

# STUDY OF PERSPECTIVE INSULATING LIQUIDS PROPERTIES

**Milan Spohner**

Master Degree Programme (2), FEEC BUT

E-mail: xspohn00@stud.feec.vutbr.cz

Supervised by: Martin Frk

E-mail: frkmar@feec.vutbr.cz

**Abstract:** This work deals with mathematical and physical principles needed for the study and measurement of dynamic viscosity of electrical insulation liquid materials. For these materials is processed a review of a new biodegradable electrical insulating liquids. For two selected oils ran over measurement viscosity on a vibration and Höppler viscometer.

**Keywords:** Biodegradable insulating liquids, dynamic viscosity, density, Höppler, liquid, Midel, transformer oil, vibratory method, viscosity.

## 1. ÚVOD

### 1.1. PERSPEKTIVNÍ ELEKTROIZOLAČNÍ KAPALNÉ IZOLANTY

Elektrická zařízení pro vn a vvn většinou využívají minerální olej vyráběný z ropy. Nevýhodou tohoto druhu kapalného izolantu je celosvětový úbytek ropných zásob a stálý výkyv cen ropy, proto je nutné nalézt perspektivní a biologicky odbouratelné izolační kapaliny, které přispívají k ekologickému používání média včetně jeho pozdější likvidace. Minerální izolační oleje lze rozdělit na čtyři druhy: rostlinné kapaliny (omezený rozsah použití), syntetické kapaliny s obsahem fluoru a chloru (nehořlavé, výborné užitné parametry, komplikace s ekotoxicitou), syntetické silikonové kapaliny (dobré chladicí a izolační parametry pro elektrická zařízení) a syntetické kapaliny na přírodní bázi nebo esterifikované (výroba pomocí chemické syntézy, některé vhodné pro použití jako elektroizolační kapaliny). Při použití ekologického oleje musí být bráno v úvahu, že vykazují vyšší hustotu a jiné elektroizolační vlastnosti při teplotně-viskozitních parametrech. Např. ropný olej má až o 15 % menší hustotu, proto je nutné u návrhu zařízení být opatrný na tyto odlišnosti. Výhodou syntetických izolačních kapalin je přibližně o 100 °C vyšší bod vzplanutí. Nevýhodou esterových olejů je schopnost větší schopnosti rozpouštění vody, ale mají větší oxidační stabilitu [1].

### 1.2. STANOVENÍ VISKOZITY KAPALIN

Kapaliny se účinkem i malé vnější síly deformují, tj. tečou. Čím větší jsou vnější síly působící na kapalinu a čím menší jsou vnitřní síly v kapalině, tím větší je rychlost toku kapaliny. Je-li rychlost proudění malá (= laminární proudění), tak se tok kapalin uskutečňuje jako smyková deformace, která definuje změnu materiálu při (tečném) smykovém napětí. Ve stykové ploše dvou vrstev kapaliny pohybujících se různou rychlostí a při tečném napětí  $\tau_{SN}$  začne rychlejší vrstva urychlovat vrstvu pomalejší a pomalejší vrstva začne brzdit vrstvu rychlejší. Dle Newtona platí pro tečné napětí tento vztah  $\frac{dv}{dy}$  → následující rovnice:

$$\tau_{SN} = \eta \frac{dv}{dy} , \quad (1)$$

kde  $\eta$  je dynamická viskozita (Pa s),  $\tau_{SN}$  smykové (tečné) napětí paralelní s laminárním tokem (Pa),  $v$  rychlost ve směru  $x$  ( $\text{m s}^{-1}$ ) [2].

Ve strojírenském průmyslu a technice se používá kinematická viskozita:

$$\nu = \frac{\eta}{\rho} \quad , \quad (2)$$

kde  $\eta$  je dynamická viskozita (Pa s) a  $\rho$  hustota kapaliny ( $\text{kg m}^{-3}$ ) [2].

### 1.3. ELEKTRICKÁ VODIVOST KAPALNÝCH IZOLANTŮ

Extrémně čisté kapalně izolanty jsou charakteristické nízkou konduktivitou v řádech  $10^{-14}$  až  $10^{-15} \text{ S m}^{-1}$ , které je dosahováno volnými nosiči elektrického náboje, které mohou vznikat z následujících principů: ionizací neutrálních molekul (způsobeno zářením fungujícím jako ionizující činidlo), disociací molekul vlastní kapaliny (i příměsí), tepelnou excitací elektronů a emisí elektronů z katody (v silných elektrických polích). Oproti těmto kapalným izolantům mají technicky čisté kapalně izolanty konduktivitu v řádech  $10^{-11}$  až  $10^{-12} \text{ S m}^{-1}$  způsobených zvýšenou koncentrací volných nosičů elektrického náboje závislých na druhu příměsí, velikosti částic kapaliny a jejich stupni disociace. U tohoto typu kapaliny vznikají dva druhy vodivosti (iontová, elektroforetická) [3].

Konduktivita kapalných izolantů má silnou závislost na teplotě z důvodu teplotní závislosti pohyblivosti volných nosičů elektrického náboje. V úzkém teplotním rozsahu lze teplotní závislost konduktivity zanedbat. Dynamická viskozita je také ovlivňována pohyblivostí volných nosičů. Pomocí Waldenova pravidla lze popsat vztah mezi konduktivitou a viskozitou kapaliny včetně teplotních vlivů tímto obecným tvarem:

$$\gamma \eta = \frac{n q^2}{l} = konst. \quad , \quad (3)$$

kde  $\gamma \eta$  je nezávislé na teplotě [3].

## 2. MĚŘICÍ METODY

### 2.1. MĚŘENÍ VISKOZITY NA HÖPPLEROVĚ A VIBRAČNÍM VISKOZIMETRU

Pro výpočet viskozity pro Höpplerův viskozimetr je nutné znát konstanty pro používané pádové kuličky a experimentálně zjistit časy pádu a hodnotu hustoty pro danou teplotu:

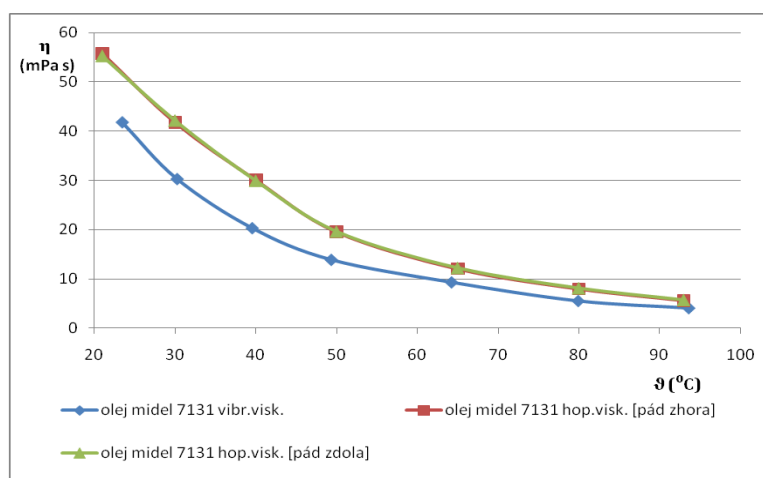
$$\eta = K t (\rho_{kul} - \rho_{oleje}) \quad . \quad (4)$$

Vibrační viskozimetr lze na počátku experimentů kalibrovat a poté umožňuje kontinuální měření, protože není nutné během měření měnit snímací destičky. Tento přístroj má dvě tenké snímací destičky s povrchovou úpravou ve formě 24k zlata. Pohyb těchto destiček způsobuje elektromagnetický pohon, který vytváří vibrace se sinusovou vlnou a zpětnou fází podobně jako u ladičky. Elektrický proud je snímán jako veličina vznikající mezi snímacími destičkami a měřeným vzorkem. Koeficientu viskozity je dosaženo korelací mezi elektrickým proudem a veličinou viskozity [4].

### 2.2. VYHODNOCENÍ VISKOZITY V ZÁVISLOSTI NA TEPLOTĚ

Z experimentálních měření byla ověřena skutečnost, že viskozita s rostoucí teplotou klesá viskozita. S rostoucí teplotou byl také snižován rozdíl viskozit změřených oběma typy viskozimetrů. Naměřené hodnoty dynamické viskozity v teplotní závislosti byly aproximovány exponenciální funkcí dle tohoto obecného tvaru:

$$\eta = \exp\left(A + \frac{B}{T}\right). \quad (5)$$



**Obrázek 1:** Dynamická viskozita oleje MIDEL 7131 změřena oběma viskozimetry

Zjištěné funkční závislosti pro Höpplerův viskozimetr:  $\eta_H = \exp\left(-8,2015 + \frac{3620}{T}\right)$

a pro vibrační viskozimetr:  $\eta_{SV-10} = \exp\left(-8,8323 + \frac{3712}{T}\right)$

### 3. ZÁVĚR

V této práci proběhlo měření viskozity, hustoty a vodivosti oleje MIDEL 7131. Hodnota dynamické viskozity byla stanovena pomocí dvou fyzikálních metod (pádová a vibrační) a rozdíly jsou zobrazeny v grafu. Odchytky byly způsobeny v případě Höpplerova viskozimetru odčítáním doby pádu kuličky na stopkách. Pro ověření vlastností olejů byla změřena závislost hustoty oleje na teplotě v odměrné nádobě s ohřevem na plotýnkovém vařiči a k míchání byla použita magnetická míchačka. Pro další studium vlastností kapaliny byla zjištěna vodivost oleje při zkušebním napětí 250 V a v závislosti na čase.

### REFERENCE

- [1] KUBALÍK, J., STEJSKAL, M. Perspektivy v oblasti kapalných izolantů [online]. [cit.2010-04-23], s.4. Dostupný z WWW:<[ketsrv.fel.zcu.cz/diagnostika/konference/Sbornik/Sekce2/105.pdf](http://ketsrv.fel.zcu.cz/diagnostika/konference/Sbornik/Sekce2/105.pdf)>.
- [2] Stanovení viskozity [online]. [cit. 2009-12-13] Dostupný z WWW: <[http://www.vscht.cz/met/stranky/vyuka/labcv/labor/res\\_stanoveni\\_viskozity\\_roztoku/index.htm](http://www.vscht.cz/met/stranky/vyuka/labcv/labor/res_stanoveni_viskozity_roztoku/index.htm)> Orság, F.: Vision für die Zukunft. Biometrie, Kreutztal, DE, b-Quadrat, 2004, s. 131-145, ISBN 3-933609-02-X
- [3] MENTLÍK, Václav. Dielektrické prvky a systémy. 1. vyd. Praha : BEN - technická literatura, 2006. 240 s. ISBN 80-7300-189-6.
- [4] <http://www.irtek.cz/datasheets/serie-247-serie-sv.pdf> [online]. [cit. 2009-12-13]. Dostupný z WWW: <<http://www.irtek.cz/datasheets/serie-247-serie-sv.pdf>>