

Mobilní fáze	Stacionární fáze	Separční mechanismus	Metoda	Zkratka
Plyn	Pevná fáze	Adsorpce	Plynová adsorpční chromatografie	GSC
	Kapalná fáze	Rozdělování	Plynová rozdělovací chromatografie	GLC
	Mikroporézní fáze	Dělení dle velikosti molekul	Plynová chromatografie na molekulových sítích	GSC
Kapalina	Pevná fáze	Adsorbce	Kapalinová adsorpční chromatografie	LSC
	Kapalná fáze	Rozdělování	Kapalinová rozdělovací chromatografie	LLC
	Iontoměnič	Iontová výměna	Iontová výměnná chromatografie (iontová chromatografie)	IEC
	Mikroporézní fáze	Dělení dle velikosti molekul	Gelová permeační chromatografie	GPC
	Strukturně selektivní fáze	Specifická interakce	Afinitní chromatografie	AC

1.4.1 Příklad chromatogramu s jeho popisem

Na Obr. 1.4 je uveden příklad výstupního chromatogramu z GC nebo LC.



Obr. 1.4 Chromatogram GC nebo LC [4].

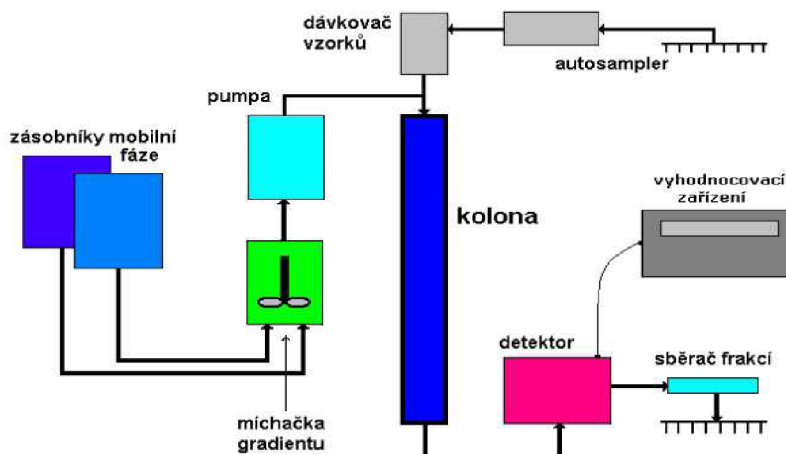
V rámci popisu můžeme uvést, že eluční čas látky charakterizuje kvalitu. Plocha příslušného píku je úměrná kvantitě a vypočítá se jako součin výšky a šířky píku. Jestliže jsou píky extrémně úzké, lze využívat pouze výšku píku, ovšem je nutná vhodná kalibrace.

1.4.2 Kapalinová chromatografie

Základem sloupcové kapalinové chromatografie je chromatografická kolona tvořená skleněnými nebo kovovými trubicemi naplněnými dělicím médiem. Do horního konce kolony vstříkujeme eluční činidlo a vzorek a můžeme také přidávat promývací roztok. Jestliže pro průtok elučního roztoku využíváme pouze gravitace, mluvíme o nízkotlaké kolonové chromatografii. Tento typ chromatografie se dnes používá jen výjimečně vzhledem k jeho nízké účinnosti.

Mnohem účinnější je metoda nuceného průtoku roztoků kolonou za pomoci pump, tedy vysokotlaká chromatografie. V této variantě lze využít daleko jemnější materiál stacionární fáze, zvyšující účinnost.

Jako další variantu, můžeme uvést kapalinovou plošnou chromatografii, která využívá stacionární fázi v podobě volné vrstvičky. Uplatňuje se v ní práškový materiál na inertní podložce pro tenkovrstvé chromatografie nebo chromatografický papír u papírové chromatografie. Tyto chromatografie se využívají pro orientační analýzy nebo pro preparace frakcí pro další analýzy. Pro analytické použití je vrstvička stacionární fáze nanášena tenká, obvykle méně než 1 mm. Pro preparace musí být ovšem vrstva podstatně silnější, a to až 1 cm, pro zvýšení obsahu vzorku. Papírová chromatografie byla rozšířenou metodou, dnes se ovšem již nevyužívá.

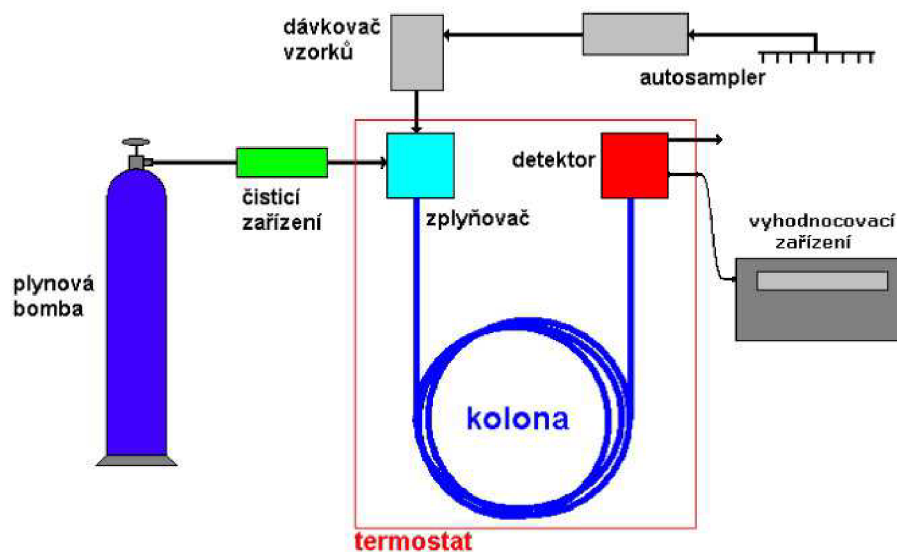


Obr. 1.5 Schéma kolonové kapalinové chromatografie [4].

1.4.3 Plynová chromatografie

Tato metoda je v dnešní době nejrozšířenější formou analýzy pro diagnostiku izolačních olejů.

Jako mobilní fáze je u plynové chromatografie používán plyn. Tento plyn musí být inertní jak pro vzorek, tak i k stacionární fázi. Chromatografická kolona, která se skládá z kratší nebo delší trubice způsobí zadržení jednotlivých složek vzorku a tím pádem se projeví rozdílné vymývání složek. Analýzu vzorku můžeme rozdělit na způsob využívající adsorpce - GSC nebo rozpouštění - GLC.



Obr. 1.6 Schéma zařízení pro plynovou chromatografii [4]

Díky různým metodám použitým pro odplynění se spotřeba vzorku oleje pro zkoušku pohybuje v rozmezí 1ml až 100ml izolačního oleje. Jako možný záložní přídavek se používá rozmezí vzorku 2 ml až 100 ml.

Metodou plynové chromatografie lze analýzou plynů rozpuštěných v izolačním oleji zjistit tepelné stárnutí izolačního oleje nebo soustavy olej - papír. Kvantitativním a kvalitativním rozbořem rozkladových plynů lze posuzovat stupeň tepelného zestárnutí. Také můžeme zjistit probíhající teplotní pochody jako je přehřátí, předvýboje, elektrický oblouk a rovněž lze indikovat i elektrické děje (částečné výboje atd.).

Metoda je z hlediska off-line diagnostiky vhodná pro provozní sledování transformátorů a také nachází uplatnění pro zjišťování konstrukčních či technologických vad u nových transformátorů. Touto metodou lze nejspolehlivěji indikovat nepřírozené provozní stavy. Plynová chromatografie je také používána pro odhalování falešných příznaků závad, nejčastěji například vniknutí vzdušných plynů do nádoby stroje vedoucích k jeho zbytečnému odstavení.

1.5 TRANSPORT X (DGA - DISSOLVED GAS ANALYSIS – ANALÝZA ROZPUŠTĚNÝCH PLYNŮ)

Další metoda, která se používá v České republice pro off-line diagnostiku plynů je založená na principu foto-akustického spektrometru uplatněného v přístroji Transport X od společnosti Kelman.

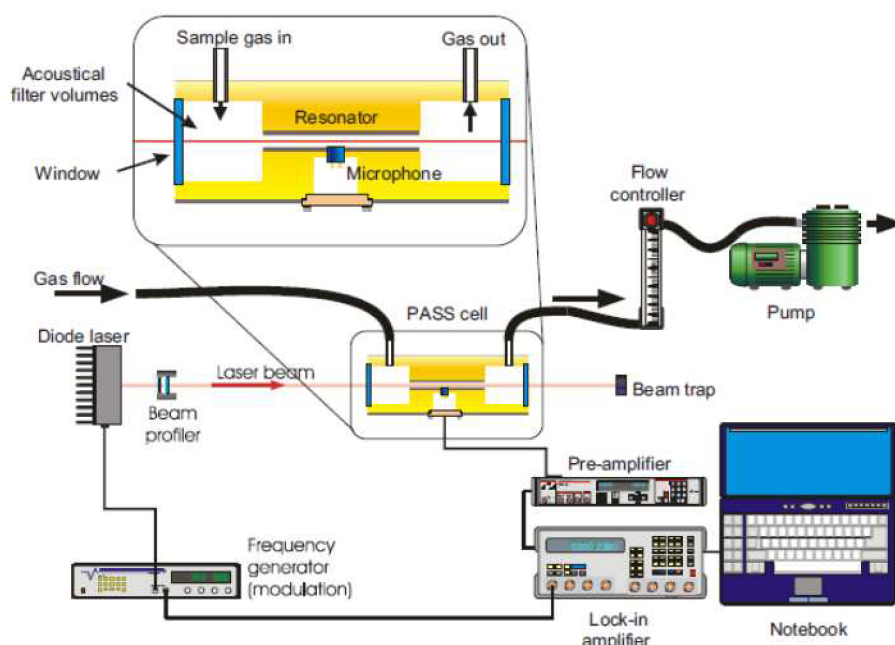
TRANSPORT X používá zcela novou technologii, která zaručuje přesné a opakovatelné výsledky DGA (chromatografie), které uživatel obdrží v řádu minut přímo u transformátoru [5].



Obr. 1.7 TRANSPORT X [6]

1.5.1 Foto-akustická spektroskopie

Tato metoda je založena na detekci množství a koncentrací pomocí modulovaného laserového paprsku procházejícího přes trubici, v níž je umístěn snímací mikrofón detekující částicové signály.



Obr. 1.8 Schéma foto-akustického snímače [7]

1.5.2 Popis analyzátoru TRANSPORT X

Foto-akustickým spektrometrem je detekováno sedm nejdůležitějších plynů sloužících k analýze stavu transformátorů a také je detekován obsah vody v oleji. Vzorek oleje o objemu 50ml je vpraven přímo z odběrné stříkačky do systému, kde se za pomoci foto - akustického spektrometru identifikují plyny. Minimální detekční úroveň je uvedena v Tab.1.2 [8] Maximální detekční úroveň se uvádí 50 000 x minimální detekční limit. U vodíku je uváděn maximální detekční rozsah 5 000 ppm.

Tab. 1.2 Minimální detekční úroveň zařízení TRANSPORT X [8]

Plyn	Min. det. množství [ppm]	Tolerance [%]
Vodík (H ₂)	6	5
Etylen (C ₂ H ₄)	1	1
Etan (C ₂ H ₆)	1	1
Metan (CH ₄)	1	1
Oxid uhelnatý (CO)	1	1
Oxid uhličitý (CO ₂)	2	1
Acetylen (C ₂ H ₂)	1	1
Voda	5 (nebo 10%)	

2 METODY ANALÝZY POMĚRŮ PLYNŮ V DIAGNOSTICE VÝKONOVÝCH TRANSFORMÁTORŮ

2.1 VÝVOJ PLYNŮ V TRANSFORMÁTORU

Kromě vzdušných plynů jako je kyslík, dusík a oxidu uhličitý se mohou v izolačním oleji rozpouštět i plyny které vznikají následkem přirozeného stárnutí transformátoru nebo poruchovými ději. Závady, které mohou být tepelného a elektrického původu, způsobí štěpení uhlovodíkových řetězců. Tyto pochody mají svá přesná specifika množství a složení, dle nichž lze určovat typy poruchových stavů. Jednotlivé plyny vyvíjející se při různých typech porucha namáhání jsou uvedeny v Tab. 2.1 [9].

Tab. 2.1 Vývoj plynů charakteristických při různých stavech transformátoru [9].

Výkonný oblouk		Předvýboje jiskry		Energeticky chudé výboje		Částečné výboje	
Olej	Olej-papír	Olej	Olej-papír	Olej	Olej-papír	Olej	Olej-papír
C ₂ H ₂	C ₂ H ₂	C ₂ H ₂	C ₂ H ₂	C ₂ H ₄	C ₂ H ₄	H ₂	H ₂
H ₂	H ₂	H ₂	H ₂	H ₂	H ₂	(CH ₄)	(CH ₄)
		CH ₄	CH ₄	CH ₄	CH ₄		CO ₂
CH ₄	CH ₄	C ₂ H ₆	C ₂ H ₂	C ₂ H ₂	C ₂ H ₂		(CO)
		C ₃ H ₈	C ₃ H ₈	C ₃ H ₈	C ₃ H ₈		
	CO	C ₂ H ₄	CH ₄		CO		
	CO ₂	C ₃ H ₆	C ₃ H ₆		CO ₂		
			CO				
			CO ₂				

Dle různých koncentrací plynů a na základě jejich poměrů rozpuštěných v izolačním oleji či obsažených v plynné fázi můžeme určovat typy závad. Při tepelně nevýrazných, slabých částečných výbojích, při nichž teplota místně dosahuje 80 °C až 120 °C, je v plynných reakcích obsažen pouze vodík. Vodík vzniká převážně při štěpení aromatických uhlovodíků. Jestliže teplota dosáhne 120 °C až 200 °C, vznikají kromě vodíku metan a etylén. Při lokálně omezených teplotách 200 °C až 500 °C, způsobených převážně silnými výboji, se zvyšuje koncentrace vyšších uhlovodíků s jednoduchou a dvojnou vazbou ve směsi. Při teplotách přesahujících 500 °C dochází k tvorbě jisker nebo elektrického oblouku a v plynných produktech se objevuje velké množství uhlovodíků. K dříve uvedeným přibývá ještě acetylén a vyšší uhlovodíky s trojnou vazbou. Tvoří se také uhlovodíky s dvěma a více dvojnými vazbami, diolefiny a polyolefiny. Při výskytu výkonných oblouků nebo jisker je směs obohacována o vodík a nenasycené uhlovodíky. Teplota překračující hranici 1000 °C, má za následek rozpad všech víceatomových uhlovodíků a v reakční směsi zůstává přítomen pouze vodík, metan, acetylén, popřípadě elementární uhlík.

Všechny děje vytvářejí v určité míře plyn rozpouštějící se v izolačním oleji. Množství závisí na typu plynu, chemickém složení oleje, kvalitě oleje, jeho viskozitě, na tlaku a teplotě oleje. Vzhledem k velkému množství faktorů ovlivňujících diagnózu je obtížně stanovitelná hranice mezních hodnot pro jednotlivé plyny, nad kterými lze

v transformátoru označit poruchový stav. Proto je nutné brát v zřetel časový vývoj transformátoru s větším množstvím zkoušek a mít dostatečné zkušenosti s daným modelem.

Pro opakovatelnost a ověřitelnost výsledků vzniklo množství systémových metod zkoumajících různé poměry plynů. Mezi nejčastěji používané metody vyhodnocování výsledků patří:

- Metoda sledování poměrových kritérií dle normy ČSN IEC 60599
- Duvalův trojúhelník
- Doernenburgova metoda
- Rogersova metoda

2.2 METODA SLEDOVÁNÍ POMĚROVÝCH KRITÉRIÍ PRO POSOUZENÍ STAVU TRANSFORMÁTORU

Tato metoda se dle normy ČSN IEC 60 599 využívá jako primární pro sledování plynů rozpuštěných v oleji. Její koncepce vychází z Rogersovy metody. Empiricky se zjistilo, že tvorba rozkladových plynů odpovídá při většině závad určitému specifickému poměru. Hlavní výhodou používání metody poměru veličin, je schopnost podrobněji určovat druh závady. Závady dělíme do tří skupin tepelné, elektrické a kombinované závady. Metoda také umožňuje přenositelnost informací mezi laboratořemi. Jelikož jsou ovšem v konstrukcích transformátorů rozdíly, jednotlivá diagnostická pracoviště hodnoty upřesňují, aby vyhovovaly přesným podmínkám. Mohou se také prověřovat různá jiná kritéria.

Bohužel velká nevýhoda poměrových kritérií se projevuje při posuzování nízkých koncentrací plynů nebo jejich absencí ve vzorku. Z definice vyplývá, že stejný poměr mohou vytvořit dvě značně malá ale i velmi velká čísla. Proto se stanovuje minimální koncentrace plynů, při které je ještě možné poměry určovat a nevede k zavádějícím závěrům. Dalším omezením je i dělení nulou při absenci hodnoty ve jmenovateli zlomku.

Tab. 2.2 Typické hodnoty přírůstků plynu transformátorů v [ppm] [10]

	CO ₂	CO	H ₂	CH ₄	C ₂ H ₆	C ₂ H ₄	C ₂ H ₂
Výroba	5 100–13 000	540–900	60– 50	40–110	50–90	60–280	3–50
Přenos	5 300–12 000	400–850	75– 50	35–50	50–70	110–250	80–270

Hlavní sledované plyny tvoří tyto poměry:

$$\frac{C_2H_2}{C_2H_4} \quad \frac{CH_4}{H_2} \quad \frac{C_2H_4}{C_2H_6}$$

Tyto poměry vytváří specifikující kritéria uvedené v Tab. 2.3

Tab. 2.3 DGA interpretace hodnot [11]

Třída	Charakteristická chyba	$\frac{C_2H_2}{C_2H_4}$	$\frac{CH_4}{H_2}$	$\frac{C_2H_4}{C_2H_6}$
PD	Částečné výboje	NS ¹⁾	< 0,1	< 0,2
D1	Výboje nízké energie	> 1	0,1 - 0,5	> 1
D2	Výboje vysoké energie	0,6 – 2,5	0,1 – 1	>2
T1	Teplotní defekt, t < 300 °C	NS ¹⁾	> 1	< 1
T2	Teplotní defekt, 300 °C < t < 700 °C	< 0,1	> 1	1 - 4
T3	Teplotní defekt, t > 700 °C	< 0,2 ²⁾	> 1	> 4

¹⁾ nesignifikantní
²⁾ Zvyšující se hodnota může znamenat hot-spot teplotu přesahující 1000 °C

Interpretace v normě není striktní, ale doplňuje ji řada zpřesňujících poznámek a tolerančních pásem.

Zjednodušené hodnocení také lze odečíst ze dvou poměrů. Pro částečné výboje (třída PD) je dostačující poměr $CH_4 / H_2 < 0,2$, dále pro elektrické výboje (třída D) dostačuje poměr $C_2H_2 / C_2H_4 > 0,2$, který při hodnotě < 0,2 naopak indikuje tepelnou závadu (třída T).

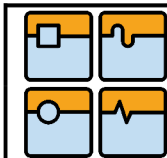
2.2.1 Pomocná kritéria

U metody dle normy ČSN IEC 60 599 existují ještě takzvaná pomocná kritéria. Jsou zastoupeny plyny CO, CO₂, O₂, N₂, ΣC_xH_y .

Tyto plyny tvoří dané poměry:

$$\frac{CO_2}{CO} \quad \frac{O_2}{N} \quad \frac{CO_2}{\Sigma C_xH_y} \quad \frac{C_2H_2}{H_2}$$

Poměr plynů CO₂/CO se používá k hodnocení stupně degradace papírové izolace. Pokud je hodnota poměru < 3, může být papírová izolace tepelně poškozena a dochází k uhelnatění. Pokud hodnota poměru přesahuje 11, pak se projevuje v izolaci zvýšená teplota. Poměr plynů O₂/N₂ je používán ke sledování vývoje kyslíku. Mezi další pomocné kritérium patří poměr CO₂/ ΣC_xH_y . Je vhodný tehdy, pokud je plyn po odplynění oleje ve stopových množstvích. Pro poměr < 100 a ≥ 10 je indikováno podezření závady a při poměru menším než 10 je indikována porucha



transformátoru. Tento poměr používá např. firma ELDIAG Praha [10]. Poměr C_2H_2/H_2 slouží ke sledování průniku plynů i do nádoby transformátoru.

2.3 DUVALŮV TROJÚHELNÍK

Tato metoda, která byla vyvinutá Michalem Duvallem, se stala součástí normy IEC 60599. Je využívána hlavně při podezření na poruchy související se zvýšením koncentrace plynů.

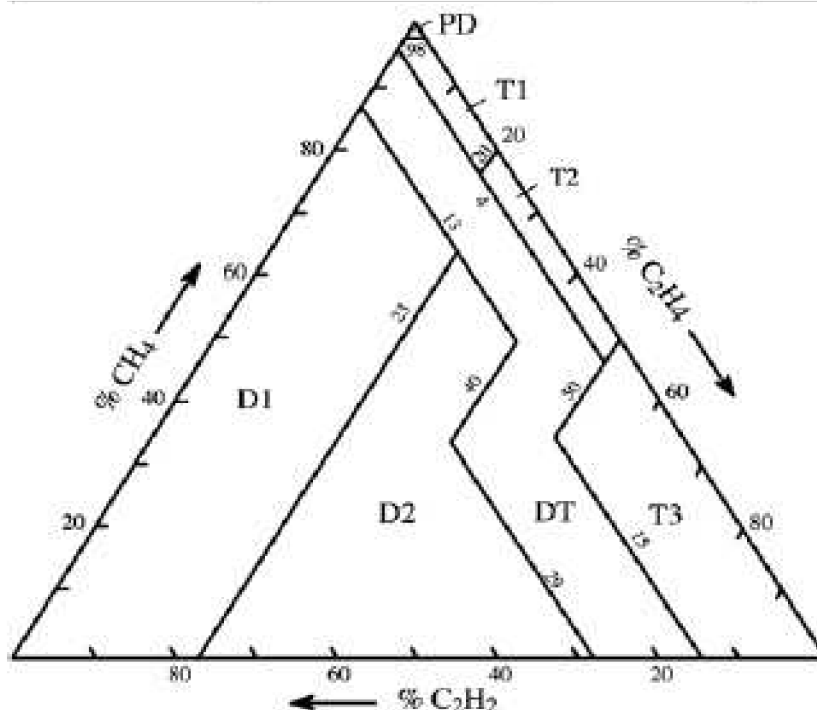
Metoda je založena na koncentracích plynů C_2H_2 , C_2H_4 , CH_4 . Pro vhodné sestavení trojúhelníku je třeba vyjádřit jednotlivé plyny v procentech z celkového množství těchto plynů:

$$\%C_2H_2 = \frac{100 * C_2H_2}{C_2H_2 + C_2H_4 + CH_4}$$

$$\%C_2H_4 = \frac{100 * C_2H_4}{C_2H_2 + C_2H_4 + CH_4}$$

$$\%CH_4 = \frac{100 * CH_4}{C_2H_2 + C_2H_4 + CH_4}$$

Získané souřadnice plynů $\%C_2H_2$; $\%C_2H_4$; $\%CH_4$ se vynášejí do trojúhelníkového souřadnicového systému v Duvalově trojúhelníku Obr. 2.1.



Obr. 1.7 Duvalův trojúhelník [11]

Trojúhelník je rozdělen do zón, které odpovídají jedné z poruch. Jejich celkové rozložení je uvedeno v Tab. 2.4.

Tab. 2.4 Popis zón Duvalova trojúhelníku

Zkratka	Typ poruchy
PD	Částečné Výboje
D1	Výboje nízké energie
D2	Výboje vysoké energie
T1	Tepelná porucha $T < 300^{\circ}\text{C}$
T2	Tepelná porucha od 300 do 700°C
T3	Tepelná porucha $T > 700^{\circ}\text{C}$
DT	Tepelná porucha nebo elektrický oblouk

2.4 ROGERSOVA METODA

Rogersovu metodu můžeme rozdělit na Rogersovu metodu (1) vycházející z koncentrace plynů H_2 , CH_4 , C_2H_2 , C_2H_4 , C_2H_6 . Plyny vytváří poměry:

$$\frac{\text{C}_2\text{H}_2}{\text{C}_2\text{H}_4} \quad \frac{\text{CH}_4}{\text{H}_2} \quad \frac{\text{C}_2\text{H}_4}{\text{C}_2\text{H}_6} \quad \frac{\text{C}_2\text{H}_6}{\text{CH}_4}$$

Dle hodnoty poměrů plynů získáme určitý kód. Tyto kódy jsou uvedeny v Tab. 2.5. Pro určitou kombinaci kódu je přiřazena porucha. Poruchy a jejich kódy jsou uvedeny v Tab. 2.6

Tab. 2.5 Kódy přiřazené k jednotlivým poměrům Rogersovy metody (1)

Kód	$\frac{\text{C}_2\text{H}_2}{\text{C}_2\text{H}_4}$	$\frac{\text{C}_2\text{H}_6}{\text{CH}_4}$	$\frac{\text{CH}_4}{\text{H}_2}$	$\frac{\text{C}_2\text{H}_4}{\text{C}_2\text{H}_6}$
5			$\leq 0,1$	
0	$< 0,5$	< 1	$> 0,1 < 1$	< 1
1	$\geq 0,5 < 3$	≥ 1	$\geq 1 < 3$	$\geq 1 < 3$
2	≥ 3		≥ 3	≥ 3

Tab. 2.6 Kódy a typy poruch

Porucha	$\frac{\text{C}_2\text{H}_2}{\text{C}_2\text{H}_4}$	$\frac{\text{C}_2\text{H}_6}{\text{CH}_4}$	$\frac{\text{CH}_4}{\text{H}_2}$	$\frac{\text{C}_2\text{H}_4}{\text{C}_2\text{H}_6}$
Bezporuchový stav	0	0	0	0
Částečné výboje	0	0	5	0
Přehřátí $T < 150^{\circ}\text{C}$	0	0	1; 2	0
Přehřátí $150-200^{\circ}\text{C}$	0	1	1; 2	0
Přehřátí $200-300^{\circ}\text{C}$	0	1	0	0
Přehřátí vodičů	0	0	0	1
Porucha vinutí oběhových proudů	0	0	1	1
Přehřátí spojů, jádra a nádrže cirkulujících proudů	0	0	1	2
Přeskok bez opakování	1	0	0	0
Hoření oblouku s opakováním	1; 2	0	0	1; 2
Jiskření s možností změny místa	2	0	0	2
Částečné výboje se stopou po výboji	1; 2	0	5	0

Rogersova metoda (2) byla upravena pro využití tří poměrů:

$$\frac{C_2H_2}{C_2H_4} \quad \frac{CH_4}{H_2} \quad \frac{C_2H_4}{C_2H_6}$$

Tato metoda je využívána hlavně při překročení plynových koncentrací. Jednotlivé poruchy jsou uvedeny v Tab. 2.7 [12].

Tab. 2.7 Typy poruch Rogers (2) [12]

Doporučená diagnóza chyby	$\frac{C_2H_2}{C_2H_4}$	$\frac{CH_4}{H_2}$	$\frac{C_2H_4}{C_2H_6}$
Bezporuchový stav	< 0,1	> 0,1 < 1	< 0,1
Nízkoenergetické výboje	< 0,1	< 0,1	< 0,1
Oblouk, vysokoenergetické výboje	$\geq 0,1 \leq 3$	$\geq 0,1 \leq 1$	> 3
Nízkoteplotní porucha	< 0,1	> 0,1 < 1	$\geq 1 \leq 3$
Tepelná porucha do 700 °C	< 0,1	> 1	$\geq 1 \leq 3$
Tepelná porucha T > 700 °C	< 0,1	> 1	> 3

2.5 DOERNENBURGOVA METODA

Doernenburgova metoda sleduje obdobné principy jako metoda Rogersova. Pro detekci využívá těchto plynů C_2H_2 , C_2H_4 , CH_4 , H_2 , C_2H_6 . Dané poměry pro plyny jsou:

$$\frac{C_2H_2}{C_2H_4} \quad \frac{CH_4}{H_2} \quad \frac{C_2H_6}{C_2H_2} \quad \frac{C_2H_2}{CH_4}$$

Výsledné druhy poruch pro tuto metodu jsou uvedeny v Tab. 2.8

Tab. 2.8 Typy poruch Doernenburg [13]

Doporučená diagnóza chyby	$\frac{C_2H_2}{C_2H_4}$	$\frac{CH_4}{H_2}$	$\frac{C_2H_6}{C_2H_2}$	$\frac{C_2H_2}{CH_4}$
Tepelná porucha	< 0,75	> 0,1	> 0,4	< 0,3
Nízkoenergetické výboje	Bezvýznamné	< 0,1	> 0,4	< 0,3
Oblouk, vysokoenergetické výboje	> 0,75	> 0,1 < 1	< 0,4	> 0,3

3 ZMĚŘENÉ DIAGNOSTICKÉ VELIČINY

Se souhlasem společnosti ČEPS, a.s., ORGREZ, a.s a EGÚ Brno, a.s. byla převzata data viz Příloha 1, 2, 3, 4, 5, 6.

Data měření ČEPS, a.s. z vysokonapětového transformátoru typu T402 Q viz Příloha 1 a vysokonapětového transformátoru typu L 401 L3 viz Příloha 2 Data byla získána za pomoci přístroje TRANSPORT X (rozebrán výše).

Data měření společnosti ORGREZ, a.s. vysokonapětového transformátoru typu T402 Q viz Příloha 3. Data byla získána za pomoci metody plynové chromatografie (rozebrána výše). Sedmáct měřených vzorků bylo získáno v období od 08. 07. 1998 do 14. 11. 2011. V tomto období bylo na transformátoru provedeno v letech 2006 a 2011 odplynění, na to musí být při vyhodnocování brán zřetel.

Data měření EGÚ Brno, a.s. vysokonapětového transformátoru typu T402 jsou uvedeny v Příloze 4, 5 a 6. Data byla získána za pomoci metody plynové chromatografie (rozebrána výše). Třicet pět měřených vzorků bylo získáno v období od 21. 10. 1991 do 19. 10. 2009. V tomto období bylo na transformátoru provedeno v letech 1992 a 2002 odplynění, na to musí být při vyhodnocování brán zřetel.

3.1 POROVNÁNÍ PLYNOVÉ CHROMATOGRRAFIE A SYSTÉMU TRANSPORT X

V této kapitole je pozornost soustředěna na porovnání výsledků metod analýzy plynů systémem TRANSPORT X (kap. 1.5) a plynovou chromatografií (kap. 1.4.3). K tomuto porovnání slouží odebrané vzorky oleje z transformátoru T402 Q SN:146777. Tyto vzorky byly současně testovány přístrojem Transport X a plynovou chromatografií u spol. ORGREZ. Výsledné relevantní hodnoty jsou uvedeny v Tab. 3.1 a Tab. 3.2

Tab. 3.1 Hodnoty naměřené přístrojem TRANSPORT X

Odběr	H ₂	CH ₄	C ₂ H ₆	C ₂ H ₄	C ₂ H ₂	CO	CO ₂
datum	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
15.1.2010	6,0	60,0	36,0	224,0	3,0	841,0	3 666,0
23.2.2010	7,0	54,0	16,0	132,0	2,0	772,0	3 185,0
23.3.2010	6,0	46,0	21,0	133,0	1,5	726,0	3 185,0
21.4.2010	5,0	44,0	20,0	131,0	1,5	720,0	3 014,0

Tab. 3.2 Hodnoty naměřené plynovou chromatografií

Odběr	H ₂	CH ₄	C ₂ H ₆	C ₂ H ₄	C ₂ H ₂	CO	CO ₂
datum	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
15.1.2010	33,7	58,8	12,7	143,6	3,8	914,3	3 490,5
23.2.2010	26,5	53,6	11,2	126,3	3,4	802,4	3 165,3
23.3.2010	30,6	53,2	11,1	122,0	3,6	810,4	3 200,7
21.4.2010	40,6	54,8	11,9	126,4	4,0	838,8	1 298,4

Nejprve jsou uvedeny výsledky statistické analýzy. V další části kapitoly jsou uvedeny výsledky jednotlivých metod využívaných k vyhodnocení stavu

transformátoru. Úplně na závěr této kapitoly jsou rozebrány celkově získané výsledky.

3.1.1 Porovnání dle statistické hypotézy

Metody jsou nejdříve porovnávány pomocí matematické statistiky a to za pomoci Mannova - Whitneyova testu na hladině významnosti 5%.

Pro test vypočítáme hodnotu statistiky

$$U_1 = m \cdot n + \frac{m(m+1)}{2} - T_1 \quad [-] \quad (3.1) [13]$$

kde: m je počet měření přístrojem TRANSPORT X
n je počet měření plynovou chromatografií
 T_1 je součet všech pořadí odpovídající statickému souboru (x_1, \dots, x_m)
Hypotézu $H : F = G$ nezamítneme, jestliže:

$$U_1 \in \overline{W}_\alpha = \langle v_{\alpha/2} + 1, m \cdot n - (v_{\alpha/2} + 1) \rangle \quad [-] \quad (3.2) [13]$$

kde: $v_{\alpha/2}$ je $(\alpha/2)$ kvantil Mannovy – Whitneyovy statistiky

Získané hodnoty pro vodík jsou uvedeny v Tab. 3.3 kde x jsou hodnoty měřené přístrojem TRANSPORT X a y jsou hodnoty měřené plynovou chromatografií.

Tab. 3.3 Výpočtové hodnoty

x	y	Pořadí x	Pořadí y	U_1	Dolní mez	Horní mez
6	34	2,5	7	16	1	15
7	27	4	5			
6	31	2,5	6			
5	41	1	8			
Σ		10	26			

Protože $U_1 = 16 \notin \overline{W}_{0,05} = \langle 1; 15 \rangle$ zamítáme na hladině významnosti 5 % hypotézu $H:F=G$.

Získané hodnoty pro oxid uhličitý jsou uvedeny v Tab. 3.4 kde x jsou hodnoty měřené přístrojem TRANSPORT X a y jsou hodnoty měřené plynovou chromatografií.

Tab. 3.4 Výpočtové hodnoty

x	y	Pořadí x	Pořadí y	U_1	Dolní mez	Horní mez
3666	3491	8	7	7	1	15
3185	3165	4,5	3			
3185	3201	4,5	6			
3014	1298	2	1			
Σ		19	17			

Protože $U_1 = 7 \in \overline{W}_{0,05} = \langle 1; 15 \rangle$ nezamítáme na hladině významnosti 5 % hypotézu H:F=G.

Získané hodnoty pro oxid uhelnatý jsou uvedeny v Tab. 3.5 kde x jsou hodnoty měřené přístrojem TRANSPORT X a y jsou hodnoty měřené plynovou chromatografií.

Tab. 3.5 Výpočtové hodnoty

x	y	Pořadí x	Pořadí y	U_1	Dolní mez	Horní mez
841	914	7	8	13	1	15
772	802	3	4			
726	810	2	5			
720	839	1	6			
Σ		13	23			

Protože $U_1 = 13 \in \overline{W}_{0,05} = \langle 1; 15 \rangle$ nezamítáme na hladině významnosti 5 % hypotézu H:F=G.

Získané hodnoty pro etylen jsou uvedeny v Tab. 3.6 kde x jsou hodnoty měřené přístrojem TRANSPORT X a y jsou hodnoty měřené plynovou chromatografií.

Tab. 3.6 Výpočtové hodnoty

x	y	Pořadí x	Pořadí y	U_1	Dolní mez	Horní mez
224	144	8	7	3	1	15
132	126	5	2			
133	122	6	1			
131	126	4	3			
Σ		23	13			

Protože $U_1 = 3 \in \overline{W}_{0,05} = \langle 1; 15 \rangle$ nezamítáme na hladině významnosti 5 % hypotézu H:F=G.

Získané hodnoty pro etan jsou uvedeny v Tab. 3.7 kde x jsou hodnoty měřené přístrojem TRANSPORT X a y jsou hodnoty měřené plynovou chromatografií.

Tab. 3.7 Výpočtové hodnoty

x	y	Pořadí x	Pořadí y	U_1	Dolní mez	Horní mez
36	13	8	4	0	1	15
16	11	5	1,5			
21	11	7	1,5			
20	12	6	3			
Σ		26	10			

Protože $U_1 = 0 \notin \overline{W}_{0,05} = \langle 1; 15 \rangle$ zamítáme na hladině významnosti 5 % hypotézu H:F=G.

Získané hodnoty pro metan jsou uvedeny v Tab. 3.8 kde x jsou hodnoty měřené přístrojem TRANSPORT X a y jsou hodnoty měřené plynovou chromatografií.

Tab. 3.8 Výpočtové hodnoty

x	y	Pořadí x	Pořadí y	U_1	Dolní mez	Horní mez
60	59	8	7	10,5	1	15
54	54	4,5	4,5			
46	53	2	3			
44	55	1	6			
Σ		15,5	20,5			

Protože $U_1 = 10,5 \in \overline{W}_{0,05} = \langle 1; 15 \rangle$ nezamítáme na hladině významnosti 5 % hypotézu H:F=G.

Získané hodnoty pro acetylen jsou uvedeny v Tab. 3.9 kde x jsou hodnoty měřené přístrojem TRANSPORT X a y jsou hodnoty měřené plynovou chromatografií.

Tab. 3.9 Výpočtové hodnoty

X	y	Pořadí x	Pořadí y	U_1	Dolní mez	Horní mez
3	4	4,5	7	15,5	1	15
2	3	3	4,5			
1,5	4	1,5	7			
1,5	4	1,5	7			
Σ		10,5	25,5			

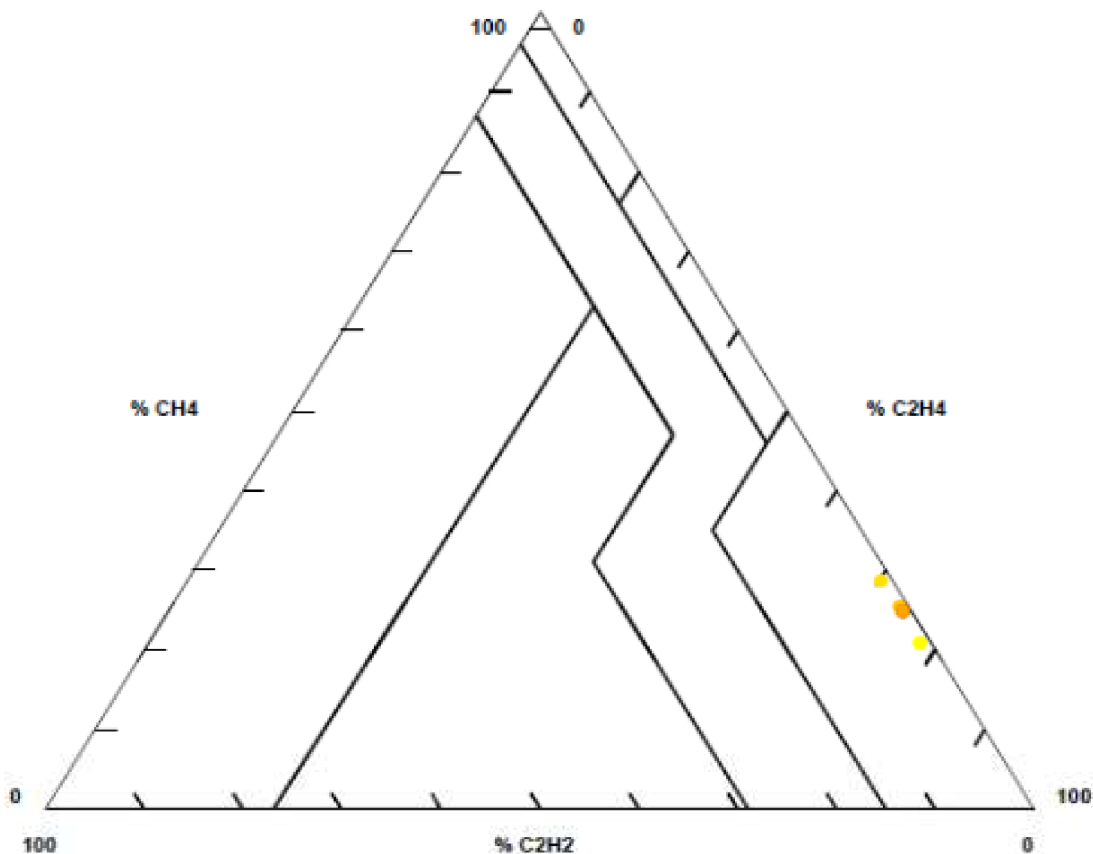
Protože $U_1 = 15,5 \notin \overline{W}_{0,05} = \langle 1; 15 \rangle$ zamítáme na hladině významnosti 5 % hypotézu H:F=G.

3.1.2 Posouzení metod dle analytických kritérií

Tato podkapitola rozebírá chování získaných výsledků z transformátoru T402Q metodami plynové chromatografie a přístroje TRANSPORT X, při vyhodnocování možných poruchových stavů.





a) Duvalův trojúhelník

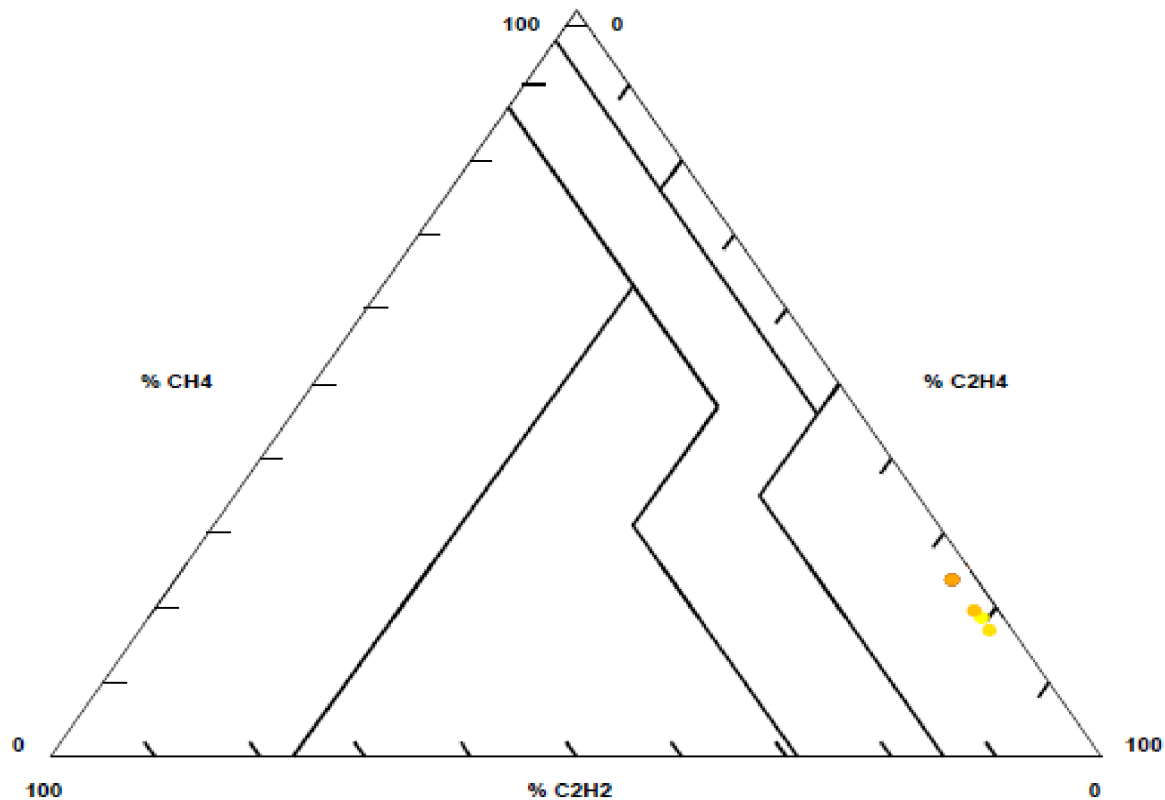
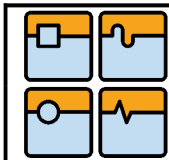
Na Obr. 3.1 jsou znázorněny výsledky v Duvalově trojúhelníku pro transformátor T402Q získané z přístroje TRANSPORT X. Z Tab. 3.10 je patrné, že se u tohoto transformátoru dle Duvalova trojúhelníku vyskytla tepelná porucha $T > 700$ °C. Tato porucha je indikována také výsledky chromatografického rozboru, jehož grafické zobrazení je na Obr. 3.2 a vypočtené poměry uvedeny v Tab. 3.11. Indexy na obrázcích jsou vlivem grafiky programu, kde se to zpracovávalo psány normálními čísly.



Obr. 3.1 Duvalův trojúhelník TRANSPORT X

Tab. 3.10 Výpočtové hodnoty TRANSPORT X

Datum	% CH ₄	% C ₂ H ₄	%C ₂ H ₂	Barva	Vyhodnocení
15. 1. 2010	20,9	78,0	1,1		Tepelná porucha $T > 700$ °C
23. 2. 2010	28,7	70,2	1,1		Tepelná porucha $T > 700$ °C
23. 3. 2010	25,5	73,7	0,8		Tepelná porucha $T > 700$ °C
21. 4. 2010	24,9	74,2	0,8		Tepelná porucha $T > 700$ °C



Obr. 3.2 Duvalův trojúhelník chromatografie

Tab. 3.11 Výpočtové hodnoty chromatografie

Datum	% CH ₄	% C ₂ H ₄	% C ₂ H ₂	Barva	Vyhodnocení
15. 1. 2010	18,6	79,3	2,1	žlutá	Tepelná porucha T > 700 °C
23. 2. 2010	17,0	80,9	2,1	žlutá	Tepelná porucha T > 700 °C
23. 3. 2010	19,6	78,1	2,3	oranžová	Tepelná porucha T > 700 °C
21. 4. 2010	23,8	73,9	2,3	oranžová	Tepelná porucha T > 700 °C

b) Doernenburgova metoda

Výpočty poměrů plynů jsou v Tab. 3.12 provedeny na 2 desetinná místa jako doporučené hodnoty přesnosti pro danou poměrovou metodu a vzhledem k udávaným přesnostem měřících zařízení. Tato metoda indikuje v obou souborech měření tepelnou závadu.

Tab. 3.12 Výpočtové hodnoty

C ₂ H ₂ /C ₂ H ₄	CH ₄ /H ₂	C ₂ H ₆ /C ₂ H ₂	C ₂ H ₂ /CH ₄	Vyhodnocení
TRANSPORT X				
0,01	10,00	6,22	0,05	Tepelná porucha
0,02	7,71	8,25	0,04	Tepelná porucha
0,01	7,67	6,33	0,03	Tepelná porucha
0,01	8,80	6,55	0,03	Tepelná porucha
Plynová chromatografie				
0,03	1,74	11,31	0,06	Tepelná porucha
0,03	2,02	11,28	0,06	Tepelná porucha
0,03	1,74	10,99	0,07	Tepelná porucha
0,03	1,35	10,62	0,07	Tepelná porucha

c) Rogersovou metodou (1)

Data analyzovaná za pomoci Rogersovy metody (1) indikují rozdílnou chybu v získaných datech z přístroje TRANSPORT X a plynové chromatografie. Při analýze vzorku ze zařízení TRANSPORT X není jednoznačně určen kód chyby, kdežto data získaná z plynové chromatografie indikují přehřátí spojů, jádra a nádrže cirkulujících proudů

Tab. 3.12 Výpočtové hodnoty

C ₂ H ₂ /C ₂ H ₄	CH ₄ /H ₂	C ₂ H ₄ /C ₂ H ₆	C ₂ H ₆ /CH ₄	Vyhodnocení
TRANSPORT X				
0,01	10,00	6,22	0,60	Není jednoznačně určeno
0,02	7,71	8,25	0,30	Není jednoznačně určeno
0,01	7,67	6,33	0,46	Není jednoznačně určeno
0,01	8,80	6,55	0,45	Není jednoznačně určeno
Plynová chromatografie				
0,03	1,74	11,31	0,22	Přehřátí spojů, jádra a nádrže cirkulujících proudů
0,03	2,02	11,28	0,21	Přehřátí spojů, jádra a nádrže cirkulujících proudů
0,03	1,74	10,99	0,21	Přehřátí spojů, jádra a nádrže cirkulujících proudů
0,03	1,35	10,62	0,22	Přehřátí spojů, jádra a nádrže cirkulujících proudů

d) Rogersovou metodou (2)

Při analýze Rogersovou metodou (2), se díky zjednodušenému systému poměrových kritérií neprojevuje rozdílnost výsledků a metoda indikuje pro oba soubory hodnot stejnou závadu tepelné poruchy $T > 700\text{ °C}$.

Tab. 3.13 Výpočtové hodnoty

C2H2/C2H4	CH4/H2	C2H6/C2H2	Vyhodnocení
TRANSPORT X			
0,01	10,00	6,22	Tepelná porucha $T > 700\text{ °C}$
0,02	7,71	8,25	Tepelná porucha $T > 700\text{ °C}$
0,01	7,67	6,33	Tepelná porucha $T > 700\text{ °C}$
0,01	8,80	6,55	Tepelná porucha $T > 700\text{ °C}$
Plynová chromatografie			
0,03	1,74	11,31	Tepelná porucha $T > 700\text{ °C}$
0,03	2,02	11,28	Tepelná porucha $T > 700\text{ °C}$
0,03	1,74	10,99	Tepelná porucha $T > 700\text{ °C}$
0,03	1,35	10,62	Tepelná porucha $T > 700\text{ °C}$


e) Metodou sledování poměrových kritérií IEC 60599

Výpočty jdou v Tab. 3.14 provedeny na 2 desetinná místa jako doporučené hodnoty přesnosti pro danou poměrovou metodu a vzhledem k udávaným přesnostem měřících zařízení.

Tato metoda u obou souborů hodnot vykazuje stejné výsledky tepelné poruch $T > 700\text{ °C}$.

Tab. 3.14 Výpočtové hodnoty

C2H2/C2H4	CH4/H2	C2H4/C2H6	Vyhodnocení
TRANSPORT X			
0,01	37,33	6,22	Tepelná porucha $T > 700\text{ °C}$
0,02	18,86	8,25	Tepelná porucha $T > 700\text{ °C}$
0,01	22,17	6,33	Tepelná porucha $T > 700\text{ °C}$
0,01	26,20	6,55	Tepelná porucha $T > 700\text{ °C}$
Plynová chromatografie			
0,03	4,26	11,31	Tepelná porucha $T > 700\text{ °C}$
0,03	4,77	11,28	Tepelná porucha $T > 700\text{ °C}$
0,03	3,99	10,99	Tepelná porucha $T > 700\text{ °C}$
0,03	3,11	10,62	Tepelná porucha $T > 700\text{ °C}$

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 34
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

3.1.3 Vyhodnocení porovnání přístroje Transport X a plynové chromatografie

Při využití Mannova - Whitneyova testu byly zamítnuty hypotézy shody výsledků získaných přístrojem TRANSPORT X a plynovou chromatografií pro vodík, etan a acetylen, ovšem nebyly vyloučeny hypotézy shody pro oxid uhličitý, oxid uhelnatý, etylen a metan.

Z toho vyplývá, že při posouzení obou metod nelze jednoznačně potvrdit hypotézu shody měření. Hypotézy ovšem nejdou vyloučit u signifikantních plynů, od toho se také odvíjí výsledek docílený sledováním poměrovými kritérii.

Mimo Rogersovu metodu (1) je výsledek vyhodnocený poměrovými kritérii vyplývající z přístroje TRANSPORT X a plynové chromatografie shodný.

Všechny metody signalizují tepelnou závadu, a to dle stupně rozlišitelnosti stanovenou pro dané metody. Výsledky udávané Rogersovou metodou (1) udávají pro chromatografií indikaci přehřátí spojů, jádra a nádrže cirkulujících proudů, kdežto měřením dostáváme kód signalizující sdruženou poruchu, která není přesně definována.

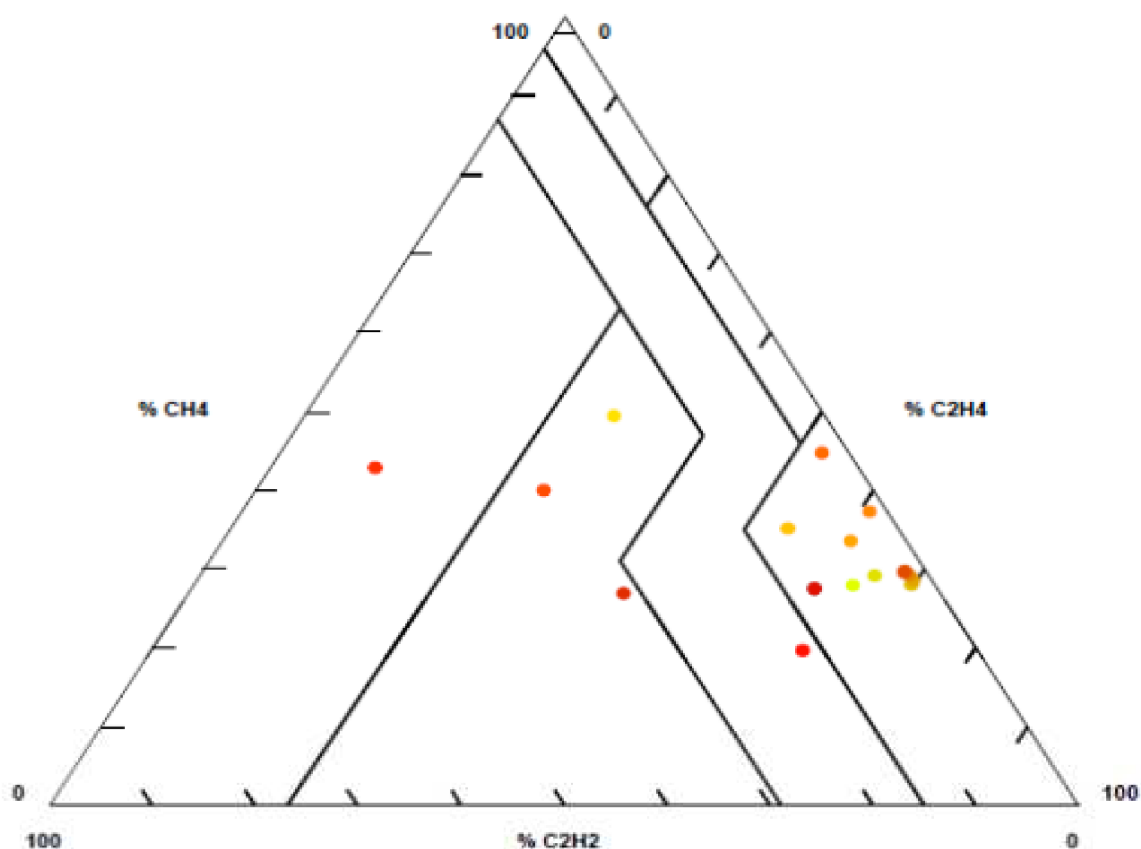
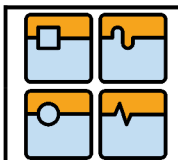
3.2 HODNOCENÍ VYBRANÝCH METOD POMĚRŮ PLYNŮ

Tato kapitola předestírá vyhodnocení dlouhodobého vývoje transformátoru T402 Q a transformátoru T402 z pohledu jednotlivých metod a jejich vhodnosti pro danou analýzu.

3.2.1 Duvalův trojúhelník

Na Obr. 3.3 jsou znázorněny výsledky v Duvalově trojúhelníku pro transformátor T 402 Q v průběhu doby jeho provozu. Z Tab. 3.15 je patrné, že se u tohoto transformátoru, dle Duvalova trojúhelníku, vyskytla tepelná porucha $T > 700$ °C.

Údaje v letech 1998, 2006 a 2011 jsou zřesleny provedenou filtrací oleje viz Příloha 3. Tento stav se promítá i do indikovaného chybového stavu. Obecně tato metoda velmi dobře identifikuje hlavně závady tepelného charakteru.

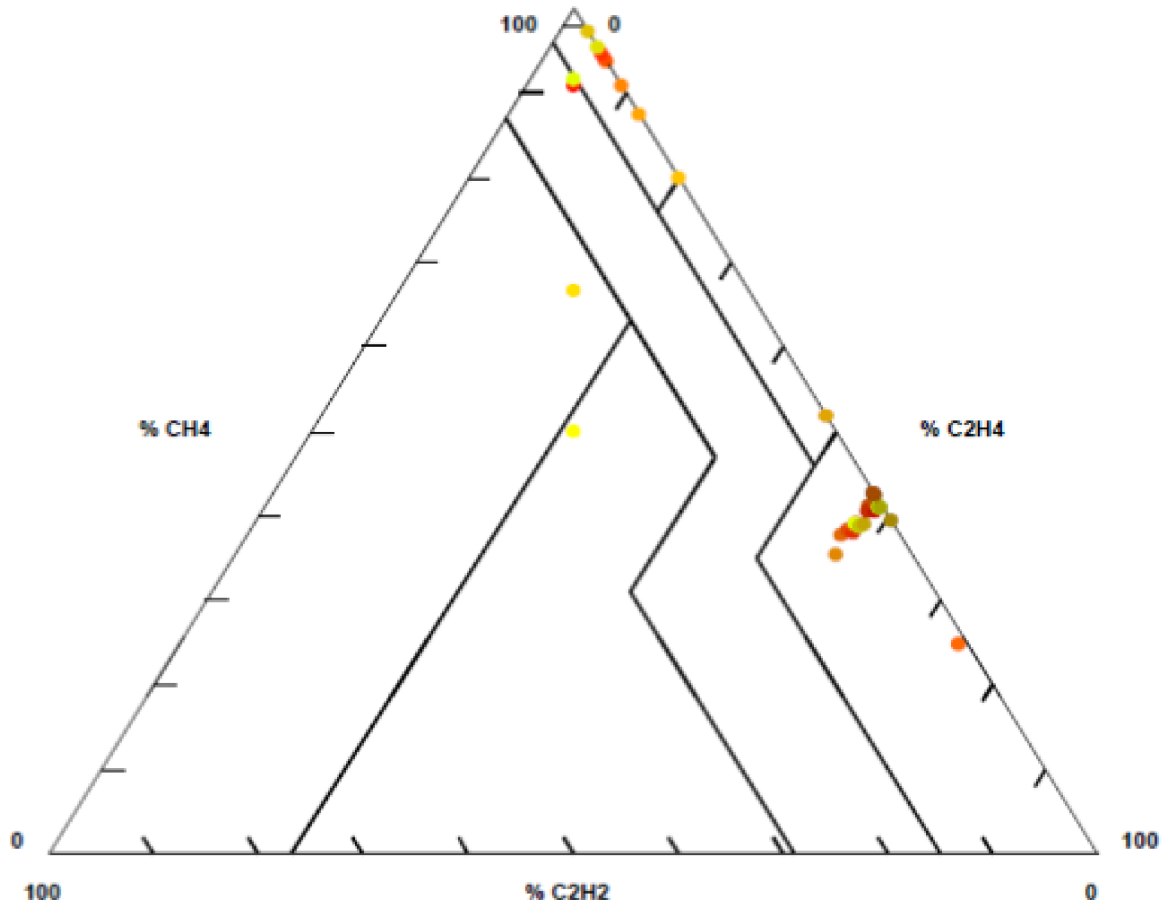


Obr. 3.3 Duvalův trojúhelník pro T402 Q

Tab. 3.15 Výpočtové hodnoty

Datum	% CH ₄	% C ₂ H ₄	%C ₂ H ₂	Barva	Vyhodnocení
8.7.1998	49,4	30,1	20,5	●	Vysokoenergetické výboje
21.5.2001	35,1	54,2	10,7	●	Tepelná porucha T > 700 °C
27.11.2002	33,6	61,0	5,4	●	Tepelná porucha T > 700 °C
21.10.2003	37,3	61,0	1,7	●	Tepelná porucha T > 700 °C
23.8.2004	44,7	52,7	2,6	●	Tepelná porucha T > 700 °C
23.11.2006	40,0	28,0	32,0	●	Vysokoenergetické výboje
28.3.2006	42,9	10,2	46,9	●	Nízkoenergetické výboje
16.10.2006	19,7	63,3	17,0	●	Není definováno
13.9.2007	27,9	64,1	8,0	●	Tepelná porucha T > 700 °C
13.10.2008	29,2	65,6	5,2	●	Tepelná porucha T > 700 °C
18.11.2009	28,0	69,7	2,3	●	Tepelná porucha T > 700 °C
13.1.2010	28,5	69,6	1,9	●	Tepelná porucha T > 700 °C
23.2.2010	29,2	68,9	1,9	●	Tepelná porucha T > 700 °C
23.3.2010	29,8	68,2	2,0	●	Tepelná porucha T > 700 °C
5.5.2010	29,5	68,3	2,2	●	Tepelná porucha T > 700 °C
21.1.2011	26,9	42,3	30,8	●	Vysokoenergetické výboje
14.11.2011	27,5	60,6	11,9	●	Tepelná porucha T > 700 °C

Na Obr. 3.4 jsou znázorněny výsledky v Duvalově trojúhelníku pro transformátor T 402 během let jeho provozu. Z Tab. 3.16 je patrné, že se u tohoto transformátoru dle Duvalova trojúhelníku vyvinula tepelná porucha do 300°C, která postupně přešla do tepelné poruchy $T > 700^{\circ}\text{C}$, také je patrný vliv odplynění.



Obr. 3.3 Duvalův trojúhelník pro T 402

Tab. 3.16 Výpočtové hodnoty

Datum	% CH ₄	% C ₂ H ₄	%C ₂ H ₂	Barva	Vyhodnocení
21. 10. 1991	50,0	25,0	25,0	●	Vysokoenergetické výboje
25. 8. 1992	66,7	16,7	16,7	●	Nízkoenergetické výboje
9. 11. 1992					Neměřeno
9. 6. 1993					Neměřeno
8. 3. 1994	80,0	20	0,0	●	Tepelná porucha T < 300°C
28. 11. 1994	87,5	12,5	0,0	●	Tepelná porucha T < 300°C
11. 9. 1995	90,9	9,1	0,0	●	Tepelná porucha T < 300°C
19. 9. 1996	93,8	6,3	0,0	●	Tepelná porucha T < 300°C
27. 8. 1997	94,1	5,9	0,0	●	Tepelná porucha T < 300°C
14. 10. 1998	94,7	5,3	0,0	●	Tepelná porucha T < 300°C
13. 10. 1999	90,9	4,5	4,5	●	Kombinace tepelné a elektrické chyby
31. 10. 2000	91,7	4,2	4,2	●	Kombinace tepelné a elektrické chyby
16. 10. 2001	95,5	4,5	0,0	●	Tepelná porucha T < 300°C
7. 5. 2002	97,3	2,7	0,0	●	Tepelná porucha T < 300°C
15. 4. 2003	51,9	48,1	0,0	●	Tepelná porucha od 300 °C do 700 °C
3. 12. 2003	35,4	57,3	7,3	●	Tepelná porucha T > 700 °C
27. 1. 2004	37,7	56,6	5,6	●	Tepelná porucha T > 700 °C
24. 5. 2004	38,4	56,9	4,7	●	Tepelná porucha T > 700 °C
8. 12. 2004	38,0	57,6	4,3	●	Tepelná porucha T > 700 °C
30. 5. 2005	39,2	57,3	3,5	●	Tepelná porucha T > 700 °C
29. 7. 2005	39,1	57,3	3,6	●	Tepelná porucha T > 700 °C
12. 10. 2005	38,7	57,9	3,4	●	Tepelná porucha T > 700 °C
30. 11. 2005	38,8	57,9	3,3	●	Tepelná porucha T > 700 °C
28. 4. 2006	39,0	58,2	2,8	●	Tepelná porucha T > 700 °C
4. 7. 2006	41,2	57,5	1,3	●	Tepelná porucha T > 700 °C
15. 9. 2006	41,5	57,8	0,6	●	Tepelná porucha T > 700 °C
15. 11. 2006	41,3	57,6	1,2	●	Tepelná porucha T > 700 °C
22. 1. 2007	40,6	57,7	1,7	●	Tepelná porucha T > 700 °C
10. 9. 2007	40,6	58,4	1,0	●	Tepelná porucha T > 700 °C
19. 11. 2007	41,1	58,6	0,4	●	Tepelná porucha T > 700 °C
12. 12. 2007	41,1	58,6	0,4	●	Tepelná porucha T > 700 °C
12. 6. 2008	41,0	58,7	0,3	●	Tepelná porucha T > 700 °C
24. 10. 2008	41,0	58,8	0,3	●	Tepelná porucha T > 700 °C
18. 6. 2009	39,5	60,5	0,0	●	Tepelná porucha T > 700 °C
14. 9. 2009	42,4	57,6	0,0	●	Tepelná porucha T > 700 °C
19. 10. 2009	42,7	57,2	0,1	●	Tepelná porucha T > 700 °C

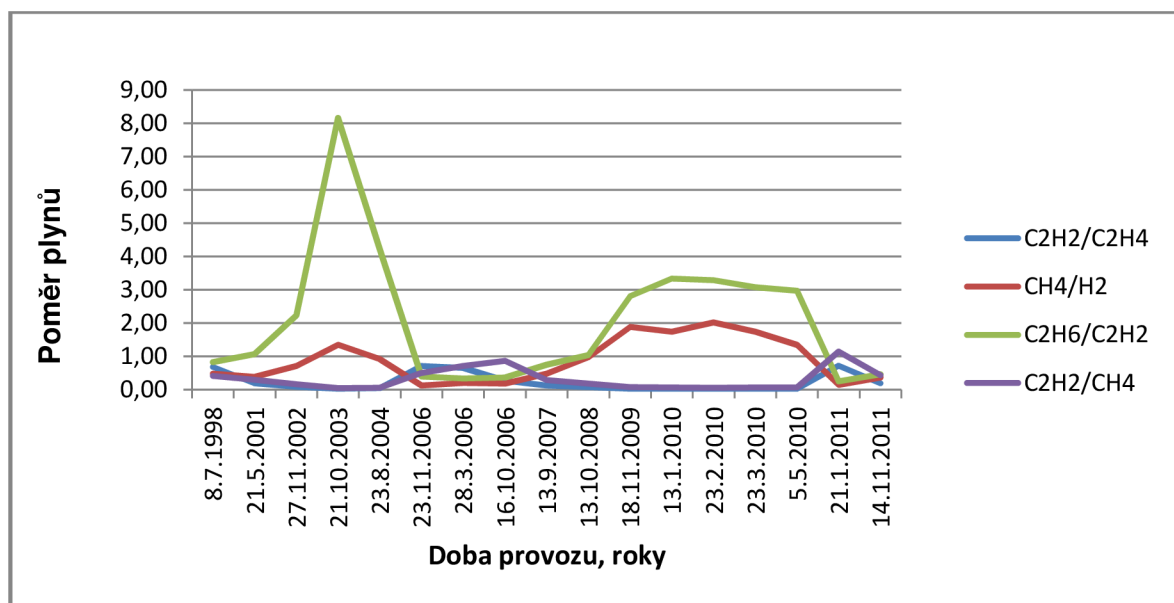
3.2.2 Doernenburgova metoda

Hodnoty využitě k provedení zobrazení vývoje rozkladových plynů v průběhu let jsou uvedeny v Tab. 3.17 pro transformátor T 402 Q a jejich vývoj je zobrazen v Graf. 3.1.

Z těchto hodnot lze stejně jako u Duvalova trojúhelníku vyčíst vliv filtrace na danou metodu. Metoda v ostatních případech stabilně signalizuje tepelnou poruchu.

Tab. 3.17 Výpočtové hodnoty

Datum	C2H2/C2H4	CH4/H2	C2H6/C2H2	C2H2/CH4	Vyhodnocení
8. 7. 1998	0,68	0,49	0,83	0,41	Tepelná porucha
21. 5. 2001	0,20	0,39	1,07	0,30	Tepelná porucha
27. 11. 2002	0,09	0,71	2,23	0,16	Tepelná porucha
21. 10. 2003	0,03	1,35	8,17	0,04	Tepelná porucha
23. 8. 2004	0,05	0,92	4,20	0,06	Tepelná porucha
23. 11. 2006	0,71	0,13	0,40	0,50	Tepelná porucha
28. 3. 2006	0,65	0,20	0,33	0,71	Nedefinováno
16. 10. 2006	0,27	0,19	0,36	0,86	Nedefinováno
13. 9. 2007	0,12	0,48	0,75	0,29	Tepelná porucha
13. 10. 2008	0,08	0,98	1,04	0,18	Tepelná porucha
18. 11. 2009	0,03	1,89	2,81	0,08	Tepelná porucha
13. 1. 2010	0,03	1,74	3,34	0,06	Tepelná porucha
23. 2. 2010	0,03	2,02	3,29	0,06	Tepelná porucha
23. 3. 2010	0,03	1,74	3,08	0,07	Tepelná porucha
5. 5. 2010	0,03	1,35	2,98	0,07	Tepelná porucha
21. 1. 2011	0,73	0,15	0,25	1,14	Nedefinováno
14. 11. 2011	0,20	0,37	0,46	0,43	Tepelná porucha

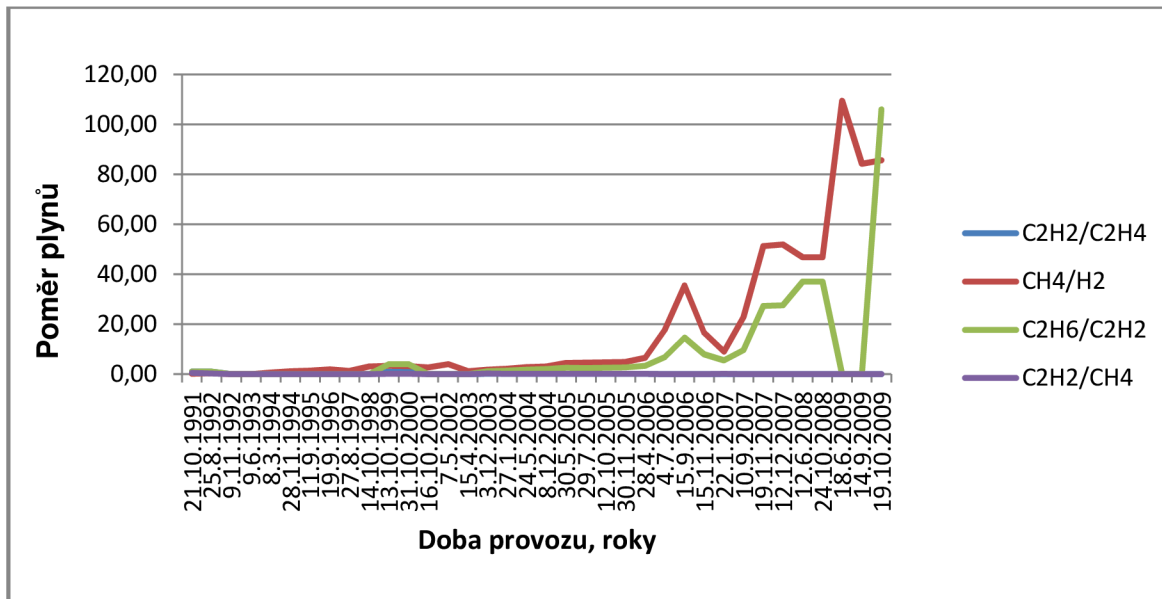
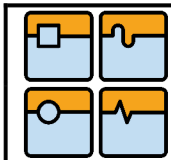


Graf. 3.1 vývoj hodnot rozkladných plynů v průběhu let

Hodnoty pro transformátor T 402, využitě k provedení zobrazení vývoje rozkladových plynů v průběhu let jsou uvedeny v Tab. 3.18 a jejich vývoj je zobrazen v Graf. 3.2. Z těchto hodnot lze vyčíst vývoj tepelné poruchy. Je také patrný problém metody s dělením nulou v získaných měřených hodnotách.

Tab. 3.18 Výpočtové hodnoty

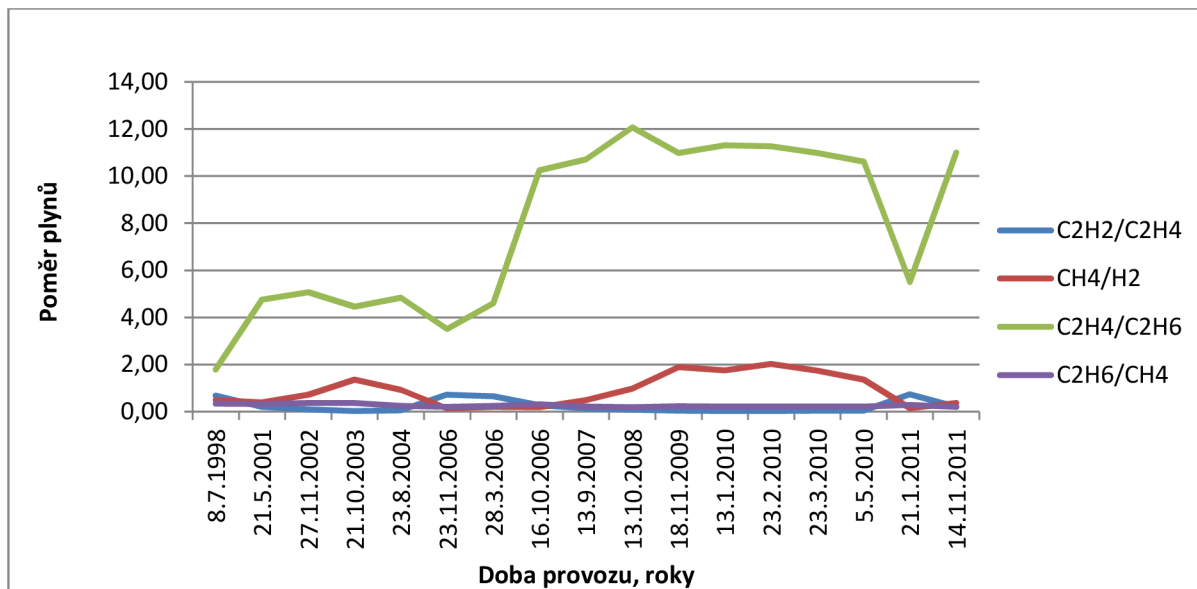
Datum	C2H2/C2H4	CH4/H2	C2H6/C2H2	C2H2/CH4	Vyhodnocení
21. 10. 1991	1,00	0,15	1,00	0,50	Nedefinováno
25. 8. 1992	1,00	0,40	1,00	0,25	Nedefinováno
9. 11. 1992					Neměřeno
9. 6. 1993					Neměřeno
8. 3. 1994	0,00	0,67		0,00	Nedefinováno
28. 11. 1994	0,00	1,17		0,00	Nedefinováno
11. 9. 1995	0,00	1,43		0,00	Nedefinováno
19. 9. 1996	0,00	1,88		0,00	Nedefinováno
27. 8. 1997	0,00	1,23		0,00	Nedefinováno
14. 10. 1998	0,00	3,00		0,00	Nedefinováno
13. 10. 1999	1,00	3,33	4,00	0,05	Nedefinováno
31. 10. 2000	1,00	3,14	4,00	0,05	Nedefinováno
16. 10. 2001	0,00	2,63		0,00	Nedefinováno
7. 5. 2002	0,00	4,00		0,00	Nedefinováno
15. 4. 2003	0,00	1,17		0,00	Nedefinováno
3. 12. 2003	0,13	1,75	1,09	0,21	Tepelná porucha
27. 1. 2004	0,10	2,17	1,43	0,15	Tepelná porucha
24. 5. 2004	0,08	2,86	1,76	0,12	Tepelná porucha
8. 12. 2004	0,08	3,04	2,00	0,11	Tepelná porucha
30. 5. 2005	0,06	4,42	2,54	0,09	Tepelná porucha
29. 7. 2005	0,06	4,55	2,42	0,09	Tepelná porucha
12. 10. 2005	0,06	4,70	2,58	0,09	Tepelná porucha
30. 11. 2005	0,06	4,79	2,67	0,09	Tepelná porucha
28. 4. 2006	0,05	6,49	3,30	0,07	Tepelná porucha
4. 7. 2006	0,02	17,62	6,80	0,03	Tepelná porucha
15. 9. 2006	0,01	35,46	14,57	0,02	Tepelná porucha
15. 11. 2006	0,02	16,50	7,92	0,03	Tepelná porucha
22. 1. 2007	0,03	8,92	5,53	0,04	Tepelná porucha
10. 9. 2007	0,02	22,75	9,55	0,02	Tepelná porucha
19. 11. 2007	0,01	51,22	27,25	0,01	Tepelná porucha
12. 12. 2007	0,01	51,89	27,50	0,01	Tepelná porucha
12. 6. 2008	0,00	46,80	37,00	0,01	Tepelná porucha
24. 10. 2008	0,00	46,80	37,00	0,01	Tepelná porucha
18. 6. 2009	0,00	109,50		0,00	Nedefinováno
14. 9. 2009	0,00	84,20		0,00	Nedefinováno
19. 10. 2009	0,00	85,60	106,00	0,00	Tepelná porucha



Graf. 3.2 Vývoj hodnot rozkladných plynů v průběhu let

3.2.3 Rogersovou metodou (1)

Hodnoty získané pomocí Rogersovy metody jsou značně neprůkazné. Jako nejvýznamnější období jsou indikovány roky 2009 a 2010 kdy dochází, dle hodnot k přehřátí spojů, jádra a nádrže cirkulujících proudů, který má za následek prudké zvyšování koncentrací plynů

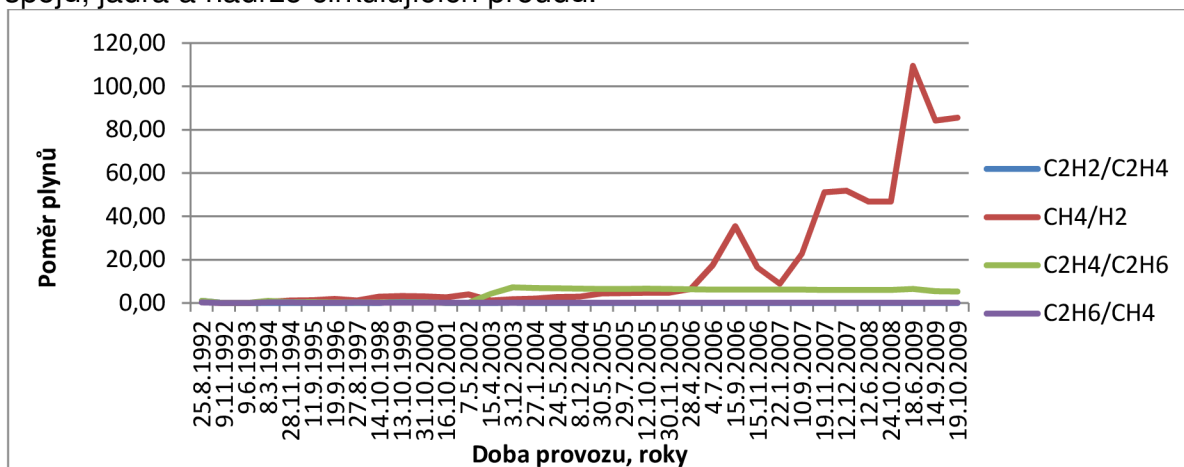


Graf. 3.3 Vývoj hodnot rozkladných plynů v průběhu let

Tab. 3.19 Výpočtové hodnoty

Datum	C2H2/ C2H4	CH4/H2	C2H4/ C2H6	C2H2/ CH4	Vyhodnocení
8. 7. 1998	0,68	0,49	1,77	0,34	Hoření oblouku s možností opakování
21. 5. 2001	0,20	0,39	4,75	0,32	Není jednoznačně určeno
27. 11. 2002	0,09	0,71	5,07	0,36	Není jednoznačně určeno
21. 10. 2003	0,03	1,35	4,46	0,37	Přehřátí spojů, jádra a nádrže cirkulujících proudů
23. 8. 2004	0,05	0,92	4,84	0,24	Není jednoznačně určeno
23. 11. 2006	0,71	0,13	3,50	0,20	Není jednoznačně určeno
28. 3. 2006	0,65	0,20	4,60	0,24	Není jednoznačně určeno
16. 10. 2006	0,27	0,19	10,25	0,31	Není jednoznačně určeno
13. 9. 2007	0,12	0,48	10,71	0,21	Není jednoznačně určeno
13. 10. 2008	0,08	0,98	12,08	0,19	Není jednoznačně určeno
18. 11. 2009	0,03	1,89	10,99	0,23	Přehřátí spojů, jádra a nádrže cirkulujících proudů
13. 1. 2010	0,03	1,74	11,31	0,22	Přehřátí spojů, jádra a nádrže cirkulujících proudů
23. 2. 2010	0,03	2,02	11,28	0,21	Přehřátí spojů, jádra a nádrže cirkulujících proudů
23. 3. 2010	0,03	1,74	10,99	0,21	Přehřátí spojů, jádra a nádrže cirkulujících proudů
5. 5. 2010	0,03	1,35	10,62	0,22	Přehřátí spojů, jádra a nádrže cirkulujících proudů
21. 1. 2011	0,73	0,15	5,50	0,29	Jiskření, možnost změny místa
14. 11. 2011	0,20	0,37	11,00	0,20	Není jednoznačně určeno

Hodnoty získané pomocí Rogersovy metody (1) jsou značně neprůkazné, jako nejvýznamnější jsou indikovány dle Tab. 3.20 poruchy přehřátí $T < 150\text{ °C}$ a přehřátí spojů, jádra a nádrže cirkulujících proudů.



Graf. 3.4 Vývoj hodnot rozkladných plynů v průběhu let

Tab. 3.20 Výpočtové hodnoty

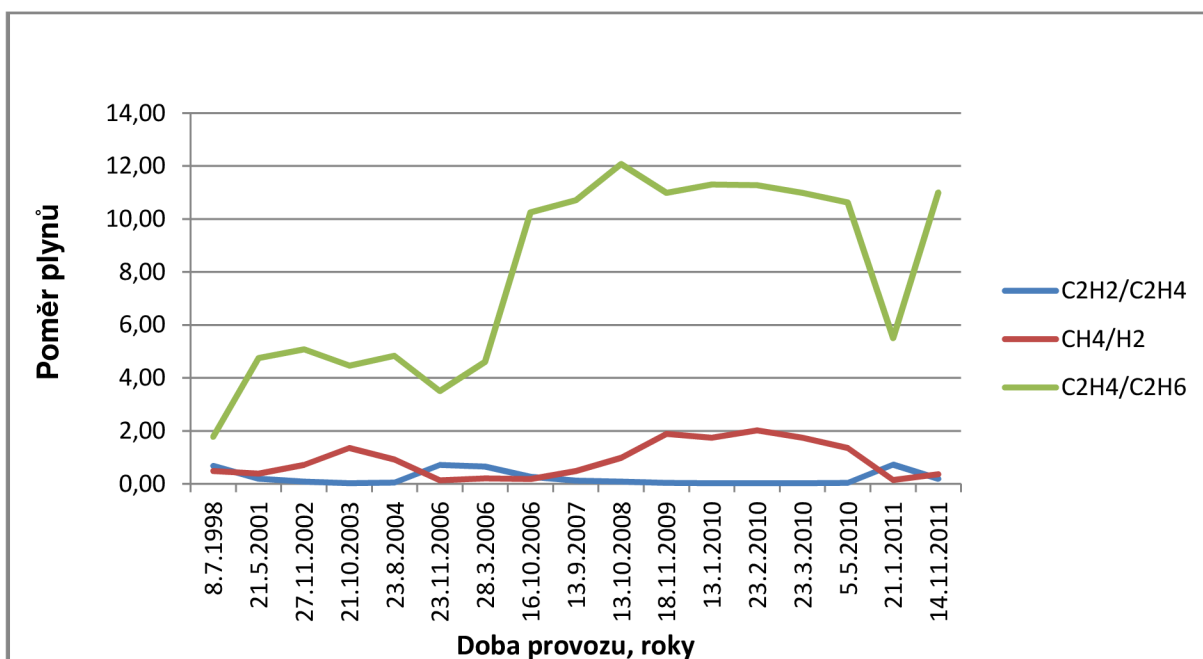
Datum	C ₂ H ₂ / C ₂ H ₄	CH ₄ / H ₂	C ₂ H ₄ / C ₂ H ₆	C ₂ H ₂ / CH ₄	Vyhodnocení
21. 10. 1991	1,00	0,15	1,00	0,50	Hoření oblouku s možností opakování
25. 8. 1992	1,00	0,40	1,00	0,25	Hoření oblouku s možností opakování
8. 3. 1994	0,00	0,67	1,00	0,25	Přehřátí vodičů
28. 11. 1994	0,00	1,17	0,50	0,29	Přehřátí T < 150°C
11. 9. 1995	0,00	1,43	0,50	0,20	Přehřátí T < 150 °C
19. 9. 1996	0,00	1,88	0,33	0,20	Přehřátí T < 150 °C
27. 8. 1997	0,00	1,23	0,25	0,25	Přehřátí T < 150 °C
14. 10. 1998	0,00	3,00	0,25	0,22	Přehřátí T < 150 °C
13. 10. 1999	1,00	3,33	0,25	0,20	Není jednoznačně určeno
31. 10. 2000	1,00	3,14	0,25	0,18	Není jednoznačně určeno
16. 10. 2001	0,00	2,63	0,20	0,24	Přehřátí T < 150 °C
7. 5. 2002	0,00	4,00	0,13	0,22	Přehřátí T < 150 °C
15. 4. 2003	0,00	1,17	4,33	0,21	Přehřátí spojů, jádra a nádrže cirkulujících proudů
3. 12. 2003	0,13	1,75	7,24	0,22	Přehřátí spojů, jádra a nádrže cirkulujících proudů
27. 1. 2004	0,10	2,17	7,00	0,21	Přehřátí spojů, jádra a nádrže cirkulujících proudů
24. 5. 2004	0,08	2,86	6,84	0,22	Přehřátí spojů, jádra a nádrže cirkulujících proudů
8. 12. 2004	0,08	3,04	6,64	0,23	Není jednoznačně určeno
30. 5. 2005	0,06	4,42	6,47	0,23	Není jednoznačně určeno
29. 7. 2005	0,06	4,55	6,50	0,23	Není jednoznačně určeno
12. 10. 2005	0,06	4,70	6,61	0,23	Není jednoznačně určeno
30. 11. 2005	0,06	4,79	6,49	0,23	Není jednoznačně určeno
28. 4. 2006	0,05	6,49	6,35	0,23	Není jednoznačně určeno
4. 7. 2006	0,02	17,62	6,27	0,22	Není jednoznačně určeno
15. 9. 2006	0,01	35,46	6,29	0,22	Není jednoznačně určeno
15. 11. 2006	0,02	16,50	6,26	0,22	Není jednoznačně určeno
22. 1. 2007	0,03	8,92	6,16	0,23	Není jednoznačně určeno
10. 9. 2007	0,02	22,75	6,24	0,23	Není jednoznačně určeno
19. 11. 2007	0,01	51,22	6,03	0,24	Není jednoznačně určeno
12. 12. 2007	0,01	51,89	6,05	0,24	Není jednoznačně určeno
12. 6. 2008	0,00	46,80	6,04	0,24	Není jednoznačně určeno
24. 10. 2008	0,00	46,80	6,05	0,24	Není jednoznačně určeno
18. 6. 2009	0,00	109,5	6,52	0,24	Není jednoznačně určeno
14. 9. 2009	0,00	84,20	5,49	0,25	Není jednoznačně určeno
19. 10. 2009	0,00	85,60	5,41	0,25	Není jednoznačně určeno

3.2.4 Rogersovou metodou (2)

Tato metoda neudává stejné výsledky, jako Rogersova metoda (1) a je indikován spíše stabilní stav signalizující hoření oblouku či tepelné poruchy nad 700 °C. Jasně patrné jsou i změny v důsledku filtrace oleje.

Tab. 3.21 Výpočtové hodnoty

Datum	C2H2/C2H4	CH4/H2	C2H4/C2H6	Vyhodnocení
8. 7. 1998	0,68	0,49	1,77	Není definováno
21. 5. 2001	0,20	0,39	4,75	Hoření oblouku
27. 11. 2002	0,09	0,71	5,07	Není definováno
21. 10. 2003	0,03	1,35	4,46	Tepelná porucha T > 700 °C
23. 8. 2004	0,05	0,92	4,84	Není definováno
23. 11. 2006	0,71	0,13	3,50	Hoření oblouku
28. 3. 2006	0,65	0,20	4,60	Hoření oblouku
16. 10. 2006	0,27	0,19	10,25	Hoření oblouku
13. 9. 2007	0,12	0,48	10,71	Hoření oblouku
13. 10. 2008	0,08	0,98	12,08	Není definováno
18. 11. 2009	0,03	1,89	10,99	Tepelná porucha T > 700 °C
13. 1. 2010	0,03	1,74	11,31	Tepelná porucha T > 700 °C
23. 2. 2010	0,03	2,02	11,28	Tepelná porucha T > 700 °C
23. 3. 2010	0,03	1,74	10,99	Tepelná porucha T > 700 °C
5. 5. 2010	0,03	1,35	10,62	Tepelná porucha T > 700 °C
21. 1. 2011	0,73	0,15	5,50	Hoření oblouku
14. 11. 2011	0,20	0,37	11,00	Hoření oblouku

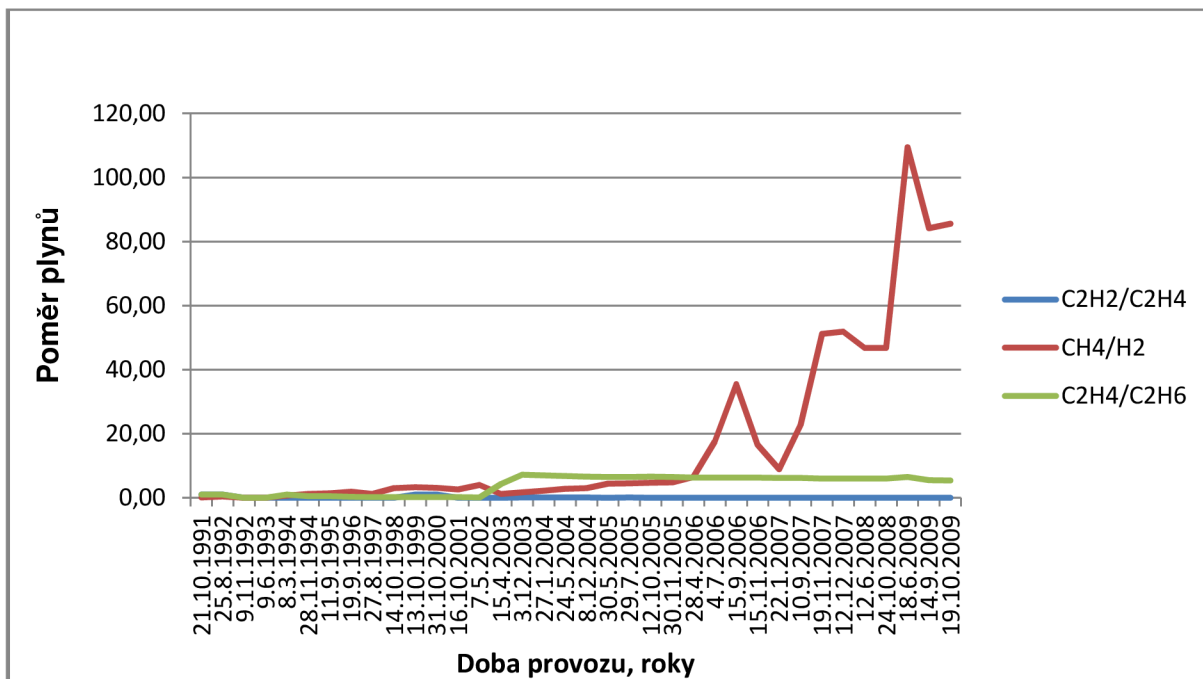
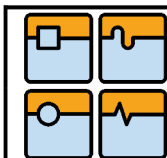


Graf. 3.5 Vývoj hodnot rozkladných plynů v průběhu let

U transformátoru T 402 metoda signalizuje stav tepelné poruchy $T > 700\text{ °C}$.

Tab. 3.22 Výpočtové hodnoty

Datum	C ₂ H ₂ /C ₂ H ₄	CH ₄ /H ₂	C ₂ H ₄ /C ₂ H ₆	Vyhodnocení
21. 10. 1991	1,00	0,15	1,00	Není definováno
25. 8. 1992	1,00	0,40	1,00	Není definováno
9. 11. 1992				Neměřeno
9. 6. 1993				Neměřeno
8. 3. 1994	0,00	0,67	1,00	Nízkoteplotní porucha
28. 11. 1994	0,00	1,17	0,50	Není definováno
11. 9. 1995	0,00	1,43	0,50	Není definováno
19. 9. 1996	0,00	1,88	0,33	Není definováno
27. 8. 1997	0,00	1,23	0,25	Není definováno
14. 10. 1998	0,00	3,00	0,25	Není definováno
13. 10. 1999	1,00	3,33	0,25	Není definováno
31. 10. 2000	1,00	3,14	0,25	Není definováno
16. 10. 2001	0,00	2,63	0,20	Není definováno
7. 5. 2002	0,00	4,00	0,13	Není definováno
15. 4. 2003	0,00	1,17	4,33	Tepelná porucha $T > 700\text{ °C}$
3. 12. 2003	0,13	1,75	7,24	Není definováno
27. 1. 2004	0,10	2,17	7,00	Tepelná porucha $T > 700\text{ °C}$
24. 5. 2004	0,08	2,86	6,84	Tepelná porucha $T > 700\text{ °C}$
8. 12. 2004	0,08	3,04	6,64	Tepelná porucha $T > 700\text{ °C}$
30. 5. 2005	0,06	4,42	6,47	Tepelná porucha $T > 700\text{ °C}$
29. 7. 2005	0,06	4,55	6,50	Tepelná porucha $T > 700\text{ °C}$
12. 10. 2005	0,06	4,70	6,61	Tepelná porucha $T > 700\text{ °C}$
30. 11. 2005	0,06	4,79	6,49	Tepelná porucha $T > 700\text{ °C}$
28. 4. 2006	0,05	6,49	6,35	Tepelná porucha $T > 700\text{ °C}$
4. 7. 2006	0,02	17,62	6,27	Tepelná porucha $T > 700\text{ °C}$
15. 9. 2006	0,01	35,46	6,29	Tepelná porucha $T > 700\text{ °C}$
15. 11. 2006	0,02	16,50	6,26	Tepelná porucha $T > 700\text{ °C}$
22. 1. 2007	0,03	8,92	6,16	Tepelná porucha $T > 700\text{ °C}$
10. 9. 2007	0,02	22,75	6,24	Tepelná porucha $T > 700\text{ °C}$
19. 11. 2007	0,01	51,22	6,03	Tepelná porucha $T > 700\text{ °C}$
12. 12. 2007	0,01	51,89	6,05	Tepelná porucha $T > 700\text{ °C}$
12. 6. 2008	0,00	46,80	6,04	Tepelná porucha $T > 700\text{ °C}$
24. 10. 2008	0,00	46,80	6,05	Tepelná porucha $T > 700\text{ °C}$
18. 6. 2009	0,00	109,50	6,52	Tepelná porucha $T > 700\text{ °C}$
14. 9. 2009	0,00	84,20	5,49	Tepelná porucha $T > 700\text{ °C}$
19. 10. 2009	0,00	85,60	5,41	Tepelná porucha $T > 700\text{ °C}$



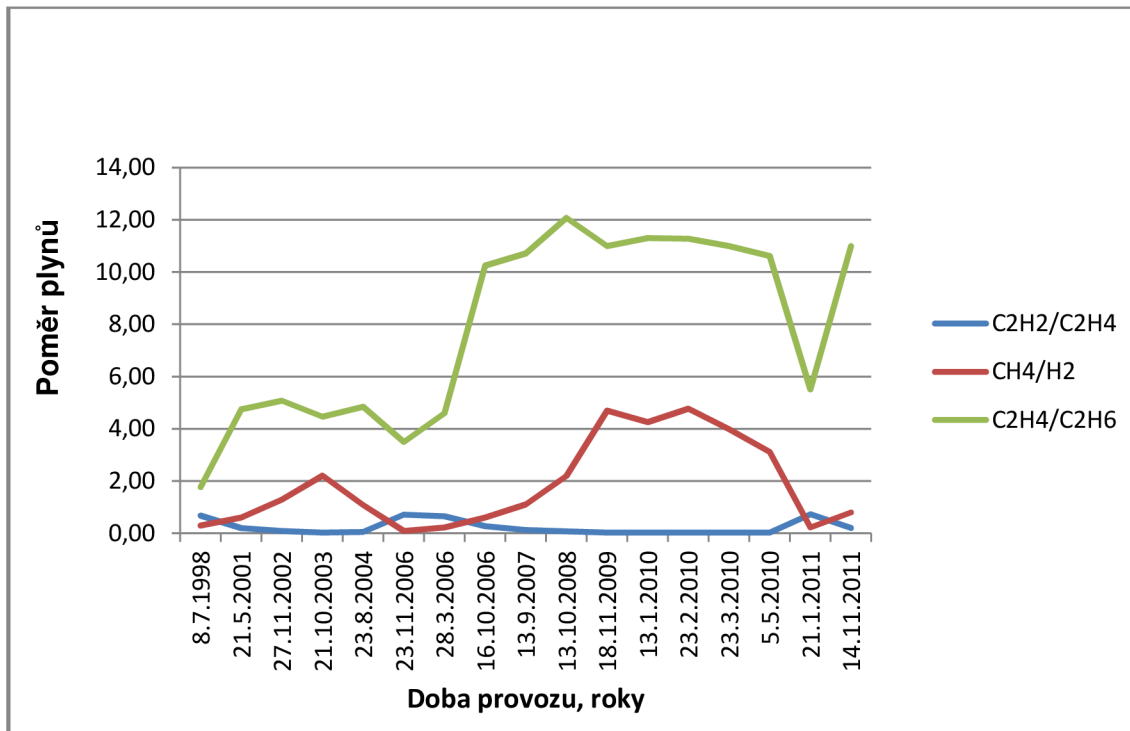
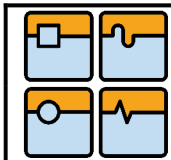
Graf. 3.6 Vývoj hodnot rozkladných plynů v průběhu let

3.2.5 Metodou sledování poměrových kritérií IEC 60599

Metoda sledování poměrových kritérií také indikuje tepelnou poruchu $T > 700\text{ }^{\circ}\text{C}$, pokud ovšem sledujeme křivky vývoje, jedná se o stabilní stav. Můžeme se říci, že stávající vývoj transformátoru jej kriticky neohrožuje v provozu.

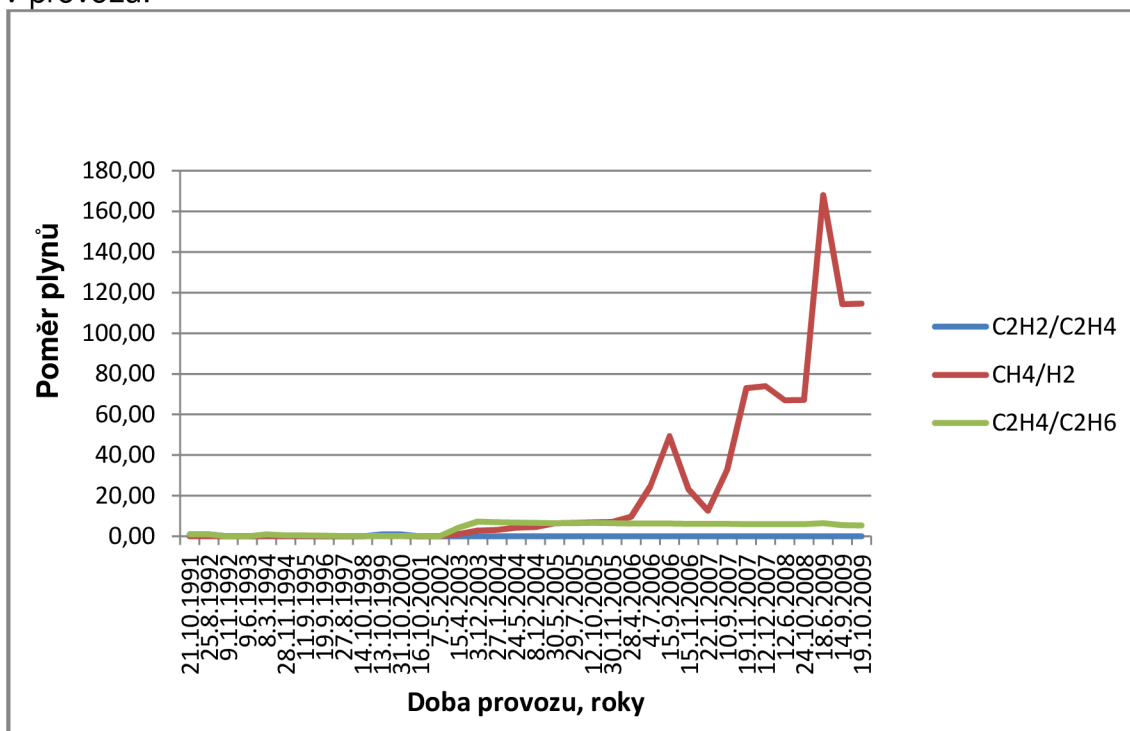
Tab. 3.23 Výpočtové hodnoty

Datum	C2H2/C2H4	CH4/H2	C2H4/C2H6	Vyhodnocení
8. 7. 1998	0,68	0,30	1,77	Není definováno
21. 5. 2001	0,20	0,60	4,75	Není definováno
27. 11. 2002	0,09	1,29	5,07	Tepelná porucha $T > 700\text{ }^{\circ}\text{C}$
21. 10. 2003	0,03	2,21	4,46	Tepelná porucha $T > 700\text{ }^{\circ}\text{C}$
23. 8. 2004	0,05	1,08	4,84	Tepelná porucha $T > 700\text{ }^{\circ}\text{C}$
23. 11. 2006	0,71	0,09	3,50	Výboje vysoké energie
28. 3. 2006	0,65	0,22	4,60	Výboje vysoké energie
16. 10. 2006	0,27	0,60	10,25	Není definováno
13. 9. 2007	0,12	1,11	10,71	Tepelná porucha $T > 700\text{ }^{\circ}\text{C}$
13. 10. 2008	0,08	2,20	12,08	Tepelná porucha $T > 700\text{ }^{\circ}\text{C}$
18. 11. 2009	0,03	4,70	10,99	Tepelná porucha $T > 700\text{ }^{\circ}\text{C}$
13. 1. 2010	0,03	4,26	11,31	Tepelná porucha $T > 700\text{ }^{\circ}\text{C}$
23. 2. 2010	0,03	4,77	11,28	Tepelná porucha $T > 700\text{ }^{\circ}\text{C}$
23. 3. 2010	0,03	3,99	10,99	Tepelná porucha $T > 700\text{ }^{\circ}\text{C}$
5. 5. 2010	0,03	3,11	10,62	Tepelná porucha $T > 700\text{ }^{\circ}\text{C}$
21. 1. 2011	0,73	0,23	5,50	Výboje vysoké energie
14. 11. 2011	0,20	0,80	11,00	Není definováno



Graf. 3.7 Vývoj hodnot rozkladných plynů v průběhu let


Metoda sledování poměrových kritérií u transformátoru T 402 indikuje tepelnou poruchu $T > 700\text{ }^{\circ}\text{C}$, pokud ovšem sledujeme křivky vývoje, jedná se o stabilní stav. Může říci, že stávající stav transformátoru je kritický, ale neohrožuje jej v provozu.



Graf. 3.8 Vývoj hodnot rozkladných plynů v průběhu let

Tab. 3.24 Výpočtové hodnoty

Datum	C ₂ H ₂ /C ₂ H ₄	CH ₄ /H ₂	C ₂ H ₄ /C ₂ H ₆	Vyhodnocení
21. 10. 1991	1,00	0,08	1,00	Není definováno
25. 8. 1992	1,00	0,10	1,00	Výboje nízké energie
9. 11. 1992				Neměřeno
9. 6. 1993				Neměřeno
8. 3. 1994	0,00	0,17	1,00	Není definováno
28. 11. 1994	0,00	0,17	0,50	Není definováno
11. 9. 1995	0,00	0,14	0,50	Není definováno
19. 9. 1996	0,00	0,13	0,33	Není definováno
27. 8. 1997	0,00	0,08	0,25	Není definováno
14. 10. 1998	0,00	0,17	0,25	Není definováno
13. 10. 1999	1,00	0,17	0,25	Není definováno
31. 10. 2000	1,00	0,14	0,25	Není definováno
16. 10. 2001	0,00	0,13	0,20	Není definováno
7. 5. 2002	0,00	0,11	0,13	Není definováno
15. 4. 2003	0,00	1,08	4,33	Tepelná porucha T > 700 °C
3. 12. 2003	0,13	2,83	7,24	Tepelná porucha T > 700 °C
27. 1. 2004	0,10	3,25	7,00	Tepelná porucha T > 700 °C
24. 5. 2004	0,08	4,24	6,84	Tepelná porucha T > 700 °C
8. 12. 2004	0,08	4,61	6,64	Tepelná porucha T > 700 °C
30. 5. 2005	0,06	6,47	6,47	Tepelná porucha T > 700 °C
29. 7. 2005	0,06	6,67	6,50	Tepelná porucha T > 700 °C
12. 10. 2005	0,06	7,03	6,61	Tepelná porucha T > 700 °C
30. 11. 2005	0,06	7,14	6,49	Tepelná porucha T > 700 °C
28. 4. 2006	0,05	9,68	6,35	Tepelná porucha T > 700 °C
4. 7. 2006	0,02	24,62	6,27	Tepelná porucha T > 700 °C
15. 9. 2006	0,01	49,38	6,29	Tepelná porucha T > 700 °C
15. 11. 2006	0,02	23,04	6,26	Tepelná porucha T > 700 °C
22. 1. 2007	0,03	12,69	6,16	Tepelná porucha T > 700 °C
10. 9. 2007	0,02	32,75	6,24	Tepelná porucha T > 700 °C
19. 11. 2007	0,01	73,00	6,03	Tepelná porucha T > 700 °C
12. 12. 2007	0,01	74,00	6,05	Tepelná porucha T > 700 °C
12. 6. 2008	0,00	67,00	6,04	Tepelná porucha T > 700 °C
24. 10. 2008	0,00	67,10	6,05	Tepelná porucha T > 700 °C
18. 6. 2009	0,00	168,00	6,52	Tepelná porucha T > 700 °C
14. 9. 2009	0,00	114,20	5,49	Tepelná porucha T > 700 °C
19. 10. 2009	0,00	114,60	5,41	Tepelná porucha T > 700 °C

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 48
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

4 ZÁVĚR

Diplomová práce se zabývá popisem a rozбором diagnostických metod sledování plynů rozpuštěných v transformátorovém oleji. Tyto metody přispívají k prevenci a včasnému odhalení poruch u transformátorů. Cílem bylo uvést základní rozdělení a popis hlavních diagnostických metod a jednotlivé směry vývoje pro sledování a předcházení transformátorových poruch. Mezi nejvíce využívané metody v České republice v praxi patří chromatografické analýzy a metody založené na fotoakustické spektrometrii.

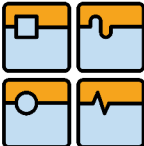
Z tohoto důvodu byla jako praktický příklad uvedena kontrola stavu transformátoru T 402 Q za pomoci plynové chromatografie a její porovnání s přístrojem TRANSPORT X

Při využití statistického Mannova - Whitneyova testu byly zamítnuty hypotézy shody výsledků získaných přístrojem TRANSPORT X a plynovou chromatografií pro plyny vodíku, etanu a acetylenu. Další hypotézy shody ovšem nebyly vyloučeny. Jedná se o oxid uhličitý, oxid uhelnatý, etylen a metan. Z toho vyplývá, že při posouzení obou metod nelze jednoznačně potvrdit hypotézu shody měření, ale také ji nelze zcela vyvrátit.

Pokud je vzorek testován poměrovými kritérii indikuje se mimo Rogersovu metodu (1) stejná porucha u analýzy TRANSPORTEM X i plynovou chromatografií, a to teplotní defekt.


Při analýze časových průběhů ovšem vyplývá, že závěry jednotlivých metod se liší a je nutné na celkovou diagnostiku pohlížet komplexně. Důležité je zhodnotit i výsledky dalších analýz a sledování stavů spolu s možnými příčinami poruch.

Aplikace jednotlivých diagnostických metod může být poměrně finančně i časově náročná, proto je důležité zvažovat a vybírat nejvhodnější metody kontroly pro daný stroj, k čemuž se snaží celkovým přehledem diagnostických metod přispět i tato práce.

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 49
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] Šímková a Hammer, „Vybrané metody analýzy plynů v diagnostice výkonových olejových transformátorů,“ *elektrorevue*, p. 7, 11 10 2010.
- [2] Mentlík a aj., Diagnostika elektrických zařízení, Praha: BEN - technická literatura, 2008, p. 440.
- [3] ČSN EN60567, Olejem plněná elektrická zařízení - Odběr vzorků plynů a oleje pro analýzu volných a rozpuštěných plynů - Návod, 2 editor, Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2006, p. 56.
- [4] „seminář Chromatografické metody,“ [Online]. Available: <http://www.lfhk.cuni.cz/chemie/dokumenty/Seminare/semin%C3%A1%C5%99%20Chromatografick%C3%A9%20metody.doc>. [Přístup získán 20 2 2012].
- [5] „Plynová chromatografie DGA,“ "TMV SS" spol. s r.o., [Online]. Available: <http://www.tmvss.cz/Aplikace/Diagnostika-TRF/plynova-chromatografie.html>. [Přístup získán 2 12 2011].
- [6] „Kelman TRANSPORT X* portable DGA(Dissolved Gas Analysis) and moisture in oil,“ Kelman - General Electric Company., 2010. [Online]. Available: <http://www.gedigitalenergy.com/products/brochures/MD/TRANSPORTX.pdf>. [Přístup získán 19 10 2011].
- [7] Haisch a Niessner, „Light and sound—photoacoustic,“ 14 5 2002. [Online]. Available: http://www.spectroscopyeurope.com/images/stories/ArticlePDFs/PAS14_5.pdf. [Přístup získán 20 2 2012].
- [8] I. V. WYK, „TRANSPORT X TRANSFORMER FAULT GAS ANALYSER - EVALUATION,“ 2004.
- [9] „Přehled vybraných diagnostických metod izolačních systémů přístrojových transformátoru,“ ELDIAG, s.r.o., 5 1999. [Online]. Available: http://www.eldiag.cz/texty/diag_metody.html. [Přístup získán 4 2 2012].
- [10] J. Neumann, „DGA - Plynová chromatografie - příklad a možnosti hodnocení,“ ELDIAG, s.r.o., 4 2006. [Online]. Available: <http://www.rozvodna.cz/texty/dga.html>. [Přístup získán 4 2 2012].
- [11] ČSN EN 60599, Elektrická zařízení v provozu plněná izolačním olejem - Pokyn k interpretaci výsledků analýz rozpuštěných a volných plynů, Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 200, p. 88.
- [12] IEEE Std C57.104TM., Guide for the Interpretation of Gases Generated in Oil-Immersed Transformers, New York: The Institute of Electrical and Electronic Engineers, 2009, p. 28.
- [13] M. Šímková, „Příspěvek k diagnostice výkonových transformátorů,“ 2010. [Online]. Available: www.vutbr.cz. [Přístup získán 31 2 2012].
- [14] C. Doc. RNDr. Zdeněk Karpíšek, STATISTICKÁ ANALÝZA, Brno, 2008.

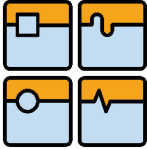
	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 50
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

SEZNAM PŘÍLOH

- Příloha 1 – Naměřené hodnoty Transformátoru T402 Q přístrojem TRANSPORT X*
- Příloha 2 – Naměřené hodnoty Transformátoru L401 L3 přístrojem TRANSPORT X – ukázka výstupního protokolu*
- Příloha 3 – Tabulka měřených chromatografických hodnot transformátoru T402 Q firmou ORGREZ v průběhu jeho života*
- Příloha 4 - Tabulka měřených chromatografických hodnot transformátoru T 402 v průběhu jeho života*
- Příloha 5 - Štítkové údaje transformátoru T402*
- Příloha 6 - Protokol o chromatografickém rozboru*

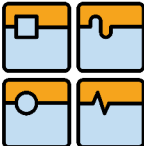
Příloha 1 – Naměřené hodnoty Transformátoru T402Q přístrojem TRANSPORT X

SN	Datum	H2	H2O	CO2	CO	etylen	Etan	Metan	Acetylen	TDCG	Rel. Vlhkost oleje
1716504	19.6.2009	8	12	844	239	32	10	4	0,5	293	11,8
1716504	19.6.2009	8	13	853	240	19	4	11	0,5	281	12,7
1716504	5.11.2010	5	13	101	1	21	5	8	0,5	36	7,1
1716504	5.11.2010	5	13	114	1	12	4	7	0,5	25	7,2
146777	16.12.2008	26	13	2487	619	157	24	57	7,5	891	13,7
146777	15.1.2010	6	26	3666	841	224	36	60	3	1170	28
146777	23.2.2010	7	11	3185	772	132	16	54	2	982	9
146777	23.3.2010	6	14	3185	726	133	21	46	1,5	934	9,3
146777	21.4.2010	5	11	3014	720	131	20	44	1,5	922	33,7



Příloha 2 – Naměřené hodnoty Transformátoru L401 L3 přístrojem TRANSPORT X – ukázka výstupního protokolu

Uspořádání: ... Nic	Upozornění plynů: Nic	Uspořádání: ... Nic	Upozornění plynů: Nic																																																																																																
<p>kelman Kelman Ltd. TRANSPORT X. Výsledky DGA</p> <p>Typ: Transformátor Vyr.č., zařízení: 1718504 B Umístění: HRA Výrobce: lab test Bod vzorkování: dole Zdroj vzorku: Vzorek oleje Datum: 19 Jun 08 9:21 AM</p> <table border="1"> <tr><td>Vodík</td><td>H2:</td><td>8</td></tr> <tr><td>Voda</td><td>H2O:</td><td>13</td></tr> <tr><td>Oxid uhličitý</td><td>CO2:</td><td>844</td></tr> <tr><td>Oxid uhelnatý</td><td>CO:</td><td>239</td></tr> <tr><td>Etylen</td><td>C2H4:</td><td>32</td></tr> <tr><td>Etan</td><td>C2H6:</td><td>10</td></tr> <tr><td>Metan</td><td>CH4:</td><td>4</td></tr> <tr><td>Acetylen</td><td>C2H2:</td><td><0.5</td></tr> </table> <p>TDDB: 283 Rel.vlhkost oleje:12.8%</p> <p>Nastroje diagnostiky: (viz informaci viz TRANSPORT X)</p> <p>Klíčový plyn: (Zvoleny uživatелем) Nic nezvoleno</p> <p>Rogers 3: Teplota (> 700°C)</p> <p>Duvaluv trojúhelník: Teplota závada (> 700°C)</p> <p>Japonský vzorec ETRA: (Zvoleny uživatелем) Nic nevybrano</p> <p>Japonský diagram ETRA: Diagram A: Vyboje + přehřati Diagram B: Vyboje + přehřati (vysoká teploty)</p> <p>Stav transformátoru: Normal Upozornění plynů: Nic Varování plynů: Nic</p>	Vodík	H2:	8	Voda	H2O:	13	Oxid uhličitý	CO2:	844	Oxid uhelnatý	CO:	239	Etylen	C2H4:	32	Etan	C2H6:	10	Metan	CH4:	4	Acetylen	C2H2:	<0.5	<p>kelman Kelman Ltd. TRANSPORT X. Výsledky DGA</p> <p>Typ: Transformátor Vyr.č., zařízení: 1718504 B Umístění: HRA Výrobce: lab test Bod vzorkování: dole Zdroj vzorku: Vzorek oleje Datum: 19 Jun 08 9:21 AM</p> <table border="1"> <tr><td>Vodík</td><td>H2:</td><td>8</td></tr> <tr><td>Voda</td><td>H2O:</td><td>13</td></tr> <tr><td>Oxid uhličitý</td><td>CO2:</td><td>853</td></tr> <tr><td>Oxid uhelnatý</td><td>CO:</td><td>240</td></tr> <tr><td>Etylen</td><td>C2H4:</td><td>19</td></tr> <tr><td>Etan</td><td>C2H6:</td><td>4</td></tr> <tr><td>Metan</td><td>CH4:</td><td>11</td></tr> <tr><td>Acetylen</td><td>C2H2:</td><td><0.5</td></tr> </table> <p>TDDB: 281 Rel.vlhkost oleje:12.7%</p> <p>Nastroje diagnostiky: (viz informaci viz TRANSPORT X)</p> <p>Klíčový plyn: (Zvoleny uživatелем) Nic nezvoleno</p> <p>Rogers 3: Teplota (> 700°C)</p> <p>Duvaluv trojúhelník: Teplota závada (> 700°C)</p> <p>Japonský vzorec ETRA: (Zvoleny uživatелем) Nic nevybrano</p> <p>Japonský diagram ETRA: Diagram A: Vyboje + přehřati Diagram B: Vyboje + přehřati (vysoká teploty)</p> <p>Stav transformátoru: Normal Upozornění plynů: Nic Varování plynů: Nic</p>	Vodík	H2:	8	Voda	H2O:	13	Oxid uhličitý	CO2:	853	Oxid uhelnatý	CO:	240	Etylen	C2H4:	19	Etan	C2H6:	4	Metan	CH4:	11	Acetylen	C2H2:	<0.5	<p>kelman Kelman Ltd. TRANSPORT X. Výsledky DGA</p> <p>Typ: Transformátor Vyr.č., zařízení: 1718504 B Umístění: KOC L 401 L3 nova Výrobce: ELIN Bod vzorkování: dole Zdroj vzorku: Vzorek oleje Datum: 05 Nov 10 10:08 AM</p> <table border="1"> <tr><td>Vodík</td><td>H2:</td><td><5</td></tr> <tr><td>Voda</td><td>H2O:</td><td>13</td></tr> <tr><td>Oxid uhličitý</td><td>CO2:</td><td>101</td></tr> <tr><td>Oxid uhelnatý</td><td>CO:</td><td><1</td></tr> <tr><td>Etylen</td><td>C2H4:</td><td>21</td></tr> <tr><td>Etan</td><td>C2H6:</td><td>5</td></tr> <tr><td>Metan</td><td>CH4:</td><td>8</td></tr> <tr><td>Acetylen</td><td>C2H2:</td><td><0.5</td></tr> </table> <p>TDDB: 38 Rel.vlhkost oleje:7.1%</p> <p>Komentář: olej pred plnenim</p> <p>Nastroje diagnostiky: (viz informaci viz TRANSPORT X)</p> <p>Klíčový plyn: (Zvoleny uživatелем) Nic nezvoleno</p> <p>Rogers 3: Teplota (< 700°C)</p> <p>Duvaluv trojúhelník: Teplota závada (> 700°C)</p> <p>Japonský vzorec ETRA: (Zvoleny uživatелем) Nic nevybrano</p> <p>Japonský diagram ETRA: Diagram A: Vyboje + přehřati Diagram B: Vyboje + přehřati (vysoká teploty)</p> <p>Stav transformátoru: Normal Upozornění plynů: Nic Varování plynů: Nic</p>	Vodík	H2:	<5	Voda	H2O:	13	Oxid uhličitý	CO2:	101	Oxid uhelnatý	CO:	<1	Etylen	C2H4:	21	Etan	C2H6:	5	Metan	CH4:	8	Acetylen	C2H2:	<0.5	<p>kelman Kelman Ltd. TRANSPORT X. Výsledky DGA</p> <p>Typ: Transformátor Vyr.č., zařízení: 1718504 B Umístění: KOC L 401 L3 nova Výrobce: ELIN Bod vzorkování: dole Zdroj vzorku: Vzorek oleje Datum: 05 Nov 10 10:43 AM</p> <table border="1"> <tr><td>Vodík</td><td>H2:</td><td><5</td></tr> <tr><td>Voda</td><td>H2O:</td><td>13</td></tr> <tr><td>Oxid uhličitý</td><td>CO2:</td><td>114</td></tr> <tr><td>Oxid uhelnatý</td><td>CO:</td><td><1</td></tr> <tr><td>Etylen</td><td>C2H4:</td><td>12</td></tr> <tr><td>Etan</td><td>C2H6:</td><td>4</td></tr> <tr><td>Metan</td><td>CH4:</td><td>7</td></tr> <tr><td>Acetylen</td><td>C2H2:</td><td><0.5</td></tr> </table> <p>TDDB: 25 Rel.vlhkost oleje:7.2%</p> <p>Komentář: druhý vzorek, olej pred plne</p> <p>Nastroje diagnostiky: (viz informaci viz TRANSPORT X)</p> <p>Klíčový plyn: (Zvoleny uživatелем) Nic nezvoleno</p> <p>Rogers 3: Teplota (< 700°C)</p> <p>Duvaluv trojúhelník: Teplota závada (> 700°C)</p> <p>Japonský vzorec ETRA: (Zvoleny uživatелем) Nic nevybrano</p> <p>Japonský diagram ETRA: Diagram A: Vyboje + přehřati Diagram B: Vyboje + přehřati (vysoká teploty)</p> <p>Stav transformátoru: Normal Upozornění plynů: Nic Varování plynů: Nic</p>	Vodík	H2:	<5	Voda	H2O:	13	Oxid uhličitý	CO2:	114	Oxid uhelnatý	CO:	<1	Etylen	C2H4:	12	Etan	C2H6:	4	Metan	CH4:	7	Acetylen	C2H2:	<0.5
Vodík	H2:	8																																																																																																	
Voda	H2O:	13																																																																																																	
Oxid uhličitý	CO2:	844																																																																																																	
Oxid uhelnatý	CO:	239																																																																																																	
Etylen	C2H4:	32																																																																																																	
Etan	C2H6:	10																																																																																																	
Metan	CH4:	4																																																																																																	
Acetylen	C2H2:	<0.5																																																																																																	
Vodík	H2:	8																																																																																																	
Voda	H2O:	13																																																																																																	
Oxid uhličitý	CO2:	853																																																																																																	
Oxid uhelnatý	CO:	240																																																																																																	
Etylen	C2H4:	19																																																																																																	
Etan	C2H6:	4																																																																																																	
Metan	CH4:	11																																																																																																	
Acetylen	C2H2:	<0.5																																																																																																	
Vodík	H2:	<5																																																																																																	
Voda	H2O:	13																																																																																																	
Oxid uhličitý	CO2:	101																																																																																																	
Oxid uhelnatý	CO:	<1																																																																																																	
Etylen	C2H4:	21																																																																																																	
Etan	C2H6:	5																																																																																																	
Metan	CH4:	8																																																																																																	
Acetylen	C2H2:	<0.5																																																																																																	
Vodík	H2:	<5																																																																																																	
Voda	H2O:	13																																																																																																	
Oxid uhličitý	CO2:	114																																																																																																	
Oxid uhelnatý	CO:	<1																																																																																																	
Etylen	C2H4:	12																																																																																																	
Etan	C2H6:	4																																																																																																	
Metan	CH4:	7																																																																																																	
Acetylen	C2H2:	<0.5																																																																																																	

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 53
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

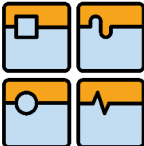
Příloha 3 – Tabulka měřených chromatografických hodnot transformátoru T402 Q firmou ORGREZ v průběhu jeho života

Výrobní číslo:146777

Odběr datum	H2 ppm	CH4 ppm	C2H6 ppm	C2H4 ppm	C2H2 ppm	N ppm	CO ppm	CO2 ppm	O2 ppm	COP %	todb °C	Provoz dny	Pozn.
8.7.1998	26,3	12,8	4,4	7,8	5,3	21631,2	636,8	1063,1	2395,9	3,03	12,0	0	
21.5.2001	37,9	14,8	4,8	22,8	4,5	39897,5	639,9	903,9	4132,3	5,00	50,0	1048	
27.11.2002	26,3	18,7	6,7	34	3	35079,4	785,4	1176,1	1314,8	4,10	53,0	1603	
21.10.2003	19,8	26,7	9,8	43,7	1,2	39763,8	703,8	932,1	2437,1	4,84	44,0	1931	
23.8.2004	28,3	25,9	6,3	30,5	1,5	42766,9	748,8	3607,4	3426,4	5,33	48,0	2238	
23.11.2006	7,8	1	0,2	0,7	0,5	1361,5	1,9	18,3	510,6	0,19	46,0	2695	filtr.
28.3.2006	10,3	2,1	0,5	2,3	1,5	1961,6	14,7	88,8	610,0	0,23	11,0	2820	
16.10.2006	27,4	5,1	1,6	16,4	4,4	6398,0	123,6	406,9	1063,6	1,00	44,0	3022	
13.9.2007	20,3	9,8	2,1	22,5	2,8	22008,8	155,1	653,2	5079,5	3,00	42,0	3354	
13.10.2008	48,4	47,3	8,8	106,3	8,5	18670,6	564,2	545,0	2584,0	2,86	45,0	3750	
18.11.2009	27,6	52,1	11,8	129,7	4,2	53324,6	795,6	480,0	7193,0	6,30	48,0	4151	
13.1.2010	33,7	58,8	12,7	143,6	3,8	66964,0	914,3	3490,5	10902,3	8,19	33,0	4207	
23.2.2010	26,5	53,6	11,2	126,3	3,4	60059,4	802,4	3165,3	9913,5	7,85	40,0	4248	
23.3.2010	30,6	53,2	11,1	122,0	3,6	59559,0	810,4	3200,7	4866,9	7,39	45,0	4276	
5.5.2010	40,6	54,8	11,9	126,4	4	51571,0	838,8	1298,4	7318,5	7,40	10,0	4319	
21.1.2011	4,8	0,7	0,2	1,1	0,8	3451,1	4,3	62,9	1428,7	0,47	34,0	4580	filtr.
14.11.2011	8,2	3	0,6	6,6	1,3	12599,0	89,8	213,9	3166,6	1,82	47,0	4877	

Příloha 4 - Tabulka měřených chromatografických hodnot transformátoru T 402 v průběhu jeho života

Odběr	H2	CH4	C2H6	C2H4	C2H2	C3	CO	CO2	O2	COP
datum	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	%
21.10.1991	13	2	1	1	1	3	108	216	2736	2,1
25.8.1992	10	4	1	1	1	2	133	398	8031	3,7
9.11.1992										0,2
9.6.1993										1,1
8.3.1994	6	4	1	1	0	1	121	724	1731	1,4
28.11.1994	6	7	2	1	0	2	210	1141	1703	1,8
11.9.1995	7	10	2	1	0	3	253	998	805	1,8
19.9.1996	8	15	3	1	0	3	371	1352	546	2,2
27.8.1997	13	16	4	1	0	4	333	1148	602	2,5
14.10.1998	6	18	4	1	0	4	261	1078	1838	3,0
13.10.1999	6	20	4	1	1	4	279	1150	1961	3,2
31.10.2000	7	22	4	1	1	4	305	1258	2145	3,5
16.10.2001	8	21	5	1	0	6	276	1658	1372	3,5
7.5.2002	9	36	8	1	0	7	406	2418	591	3,5
15.4.2003	12	14	3	13	0	6	152	1134	260	1,2
3.12.2003	64	112	25	181	23	69	311	1398	469	1,7
27.1.2004	71	154	33	231	23	89	319	1428	352	1,7
24.5.2004	71	203	44	301	25	120	319	1571	195	1,7
8.12.2004	72	219	50	332	25	139	320	1575	321	1,8
30.5.2005	66	292	66	427	26	185	255	1261	530	2,0
29.7.2005	78	355	80	520	33	220	300	1535	248	2,1
12.10.2005	80	376	85	562	33	238	319	2158	462	2,3
30.11.2005	80	383	88	571	33	246	319	2165	358	2,3
28.4.2006	65	422	99	629	30	273	301	2634	287	2,5
4.7.2006	26	458	102	640	15	283	340	2709	240	2,5
15.9.2006	13	461	102	642	7	284	341	2922	342	2,6
15.11.2006	28	462	103	645	13	285	342	2996	541	2,8
22.1.2007	51	455	105	647	19	298	348	3053	442	2,8
10.9.2007	20	455	105	655	11	309	357	3189	382	2,9
19.11.2007	9	461	109	657	4	294	327	3539	507	3,1
12.12.2007	9	467	110	666	4	298	331	3588	514	3,1
12.6.2008	10	468	111	670	3	299	332	3718	400	3,1
24.10.2008	10	468	111	671	3	300	435	3591	652	3,3
18.6.2009	4	438	103	672	0	280	461	3993	458	3,4
14.9.2009	5	421	104	571	0	297	459	3890	585	3,6
19.10.2009	5	428	106	573	1	299	475	4052	540	3,7

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 55
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

Příloha 5 - Šítkové údaje transformátoru T402

ST 400

Pořadové číslo	51
Provozovatel	
Transformátor	T 402
Fáze	
Napěťový převod /kV/	400/121/10
Jmenovitý výkon /MVA/	250/250/100
Výrobce	
Typ	
Provedení	Třífázové
Ochrana oleje	Vak
Olejová náplň	GK
Výrobní číslo	
Rok výroby	1989
Datum instalace	1.10.1991
Stav	Provoz
Datum odplynění	1.10.1992
	30.11.2002

Aktualizace: 21.12.2009
EGÚ Brno, a.s. Sekce 0500


Příloha 6 - Protokol o chromatografickém rozboru

EGÚ Brno, a.s.
Program K10AZPL

Protokol číslo: 63
Dne: 22.10.2009

Plynově chromatografický rozbor (výkonový transformátor)
--

Lokalita:	
Označení transformátoru:	T 402
Fáze transformátoru:	
Napěťový převod /kV/:	400/121/10
Jmenovitý výkon /MVA/:	250/250/100
Ochrana oleje:	Vak
Výrobce transformátoru:	
Typ transformátoru:	
Výrobní číslo transformátoru:	
Rok výroby transformátoru:	1989
Datum instalace transformátoru:	1.10.1991
Datum posledního odplynění:	30.11.2002
Datum odměru vzorku:	19.10.2009
Čas odběru vzorku:	10:00
Místo odběru vzorku:	Nádoba
Teplota oleje v horní vrstvě /°C/:	47
Činný výkon/MW/:	95
Předchozí provozní stav:	Provoz
Datum měření v laboratoři:	20.10.2009
Tlak v laboratoři/hPA/:	987
Teplota v laboratoři /°C/:	19
Objem plynu (v byretě) /ml/:	1.77
Odběr vzorku oleje/ml/:	47,26
Další údaje (poznámka):	3 vzorkovnice
Měřící postup:	IEC 567 (1992) EN 60567(1992)

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 57
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

EGÚ Brno, a.s.
Program K10AZPL

Protokol číslo: 63
Dne: 22.10.2009

Objemová koncentrace vázaných plynů při teplotě 20 °C a tlaku 113,25 hPA:

Plynná složka		Xi V/V	Ci V/V	ΣCi V/V	COP
		/ppm/	/ppm/	/ppm/	%
H2	Vodík	123	5	6477	3,7
CH4	Metan	11679	428		
C2H6	Etan	2886	106		
C2H4	Etylén (etén)	15642	573		
C2H2	Acetylén (etin)	14	1		
C3H8+C3H6	Propan a propylén (propen)	8166	299		
CO	Oxid uhelnatý	12975	475		
CO2	Oxid uhličité	110700	4052		
O2	Kyslík	14759	540		
N2	dusík	236100	8643		

Vysvětlivky:

Xi – objemová koncentrace jednotlivých složek plynů v plynné směsi /ppm/

Ci – objemová koncentrace jednotlivých složek plynů v oleji /ppm/

ΣCi – součet objemových koncentrací měřených plynů v oleji /ppm/

COP – celkový obsah plynů v oleji /%/