

Roman Cimbala, Peter Havran

Katedra elektroenergetiky, Fakulta elektrotechniky a informatiky, Technická univerzita v Košiciach

## Hysterézne závislosti tepelne namáhaného izolačného oleja ITO 100

**Abstrakt.** Nosným faktorom tejto publikácie je vyšetovanie prúdových charakteristík kvapalného dielektrika vplyvom zvyšovania teploty. Publikácia obsahuje teoretickú a praktickú časť. Teoretická časť opisuje procesy pri tepelnom namáhaní a praktická časť obsahuje experiment s použitou vzorkou, s opisom meracieho pracoviska a analýzu nameraných údajov s tabuľkami a grafickými závislosťami stratového činiteľa na teplote.

**Kľúčové slová:** ITO 100, kapacita, stratový činiteľ, teplota

**Abstract.** The main factor of this publication is the investigation of the current characteristics of the liquid dielectric due to the temperature increase. The publication contains theoretical and practical part. The theoretical part describes the processes under thermal stress and the practical part contains an experiment with the sample used, the description of the measuring workplace and the analysis of the measured data with tables and graphical dependencies of the loss factor on temperature.

**Keywords:** ITO 100, capacity, dissipation factor, temperature

### Úvod

Izolačné materiály sa zaraďujú medzi základné elektrotechnické komponenty, bez ktorých nie je možné prevádzkovať žiaden elektrotechnický systém. V dôsledku starnúcej populácie silových transformátorov je dnešný priemysel elektrických zariadení konfrontovaný s ťažkou výzvou, pretože zlyhania transformátora a následná oprava je veľmi nákladná. Transformátory sa stali jedným z najdôležitejších zariadení v elektrizačnej sústave. Potreba spoľahlivých metód monitorovania a diagnostiky poháňa popredných svetových odborníkov, aby zhodnotili nové technológie, ktoré zlepšujú spoľahlivosť a optimalizujú používanie všetkých komponentov siete [1].

Meraný a skúmaný bol počas tohto experimentu izolačný olej ITO 100, pomocou metódy s aplikáciou Scheringovým mostíkom.

Metóda využívajúca aplikáciu Scheringovho mostíka patrí medzi najpoužívanejšie metódy pre meranie kapacity a stratového činiteľa, čo v oblasti diagnostiky elektroizolačných materiálov predstavuje skúmanie predmetného materiálu a následnú analýzu dát pre získanie informácií o stave a fyzikálno-chemických vlastnostiach izolačného systému [2][3].

### Tepelné namáhanie

Jeden z najvýznamnejších činiteľov, ktorý prispieva k prevádzkovej schopnosti elektrotechnického zariadenia je teplota. K zmene teploty prispieva aj pôsobenie vysokých či nízkych teplôt okolia, dôsledkom čoho dochádza k zvýšeniu stratového čísla (činiteľ dielektrických strát) v izolačnom systéme elektrického zariadenia. To znamená, že tepelné preťažovanie izolačného systému zapríčiňuje jeho urýchlené starnutie a zhoršuje jeho elektroizolačné vlastnosti. Na rozdiel od pevných izolačných materiálov, kvapalné a plynné izolačné materiály sú schopné samoobnovenia týchto elektroizolačných vlastností. Izolačné materiály odolávajú zvýšeným teplotám z dôvodu, že väčšina z nich je organického charakteru. Chemické a fyzikálne procesy sú urýchľované teplotou, pričom dochádza k zmene elektroizolačných vlastností [4][5].

### Experiment

Hlavnou podstatou tohto experimentu bolo skúmanie a porovnanie dielektrických vlastností izolačného oleja prostredníctvom merania diagnostických veličín charakterizujúcich elektrofyzikálne zloženie materiálu

vplyvom zvyšovania teploty na izolačný systém. Merané boli hodnoty kapacity  $C$  a stratového činiteľa  $\tan \delta$  počas zvyšovania teploty od 25 °C do 90 °C a pri následnom znižovaní teploty od 90 °C do 25 °C pri aplikovaných napätiach 200 V, 600 V, 1000 V, 1400 V a 1800 V.

Experiment bol realizovaný na novej vzorke izolačného oleja ITO 100.



Obr.1. Vzorka izolačného oleja ITO 100

### Meracie pracovisko

Meranie bolo uskutočňované v laboratóriu pri teplote 22 °C a vlhkosti vzduchu 39 %. Pred samotným meraním bolo zapojené meracie pracovisko, ktoré obsahovalo Scheringov mostík, zdroj napätia, regulátor teploty, teplomer, kapacitný normál (100 pF) a elektródový systém od výrobcu TETTEX Instruments.



Obr.2. Meracie pracovisko s použitými prístrojmi

Následne bol olej odobratý pomocou injekčnej striekačky (40 ml) z uzavretej sklenenej nádoby a naplnený do elektródového systému. Po eliminácii bubliniek z oleja bol elektródový systém uzavretý a pripravený na samotné meranie.

### Analýza experimentálnych výsledkov

Táto časť reprezentuje namerané údaje kapacity a stratového činiteľa metódou zvyšovania resp. znižovania teploty (od 25 °C do 90 °C resp. od 90 °C do 25 °C) pri priložených napätiach na vzorku 200 V, 600 V, 1000 V, 1400 V a 1800 V. Namerané hodnoty boli zapísané do nasledujúcich tabuliek. Tabuľka 1 reprezentuje namerané hodnoty pomocou metódy zvyšovania teploty a Tabuľka 2 znázorňuje namerané hodnoty pomocou metódy znižovania teploty.

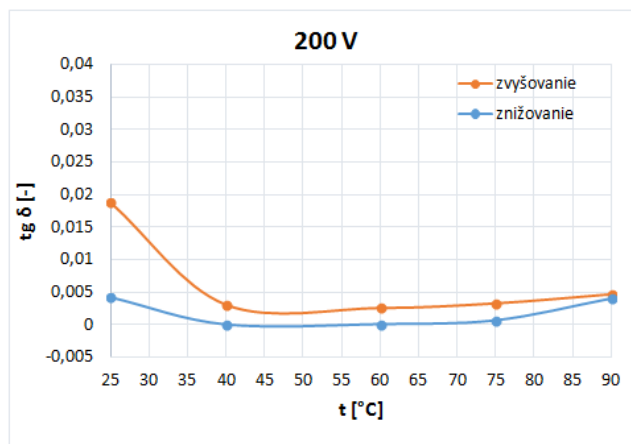
Tabuľka 1. Meranie metódou zvyšovania teploty

25 °C					
U [V]	200	600	1000	1400	1800
C [pF]	136	136	135,9	135,9	135,8
tg δ [-]	0,0188	0,0226	0,0276	0,0317	0,0342
40 °C					
U [V]	200	600	1000	1400	1800
C [pF]	134,5	134,6	134,6	134,6	134,6
tg δ [-]	0,0031	0,0023	0,0024	0,0024	0,0025
60 °C					
U [V]	200	600	1000	1400	1800
C [pF]	132,7	132,9	132,9	132,9	132,9
tg δ [-]	0,0026	0,0012	0,0009	0,0009	0,0008
75 °C					
U [V]	200	600	1000	1400	1800
C [pF]	131,4	131,7	131,8	131,8	131,8
tg δ [-]	0,0033	0,0018	0,0015	0,0014	0,0013
90 °C					
U [V]	200	600	1000	1400	1800
C [pF]	130	130,5	130,6	130,6	130,7
tg δ [-]	0,0047	0,0027	0,0026	0,0023	0,0023

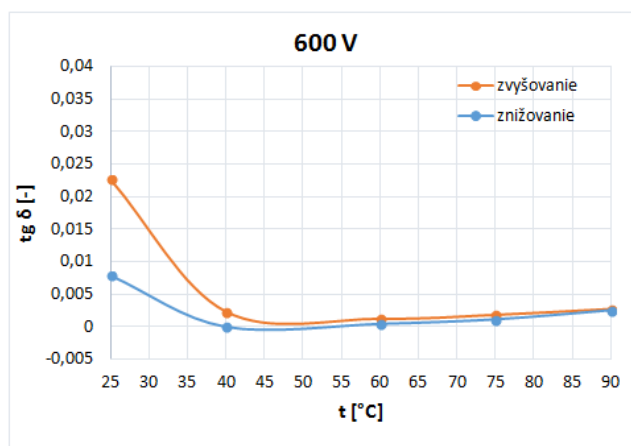
Tabuľka 2. Meranie metódou znižovania teploty

25 °C					
U [V]	200	600	1000	1400	1800
C [pF]	135,7	135,7	135,7	135,7	135,6
tg δ [-]	0,0043	0,0079	0,0109	0,0147	0,0214
40 °C					
U [V]	200	600	1000	1400	1800
C [pF]	134,5	134,4	134,4	134,4	134,4
tg δ [-]	0,00005	0,00005	0,0003	0,0004	0,0004
60 °C					
U [V]	200	600	1000	1400	1800
C [pF]	132,9	132,9	132,8	132,8	132,8
tg δ [-]	0,0001	0,0005	0,0006	0,0007	0,0009
75 °C					
U [V]	200	600	1000	1400	1800
C [pF]	131,8	131,8	131,8	131,7	131,7
tg δ [-]	0,0007	0,0012	0,0013	0,0015	0,0015
90 °C					
U [V]	200	600	1000	1400	1800
C [pF]	130,9	130,7	130,7	130,7	130,7
tg δ [-]	0,0041	0,0026	0,0026	0,0025	0,0025

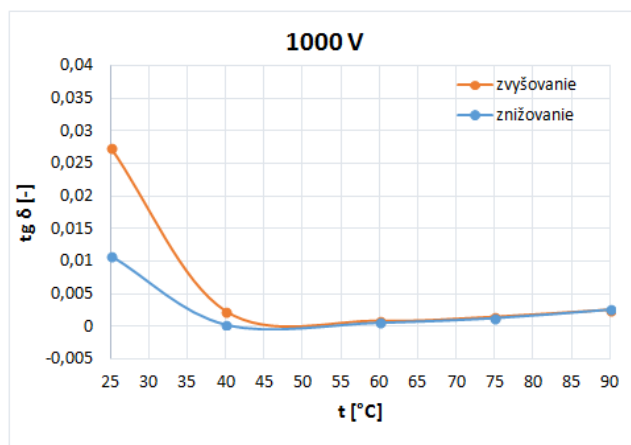
Z nameraných údajov v tabuľkách boli pomocou programu Excel vynesené grafické závislosti stratového činiteľa od teploty ( $\text{tg } \delta = f(t)$ ) pri jednotlivých hodnotách aplikovaného napätia. Tieto grafické závislosti sú znázornené na Obrázku 3 až 7.



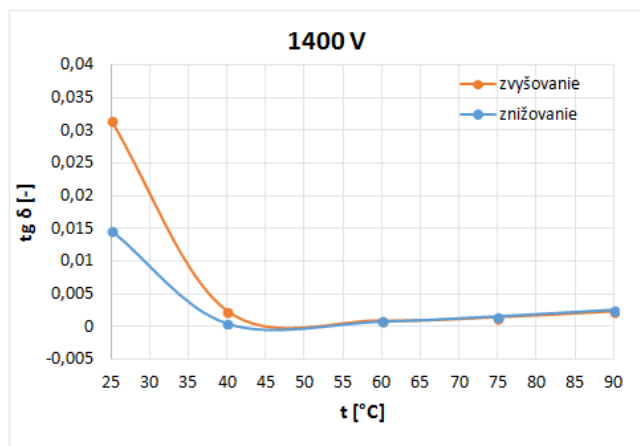
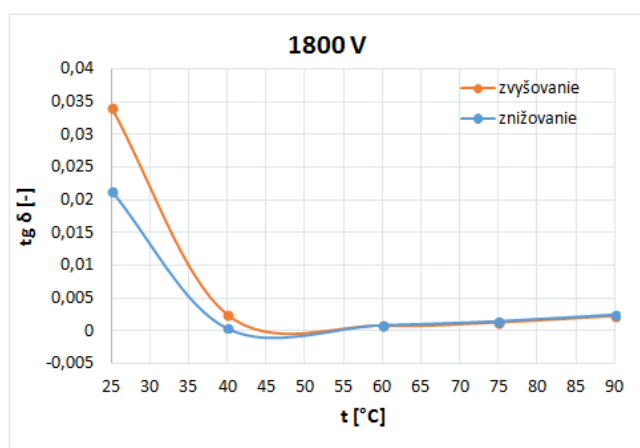
Obr.3. Závislosť  $\text{tg } \delta = f(t)$  pri aplikovanom napätí 200 V



Obr.4. Závislosť  $\text{tg } \delta = f(t)$  pri aplikovanom napätí 600 V



Obr.5. Závislosť  $\text{tg } \delta = f(t)$  pri aplikovanom napätí 1000 V

Obr.6. Zavislost'  $tg \delta = f(t)$  pri aplikovanom napätí 1400 VObr.7. Zavislost'  $tg \delta = f(t)$  pri aplikovanom napätí 1800 V

Z grafických závislostí na Obrázku 3 až 7 je možné si všimnúť, že hodnoty stratového činiteľa sa nezvyšujú lineárne so zvyšujúcou sa teplotou pri všetkých aplikovaných napätíach. To znamená, že izolačný olej ITO 100 sa prostredníctvom stratového činiteľa pri zvyšovaní a zároveň pri znižovaní teploty správa nelineárne. Preto je možné pokladať izolačný olej ITO 100 za nelineárne dielektrikum. Potvrdenie tejto „nelinearity“ spočíva v metóde znižovania teploty, kedy bolo potrebné dokázať túto „nelinearitu“ tým, že sa očakával rovnaký priebeh stratového činiteľa, ako to bolo pri metóde zvyšovania teploty. Pri metóde zvyšovania teploty sa izolačný olej začal správať lineárne až od určitej hodnoty teploty v rozsahu od 40 °C do 60 °C, to znamená, že stratový činiteľ mierne stúpala so zvyšovaním teploty. To isté platilo aj pri metóde znižovania teploty, avšak bod linearity sa posunul na hodnotu teploty v okolí 40 °C. Tento takzvaný bod linearity symbolizuje teplotu, pri ktorej sa nelineárny izolačný olej začína správať lineárne. Táto hodnota teploty z merania získaná nebola, preto by mohla byť predmetom ďalšieho skúmania.

Z grafických závislostí je taktiež vidieť, že hodnoty stratového činiteľa sa líšia medzi jednotlivými metódami merania o určitú odchýlku. Táto odchýlka môže byť spôsobená vlhkosťou izolačného oleja, kedy pri naplnení do elektródového systému došlo ku kontaktu so vzduchom v laboratóriu. Ďalším faktorom spôsobujúcim odchýlku môže byť nedostatočné odbublinkovanie izolačného oleja v elektródovom systéme. Pri aplikovanom napätí 200 V na Obrázku 3 došlo k poklesu hodnôt stratového činiteľa pri metóde znižovania teploty o 70,8 % oproti metóde zvyšovania teploty. Na Obrázku 4 pri priloženom napätí 600 V klesla hodnota stratového činiteľa medzi jednotlivými

metódami o 59 %. Pri aplikovanom napätí 1000 V klesla hodnota stratového činiteľa o 55,7 %, pri napätí 1400 V o 48,1 % a pri napätí 1800 V klesla hodnota stratového činiteľa o 35,4 %. Týmto došlo k potvrdeniu skutočnosti, že so zvyšovaním napätia na izolačný olej ITO 100 sa znižovala percentuálna odchýlka medzi metódou zvyšovania teploty a následnou metódou znižovania teploty. Daná odchýlka sa u všetkých aplikovaných napätíach najviac prejavovala v oblasti nižších teplôt, kedy bola vlhkosť oleja eliminovaná najmenej.

### Záver

Cieľom tohto experimentu bolo skúmanie diagnostických parametrov konkrétne kapacity a stratového činiteľa metódou zvyšovania teploty a následného znižovania teploty na izolačný olej ITO 100 pri určitých hodnotách aplikovaného napätia. Týmto experimentom bolo dokázané, že izolačný olej sa prostredníctvom hodnôt stratového činiteľa správa v závislosti od teploty nelineárne, či už pri zvyšovaní alebo pri následnom znižovaní teploty. Táto takzvaná „nelinearita“ izolačného oleja sa prejavila aj pri zistenej vlhkosťi oleja, kedy sa hodnoty stratového činiteľa pri metóde zvyšovania teploty nezhodovali s hodnotami stratového činiteľa pri metóde znižovania teploty. Experiment taktiež ukázal, že zvyšovaním aplikovaného napätia na izolačný olej ITO 100 vieme eliminovať odchýlku hodnôt stratového činiteľa medzi metódou zvyšovania a znižovania teploty.

### Literatúra

- [1] A. Mikkelsen, J. Wojciechowski, M. Rajňák, J. Kurimský, K. Khobaib, A. Kertmen, Z. Rozynek, Electric Field-Driven Assembly of Sulfonated Polystyrene Microspheres, Materials. 10 (2017) 329.
- [2] Kurimský, J., Fol'ta, M., Čonka, Z., Bucko, S.: „Investigation of effects of non-ionizing electromagnetic fields interacting with biological systems“; In: 8th International Scientific Symposium on Electrical Power Engineering (ELEKTROENERGETIKA 2015) Pages: 564-567
- [3] Kolcunová, I., Pavlík, M., Lisoň, L., „Assessment of long thermal ageing on the oil-paper insulation“, Advances in Electrical and Electronic Engineering, 14(5), 506-511. doi:10.15598/aeee.v14i5.1836
- [4] Kurimský, J.; Cimbala, R.; Kolcunová, I.: PRZEGLAD ELEKTROTECHNICZNY Volume: 84 Issue: 9 Pages: 191-195 Published: 2008 .
- [5] Kurimský, M. Rajňák, P. Bartko, K. Paulovičová, R. Cimbala, D. Medveď, M. Džamová, M. Timko, P. Kopčanský, Experimental study of AC breakdown strength in ferrofluid during thermal aging, J. Magn. Magn. Mater. 465 (2018) 136-142. doi:10.1016/J.JMMM.2018.05.083.

### Podakovanie

Túto prácu podporilo Ministerstvo školstva SR v rámci projektov VEGA č. 2/0141/16 a 1/0340/18, Ministerstvo školstva SR pre štrukturálne fondy projektu EÚ ITMS 26220120055, Slovenská agentúra pre výskum a vývoj na základe zmluvy Č. APVV-15-0438, APVV-17-0372.

### Autori:

Roman Cimbala, Katedra elektroenergetiky, Fakulta elektrotechniky a informatiky Technickej univerzity v Košiciach, Letná 9, 042 00 Košice, E-mail: roman.cimbala@tuke.sk  
Peter Havran, Katedra elektroenergetiky, Fakulta elektrotechniky a informatiky Technickej univerzity v Košiciach, Letná 9, 042 00 Košice, E-mail: peter.havran@tuke.sk