

Iraida Kolcunová, Martin Marci, Juraj Kurimský

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

Koróna v oleji

Abstrakt. Pre zabezpečenie stabilnej a spoľahlivej prevádzky elektrických zariadení je nutné okrem ich funkčných častí dbať na neustály vývoj nových technológií a riešení v oblasti elektroizolácií, ktoré obsahuje každé elektroenergetické zariadenie. Izolácia tvorí najzákladnejšiu a často aj jednu z najdrahších častí zariadení. Okrem ekonomických a funkčných požiadaviek kladených na elektroizoláciu sa v súčasnosti dostáva do popredia otázka ekológie. Novým trendom v oblasti kvapalných dielektrík je možnosť použitia rastlinných olejov ako kvapalného dielektrika. Táto práca sa zaoberá výskumom a porovnaním vzoriek silikónového a repkového oleja, z pohľadu odolnosti voči koróne.

Abstract. To assure a stable and reliable service of electrical equipments, in addition to technological parts it is necessary to take care about constant developing of new technologies and solutions in the area of electroinsulants, that are a part of every electrical device. Insulation is one of the most important and often one of the most expensive parts of the device. Except for economical and technological aspects, there is an environmental aspect putted on electroinsulants on the present. There is one new trend in the liquid dielectrics field, concrete developing of electroinsulating oils based on vegetable base. This paper deals with comparison of silicone oil sample and colza oil sample due to resistance against corona.

Kľúčové slová: Kvapalný izolant, rastlinný olej, minerálny olej, korónový výboj.

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

Úvod

Prudký nárast spotreby a s ňou súvisiacej aj výroby elektrickej energie očakávaný v nasledujúcich rokoch, taktiež neustály rast cien elektrickej energie a deregulácia trhu s elektrickou energiou, kladie zvýšené požiadavky na elektrické zariadenia všetkých druhov nielen z kvantitatívnej, kvalitatívnej, ale aj zo spoľahlivostnej a ekologickej stránky. Keďže technické parametre a prevádzková spoľahlivosť podstatnej časti týchto zariadení závisia v značnej miere od kvality ich olejovej náplne, je nanajvýš potrebné venovať tomuto materiálu pozornosť. [1]

Ak ma elektroenergetické zariadenie fungovať správne, vysokonapäťová izolácia musí byť schopná odolávať prevádzkovým podmienkam. Vzhľadom na vysoké hodnoty prevádzkových napätí a občasnú extrémne podmienky sa v izolácii elektroenergetických zariadení, ktoré obsahujú miesta s vysokým stupňom nehomogenity poľa môžu objaviť čiastkové výboje. Tieto výboje postupne degradujú izoláciu, vytvárajú plynové bublinky, tuhé nečistoty a menia chemické zloženie prostredia, čo môže viesť k postupnej degradácii až k zničeniu izolácie a preto je potrebné sledovať stav izolácie elektrotechnických zariadení. V laboratórnych podmienkach je možné tieto výboje skúmať pomocou elektródového systému ihla – rovinná elektróda, ktorý je ponorený do oleja a tak skúmať vplyv znečistení kvapalných dielektrík, ostrých výčnelkov, okrajov elektród a iných konštrukčných prvkov elektroenergetických zariadení na elektrickú pevnosť rôznych izolačných kvapalín. Existuje niekoľko metód na skúmanie výbojovej činnosti, okrem priamej metódy použitej v tomto výskume sa úspešne používa napríklad akustická metóda, ktorá je bližšie popísaná v práci [2].

Teoretická časť

Čiastkové výboje, ktoré sú vo vzduchu známe ako koróna, sú v kvapalných dielektrikách označované ako streamer. Intenzita výbojovej činnosti je úzko spätá so starnutím a poškodením izolácie, preto je potrebné

porozumieť tejto činnosti, aby bolo možné určiť stav izolácie.

Korónový výboj je výboj v silne nehomogénom poli, ktorý je spôsobený ionizáciou kvapaliny obklopujúcej vodič. Nastane v okamihu, keď gradient potenciálu v mieste nehomogenity presiahne určitú hodnotu, ale elektrická pevnosť zvyšného prostredia je dostatočne vysoká na to, aby nedošlo k úplnému preskoku v dielektriku.

Koróna je proces, pri ktorom ióny generované poľom prechádzajú z miest s vyšším potenciálom do neďalekých oblastí s nižším potenciálom, alebo rekombinujú a vytvárajú neutrálne molekuly prostredia.

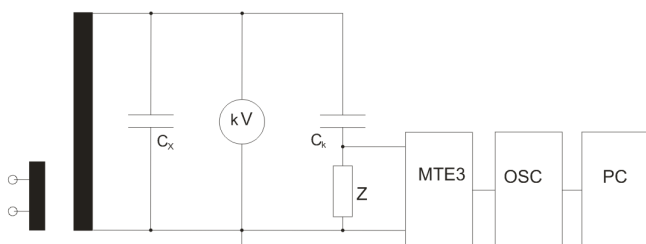
Keď je gradient potenciálu v kvapaline dostatočne vysoký, prostredie v tomto mieste sa ionizuje a stáva sa vodivým. V silných elektrických poliach, vodivosť kvapalných dielektrík závisí od stupňa čistoty kvapaliny, tvaru priloženého napätia, elektródového systému, kvality stavu povrchu a materiálu elektród. Vo veľmi čistých kvapalinách, závislosť intenzity elektrického poľa od prúdu pretekajúceho v medzielektródovom priestore má tri oblasti. Prvá oblasť odpovedá intenzite o hodnote nižšej ako 10kVcm^{-1} . V tejto oblasti je migrácia častíc ovplyvnená základným ohmovým zákonom a hlavnú úlohu hrá iónová a kataforetická vodivosť. Druhá oblasť, v ktorej je prúd len veľmi málo závislý na intenzite elektrického poľa sa nazýva oblasť nasýtenia a odpovedá intenzite od 10kVcm^{-1} do 100kVcm^{-1} . V poslednej oblasti s intenzitou elektrického poľa vyššou ako 100kVcm^{-1} , nárast vodivosti kvapaliny spôsobí vysokou závislosťou hodnoty pretekajúceho prúdu od zvyšujúcich sa hodnôt intenzity elektrického poľa.

Nárast vodivosti kvapalného dielektrika môže byť spôsobený zväčšením pohyblivosti nosičov náboja pri zvyšovaní hodnoty napätia a zväčšením koncentrácie nosičov náboja. Zväčšenie koncentrácie nosičov náboja v poliach s vysokou hodnotou intenzity môže byť spôsobené dodatočným vznikom iónov v dôsledku intenzívnej disociácie molekúl kvapaliny a prímiesí, studenou emisiou (emisiou poľom), alebo termoiónovou emisiou (Schottkyho emisiou), ktorá je uľahčená silným elektrickým poľom znížením bariéry, ktorú elektróny musia prekonať pri výstupe z kovu a nárazovou ionizáciou v objeme kvapaliny.

Meranie korónových výbojov

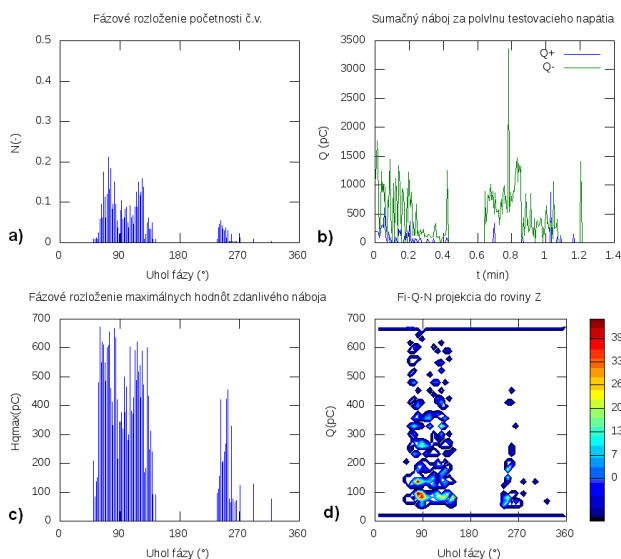
Na meranie koróny v oleji bola použitá elektródová konfigurácia ihla – rovinná elektróda. Koróna bola skúmaná v dvoch vzorkách olejov, konkrétne v silikónovom oleji Lukosiol M200 s viskozitou $200\text{mm}^2\text{s}^{-1}$ pri 25°C a v rastlinnom repkovom oleji Raciol s viskozitou $62\text{mm}^2\text{s}^{-1}$ pri 25°C . Výbojová činnosť bola vytváraná na hrote, na ktorý bolo privedené vysoké striedavé napätie.

Samotné meranie číastkových výbojov bolo vykonané pomocou priamej metódy so sériovým zapojením meracej impedancie a väzobného kondenzátora podľa schémy zapojenia na obrázku (Obr.1). Princíp tejto metódy je popísaný v norme IEC 60270.



Obr. 1 Schéma meracieho obvodu korónových výbojov [3]

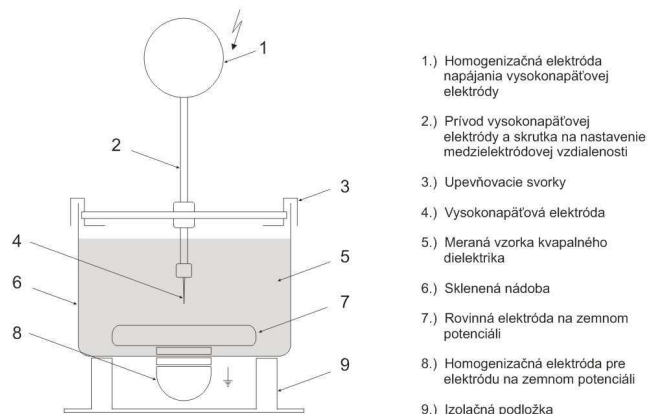
Výstupy meraní boli v konečnej podobe spracované do štyroch ϕ , q , n grafov (Obr. 2).



Obr. 2 Grafické vyhodnotenie merania číastkových výbojov

- Sumačný náboj je reprezentovaný dvoma krivkami. Prvá reprezentuje nábojové kvantum generované v kladnej polovici priebehu priloženého napätia. Druhá krivka predstavuje nábojové kvantum generované v zápornej polovici priebehu priloženého napätia.
- Štatistické rozloženie reprezentujúce fázové rozloženie počtu číastkových výbojov vo fázových okienkach počas celého merania v časovej doméne jednej periódy.
- Štatistické rozloženie reprezentujúce fázové rozloženie maximálnych hodnôt zdanlivého náboja číastkových výbojov vo fázových okienkach počas celého merania v časovej doméne jednej periódy.
- Štatistické rozloženie reprezentujúce zobrazenie všetkých nameraných výbojov počas celého merania, veľkosť hodnôt a početnosť zdanlivého náboja výbojov, vzťahnuté na časovú doménu jednej periódy.

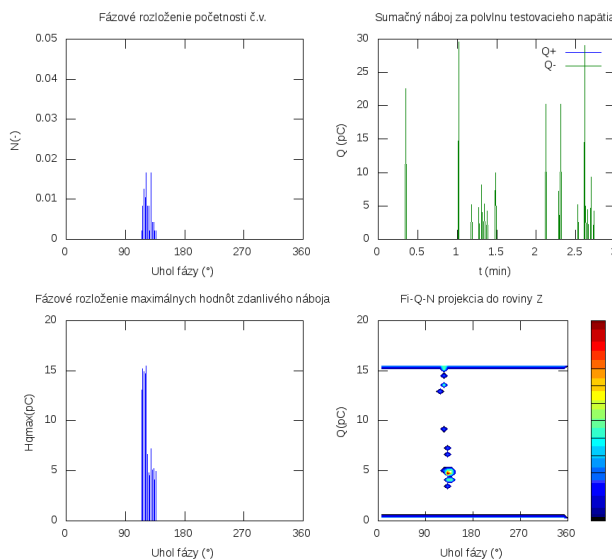
Meraný objekt C_x pozostáva zo sklenenej nádoby naplnenej meranou vzorkou kvapalného dielektrika, vysokonapäťovej hrotovej elektródy s polomerom zakrivenia $r_h=3\mu\text{m}$ a uzemnenej rovinatej elektródy s polomerom $r_r=125\text{mm}$ (Obr. 3).



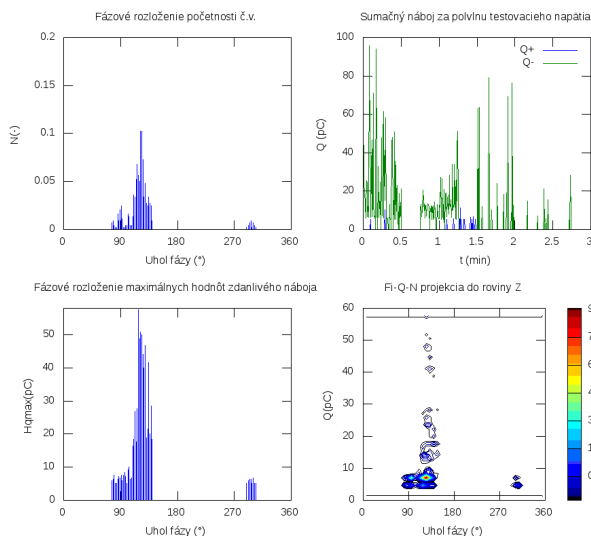
Obr. 3 meraný objekt

Meraná vzorka kvapalného dielektrika bola do sklenenej meracej banky naliata tak, aby do oleja vniklo čo najmenej vzduchových bublín, a nechala sa odstáť 24 hodín. Po nupojení meraného objektu do meracieho obvodu bola medzi ihlou a rovinnou elektródou nastavená vzdialenosť 35mm. Na homogenizačnú elektródu bolo privedené vysoké striedavé napätie, ktoré sa zvyšovalo dovtedy, kým sa neobjavili prvé počiatkové výboje. Po zmeraní počiatkových výbojov sa hodnota napätia konštantne zvyšovala s krokom 1kV, pričom bola zaznamenaná výbojová činnosť pre každú napäťovú hladinu. Maximálna hodnota napätia, pri ktorej meranie prebehlo, bola 30kV. Meranie sa vykonalo aj pre medzielektródové vzdialenosti $d = 20\text{mm}$ a 30mm , kvôli nedostatku priestoru sa však táto práca týmito meraniami nezaobrá.

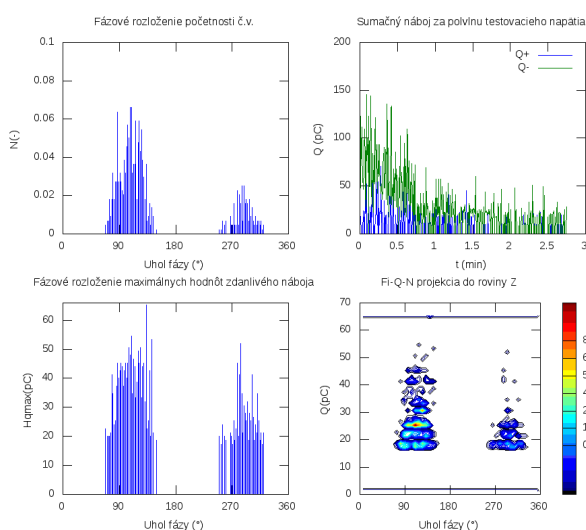
Vyhodnotenie nameraných výsledkov



Obr. 4 ϕ , Q , N výbojovej činnosti vo vzorke Lukosiol, 7kV



Obr. 5 φ, Q, N výbojovej činnosti vo vzorke Lukosiol, 9kV



Obr. 6 φ, Q, N výbojovej činnosti vo vzorke Lukosiol, 14kV

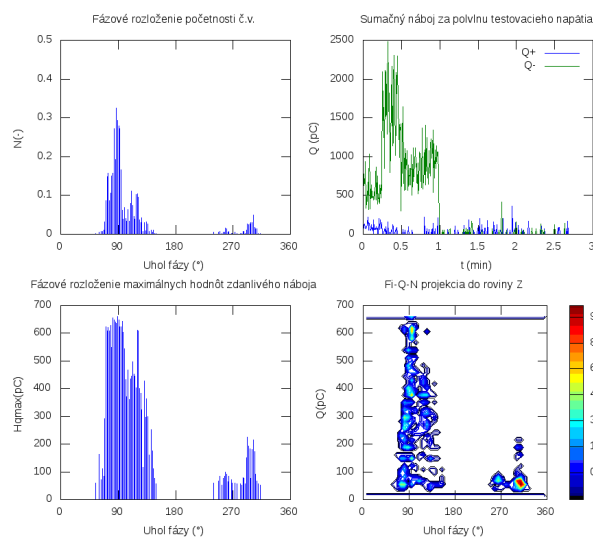
Z výsledkov merania je možné si všimnúť rozdielne správanie sa vzniku a rozvoja korónových výbojov vo vzduchu a v kvapalnom dielektriku. V kvapalnom dielektriku sa počiatkové výboje objavujú v kladnej polvine priloženého sinusoidného napätia za 90° po fáze (v okolí 110°) (obr. 4). Pri ďalšom zvyšovaní napätia sa výboje objavujú aj v zápornej polvine za amplitúdou napätia (v okolí 290°) (obr. 5). Amplitúda výbojov je väčšia v kladnej polvine. So zvyšovaním napätia sa výbojová činnosť rozširuje po fáze smerom k U_{max} (Obr. 6). Intenzita výbojovej činnosti pri nižších napätových hladinách je veľmi nestabilná a rýchlo zaniká.

Porovnaním výbojovej činnosti pri zvyšovaní napätia v silikónovom (Obr. 7, 8, 9) a rastlinnom oleji (Obr. 10, 11, 12) je možné konštatovať niekoľko záverov:

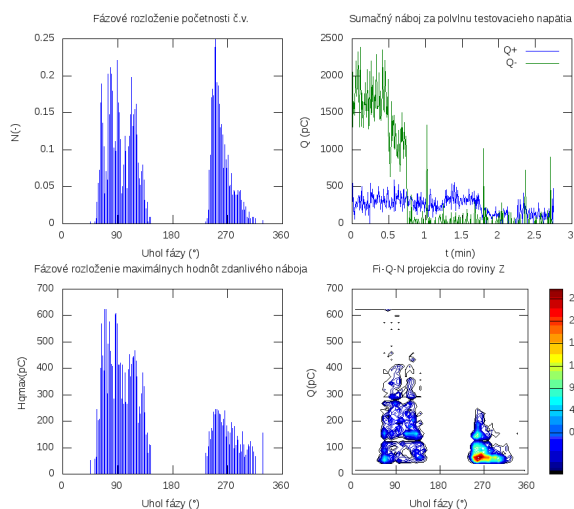
- rozvoj výbojovej činnosti pri zvyšovaní napätia je v oboch vzorkách podobný – pri zvyšovaní napätia sa výbojová činnosť zvyšuje a má podobné fázové rozloženia,
- stabilita výbojovej činnosti je vysoko závislá od viskozity kvapalného dielektrika,
- počiatkové napätie vzniku korónových výbojov je u vzorky rastlinného oleja vyššie (12kV) ako u vzorky silikónového oleja (7kV),
- maximálna hodnota zdanlivého náboja častkových výbojov pri rovnakých napätových hladinách je vyššia u silikónového oleja (Obr. 7 - 12), (Tabuľka. 1).

Tabuľka 1. Vyhodnotenie parametrov výbojovej činnosti

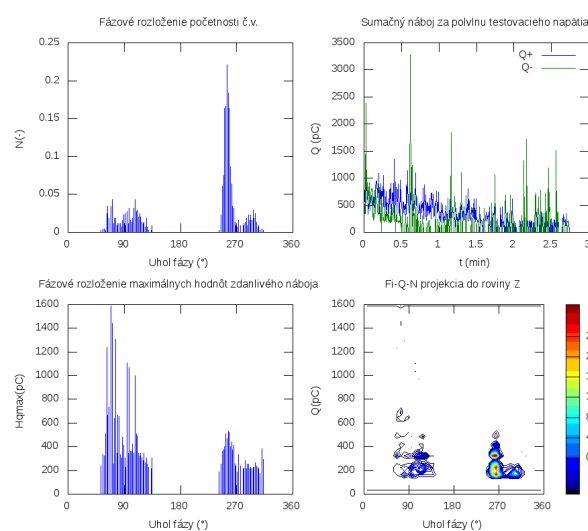
Priložené napätie	Q_{max} [pC] (Raciol)		Q_{max} [pC] (Lukosiol)	
	+	-	+	-
24 kV	580	110	650	250
26 kV	500	300	620	250
28 kV	680	480	1600	600



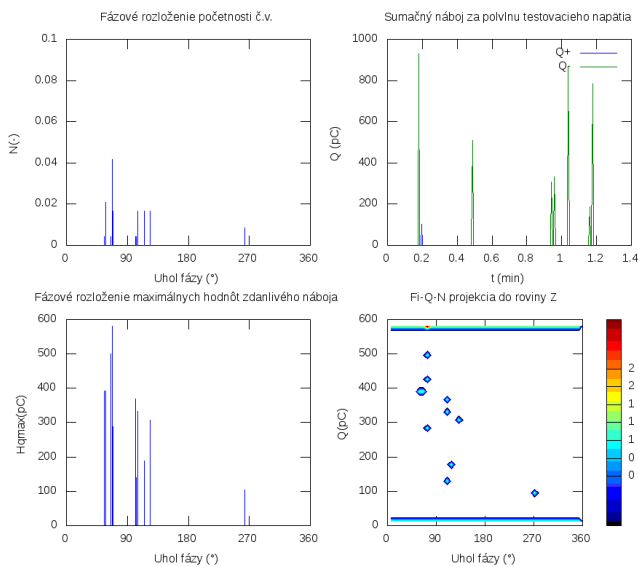
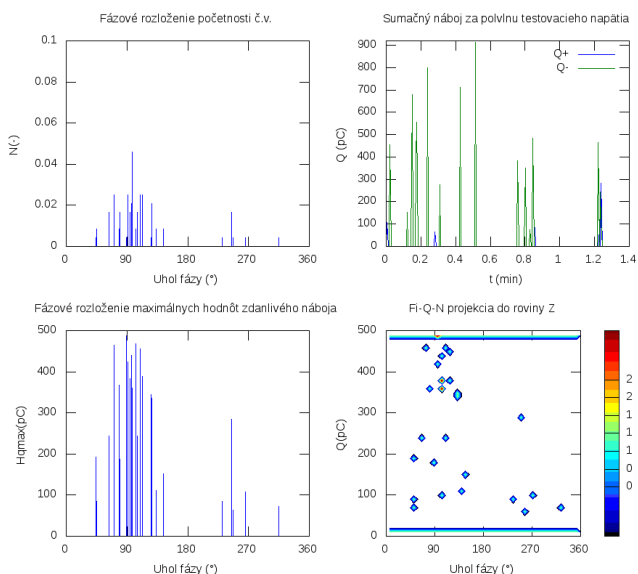
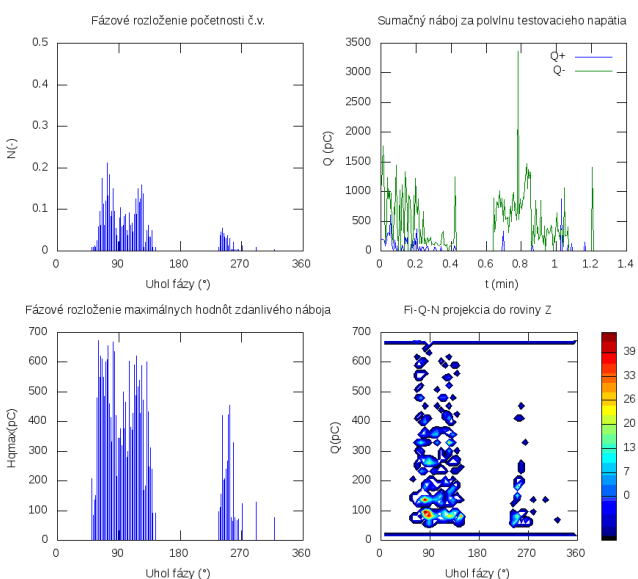
Obr. 7 φ, q, n výbojovej činnosti vo vzorke Lukosiol, 24kV



Obr. 8 φ, q, n výbojovej činnosti vo vzorke Lukosiol, 26kV



Obr. 9 φ, q, n výbojovej činnosti vo vzorke Lukosiol, 28kV

Obr. 10 ϕ , q , n výbojovej činnosti vo vzorke Raciol, 24kVObr. 11 ϕ , q , n výbojovej činnosti vo vzorke Raciol, 26kVObr. 12 ϕ , q , n výbojovej činnosti vo vzorke Raciol, 28kV

Záver

Táto práca sa zaoberala výskumom odolnosti kvapalných dielektrík voči koróne. Predmetom výskumu bolo vyšetrovanie vzniku a rozvoja výbojovej činnosti v silikónovom a rastlinnom oleji kvôli vzájomnému porovnaniu týchto dvoch vzoriek. Dôvodom je vyšetrovanie vhodnosti použitia rastlinných olejov ako kvapalného dielektrika v oblasti elektroenergetiky. Na základe získaných výsledkov je možné skonštatovať, že rastlinné oleje vykazovali veľmi dobré výsledky v porovnaní so silikónovým olejom, preto je možné ďalší výskum v tejto oblasti označiť ako perspektívny. Ďalší výskum by sa mohol zamerať na správanie sa koróny v minerálnych olejoch a na závislosť parametrov koróny od teploty, kvôli overeniu vhodnosti použitia rastlinných olejov z pohľadu odolnosti voči koróne za prevádzkových podmienok.

Literatúra

- [1] CIMBALA, Roman: Tepelná závislosť izolačného stavu rastlinného oleja. In: Starnutie elektroizolačných systémov, no. 3 (2007). Dostupné na internete: <<http://jeen.fe.i.tuke.sk/index.php/JSES/article/viewFile/101/103>>
- [2] DŽMURA, Jaroslav - PETRÁŠ, Jaroslav - BALOGH, Jozef: Partial discharge measurements using acoustic methods. In: Elektrotechnika, Electronica, Automatica. vol. 56, no. 4 (2008), p. 10-12. ISSN 1582-5175.
- [3] Ján Tkáč, Juraj Kurimský, Bystrík Dolník: *Laboratórny výskum výbojovej činnosti v modeloch s kombinovanou izoláciou olej - papier*, Publikácia TUKE: Starnutie elektroizolačných systémov, 4/2008. Dostupné na internete: <<http://web.tuke.sk/fei-kee/jses/uploads/File/jses-04-2008-07.pdf>>
- [4] MARCI, M.: Meranie výbojovej činnosti v kombinovanej izolácii olej – papier, diplomová práca, Košice, 2009.
- [5] Suwarno, Phase-resolved analysis of discharges in air, liquid and solid insulating materials, Power Engineering Conference, 2005. IPEC 2005. The 7th International, Nov. 29 2005-Dec. 2 2005.

Táto práca vznikla za podpory Agentúry na podporu výskumu a vývoja v rámci projektu APVV-20-006005 a Vedeckej grantovej agentúry Ministerstva školstva Slovenskej republiky a Slovenskej akadémie vied v rámci projektu 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

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