

## Predmet výskumu

Predmetom tohto experimentálneho výskumu sú nanokvapaliny na báze alternatívnych chladiacich a elektroizolačných kvapalín.

## Ciele projektu

Hlavným cieľom projektu bolo zefektívniť chladenie a elektrickú izoláciu transformátorov pomocou nanokvapalín. Čiastkové ciele projektu boli formulované nasledovne:

- Pripraviť magnetické nanokvapaliny s nanočasticami oxidov Fe, Co, Mn a nanokvapaliny s uhlíkovými nanoštruktúrami na báze štandardného transformátorového oleja, nového unikátneho typu izolačného oleja zo skvapalneného zemného plynu a na báze prírodných a syntetických esterov.
- Charakterizovať pripravené nanokvapaliny z hľadiska ich zloženia, stability, morfológie a štruktúry.
- Experimentálne skúmať magnetické, dielektrické, izolačné, reologické a tepelné vlastnosti pripravených nanokvapalín v závislosti od koncentrácie nanočastíc, teploty a externých elektrických a magnetických polí.
- Vyrobiť testovacie transformátory a testovať chladiace a izolačné schopnosti vybraných nanokvapalín v elektrickom transformátore so záťažou a porovnať výsledky so štandardným transformátorovým olejom.

## Dosiahnuté výsledky

Riešením tohto projektu boli pripravené a charakterizované viaceré nanokvapaliny na báze minerálnych transformátorových olejov, olejov zo skvapalneného zemného plynu a na báze prírodného a syntetického esteru. Medzi hlavné výsledky patrí zistenie, že dielektrickú odozvu magnetických nanokvapalín je možné citlivo ovplyvňovať externým magnetickým a elektrickým poľom, čo môže nájsť uplatnenie v oblasti senzoričky alebo spínania. Bolo dokázané, že externým elektrickým poľom je možné ovládať aj magnetickú

susceptibilitu magnetických kvapalín. Tento jav môže byť využitý na detekciu tvorby zhlukov nanočastíc v elektrickom poli.

Z hľadiska elektro-izolačných vlastností nanokvapalín bolo zistené, že prítomnosť stabilizovaných nanočastíc oxidov železa dokáže výrazne potláčať čiastočné výboje v minerálnom oleji, nie však v skvapalnenom zemnom plyne.

Zvlášť zaujímavým výsledkom je odhalenie elektrickým poľom vyvolanej vrstevnatej štruktúry magnetických nanočastíc na rozhraní magnetickej kvapaliny a kremikového kryštálu s vrstvou medi. Toto poznanie prispieva k pochopeniu tepelného transportu z tuhého telesa do nanokvapaliny. Na základe tohto experimentálneho výsledku sme navrhli mechanizmus prestupu tepla zo zdroja tepla do nanokvapaliny prostredníctvom tepelného mostu z vrstevnatej štruktúry magnetických nanočastíc.

V rámci tohto projektu bol vyrobený jednofázový transformátor s nominálnym výkonom 5 kVA. V tomto transformátore boli aplikované pripravené nanokvapaliny vo funkcii chladiaceho a elektro-izolačného média o objeme 12 litrov. Oteplovacie skúšky transformátora odhalili, že vďaka magnetickým nanokvapalinám je možné dosiahnuť menšie oteplenie transformátora. Konkrétne, magnetické nanokvapaliny s obsahom Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> a MnZn feritových nanočastíc s koncentráciou do 1% umožňujú zníženie oteplenia a pracovnej teploty transformátora v priemere o 2°C. Testovanie transformátora s nanokvapalinou s fullerénom C60 prinieslo prekvapujúci výsledok. Priemerné oteplenie transformátora s touto nanokvapalinou bolo o 8 °C menšie ako v prípade oteplenia transformátora s čistým olejom. Pre túto nanokvapalinu v transformátore bolo dokázané prúdenie s najväčšou priemernou rýchlosťou, a to 0,07 litrov za sekundu. Pre magnetickú nanokvapalinu s obsahom Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> nanočastíc o koncentracii 0,01% bolo namerané prúdenie s priemernou hodnotou 0,03 litrov za minútu.

## zodpovedný riešiteľ

RNDr. Rajňák Michal, PhD.

## riešiteľská organizácia

Ústav experimentálnej fyziky SAV, v. v. i.

## spoluriešiteľská organizácia

EVPU a.s.

Technická univerzita v Košiciach - Fakulta elektrotechniky a informatiky

## termín riešenia

07/2019 - 06/2023

## finančné prostriedky z APVV

249 496 €

## číslo projektu

APVV-18-0160

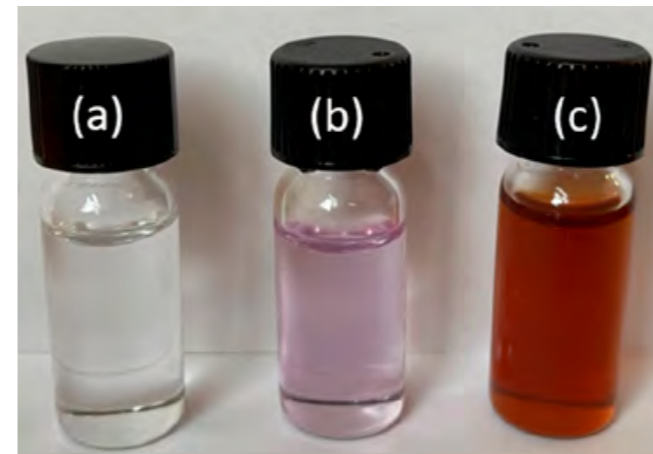
## Prínos pre prax

Hlavným prínosom pre prax je vyvolaný záujem slovenského výrobcu transformátorov BEZ Transformátory a.s. o vyvinuté nanokvapaliny. Vybrané nanokvapaliny skúmané v tomto projekte budú dodané uvedenej firme na testovanie reálnych distribučných transformátorov. Podľa získaných výsledkov bude mať použitie nanokvapalín v transformátoroch pozitívne ekonomické dôsledky. Tie spočívajú najmä v možnosti výroby menších transformátorov (menej materiálu kvôli efektívnejšiemu chladeniu nanokvapalinou) a v predĺžení životnosti transformátorov. Je známe, že zníženie pracovnej teploty transformátora o 8°C spôsobí predĺženie jeho životnosti o polovicu. Pri bežnej životnosti 40 rokov je toto predĺženie významné. Na druhej strane, pri nastupujúcej elektromobilite a očakávaných vysokých a kolísavých záťaženiach transformátora poskytne nanokvapalina spoľahlivejšiu prevádzku transformátora.

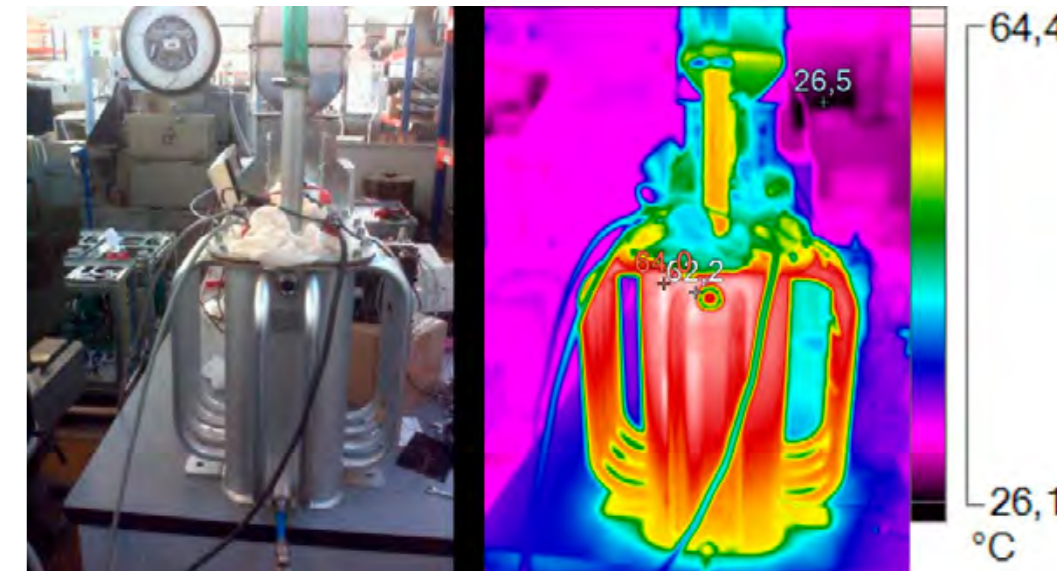
Obr. 1 / Fotografia čistého transformátorového oleja (a), oleja s fullerénom C60 (b) a magnetická nanokvapalina (c)

Obr. 2 / Fotografia modelu testovaného transformátora a teplotná mapa transformátora s nanokvapalinou z infračervenej kamery.

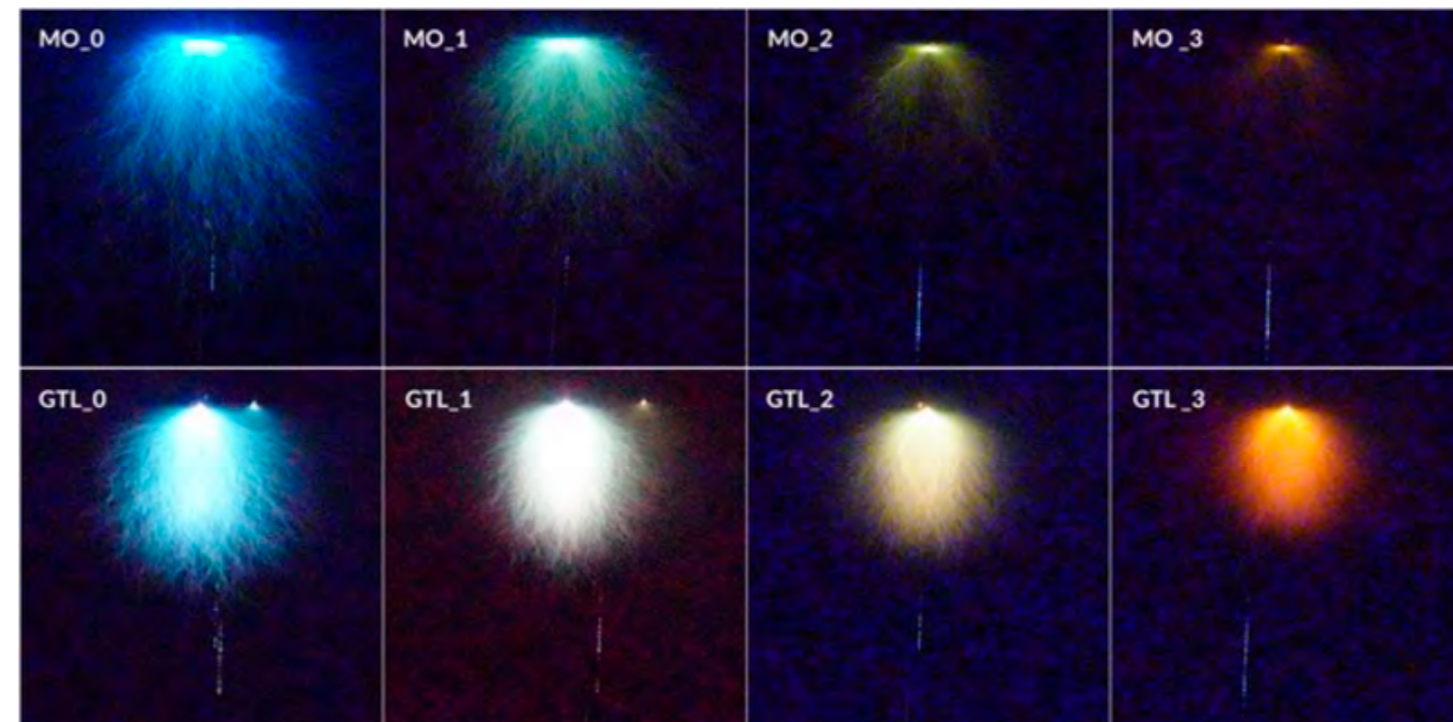
Obr. 3 / Fotografie korónových výbojov v transformátorovom oleji (prvá vľavo). Demonstrácia potláčajúceho vplyvu magnetických nanočastíc na korónu v oleji s rastúcou koncentráciou nanočastíc (zľava doprava).



Obr. 1



Obr. 2



Obr. 3