

Skúmanie výbojovej činnosti v rastlinných olejoch

Abstrakt. Izolanty sú základným elektrotechnickým materiálom a sú neoddeliteľnou súčasťou elektrotechnických zariadení, bez ktorých by tieto zariadenia nemohli fungovať. V oblasti izolantov sa neustále skúmajú vlastnosti nových materiálov a ich uplatnenie v praxi. Práca je zameraná na kvapalnú izoláciu, predovšetkým na rastlinné oleje, ktorých vlastnosti ešte nie sú dostatočne preskúmané. V dnešnej dobe sa kladie dôraz na ekologickú nezávadnosť a práve to hrá v prospech rastlinného oleja, ktoré by v blízkej dobe mohli nahradiť minerálne oleje. V práci sú popísané základné poznatky o vlastnostiach izolantov, o problematike čiastkových výbojov a výsledky z meraní výbojovej činnosti rastlinných a minerálnych olejov, ich porovnanie a možnosti využitia rastlinných olejov v elektropriemysle.

Abstract. Insulators are basic electrotechnical material and they are inseparable from electrotechnical equipment, without which these devices would not function. There is ongoing research to find properties of new materials in the insulation category. The work is focused towards liquid insulators, particularly on vegetable oils, whose properties are not sufficiently explored. Today the emphasis is placed on ecological safe and just this plays in favour of vegetable oil, which would replace mineral oil in the near future. The work describes the basic knowledge about the properties of insulations, the issue of partial discharges and the results of measurements of discharge activity of vegetable and mineral oils, their comparison and the possibility of using vegetable oils in electrotechnical industry.

Kľúčové slová: Kvapalnú izolant, rastlinný olej, minerálny olej, čiastkový výboj.

Keywords: Liquid insulant, vegetable oil, mineral oil, partial discharge.

Úvod

Pohodlný spôsob života dnešnej spoločnosti má za následok prudké zvýšenie spotreby elektrickej energie. Na elektrické stroje a prístroje zabezpečujúce jej transformáciu, prenos a rozvod sú kladené prísne požiadavky týkajúce sa spoľahlivosti, životnosti a v poslednom období aj ekologickej nezávadnosti. Technické parametre a prevádzková spoľahlivosť týchto zariadení v značnej miere závisia od ich izolačného systému. Tejto problematike sa venuje niekoľko prác. Pozri napríklad [1, 2].

Väčšinu dnes používaných tekutých izolantov tvoria minerálne oleje, ktoré sa vyrábajú z ropy. Ropa je však neobnoviteľným zdrojom a jej zásoby sú odhadované na pár desiatok rokov. Navyše minerálne oleje pri kontaminácii značne znečisťujú životné prostredie.

Výhodou rastlinných olejov je, že sa vyrábajú z obnoviteľných zdrojov a neznečisťujú životné prostredie.

Elektrické namáhanie v izolácii olej - papier

Pri výrobe a montáži vysokonapäťových zariadení sa spravidla najviac úsilia a financií investuje do realizácie vhodnej izolácie, ktorá je po celý čas životnosti v prevádzke namáhaná vysokými hodnotami nielen prevádzkových napätí. Izolant musí byť navrhnutý tak, aby tieto hodnoty napätí vydržal čo najdlhšie s tým, že hodnoty jeho charakteristík ostanú v požadovanom intervale. Faktom však naďalej ostáva, že každý izolant podlieha starnutiu a degradácii. Postupné zhoršovanie stavu izolácie vedie ku vzniku výbojovej činnosti. V kvapalných dielektrikách, ktorá je často kombinovaná s papierovou izoláciou sa začnú objavovať čiastkové výboje. Ak je výbojová činnosť príliš veľká, či už vplyvom zostarnutia a znečistenia, alebo vplyvom zvýšenia hodnoty napätia z nejakého dôvodu, môže dôjsť vplyvom silného elektrického poľa a nedostatočnej elektroizolačnej schopnosti izolantu k preklenutiu vzdialenosti medzi elektródami. Tomuto javu u kvapalných izolantov hovoríme preskok, pri tuhých izolantoch hovoríme o prieraze. Prúd, ktorý pri preskoku, respektíve pri prieraze preteká izolantom, môže svojimi tepelnými a mechanickými účinkami spôsobiť na zariadení značné škody, alebo ho úplne zničiť [3].

Čiastkové výboje

Dnes sa vysokonapäťové zariadenia po zhotovení podrobujú rozsiahlym kontrolám kvality. Tieto výstupné kontroly majú zároveň poskytnúť aj informácie o očakávanej životnosti a dlhodobej stálosti vlastností. Veľký význam nadobúdajú nedeštruktívne skúšobné metódy, ktoré umožňujú včasné zistenie defektu v izolácii. Jednou z takýchto metód je aj meranie čiastkových výbojov.

V miestach so zníženou elektrickou pevnosťou vplyvom vysokej intenzity elektrického poľa v izolácii vznikajú čiastkové výboje. Tieto výboje predstavujú prieraz plyných dutiniek, lokálny prieraz malých objemov pevných alebo kvapalných dielektrík, miestny prieraz po povrchu pevného dielektrika. Vznik čiastkových výbojov závisí od tvaru elektrického poľa vo vnútri zariadení a od elektrofyzikálnych vlastností (zároveň aj elektrickej pevnosti) použitej izolácie [4].

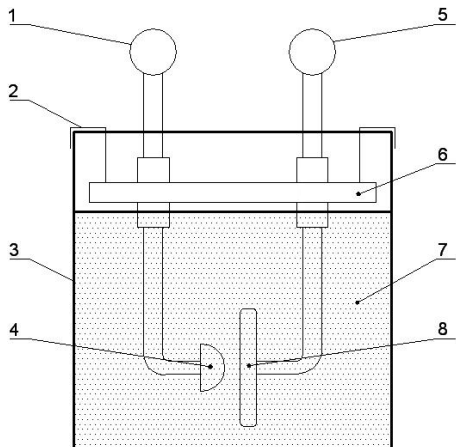
Miestom, kde sa čiastkové výboje objavujú ako prvé, je okraj elektród, kde je namáhanie elektrickým poľom najintenzívnejšie.

V praxi sa často rozlišujú *vnútorné* a *vonkajšie* čiastkové výboje. Ako vonkajšie sa označujú tie čiastkové výboje, ktoré sa objavujú mimo zariadenia, napr. na prívodoch, kým pod vnútornými sa rozumejú tie, ktoré sú vo vnútri uzavretého systému.

Technické izolácie takmer vždy obsahujú nepatrné dutinky, ktoré sa do nich dostali buď už s použitými materiálmi, pri izolovaní alebo vznikli pôsobením prevádzkových podmienok vnútri izolácie, alebo medzi izoláciou a príslušnými vodivými časťami. V elektrickom poli je plyn (najčastejšie vzduch) v dutinách namáhaný ϵ -krát väčším gradientom ako ostatná izolácia, ktorej relatívna permitivita ϵ je vždy väčšia ako permitivita plynu v dutine (pre vzduch rovná jednej). Elektrická pevnosť plynu je nižšia ako elektrická pevnosť pevnej alebo kvapalnej zložky izolácie, nastane prieraz plynu v dutinách, už pri napätí oveľa nižšom, ako je prierazné napätie izolácie ako celku. Takéto výboje, ktoré nepreklenú celú vzdialenosť medzi elektródami, sú označované ako čiastkové [5].

Modelovanie výbojovej činnosti v kvapalných dielektrikách

Na porovnanie výbojovej činnosti v minerálnom a rastlinnom oleji boli vykonané merania, na ktoré bola použitá sklenená nádoba naplnená izolačným olejom, do ktorej bol ponorený elektródový systém (obr. 1).

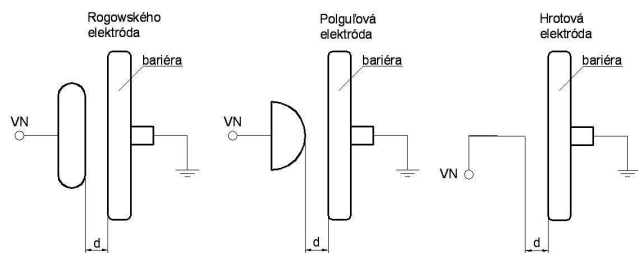


1- prívod vysokého napätia, 2- upevňovacia svorka z izolačného materiálu, 3- sklenená nádoba, 4- vn elektróda, 5- elektróda na zemnom potenciáli, 6- izolačná podložka, 7- izolačný olej, 8- bariéra.

Obr. 1 Meraný objekt

Meranie bolo vykonané na troch vzorkách olejov. Jednalo sa o minerálny olej ITO 100 (inhibovaný transformátorový olej), minerálny olej Lyra-X (inhibovaný transformátorový olej), rastlinný olej Raciol (repkový olej, filtrovaný a chemický upravovaný pre použitie v potravinárskom priemysle).

Ako vn elektródy boli použité Rogowského elektróda, polguľová elektróda a hrotová elektróda, pomocou ktorých boli simulované rôzne stupne homogenity elektrického poľa (obr. 2). Merané vzdialenosti medzi vn elektródou a izolačnou bariérou boli $d = 0\text{ mm}$ a $d = 1\text{ mm}$.

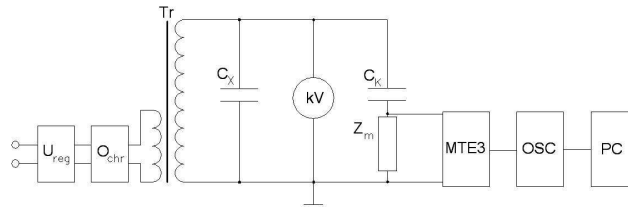


Obr. 2 Usporiadanie elektród

Na meranie boli použité dva typy bariér, konkrétne papierová o hrúbke 2,8 mm a sklenená o hrúbke 4,7 mm. Sklenená bariéra bola použitá kvôli prerezom papierovej bariéry pri napätíach nad 20kV. Z toho dôvodu bola výbojová činnosť meraná pri napätí do 30kV pri sklenenej bariére a do 20kV pri papierovej bariére.

Usporiadanie meracieho pracoviska

Samotné meranie čiastkových výbojov bolo vykonané pomocou priamej metódy so sériovým zapojením meracej impedancie a väzobného kondenzátora podľa schémy zapojenia na obrázku (Obr. 3). Princíp tejto metódy je popísaný v norme IEC 60270.



Obr. 3 Schéma meracieho obvodu čiastkových výbojov

Úbytky napätia (napätové impulzy) na meracej impedancii Z_m vyvolané prúdovými impulzmi čiastkových výbojov na meranom objekte C_x sú spracované meracím prístrojom MTE3. Jeho úlohou je zosilniť prijatý signál na požadovanú úroveň a odviesť ho do digitálneho osciloskopu OSC, ktorý slúži ako A/D prevodník a uložené dáta odosiela do osobného počítača PC, kde sú spracované programom vytvoreným v prostredí HP VEE.

Postup merania

Elektródový systém bol ponorený do izolačného oleja, následne bola nastavená požadovaná vzdialenosť a vykonaná kalibrácia. Prvé meranie bolo realizované so vzdialenosťou $d = 0\text{ mm}$, to znamená, že vn elektróda sa dotýkala bariéry. Napätie sa postupne zvyšovalo dovtedy, kým sa neobjavili prvé výboje. Ďalšie zvyšovanie napätia prebehlo s krokom 1kV pri papierovej bariére a s krokom 3kV pri sklenenej bariére. Maximálne meracie napätie pri papierovej bariére bolo 20kV kvôli výraznej degradácii bariéry a jej následnému prerazu pri vyšších napätíach. Po ukončení meraní pri každom napätovom kroku sa medzielektródová vzdialenosť nastavila na hodnotu $d=1\text{ mm}$ a celé meranie sa zopakovalo. Po skončení meraní so vzdialenosťou 1 mm sa vymenila vn elektróda a vykonali sa obdobné merania ($d = 0\text{ mm}$, $d = 1\text{ mm}$). Po ukončení konkrétneho merania bola meracia nádoba vyčistená technickým benzínom, opláchnutá teplou vodou a nechala sa vysušiť minimálne 24 hodín, aby sa pripravila na ďalšie meranie. Po naliatí novej vzorky oleja sa táto opäť nechala postáť 24 hodín kvôli usadeniu sa tuhých nečistôt a rozptýleniu sa plynových bublín, ktoré vznikli pri nalievaní. Po tejto procedúre sa zopakovalo meranie ako pri predchádzajúcej vzorke.

Štatistické vyhodnotenie merania čiastkových výbojov

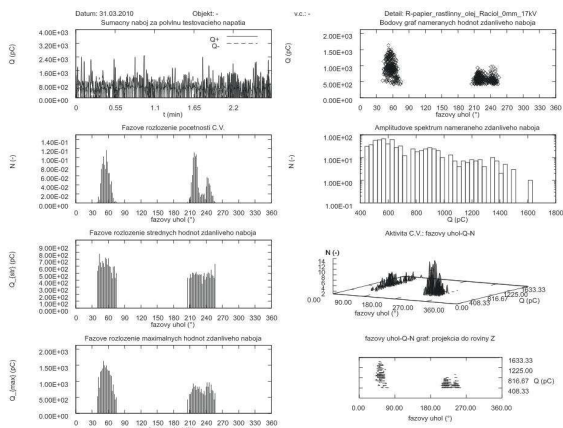
Po skončení merania čiastkových výbojov boli získané dáta podrobené štatistickému vyhodnoteniu. Vyhodnocovacia procedúra spočívala z číslicovej filtrácie rušivých signálov, vyhodnotenia amplitúdy zdanlivého náboja čiastkových výbojov a výpočtov rozložení štatistických parametrov v závislosti od fázového uhla. Výsledkom tohto vyhodnotenia je osem grafov (obr.4)

Na týchto grafoch sú zobrazené základné informácie o výbojovej činnosti. Z nich najdôležitejšie sú :

- maximálna hodnota zdanlivého náboja čiastkových výbojov,
- početnosť výbojov,
- fázové rozloženie výbojov,
- sumačný náboj.

Hodnoty týchto veličín boli zapísané do tabuliek, pričom každá veličina sa vyhodnocovala v kladnej a zápornej polvine priloženého napätia zvlášť.

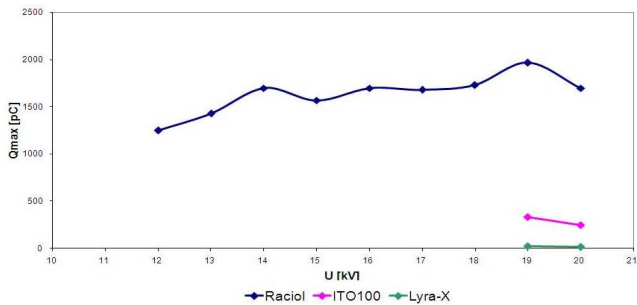
Na porovnanie olejov boli zostrojené grafické závislosti maximálnych hodnôt zdanlivého náboja čiastkových výbojov od priloženého napätia pre vzdialenosti $d = 0$ a 1mm.



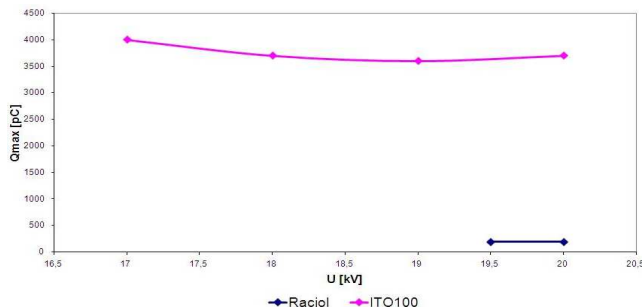
Obr. 4 Grafické vyhodnotenie merania čiastkových výbojov

Porovnanie maximálnych hodnôt zdanlivého náboja meraných olejových vzoriek

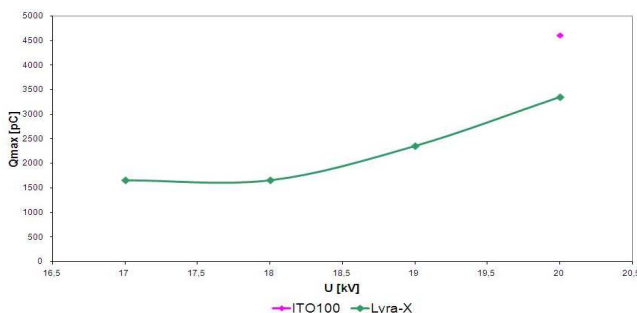
Na nasledujúcich grafoch (Obr. 5, 6, 7) je zostrojená závislosť maximálnej hodnoty zdanlivého náboja od meracieho napätia pri meraní výbojovej činnosti s použitím papierovej bariéry, pri vzdialenosti $d = 0\text{mm}$ a pre rôzne elektródové usporiadania.



Obr. 5 Porovnanie závislosti $Q_{max}=f(U)$ meraných olejov (Rogovského elektróda, papierová bariéra, $d=0\text{mm}$)



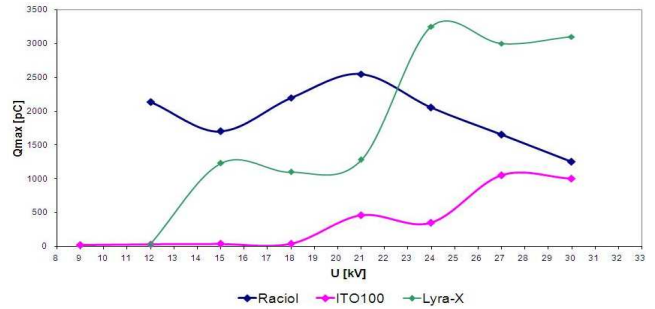
Obr. 6 Porovnanie závislosti $Q_{max}=f(U)$ meraných olejov (polguľová elektróda, papierová bariéra, $d=0\text{mm}$)



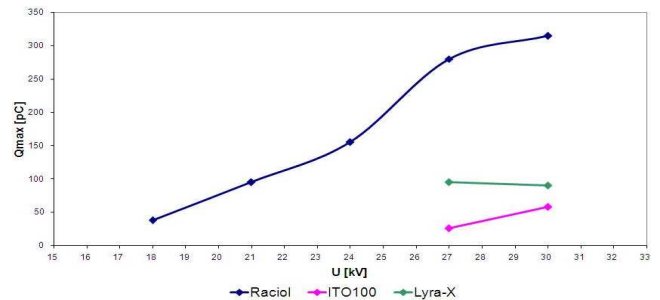
Obr. 7 Porovnanie závislosti $Q_{max}=f(U)$ meraných olejov (hrot, papierová bariéra, $d=0\text{mm}$)

Ako je možné vidieť zo spomínaných grafov, minerálne oleje vykazovali najnižšiu maximálnu hodnotu zdanlivého náboja pri homogénnom poli, ktoré je reprezentované Rogovského elektródou (obr. 5), tak ako bolo možné očakávať podľa princípov polí. Oproti tomu, rastlinný olej Raciol vykazoval najnižšiu výbojovú činnosť pri silne nehomogénnom poli, ktoré predstavovala konfigurácia hrot – bariéra (obr. 7).

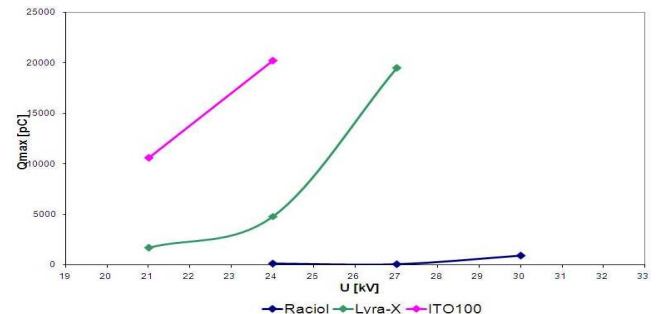
V ďalších troch grafoch (Obr. 8, 9, 10) sú zhotovené výsledky pre meranie výbojovej činnosti s použitím sklenenej bariéry, pri vzdialenosti $d = 0\text{mm}$ a pre rôzne elektródové usporiadania.



Obr. 8 Porovnanie závislosti $Q_{max}=f(U)$ meraných olejov (Rogovského elektróda, sklenená bariéra, $d=0\text{mm}$)



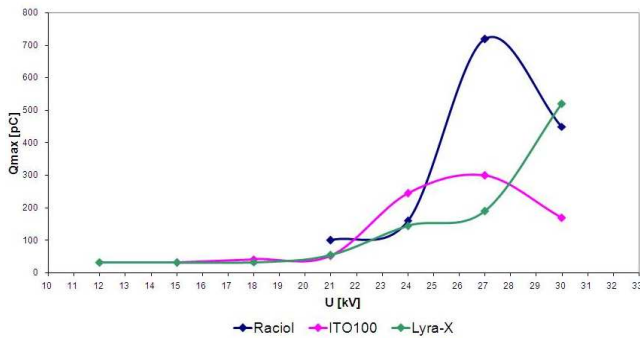
Obr. 9 Porovnanie závislosti $Q_{max}=f(U)$ meraných olejov (polguľová elektróda, sklenená bariéra, $d=0\text{mm}$)



Obr. 10 Porovnanie závislosti $Q_{max}=f(U)$ meraných olejov (hrot, sklenená bariéra, $d=0\text{mm}$)

Pri sklenenej bariére, podobne ako pri papierovej, výbojová činnosť v rastlinnom oleji klesala s narastajúcim stupňom nehomogenity poľa, na rozdiel od minerálnych olejov, kde výbojová činnosť pri silne nehomogénnom poli prudko stúpala v závislosti od hodnôt meracieho napätia.

Na poslednom grafe (Obr. 11) je znázornené porovnanie meraných olejových vzoriek z hľadiska maximálnej hodnoty zdanlivého náboja pre Rogovského elektródu, sklenenú bariéru a pre vzdialenosť $d = 1\text{mm}$, kvôli porovnaniu výbojovej činnosti v závislosti od medzelektródovej vzdialenosti d .



Obr. 11 Porovnanie závislosti $Q_{max}=f(U)$ meraných olejov (Rogowského elektróda, sklenená bariéra, $d=1\text{mm}$)

Ako si môžeme všimnúť v grafoch (Obr. 8, Obr. 11), Pri vzdialenosti $d = 1\text{mm}$ sa výbojová činnosť v olejoch objavila neskôr, a maximálne hodnoty zdanlivého náboja boli nižšie. V niektorých prípadoch sa výboje ani neobjavili, alebo sa objavili len pri niektorých vzorkách a niektorých hodnotách skúšobného napätia. Z toho dôvodu tu tieto grafy nie sú uvedené.

Záver

Táto práca bola zameraná na meranie čiastkových výbojov v rastlinnom a minerálnych olejoch, na porovnanie výbojovej činnosti za účelom použitia a možnej náhrady minerálnych olejov rastlinnými, hlavne z dôvodu ekologických požiadaviek.

Minerálny olej ITO100 vykazoval lepšie vlastnosti pri meraniach s Rogowského elektródou a v niektorých prípadoch s polguľovou elektródou, čo sú elektródy reprezentujúce homogénne elektrické pole, a o ktoré sa snažia aj výrobcovia transformátorov. Týmito výsledkami potvrdil minerálny olej ITO100 svoje dominantné postavenie v praxi. Pri meraniach s hrotovou elektródou však už výrazne zaostal, hlavne za rastlinným olejom Raciol, ktorý pri obidvoch vzdialenostiach ($d = 0\text{ mm}$, $d = 1\text{ mm}$) a aj použitých bariérach preukázal najnižšiu alebo žiadnu výbojovú činnosť. Pri Rogowského a polguľovej elektróde bola výbojová činnosť väčšinou u rastlinného oleja vyššia ako pri minerálnych olejoch, no rozdiely neboli podstatne veľké. Okrem maximálnej hodnoty náboja sa rastlinný olej Raciol prejavil veľkou stabilitou, keď si pri všetkých meraniach zachovával podobné hodnoty, čo sa nedá povedať o minerálnom oleji Lyra-X.

Tento olej pri napätiach do 20kV vykazoval nízku výbojovú činnosť, no pri zvýšení napätia nad 20kV už výrazne stúpila výbojová činnosť a nastali aj také prípady, kedy výboje boli tak veľké, že ich s uvedenou aparátúrou nebolo možné zmerať. To sa stalo aj pri minerálnom oleji ITO100, no ani raz pri rastlinnom oleji Raciol.

Z výsledkov meraní výbojovej činnosti v spomínaných olejoch je vidieť, že rastlinný olej v niektorých prípadoch vykazoval lepšie vlastnosti (nižšiu maximálnu hodnotu zdanlivého náboja, vyššie počiatočné napätie výbojovej činnosti), v iných prípadoch zaostal za minerálnymi olejmi, ale rozdiely neboli výrazne veľké.

Na základe nameraných výsledkov je možné konštatovať, že rastlinné oleje sú z pohľadu vzniku výbojovej činnosti konkurencieschopné minerálnym olejom.

Ďalší výskum tejto problematiky by sa mohol zaoberať teplotnou závislosťou maximálnych hodnôt zdanlivého náboja a počiatočného napätia, ako aj výskumom ďalších elektrických a fyzikálnych parametrov rastlinných olejov.

Oleje založené na rastlinnej báze by mohli byť výhodne použité v transformátoroch na miestach, kde by vytečenie

oleja pri poruche, ale aj bežnej prevádzke mohlo spôsobiť veľké ekologické škody.

Literatúra

- [1] P. Toman, "Simulation of Instrument Transformer Properties in Power Systems," In: Electric Power Engineering, Brno, Czech Republic, 2006.
- [2] Goňo, R., Rusek, S., Král, V., Krátký, M.: Reliability Analyses used by Maintenance. In International Conference POWER AND ENERGY SYSTEM AsiaPES 2008, Langkawi, Malaysia. Ed. K.M. Nor, Calgary, Alberta: ACTA Press, 2008, vol. 2008, 118 - 123, IASTED, ISBN CD: 978-0-88986-732-1.
- [3] Martin Marci, Irida Kolcunová, Juraj Kurimský: Meranie výbojovej činnosti v kombinovanej izolácii olej - papier, Publikácia TUKE: Starutie elektroizolačných systémov, 6/2009. Dostupné na internete: <http://web.tuke.sk/fe-kee/jses/uploads/File/jses-06-2009.pdf>
- [4] Kolcunová, I.: Diagnostika elektroenergetických zariadení metódou čiastkových výbojov, Technická univerzita v Košiciach, Košice, 2008, ISBN 978-80-553-0031-3
- [5] Artbauer, Ján – šedovič, Juraj – Adamec, Vladimír: Izolanty a izolácie, ALFA, Bratislava, 1969

Táto práca vznikla za podpory vedeckej grantovej agentúry ministerstva školstva SR a Slovenskej akadémie vied v rámci projektu APVV 20-006005 a VEGA 1/0368/09.

Autori: Irida Kolcunová, Katedra elektroenergetiky, Fakulta elektrotechniky a informatiky Technickej univerzity v Košiciach, Letná 9, 042 00 Košice, E-mail: irida.kolcunova@tuke.sk

Martin Marci, Katedra elektroenergetiky, Fakulta elektrotechniky a informatiky Technickej univerzity v Košiciach, Letná 9, 042 00 Košice, E-mail: martin.marci@tuke.sk

Juraj Kurimský, Katedra elektroenergetiky, Fakulta elektrotechniky a informatiky Technickej univerzity v Košiciach, Letná 9, 042 00 Košice, E-mail: juraj.kurimsky@tuke.sk