MŰEGYETEM 1782

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem

Észter folyadékok alkalmazása ásványolaj kiváltására és mérési sorozat a BME-n

Dr. Cselkó Richárd

Dr. Németh Bálint

Oktatás

Laboratóriumi tesztelés

Kutatás & Fejlesztés

Dr. Cselkó Richárd

cselko.richard@vik.bme.hu

BME-VET

HIGH VOLTAGE LABORATORY BUDAPEST

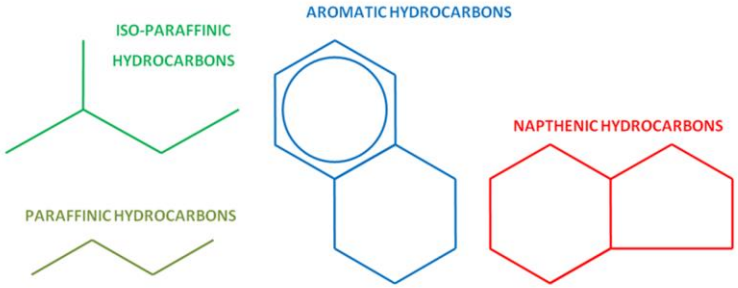
2021. 10. 28.

Bevezetés

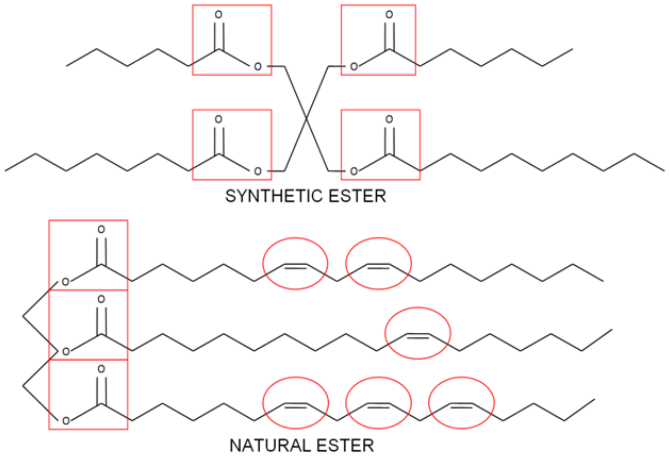
- Hosszú időn keresztül az észter folyadékokat csak ritka, speciális alkalmazások esetén tartották megfontolandónak
  - Mozdonytranszformátor, tengeri alkalmazások, acélművek – ahol a tűzvédelem kiemelten fontos
- Észter folyadék biológiai úton lebomlik, környezetvédelmi hatóságok kármentőt sem írják elő
  - Élettartam végén, illetve szivárgás esetén az ásványolaj veszélyes hulladék
- Tűzvédelmileg előnyös, magas lobbanáspont és önoltó
- Probléma: nincs üzemeltetési tapasztalat, nagy kockázat új anyag alkalmazása, előzetes vizsgálatok szükségesek

Alaptulajdonságok

- Ásványi olaj:
  - telített szénhidrogének, apoláris jelleggel
  - Kis vezetőképesség
  - Öregedéssel savasodik – csökken az ellenállás és felületi feszültség

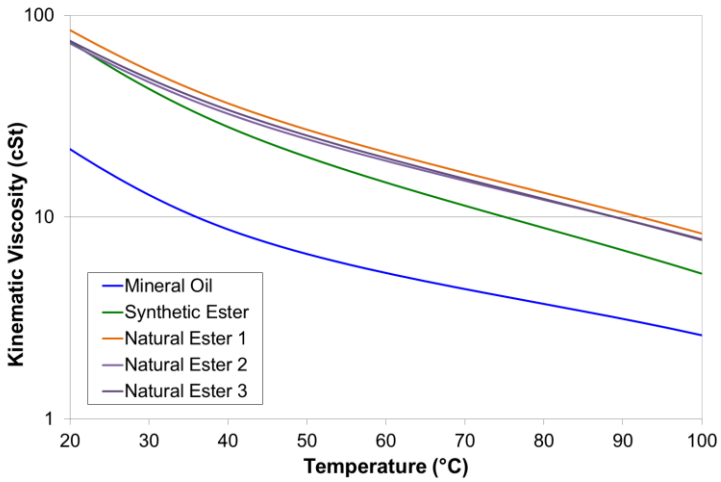


- Észter
  - Új állapotban is sok poláros összetevő
  - Kisebb ellenállás
  - Egyes esetekben a streamer terjedést ez erősen befolyásolja
  - Más esetekben ez előny, pl. sokkal nagyobb víztartalmat tud elviselni (hidrogénkötések által)



HIGH VOLTAGE LABORATORY BUDAPEST

Termikus tulajdonságok

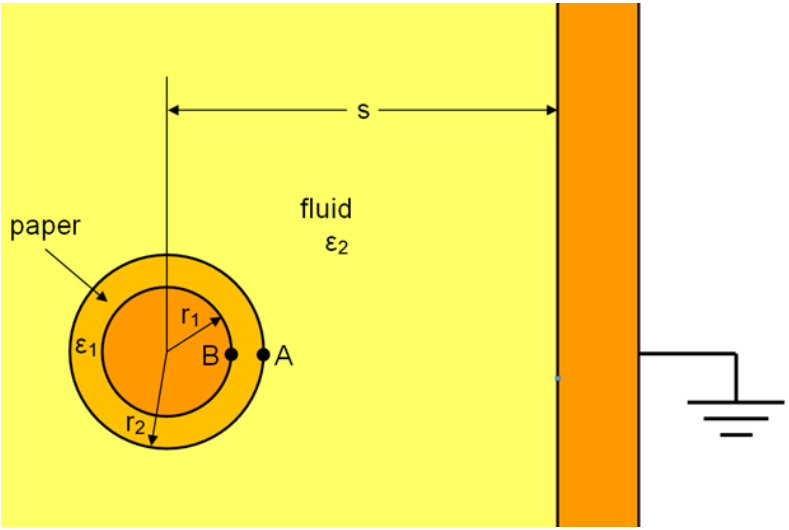


- Észtereknek nagyobb a molekulatömege, ami nagyobb viszkozitásban csapódik le
- Emiatt lassabb a folyadék áramlása, különösen, ha nincs kényszeráramoltatás, ami magasabb üzemelési hőmérséklethez vezet
  - 1. lehetőség: hűtőcsatornák módosítása
  - 2. lehetőség: elfogadni a magasabb hőmérséklet-emelkedést, figyelembe véve, hogy az ezzel kapcsolatos kutatások kimutatták, hogy az észterek jelenlétében a cellulóz lassabban öregszik; tehát a magasabb hőmérséklet mellett is elvárható ugyanaz az élettartam

HIGH VOLTAGE LABORATORY BUDAPEST

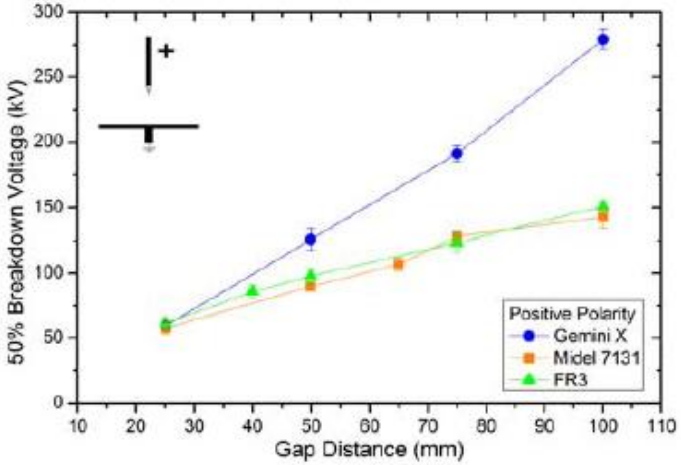
Alapvető villamos tulajdonságok

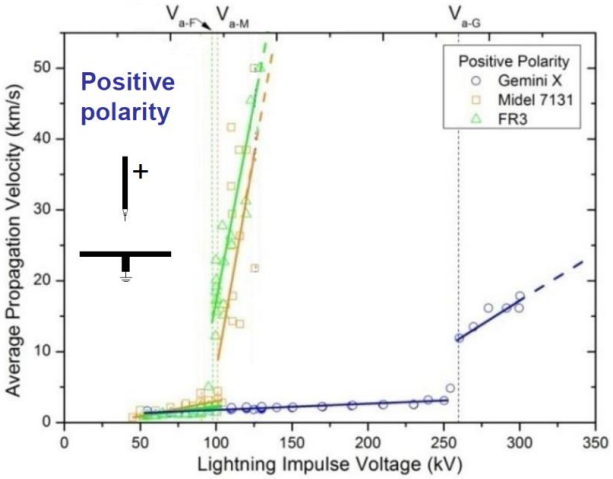
- Az észtereknek magasabb a permittivitása
- AC igénybevétel esetén téreloszlás a permittivitással fordítottan arányosan fog kialakulni
- Más lesz a téreloszlás
  - a legtöbb esetben a csúcsigénybevétel csökkenését jelenti,
  - ugyanakkor a tér kiszorulása miatt nagyobb térfogat lesz nagyobb térerősséggel igénybe véve



Villamos szilárdság a tér inhomogenitásának függvényében

- A tér inhomogenitásának növekedésével az észter villamos szilárdsága gyengébb, mint az ásványolajé
  - Ez ugyanakkor extrém inhomogenitás esetén igaz (csúcs-sík)
  - Részletes tanulmányok alapján ez annak köszönhető, hogy az észterekben alacsonyabb feszültségen következik be a streamer kisülések terjedési sebességének jelentős növekedése
  - Ugyanakkor ennek a jelenségnek a megjelenéséhez olyan téreloszlásra van szükség, amit a transzformátor tervezés során elkerülünk, kizárólag jelentős gyártási hiba során jelenhet meg





Villamos szilárdság a tér inhomogenitásának függvényében

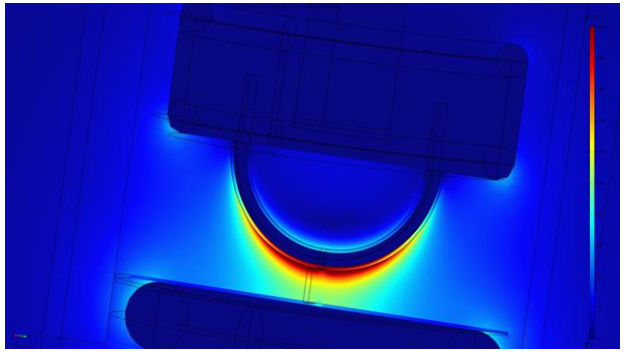
- Ugyanakkor fontos a kisülések gyújtási feszültségére is gondolni – ha meg tudjuk előzni a kisülés megindulását, akkor streamer terjedésre sincs lehetőség
- Ennek megfelelően a tervezés során kiemelt figyelmet kell fordítani az erős inhomogenitások elkerülésére
- Az átütési feszültséget tehát a streamer terjedése határozza meg, így a transzformátor kisülés-mentessége kritikusabb, mint ásványolajos transzformátoroknál

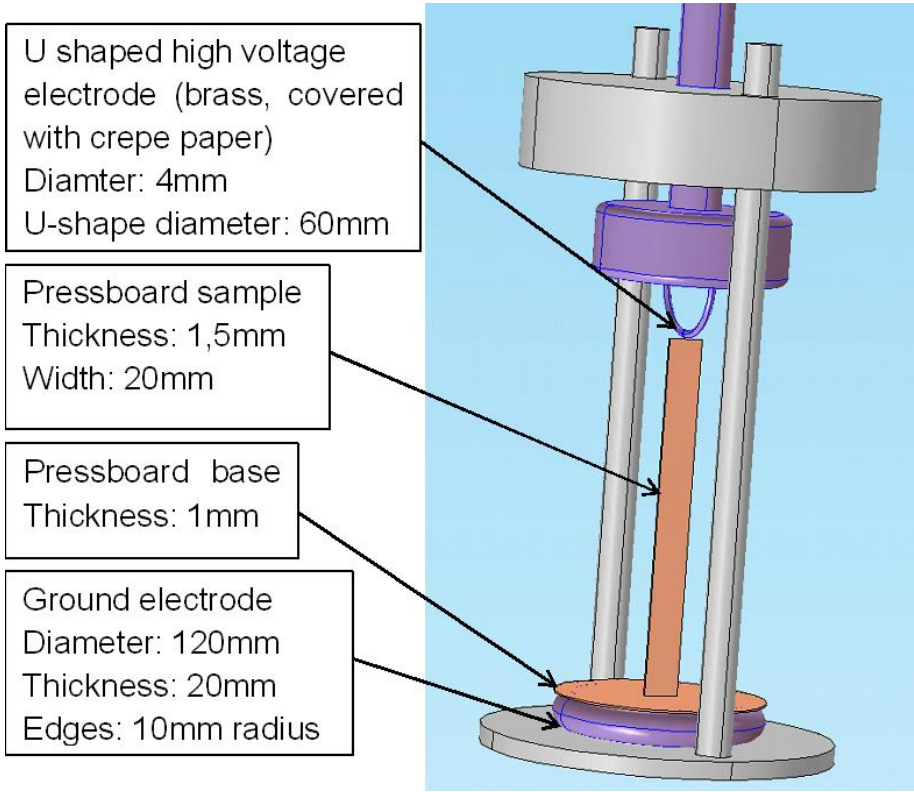
Liquid Type	PDIV (kV)
Mineral Oil	23.2
Synthetic Ester	22.3
Natural Ester	25.6

HIGH VOLTAGE LABORATORY BUDAPEST

Villamos szilárdság meghatározása valóshoz közelítő körülmények között – BME mérési sorozat

- A korábbi vizsgálatok nagyrésze „letisztult” laboratóriumi elektródok között (pl. csúcs-sík)
- Fontos a valóshoz közelítő körülmények közötti tesztelés is
  - Prespán felület befolyásolja a streamer terjedést
  - A villamos tér inhomogenitása jobban közelítsen a valós esetekhez

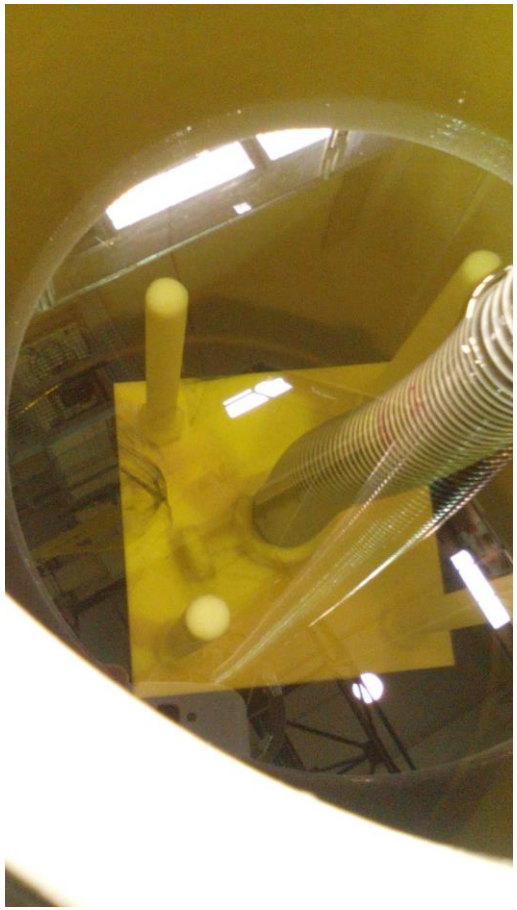




HIGH VOLTAGE LABORATORY BUDAPEST

Villamos szilárdság meghatározása valóshoz közelítő körülmények között – BME mérési sorozat

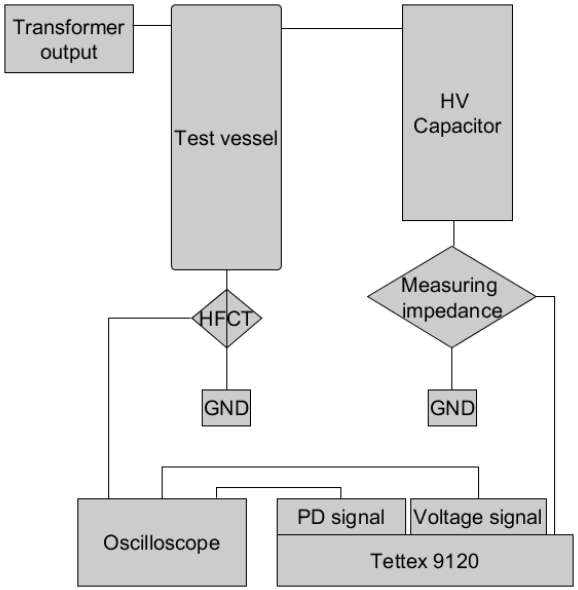
- A minták egységességének biztosítása érdekében a prespán és papír anyagokat 65 °C-on legalább 7 napig vákuumszárítottuk
- Ezt követően következett a vákuum alatti (<0.1 mbar) impregnálás 48 órán keresztül
- A vizsgálatokat egy 330 literes tartályban végeztük szobahőmérsékleten
- A vizsgálatok közötti időtartamban a tartályok vákuum alatt voltak – ez segített az előző kisülések miatt keletkezett buborékok eltávolításában, továbbá nedvesség behatolás elkerülésében
- Rendszeres vizsgálatokkal ellenőriztük a szigetelő folyadékok állapotát (víztartalom különösen)



HIGHVOLTAGE LABORATORY BUDAPEST

Villamos szilárdság meghatározása valóshoz közelítő körülmények között – BME mérési sorozat

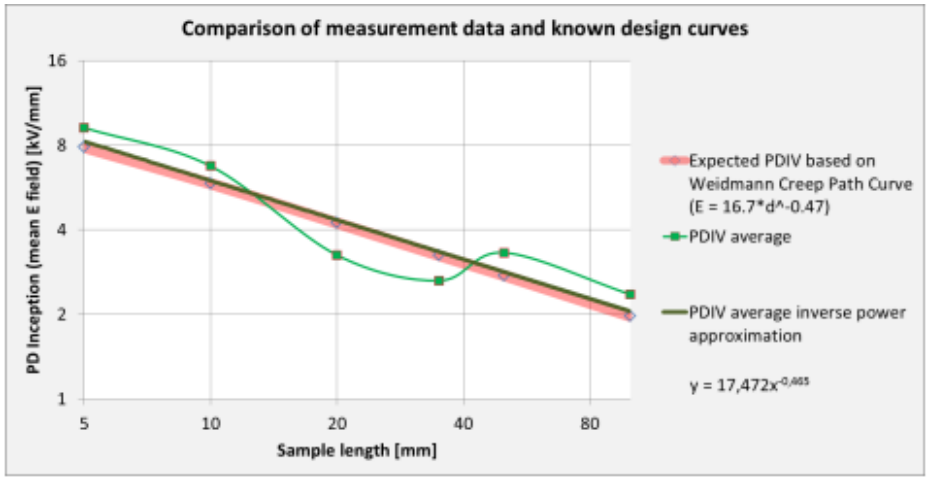
- Nagyfeszültség előállítása
  - Figyelembe véve, hogy minél kisebb legyen a degradáció, mérés 250 kV/40 kVA próbatranszformátorral ameddig lehet (300 kΩ vízellenállással áramkorlátozás)
  - Nagyobb feszültségekre 550 kV/500 kVA transzformátor, de áramugrás-védelemmel automatikus lekapcsolás
- Az elrendezés kisülésmentességét (10 pC / 25 mV) rendszeresen ellenőriztük



HIGH VOLTAGE LABORATORY BUDAPEST

Villamos szilárdság meghatározása valóshoz közelítő körülmények között – BME mérési sorozat

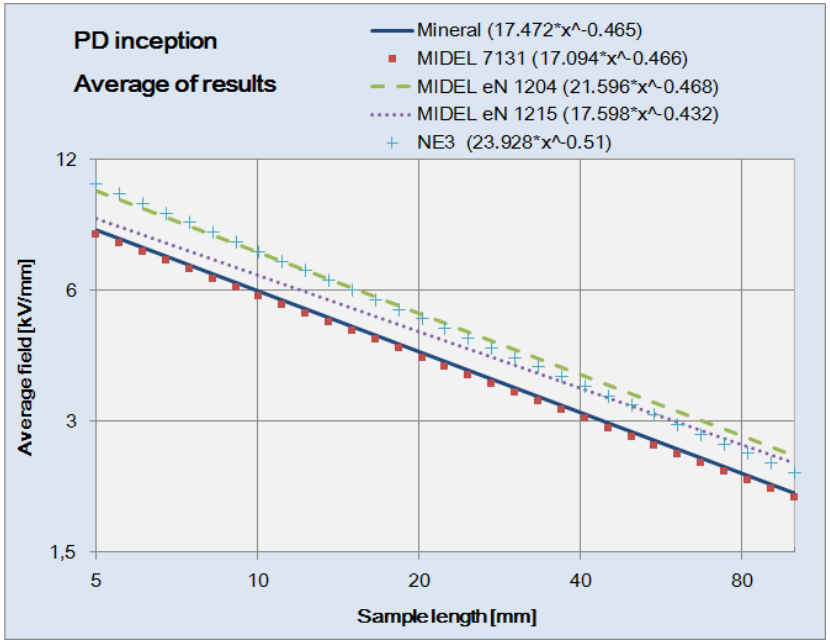
- Hosszfüggés vizsgálata, hosszanként 25 méréssel és a nagytranszformátorokban is előforduló távolságokig
- Weidmann (tervezési) görbék előállítása
  - Kétparaméteres Weibull-eloszlás illetsztése, 1%-os CDF érték meghatározsáa
- Validáció – mérési sorozat ásványolajon
  - Összehasonlítás gyakorlatban alkalmazott Weidmann-görbével

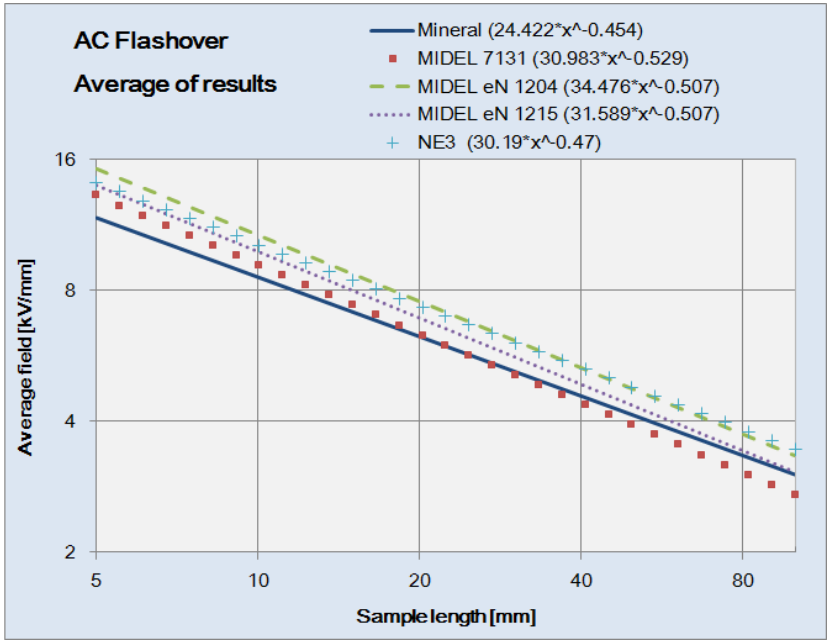


HIGH VOLTAGE LABORATORY BUDAPEST

Villamos szilárdság meghatározása valóshoz közelítő körülmények között – BME mérési sorozat

- Villamos szempontból, ebben az elrendezésben azonos vagy jobb
- Összesen 5000 mérés (AC, LI+, LI-, SI+, SI-)





HIGH VOLTAGE LABORATORY BUDAPEST

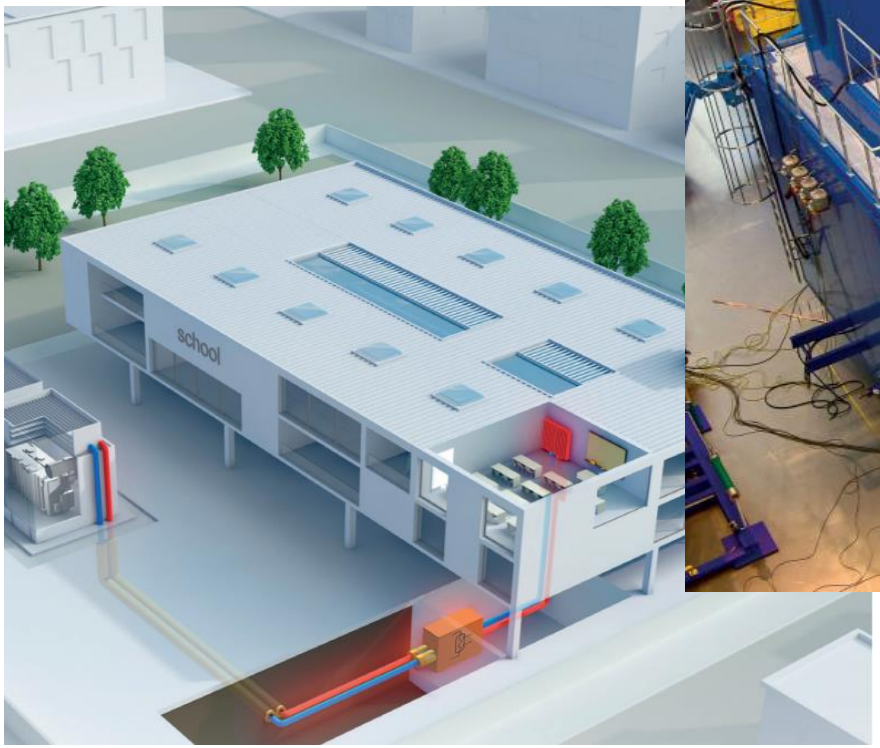
Összefoglalás

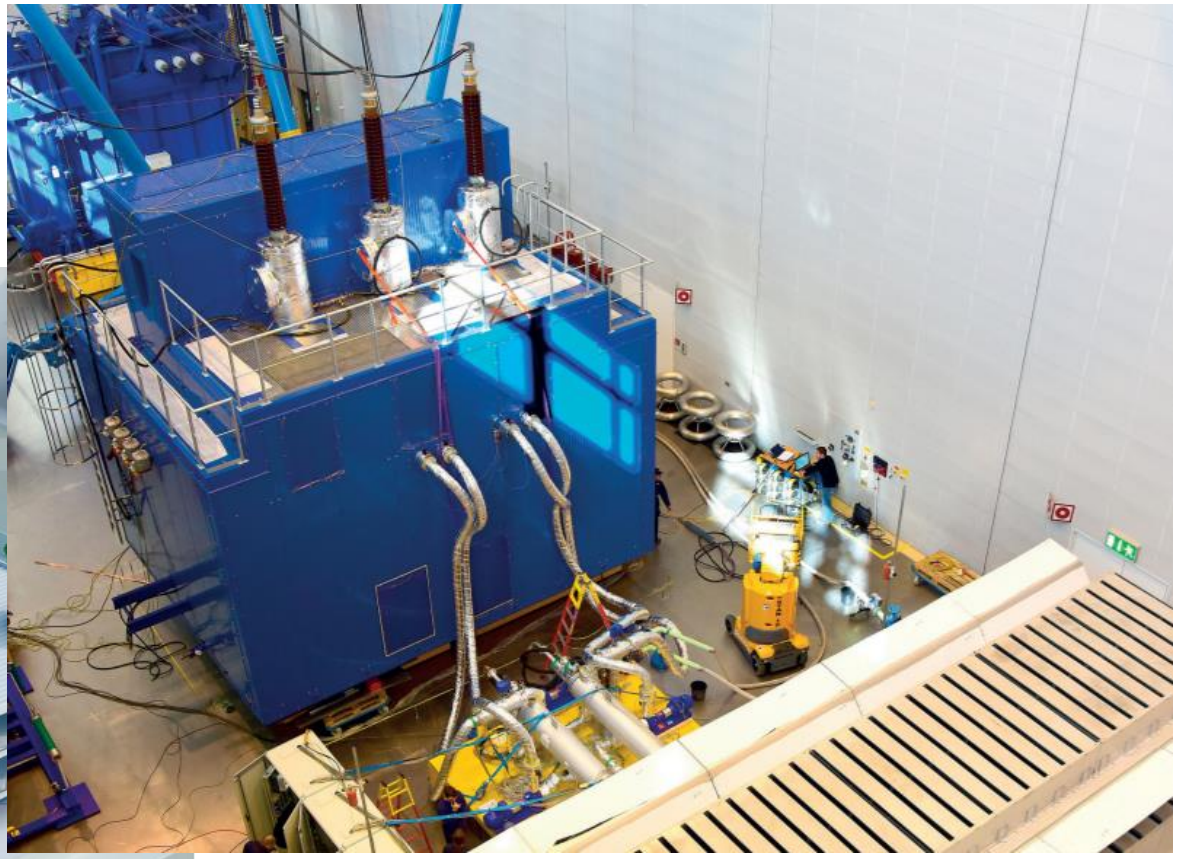
- Nagyobb viszkozitás miatt magasabb hőmérséklet-emelkedéssel kell számolni adott elrendezés esetén
  - Termikus tervezés módosítása mellett elfogadható megoldás a magasabb hőmérsékleten való üzemelés
- Az ásványolajtól eltérő permittivitás miatt eltérő téreloszlással kell számolni
- Az észterek lökőfeszültség esetén, különösen hosszú szikraközöknél gyengébben teljesítenek
  - De ez csak kísérleti elrendezésekre igaz
  - Valóshoz jobban közelítő elrendezésekben hasonlóan teljesítenek, ezt 400 kV-os transzformátorokban való alkalmazás is bizonyítja
- Bár az észterek (jelenleg) drágábbak az ásványolajoknál, teljes projektköltség tekintetében ma már bizonyos helyzetekben versenyképes lehet – különösen a tűzbiztonság és környezetvédelmi költségek csökkenését figyelembe véve
  - Erős megszorításokkal bíró, városi környezetben akár a preferált megoldás is lehet

HIGH VOLTAGE LABORATORY BUDAPEST

Összefoglalás

- 400 kV, 250 MVA London





HIGH VOLTAGE LABORATORY BUDAPEST

Hivatkozások

- Az előadás alapjául szolgáló szakcikkek és ábrák forrásai:
  - M. Lashbrook, A. Gyore, R. Martin, R. Cselko and B. Nemeth, "Design considerations for the use of ester-based dielectric liquids in transmission equipment," 2017 IEEE 19th **International Conference on Dielectric Liquids (ICDL),** 2017, pp. 1-6, doi: 10.1109/ICDL.2017.8124734.
  - M. Lashbrook, A. Gyore, R. Martin, R. Cselko and B. Nemeth, „Creepage Discharge Investigations with Biodegradable Ester-based Liquids and the Implications for Transmission Transformer Design", **CIGRÉ Session** paper D1-207_2018, Paris, France, 2018
  - Paul JARMAN, Kevin HAMPTON, Mark LASHBROOK, Georg J. PUKEL, „Reliable, optimised power transformers with heat recovery for urban areas", TRANSFORMERS MAGAZINE

HIGH VOLTAGE LABORATORY BUDAPEST

MŰEGYETEM 1782

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem

Köszönöm a figyelmet!

Dr. Cselkó Richárd
cselko.richard@vik.bme.hu

BME-VET

HIGH VOLTAGE LABORATORY BUDAPEST

Oktatás
Laboratóriumi tesztelés
Kutatás & Fejlesztés

2021. 10. 28.