

## VLIV STÁRNUTÍ TRANSFORMÁTOROVÉHO OLEJE NA JEHO BEZPEČNOSTNÍ PARAMETRY

MARTIN TRČKA<sup>a</sup>, LENKA KLIMKOVÁ<sup>a</sup>,  
BOHDAN FILIPÍ<sup>a</sup> a HANA VĚŽNÍKOVÁ<sup>b</sup>

<sup>a</sup> Katedra požární ochrany, <sup>b</sup> Katedra bezpečnostního managementu, Fakulta bezpečnostního inženýrství, VŠB-TU Ostrava, Lumírova 13/630, 700 30 Ostrava-Výškovice  
martin.trcka@vsb.cz

Došlo 10.6.15, přijato 16.10.15.

Rukopis byl zařazen k tisku v rámci placené služby urychleného publikování.

Klíčová slova: stárnutí transformátorového oleje, transformátorový olej, požáry transformátorů

### Úvod

Jako transformátorové oleje jsou často používány minerální, hluboce rafinované oleje, vyráběné z ropy nebo ropných derivátů. Hlavní funkcí transformátorového oleje je chlazení transformátoru rozptylem vznikajícího tepla v objemu oleje, a současně plní funkci elektroizolační. Je požadována přiměřeně nízká viskozita a vysoká rezistivita, které jsou co nejméně závislé na teplotě a času. Vzhledem k tomu, že se jedná o směs převážně alifatických nasyčených uhlovodíků, a tedy o hořlavou kapalinu, je nutno také sledovat požárně technické vlastnosti, kam řadíme mimo jiné bod vzplanutí a bod hoření, přičemž je žádoucí, aby tyto hodnoty byly co nejvyšší (bezpečnostní listy uvádějí 145 °C zkouškou v otevřeném kelímku, nebo 130 °C zkouškou v uzavřeném kelímku metodou podle Pensky-Martense). Volba olejů s těmito charakteristikami zároveň vylučuje používání látek, které se snadno odpařují, a zvyšují tak nebezpečí v praktickém provozu, při kterém vznikají hořlavé a toxické látky. Vlivem používání (stárnutí) oleje se jeho výše uvedené vlastnosti mění. Zvýšená viskozita, případně i snížené měrné teplo oleje omezuje jeho chladicí schopnost. Snížený měrný odpor (rezistivita) oleje snižuje účinnost a zvyšuje teplotu v transformátoru, a samozřejmě i snížení bodu vzplanutí (tím i bodu varu) oleje ve výsledku znamená vyšší riziko vzniku požáru. S ohledem na uvedené skutečnosti bylo v rámci výzkumného úkolu, který se zabývá řešením požární bezpečnosti transformátorových stanic, provedeno hodnocení transformátorového oleje (Transformer Oil Y3000) s cílem zjistit vliv stárnutí na složení oleje a jeho požárně technické charakteristiky, které by mohly poukázat na zvýšené riziko požáru, což by vyvolalo nutnost reagovat na tyto změny úpravou technicko-bezpečnostních parametrů zařízení.

### Experimentální část

Transformer Oil Y3000

Hodnocení vlivu stárnutí oleje na jeho vlastnosti bylo provedeno na dodaných vzorcích oleje Transformer Oil Y3000, přičemž byl hodnocen olej nový a použitý. Oba oleje jsou rozlišitelné již vizuálně, kdy nový olej je oproti použitému světlejší, oba jsou však čiré, bez viditelného zákalu. Také viskozita obou vzorků oleje je různá: dynamická viskozita nového oleje je 0,114 a použitého 0,169 Pa s (měřeno na Höpplerově viskozimetru při teplotě 22 °C). Také hustota použitého oleje je vyšší 0,8636 g ml<sup>-1</sup> oproti 0,8357 g ml<sup>-1</sup> u nového oleje. Již pouhým pohledem lze tedy dojít k závěru, že během používání došlo u oleje k některým změnám. Tyto změny budou v dalším textu kvantifikovány několika běžnými analytickými postupy.

Zkušební metody a použité přístroje

Analýza změn ve vzorcích olejů v důsledku jejich stárnutí byla provedena pomocí:

- infračervené spektroskopie,
- plynové chromatografie a
- termické analýzy.

Infračervená spektroskopie byla provedena na přístroji „Thermo Scientific™ Nicolet™ iS™10 FT-IR Spektrometr“. Průběh analýzy i vyhodnocování výsledků zajišťuje software OMNIC. Pro kapalně vzorky je přístroj vybaven ATR nástavcem s diamantovým krystalem pro techniku úplně zeslabené reflektance. Metoda infračervené spektroskopie s Fourierovou transformací je pro analýzu olejů a mazadel velmi využívaná<sup>1</sup>. Pro analýzu olejů pomocí nástavce ATR byly zvoleny tyto parametry: rozlišení 4 cm<sup>-1</sup>, počet akumulací spekter 64.

Každý vzorek byl měřen dvakrát a pro hodnocení byl použit průměr z těchto měření.

Plynová chromatografie (GC-MS) byla provedena na přístroji Griffin 460 (firma FLIR, USA), metodou odběru vzorku PSI-PROBE s technikou TAG.

Termická analýza TGA (termogravimetrická analýza) a DSC (diferenční skenovací kalorimetrie) byla provedena na přístroji TGA/DSC2 firmy METTLER-Toledo. Analýzy a jejich vyhodnocení byly provedeny v prostředí SW STAR<sup>®</sup>.

Hořlavost vzorků oleje byla posuzována na základě požárně technických charakteristik:

- bod vzplanutí metodou otevřeného kelímku podle Clevelanda (ČSN EN ISO 2592);
- bod hoření metodou otevřeného kelímku podle Clevelanda (ČSN EN ISO 2592);
- bod vzplanutí v uzavřeném kelímku podle Penskyho-Martense (ČSN EN ISO 2719);
- spalné teplo v kyslíkovém kalorimetru (ČSN EN ISO 1716);

## Výsledky a diskuse

### Hodnocení složení oleje Transformer Oil Y3000

Naměřená IR spektra metodou ATR byla vyhodnocena porovnáním se spektry uvedenými v databázích dodaných k spektrometru Nicolet. Oba vzorky byly určeny jako minerální olej a shoda s databází spektrometru byla 94,79 % a 93,88 %. Z polohy píků u obou vzorků vyplývá, že se jedná o alifatické uhlovodíky (2951  $\text{cm}^{-1}$ , 2921  $\text{cm}^{-1}$  a 2852  $\text{cm}^{-1}$ ), bez rozvětveného řetězce (1376  $\text{cm}^{-1}$ ), který obsahuje více než 10 methylenových skupin v řetězci (720  $\text{cm}^{-1}$ ).

Změny ve složení transformátorového oleje během jeho stárnutí byly hodnoceny také metodou GC-MS s odběrem vzorku PSI-PROBE technikou TAG.

Nebyly zjištěny výrazné rozdíly ve složení obou analyzovaných vzorků, pouze u použitého oleje byly navíc stanoveny 4 uhlovodíky, a to nonan, undekan, dekan-4-methyl a pentadekan.

Použitý i nový olej byly dále analyzovány na přístroji METTLER–TOLEDO, TGA-DSC2. Analýza probíhala v teplotním rozsahu od 25 do 1000 °C, při rychlosti vzestupu teploty 20 °C  $\text{min}^{-1}$ , ve vzdušné atmosféře s průtokem 75  $\text{ml min}^{-1}$ , v kelímku z korundové keramiky ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) o objemu 70  $\mu\text{l}$ . Navážka oleje činila v průměru kolem 22 mg.

Z termogravimetrických záznamů vyplývá, že počátek úbytku hmotnosti začíná při teplotě asi 120 °C, přičemž použitý olej se jeví jako tepelně stabilnější. Již od této teploty je patrné, že průběh úbytku hmotnosti vzorku čistého oleje akceleruje dříve. Totéž je vidět i v průběhu dalšího zahřívání. Použitý olej se zcela vypaří/rozloží při teplotě 290 °C, od této teploty je hmotnost vzorku nulová. U vzorku čistého oleje se prudký úbytek hmotnosti téměř zastaví při teplotě 295 °C, avšak v kelímku ještě zbývá necelé 1 % z původní hmotnosti (s velkou pravděpodobností se jedná o částečně zkarbonizovaný zbytek vzniklý rozkladem některých frakcí oleje). Tento zbytek se pak dále rozkládá velice pomalu, zcela rozložen je až při teplotě 530 °C.

Z průběhu DSC analýzy lze odvodit, že teplo spotřebované pro odpaření a částečný rozklad použitého oleje je vyšší než u nového oleje: 730,5  $\text{J g}^{-1}$  oproti 678,9  $\text{J g}^{-1}$ . Posunutí průběhu úbytku hmotnosti u obou olejů se projevilo posunem maxim spotřebovaného tepla: 286,6 °C u nového oleje a 293,4 °C u použitého oleje.

### Stanovení požárně technických charakteristik

Body vzplanutí a hoření byly stanoveny dle platných norem<sup>2,3</sup> na přístrojích s manuální obsluhou, teploty byly měřeny klasickými dilatačními kapalinovými teploměry.

Spalné teplo bylo stanoveno na poloautomatickém kalorimetru IKA 200 v manuálním režimu. Výpočty spalného tepla byly provedeny podle ČSN 44 1352 (cit.<sup>4</sup>). Vzorky oleje byly naváženy do acetobutyřátové kapsle se spalným teplem 19,919  $\text{MJ kg}^{-1}$ . Navážka oleje činila

Tabulka I

Požárně technické charakteristiky hodnocených olejů

Charakteristika	Nový olej	Použitý olej
Bod vzplanutí v otevřeném kelímku, °C	144	142
Bod hoření v otevřeném kelímku, °C	158	151
Bod vzplanutí v uzavřeném kelímku, °C	148,5	149
Spalné teplo, $\text{MJ kg}^{-1}$	46,26	45,73

v průměru 250 mg. Zapalování vzorků bylo prováděno pomocí bavlněné nitky. Stanovené požárně technické charakteristiky jsou uvedené v tab. I.

## Závěr

Na základě výsledků provedených zkoušek vzorků oleje Transformer Oil Y3000 je možno učinit následující závěry. Z hlediska požární bezpečnosti je jednoznačné, že riziko se zvyšuje se zahřátím látky na teplotu, při které se vyvinou plynné složky (vypařováním látek s nejnižším bodem varu) v takovém množství, že vytvoří při úniku ze zařízení s okolním vzduchem směs s koncentrací nad spodní mezí hořlavosti. Lze říci (výsledky TGA), že teplota tohoto oleje by neměla být vyšší než 120 °C, jelikož od této teploty dochází ve vzdušném prostředí při atmosférickém tlaku k vypařování nejtěkavějších frakcí a tudíž k nárůstu nebezpečí vzniku požáru a výbuchu. Zároveň dochází k degradaci oleje. Výsledky stanovení bodu vzplanutí nejsou jednoznačné. Teploty naměřené v otevřeném kelímku jsou nižší než v uzavřeném kelímku, rozdíl přitom činí u použitého oleje 7 °C a u nového oleje 4,5 °C. Poměrně velký rozdíl mezi čistým a použitým olejem byl naměřen i u bodu hoření – činí taktéž 7 °C. Vyšší je u nového oleje. Olej se při provozu transformátoru zahřívá, v důsledku toho dochází k jeho pomalé tepelné degradaci. Ta se projeví dehydrogenací uhlovodíkových řetězců za vzniku dvojných vazeb případně také frakcionací delších uhlovodíkových řetězců. Olej také patrně obsahuje více cyklických sloučenin. Změna barvy (ztmavnutí) a vyšší viskozita použitého oleje také svědčí o tom, že se v něm nacházejí i dehtovité látky s vyšší molekulovou hmotností vzniklé slučováním nenasycených uhlovodíků.

O vysoké hořlavosti transformátorového oleje svědčí zejména vysoké hodnoty spalného tepla. Jedná se o směs uhlovodíků převážně alifatického charakteru, tedy s vysokým podílem H/C. Stejně jako u parafinů, nebo třeba polyethylenu, patří spalné teplo transformátorového oleje svou hodnotou 46  $\text{MJ kg}^{-1}$  k vůbec nejvyšším ze všech hořlavých materiálů. Z hlediska zapalitelnosti není požární riziko transformátorového oleje tak vysoké. Jak je uvedeno výše, zapálen může být až po zahřátí na teplotu bodu vzplanutí, resp. hoření, což je přibližně 150 °C. Za-

hřátí většího množství oleje (v transformátorech větších výkonů jsou ho tisíce litrů) na tuto teplotu vyžaduje poměrně velké množství energie. Závěrem lze konstatovat, že námi posuzovaný transformátorový olej Y3000 náleží do IV. třídy nebezpečnosti. Při hoření se vyvíjí velké množství tepla a hustého černého kouře s obsahem toxických látek. Transformátory mají potenciál k zapálení tohoto i jakéhokoli jiného oleje.

*Tento článek vznikl za podpory projektu ev. č. VG 20132015111 „Výzkum vysokokapacitního modulu čerpání za mimořádných situací“ podpořeného Ministerstvem vnitra z Programu bezpečnostního výzkumu ČR v letech 2013–2015.*

#### LITERATURA

1. Sejkorová M.: Chem. Listy 107, 643 (2013).
2. ČSN EN ISO 2592: Stanovení bodu vzplanutí a bodu hoření – Metoda otevřeného kelímku podle Clevelanda (květen 2004).

3. ČSN EN ISO 2719: Stanovení bodu vzplanutí v uzavřeném kelímku podle Penskyho-Martense (září 2004).
4. ČSN EN ISO 1716: Zkoušení reakce výrobků na oheň – Stanovení spalného tepla (kalorické hodnoty) (prosinec 2010).

**M. Trčka<sup>a</sup>, L. Klimková<sup>a</sup>, B. Filipi<sup>a</sup>, and H. Věžníková<sup>b</sup>** (<sup>a</sup> Department of Fire Protection, <sup>b</sup> Department of Security Management, Faculty of Safety Engineering, Technical University, Ostrava): **The Influence of Transformer Oil Aging on Its Safety Parameters**

This article evaluates the effects of aging of Transformer Oil Y3000. The important characteristics were verified and the assessment of composition changes was performed by comparison of their IR spectra and by GC-MS and TGA-DSC analysis.



The banner features the ICCT logo (three overlapping hexagons) and the text "INTERNATIONAL CONFERENCE ON CHEMICAL TECHNOLOGY". It includes a list of partner organizations: ČSPCH, VYSOKÁ ŠKOLA CHEMICKO-TECHNOLOGICKÁ V PRAZE, STU FCHPT, SGP ČR, and UNICRE. The event dates are "25. - 27. 4. 2016 | Mikulov" and the website is "www.icct.cz". The main title is "4. mezinárodní chemicko-technologická konference" and "4<sup>th</sup> International Conference on Chemical Technology". The contact information for the Secretariat is "AMCA, spol. s r.o. | Academic and Medical Conference Agency, Vyšehradská 320/49 | 128 00 Praha 2 | amca@amca.cz | www.icct.cz | www.amca.cz".