

## Környezetbarát transzformátorolaj előállítása és jellemzése

Lingvay József

Villamosmérnöki Tudományok Nemzeti Kutató Intézete - INCDIE ICPE-CA, Bukarest  
*lingvay@icpe-ca ; corozsiune@icpe-ca ; iosiflingvay@yahoo.com*

### Kivonat

A transzformátorokban használt, ásványi eredetű, olajoknak számos negatív kihatásai vannak a természetre. Erre való tekintettel egy környezetbarát, biológiailag könnyen lebontható, növényi olaj volt kifejlesztve és jellemezve. A termikus analízis módszereivel (TG, DTG, DTA) végzett meghatározások kimutatták, hogy a kifejlesztett növényi olaj termikus stabilitása sokkal nagyobb, mint a hagyományosan használt ásványi olajoké. A gravimetriás és XRF meghatározások kimutatták, hogy a kifejlesztett növényi olaj nem tartalmaz ként és nem korrodálja a transzformátor fém alkatrészeit (szénacél, réz). A mikrobiológiai meghatározások kimutatták, hogy a növényi olajok biológiailag kb. 10-szer hamarabb bonthatók le, mint az ásványi olajok. Habár a viszkozitása kb. 15%-al nagyobb, mint az ásványi olajoké, a kifejlesztett növényi olaj dielektromos tulajdonságai (átütési feszültség, permittivitás, dielektromos veszteségek stb.) alkalmassá teszik a transzformátorokban való használatra.

**Kulcsszavak:** ásványi olaj, elektromos jellemzők, növényi olaj, termikus stabilitás, transzformátorolaj.

### Bevezető

A nagyteljesítményű transzformátorok és egyéb berendezések (pl. induktívítások, kondenzátorok, magasfeszültségű kábelek stb.) üzemeltetését biztosító szigetelő olajokkal szemben támasztott főbb elvárások: minél kisebb relatív permittivitás ( $\epsilon_r$ ), alacsony vezetőképesség ( $\sigma$ ) és veszteségi tényező ( $tg\delta$ ); minél nagyobb átütési feszültség; alacsony viszkozitás – minél jobb hővezető képesség; minél magasabb lobbanáspont; minél kisebb oldott víztartalom; magas vegyi stabilitás. A berendezésekben használt anyagokat

(réz, acél, alumínium, cellulóz – papír stb.) ne támadja meg, ne korrodálja; könnyű hozzáférhetőség – alacsony ár.

Megállapítható, hogy műszaki szempontból ideális megoldás lehet a *szilikonolaj*, viszont nagyon drága. A *szintetikus észterek* is nagyon jó tulajdonságokkal rendelkeznek, azonban ezek is drágák. A gyakorlatban főleg az *ásványi olajokat* (kőolajszármazékokat) alkalmazzák, ez egy kompromiszumos megoldás: a műszaki követelményeket teljesítik és aránylag olcsók. Ezekből kifolyólag világviszonylatban, az elektro-energetikai berendezésekben számottevő mennyiségű ásványi eredetű szigetelő olajat használnak (világszinten több százezer tonnát) [1, 2]. Tekintettel arra, hogy az ásványi olajok csak nagyon lassan és nehezen biodegradálódnak, a berendezések meghibásodásakor, valamint ezek üzemből való kivonása után, az elfojt ásványi olajok komoly környezetszennyezési problémákat okoznak/okozhatnak (1. ábra).

Világviszonylatban, már több éve, számos kutatásban alternatív megoldások kidolgozásán dolgoznak. A cél egy újratermelő nyersanyagforrásból, környezetbarát technológiával előállítható, megfelelő műszaki paraméterekkel rendelkező és természetes körülmények között könnyen/gyorsan biodegradálódó szigetelő olaj előállítása (és jellemzése) [1, 2, 4–13].

Ezekre való tekintettel, a dolgozat célja egy környezetbarát transzformátorolaj előállítása – funkcionális modell szinten – és annak jellemzése.

### **A környezetbarát transzformátorolaj előállítása**

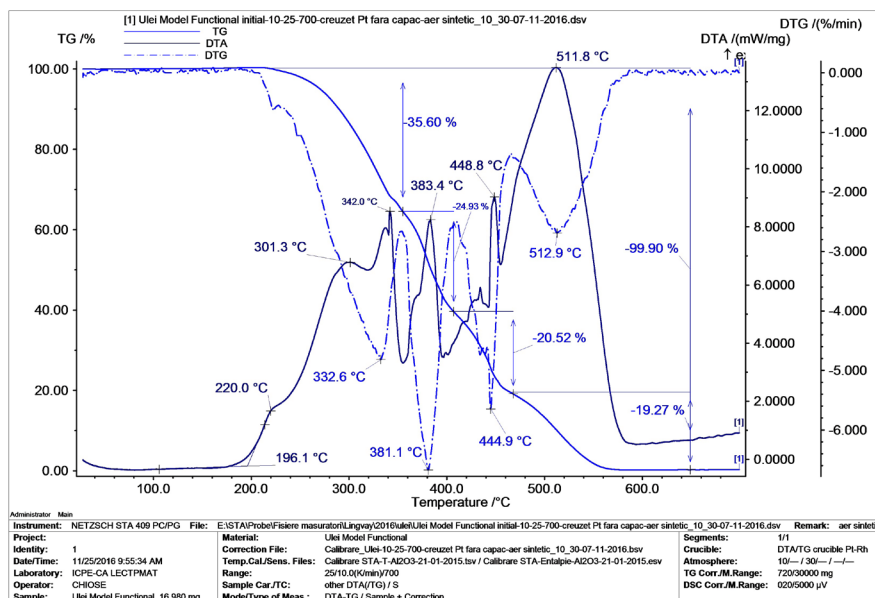
Tekintettel arra, hogy a növényi eredetű olajoknak nincsenek negatív hatásai a környezetre és újratermeszthető nyersanyagokból állíthatók elő, valamint arra, hogy aránylag könnyen és gyorsan biodegradálódnak [12, 14], a környezetbarát transzformátorolaj előállításának érdekében, a célnak megfelelő több, Romániában nagy mennyiségekben termelt, többfajta növényi olaj alkalmazhatósága volt megvizsgálva (repceolaj, 3 különböző fajtájú napraforgóolaj). Az előzetes vizsgálatok eredményei az 1. és a 2. táblázatban vannak összegezve.

Az 1. táblázat adataiból megállapítható, hogy a megvizsgált olajok közül a napraforgó 1 (egy génmódosított napraforgófajta) olajsavtartalma számottevően nagyobb, mint a többi megvizsgált olaj esetében.



**1. ábra:** Washington DC (AEÁ) 2011 – a meghibásodott transzformátorból kb. 21.000 liter ásványi olaj folyt szét a talajra és a Potomac folyóba [3].

*Fig. 1. Washington DC (USA) 2011– from a disabled transformer about 21.000 liters of mineral oil was spilled on the soil and in Potomac River.*



2. ábra: A növényi transzformátorolaj termikus diagramjai TG+DTA+DTG (30ml/perc szintetikus levegő).

Fig. 2. The thermal diagrams TG+DTA+DTG of the vegetal transformer oil (synthetic air 30ml/min).

A megvizsgált olajok jóindexének és dinamikus viszkozitásának változásai termikus stressz, rézfólia valamint 0,5% antioxidáns (AOx) hatására (hőkezelés: 1000 óra  $110 \pm 3^\circ\text{C}$ ) a 2. táblázatban vannak megadva. A 2. táblázat adataiból megállapítható, hogy a megvizsgált olajok annál stabilabbak, minél nagyobb az olajsavtartalmuk.

Az előzetes vizsgálatok alapján, és tekintettel arra, hogy a növényi olajok termikus stabilitása exponenciálisan csökken az alkotó zsírsavak duplakötéseinek számával [15], a nagy termikus stabilitású funkcionális szigetelőolaj előállításához a napraforgó 1 fajta volt kiválasztva és feldolgozva (50 kg nyers-olaj 0,5 kg vízmentes  $\text{CaCl}_2$  jelenlétében volt  $110^\circ\text{C}$ -on tárolva 1 órán át, lehűlés után cellulóz alapú szűrőn tisztítva, ami után történt 0,5% antioxidáns adagolása).

**1. táblázat:** A vizsgált olajok zsírsavtartalma.

*Table 1. The fatty acid content of the studied oils.*

Olaj	Zsírsavtartalom [%]				
	palmitinsav (C16)	sztearinsav (C18:0)	olajsav (C18:1)	linolsav (C18:2)	linolénsav (C18:3)
Napraforgó 1	5,12	14,44	75,12	5,22	0,1
Napraforgó 2	6,23	8,62	45,85	39,1	0,2
Napraforgó 3	8,47	8,27	33,29	49,77	0,2
Repce	3,12	5,18	31,75	53,45	6,5

**2. táblázat:** A megvizsgált olajok jóindexének és viszkozitásának változásai termikus stressz hatására.

*Table 2. The change of the iodine-index and viscosity of the studied oils under the thermal stress.*

Olajpróba	Jódindex [16]			Dinamikus viszkozitás & 20°C [cP]		
	Hőkezelés előtt	Hőkezelés után	$\Delta$ I.I.	Hőkezelés előtt	Hőkezelés után	$\Delta V$
Napraforgó 1	92	90	-2	70	71	1
Napraforgó 1+Cu	92	89	-3	70	73	3
Napraforgó 1+Cu+0,5%AOx	92	90	-2	70	72	2
Napraforgó 2	109	105	-4	78	84	6
Napraforgó 2+Cu	109	94	-15	78	87	9
Napraforgó 2+Cu+0,5%AOx	109	109	-4	78	85	7
Napraforgó 3	124	119	-5	84	95	11
Napraforgó 3+Cu	124	105	-19	84	100	16
Napraforgó 3+Cu+0,5%AOx	124	118	-6	84	96	12
Repce	115	79	-36	75	88	13
Repce +Cu	115	58	-57	75	295	220
Repce +Cu+0,5%AOx	115	67	-48	75	112	37

**3. táblázat:** A növényi transzformátorolaj főbb jellemzői.

*Table 3. The principal characteristics of the vegetal transformer oil.*

Jellemző paraméter	Meghatározási módszer	Kapott értékek	Megengedett értékek [17]
Sűrűség & 20°C [g/cm <sup>3</sup> ]	SR EN ISO 12185	0,925	≤ 0,910
Viszkozitás & 20°C	SR EN ISO 2555	70 cP	19 - 24 mm <sup>2</sup> /s
Jód index [g/100g]	SR EN ISO 3961	92	–
Jód szín [mg. iod/100cm <sup>3</sup> ]	GOST 5477-93	11	–
Savassági index [mg KOH/g]	IEC 62021-1/2004	0,01	≤ 0,015
Szappanszám [mg KOH/g]	SR EN ISO 3657	189	–
Törésmutató (Abbe-Zeiss & 20°C)	SR ISO 5661	1,466	≤ 1,4890
Lobbanáspont (Abel Pensky) [°C]	SR EN ISO 2719 [59]	270	≤135
Víztartalom [ppm]	IEC 60814/1997	1,39	≤30
Vezetőképesség & 30°C [pS/m]	IEC 61620/1998	12,6	< 50
Relatív permittivitás $\epsilon_r$ & 30°C	IEC 61620/1998	2,98	≤ 3
tg $\delta$ & 50Hz, 30°C	IEC 61620/1998	1,52·10 <sup>-3</sup>	< 5 · 10 <sup>-3</sup>
Átütési feszültség [kV]	IEC 60156/1995	31,6	30

### Az előállított szigetelőolaj jellemzése

Az előállított szigetelőolaj jellemzése a transzformátorolajakra érvényes műszaki előírások alapján végeztük el. A mérési eredmények a 3. táblázatban összegeztük.

A 3. táblázat adataiból megállapítható, hogy az előállított szigetelőolaj (funkcionális modell) megfelel a transzformátorokban használt olajokra érvényes műszaki előírásoknak. Ugyancsak megállapítható, hogy a hagyományos ásványi olajokhoz képest, az új olaj lobbanáspontja 135 °C-al magasabb (tehát használata esetén a transzformátor üzemeltetése sokkal biztonságosabb).

Termikus analízis módszerével végzett meghatározások (2. ábra) bizonyítják az előállított transzformátorolaj jó termikus stabilitását. A 2. ábrából megállapítható, hogy az előállított olaj folyamatos melegítésénél kb.

200°C-ig nem történik semmi. 200°C-on beindul, súlyvesztés nélkül, egy exoterm oxidációs folyamat – valószínűleg a dupla kötéseknél peroxidok képződnek [2, 7, 9, 10]. Tovább melegítve 220°C-on beindul egy második exoterm, 270°C fölött súlyvesztéssel járó oxidációs folyamat melynek folyamán gyúlékony gázok képződnek – a szénláncok felszakadnak (krakolás). A keletkezett termékek 300°C fölött több lépcsőben, 560°C gyakorlatilag teljesen elégnak (TG görbe – súlyvesztés 99,9%).

Az előállított olaj több vizsgálatnak volt alávetve (termikus kezelés 700 óra 110 °C-on valamit ciklikus hűtés/melegítés –40 °C/80 °C fedetlen poharakban, rézfóliával és anélkül stb.). A kísérleti eredmények kimutatták, hogy az olaj termikus stabilitása sokkal nagyobb, mint a tradicionális transzformátor olajaké és nem korrodálja a rezezt [2, 7, 8, 9, 11].

### Következtetések

Növényi szigetelőolaj volt előállítva – magas (<75%) olajsavtartalmú, génmódosított napraforgó magokból –, és jellemezve. Az új olaj alkalmazása transzformátorokban, a hagyományosan használt ásványi eredetű szigetelőolajokhoz képest, előnyös, mert: előállítása és alkalmazása környezetkímélő; magas lobbanáspont-; magas termikus stabilitás jellemzi; természetes körülmények között hamar és könnyen bio-degradálódik (több mint 85% 28 nap alatt). Megállapítható, hogy az előállított és jellemzett növényi eredetű olaj alkalmazása az elektroenergetikai berendezésekben (főleg transzformátorokban) lehetséges és előnyös.

### Köszönetnyilvánítás

This work was financially supported by the UEFISCDI of Romania, under the scientific Programme PN II - PCCA, Contract 100/2014 – UPMEE.

### Irodalomjegyzék

1. Lingvay, I.; Budrugaec, P.; Udrea, O.; Radu, E.; Marinescu, M., Vegetable eters: an ecological alternative to replace mineral oils for electrical



- usage. *EEA - Electrotehnică, Electronică, Automatică*, 63(1), 2015, 64–70.
2. Lingvay, I.; Budrugaec, P.; Voina, A.; Cucuș, A.; Moscaliuc, H., Comparative Study of the Thermo-Oxidative Stability of Some Electro-insulating Oils. *Rev. Chim. (Bucharest)*, 67(11), 2016, 2202–2206.
  3. \*\*\*\* <http://www.alexandrianews.org/2011>.
  4. Oommen, T.V., 2002: Vegetable oils for liquid-filled transformers. *IEEE Electrical Insulation Magazine*, 1(1), 2002, 6–11.
  5. Ciuriuc, A.; Vihacencu, M.S.; Dumitran, L.M.; Noțingher, P.V., Comparative Study on Power Transformer Vegetable and Mineral Oil Ageing. *Anal. of the University of Craiova*, 36, 2012, 46–51.
  6. Liao, R.; Hao, J.; Chen, G.; Ma, Z.; Yang, L., A Comparative Study of Physicochemical, Dielectric and Thermal Properties of Pressboard Insulation Impregnated with Natural Ester and Mineral Oil. *IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation*, 18(5) 2011, 1626–1637.
  7. Budrugaec, P.; Lingvay, I.; Pica, A.; Sbarcea, B.G., Study regarding the behaviour of an insulating vegetable oil exposed to accelerated thermal aging. *Rev. Chim. (Bucharest)*, in press.
  8. Mitrea, S.; Oprina, G.; Radu, E.; Marinescu, V.; Voina, A.; Lingvay, I., Corrosion of copper and carbon steel in some electrical purposes oils. *Rev. Chim. (Bucharest)*, 67(9), 2016, 1707–1712.
  9. Voina, A.; Radu, E.; Mitrea, S.; Oprina, G.; Lingvay, I.; Șerban, F.; Pica, A., Study regarding corrosiveness and thermal stability of some insulating oils in contact with red copper and S235J2G3 carbon steel. In *Diagnostic of Electrical Machines and Insulating Systems in Electrical Engineering (DEMISEE)*, 2016, 44–47.
  10. Pica, A.; Dumitru, F., Investigations on the Structure and Characteristics of Some Ecological Dielectric Fluids. *Rev. Chim. (Bucharest)*, 67(4), 2016, 716–719.
  11. Lingvay, I.; Oprina, G.; Cucuș, A.; Radu, E.; Voina, A., Study of some insulating oils aging by thermal cycling. *Journal of Sustainable Energy*, 7(3) 65–70.
  12. Radu, E.; Udrea, O.; Mitrea, S.; Pătroi, D.; Lingvay, I., Biodegradability of some Electric Purposes Oils Duo to Moulds. *Electrotehnica, Electronica, Automatica (EEA)*, 63(4), 2015, 84–92.



13. De Carlo, R.M.; Sarzanini, C.; Bruzzoniti, M.C.; Tumiatti, V., Copper-in-oil Dissolution and Copper-on-paper Deposition Behavior of Mineral Insulating Oils. *IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation*, 21(2), 2014, 666–673.
14. Radu, E.; Udrea, O.; Lingvay, M.; Szatmari, I.; Lingvay, I., Contributions to evaluation of the biodegradability by *Aspergillus niger* and other fungi's of some insulating oils. *JSE- Journal of Sustainable Energy*, 6(2), 2015, 52–57.
15. Kodali, D.R., High performance ester lubricants from natural oils. *Industrial Lubrication and Tribology*, 54(4), 2002, 165–170.
16. \*\*\* STAS 145-67: Uleiuri și grăsimi vegetale - Determinarea indicelui de iod.
17. \*\*\* S.T. nr: 27/2010 SPECIFICATIE TEHNICA - Uleiul mineral electroizolant echivalent TR 30.01 nou pentru transformatoare si aparataj de conexiune (S.C. ELECTRICA S.A. Bucuresti).

## **Preparation and characterization of environmentally friendly transformer oil**

### **Summary**

It is well known that the mineral transformer oils have negative impact on the natural environment. In the study an environmentally friendly, more easily degradable, vegetal alternative was developed and tested. The results of the determinations made with thermal analysis techniques (TG+DTG+DTA) show that the thermal stability of the tested vegetal oil is better than of the mineral oils'. The gravimetric and XRF analysis show that the vegetal oil doesn't contain sulfur and doesn't corrode the current transformer's metal (copper and carbon steel) elements. Microbiological tests show that it oil degrades biologically ten times easier than the mineral ones. Although its viscosity is with fifteen percent greater than of the commonly used mineral oils, the dielectric qualities of the vegetal oil (breakdown voltage, permittivity, dielectric losses, etc.) capacitates it for use it as transformer oil.