

STUDIJSKI ODBOR D1 - ELEKTROTEHNIČKI MATERIJALI I NOVE NADOLAZEĆE ISPITNE TEHNIKE

Predsjednik: VERONIKA HARAMIJA, dipl. ing.
Tajnik: dr. sc. VEDRAN ĐURINA, dipl. ing.

Stručni izvjestitelj: dr. sc. DIJANA VRSALJKO, dipl. ing.

IZVJEŠĆE STRUČNOG IZVJESTITELJA

1. UVOD

Preferencijalne teme za 17. savjetovanje HRO CIGRE za studijski odbor D1 (Elektrotehnički materijali i nove nadolazeće ispitne tehnike) su:

1. **Ispitivanja, praćenje i dijagnostika** (engl. *Testing, monitoring, and diagnostics*),
2. **Materijali i modeliranje** (engl. *Materials and modelling*),
3. **Utjecaj na okoliš i energetska tranzicija** (engl. *Environmental impact and energy transition*).

Za 17. savjetovanje pristiglo je 12 referata, koji tematski odgovaraju SO D1 i svojom tematikom obuhvaćaju sve tri preferencijalne teme. Dodatno su prihvaćena dva referat iz SO A2 za diskusiju u sklopu preferencijalnih tema 1 i 2.

Referati su napisani u skladu s Uputama autorima za tehničku pripremu referata, te sadržajno odgovaraju karakteru savjetovanja i postavljenim preferencijalnim temama. Referati se bave praktičnim pitanjima o materijalima, metodama ispitivanja, metodama praćenja te temama vezanim uz utjecaje na okoliš i energetska tranziciju. Autori svih referata proveli su ispravke na temelju preporuka recenzenata, i svi pristigli referati su dobili preporuku za objavljivanje.

Srednja ocjena referata je 4,1 te je za zaključiti da su referati visoke razine kvalitete.

Preferencijalna tema 1 već je tradicionalno najzastupljenija po broju referata i temama koje se najviše tiču ispitivanja elektrotehničkih materijala, praćenja i dijagnostike stanja elektroenergetske opreme. Prati je preferencijalna tema 2 s referatima na temu novih materijala i modeliranja te preferencijalna tema 3 s referatima na temu zaštite okoliša i energetske tranzicije.

Referati su razvrstani prema preferencijalnim temama na sljedeći način:

Preferencijalna tema 1: Ispitivanja, praćenje i dijagnostika – 6 referata:

1. D1-01_T1_R71 (V. Đurina, L. Šoić, V. Haramija, N. Jaman; *Određivanje energije aktivacije papira kao preduvjet za izračun životnog vijeka papirne izolacije*)
2. D1-02_T1_R87 (L. Janković, N. Babić, B. Mikić, M. Kalamir; *Primjena statističkih metoda u analizi mjernog sustava za kontrolu kvalitete legiranih čelika*)
3. D1-03_T1_R126 (D. Vrsaljko, M. Pirc, V. Đurina, V. Haramija; *Praćenje ostarjelosti izolacijskih materijala kabela pomoću rendgenske fluorescencijske spektrometrije*)
4. D1-04_T1_R147 (I. Perković, V. Haramija; *Ispitivanje Li-ionskih baterija i pripadajućih materijala*)
5. D1-05_T1_R148 (I. S. Beer Romac, V. Haramija, V. Đurina, D. Vrsaljko; *Određivanje sadržaja zaostalih nusprodukata u izolacijskim materijalima*)
6. D1-06_T1_R149 (D. Vrsaljko, L. Šoić, V. Haramija; *Kontrola kvalitete NBR gume pomoću termogravimetrijske analize*)
7. A2-R98 (K. Petrović, M. Ilijašević, N. Škreb, M. Bogut, B. Čučić; *Mjerenje specifičnih gubitaka na balama lima i njihova korelacija s mjerenjima na jezgrama transformatora*)

Preferencijalna tema 2: Materijali i modeliranje – 3 referata:

1. D1-07_T2_R42 (V. Đurina, D. Vrsaljko, A. Verbanac, D. Vrsaljko; *Kompatibilnost 3D-ispisanih materijala s izolacijskim tekućinama*)
2. D1-08_T2_R208 (M. A. Bajić, I. Stojanović, L. Janković; *Utjecaj vrste temeljnog sloja na učinkovitost zaštite sustava premaza*)
3. D1-09_T2_R246 (V. Marjanović, M. Moubarak, R. Aarons, X. L. Osorio Barajas, T. Person, S. Haberlandt; *Otplinjavanje u uvjetima okoline - usporedna studija između konvencionalnih XLPE i novih XLPE materijala s niskim emisijama*)
4. A2-R91 (T. Pohovski, B. Jurišić; *Metoda za procjenu naprezanja izolacije transformatora prikladna za monitoring sustave*)

Preferencijalna tema 3: Utjecaj na okoliš i energetska tranzicija – 2 referata:

1. D1-10_T3_R86 (K. Vlahov, N. Gavrilov, M. Gapit, M. Mrđa; *LCA i ugljični otisak transformatora*)
2. D1-11_T3_R167 (I. Radić, B. Odobašić, V. Šerkinić, V. Maljković; *Reciklirane izolacijske tekućine za transformatore*)

2. IZVJEŠĆE O REFERATIMA

2.1. PREFERENCIJALNA TEMA 1: ISPITIVANJA, PRAĆENJE I DIJAGNOSTIKA

Referat D1-01 R71:

Vedran Đurina, Laura Šoić, Veronika Haramija, Nikola Jaman

Određivanje energije aktivacije papira kao preduvjet za izračun životnog vijeka papirne izolacije

Referat opisuje važnost određivanja energije aktivacije (E_a) papirne izolacija jer ona predstavlja važan čimbenik u procesu starenja te omogućava bolju procjenu preostalog vijeka trajanja izolacije u realnim uvjetima rada transformatora. Vrijednosti energije aktivacije dobiveni su pomoću termogravimetrijske analize (TGA), a isti bi u kombinaciji s mjerenjem temperature mogli omogućiti preciznije procjene životnog vijeka papirne izolacije, te povećati sigurnost i trajnost transformatora.

Pitanja za diskusiju:

1. Kako su konkretno određeni početni i konačni stupanj polimerizacije (DP_0 i DP_f) korišteni u izračunu životnog vijeka papira, te na koji način promjene tih vrijednosti (npr. $DP_0 = 1200$, $DP_f = 150$) utječu na konačne rezultate izračuna?
2. Možete li detaljnije objasniti na koji je način odabran stupanj pretvorbe $\alpha = 0,5$ te kako bi promjena odabranog α (npr. 0,3 ili 0,7) utjecala na interpretaciju rezultata?

Referat D1-02 R87

Lara Janković, Nikola Babić, Branimir Miketić and Marko Kalamir

Primjena statističkih metoda u analizi mjernog sustava za kontrolu kvalitete legiranih čelika

U referatu je prikazana primjena rendgenske fluorescencijske spektrometrije (XRF) uz statističke metode identifikacije izvora varijabilnosti za korištenje u tvorničkom procesu kontrole kvalitete legiranih čelika. Dobiveni rezultati mjerenja korišteni su za izračun ponovljivosti i obnovljivosti mjerenja preko kojih je procijenjena primjenjivost metode u ulaznoj kontroli kvalitete nehrđajućih čelika.

Pitanja za diskusiju:

1. Kako se opisani rezultati mogu primijeniti za definiciju internih standardnih operativnih procedura u ulaznoj kontroli? Uz uspostavljanje mjernih postavki koje dovode do stabilnih uvjeta mjerenja, je li potrebno razmotriti uvođenje referentnih materijala ili periodičke kalibracije za osiguranje pouzdanosti XRF analitičkog sustava?
2. Na koji način ponavljanje mjerenja (navedena su 4 ponavljanja po uzorku) doprinosi pouzdanosti klasifikacije uzoraka u grupe "loš" i "dobar"? Bi li promjena nekog drugog parametra mjerenja doprinijela pouzdanosti klasifikacije? Koji parametar je u vašem iskustvu najvažniji?
3. Koje su moguće posljedice zanemarivanja gage R&R analize u sličnim industrijskim primjenama? Koje su posljedice preuzimanja uvjeta od 30% tolerancijskog raspona za ocjenu prihvatljivosti analize? Postoje li detaljnije smjernice za postavljanje uvjeta za tolerancijske raspone?

Referat D1-03 R126

Dijana Vrsaljko, Marko Pirc, Vedran Đurina, Veronika Haramija

Praćenje ostarjelosti izolacijskih materijala kabela pomoću rendgenske fluorescencijske spektrometrije

U referatu je prikazana primjena rendgenske fluorescencijske spektrometrije (XRF) kao potencijalne metode za dijagnostiku stanja kabela s plaštem od klorosulfoniranog polietilena (CSPE), materijala koji se koristi u Nuklearnoj elektrani Krško.

Pitanja za diskusiju:

1. Koje se druge metode koriste za praćenje ostarjelosti izolacijskih materijala kabela i usporedba s XRF-om?
2. Koja primjenska svojstva kabela su narušena kada je $IM > 80 \text{ N/mm}^2$?

Referat D1-04 R147

Ivana Perković, Veronika Haramija

Ispitivanje Li-ion baterija i pripadajućih materijala

Referat je pregledni znanstveni članak koji obrađuje ispitivanje litij-ionskih baterija i pripadajućih materijala s naglaskom na sigurnost, performanse i dugovječnost. Poseban dio referata posvećen je metodama ispitivanja s ciljem optimizacije dizajna i smanjenja troškova proizvodnje uz zaključak da opsežna karakterizacija materijala i testiranje omogućuju razvoj sigurnijih i učinkovitijih baterija za široku primjenu.

Pitanja za diskusiju:

1. Postoje li standardizirane metode za ispitivanje materijala za elektrokemijske sustave?
2. Na koje aspekte rada na siguran način i zaštite okoliša treba obratiti pažnju u procesu ispitivanja Li-ion baterija i pripadajućih materijala?

Referat D1-05 R148

Iva Sanja Beer Romic, Veronika Haramija, Vedran Đurina, Dijana Vrsaljko

Određivanje vrste i sadržaja zaostalih nusprodukata nakon otplinjavanja kabela

Referat se bavi određivanjem zaostalih nusprodukata (acetofenon, kumilni alkohol, alfa-metilstiren i metan) u izolacijskom materijalu kabela od umreženog polietilena (XLPE) kako bi se osigurala kvaliteta, sigurnost i trajnost proizvoda. Opisane su tri analitičke metode: plinska kromatografija s masenom spektrometrijom (GC/MS), tekućinska kromatografija visoke učinkovitosti (HPLC) i plinska kromatografija (GC) s *headspace* pripremom te njihova primjena i usporedba rezultata.

Pitanja za diskusiju:

1. Kako se navedene metode mogu koristiti u dijagnostici kvara kabela?
2. Da li je ispitivanje količine i vrste nusprodukata zaostalih nakon otplinjavanja kabela preporučeno nekim međunarodnim standardom i koje je mišljenje autora o tome?

Referat D1-06 R149

Dijana Vrsaljko, Laura Šoić, Veronika Haramija

Kontrola kvalitete NBR gume pomoću termogravimetrijske analize

U referatu je opisana kontrola kvalitete nitril-butadien gume (NBR) pomoću termogravimetrijske analize (TGA). U prikazanim primjerima pomoću TGA su otkrivene razlike među formulacijama, provjerena je ujednačenost šarži, praćen je učinak temperaturnog starenja i utvrđena je nekompatibilnost NBR gume s određenom izolacijskom tekućinom.

Pitanja za diskusiju:

1. Koje ostale vrste gume se pronalaze u elektroenergetskoj opremi i po čemu se razlikuju od NBR gume?
2. Koliki je uobičajeni udio anorganskih punila i metalnih soli te što su po kemijskom sastavu?

Referat A2-R98

Karlo Petrović, Mislav Ilijašević, Nikola Škreb, Marijan Bogut, Branimir Čučić

Mjerenje specifičnih gubitaka na balama lima i njihova korelacija s mjerenjima na jezgrama transformatora

Referat se bavi mjerenjem specifičnih gubitaka u transformatorskim limovima i njihovom korelacijom s gubicima u transformatorima. Umjesto klasičnih metoda gubici se mjere izravno na cijelim balama lima, a referat opisuje metodologiju, eksperimentalni postupak i analizu točnosti mjerenja.

Pitanja za diskusiju:

1. Jeste li proveli, ili možete procijeniti, usporedbu rezultata dobivenih standardnim metodama određivanja specifičnih gubitaka u limovima i mjerenja gubitaka na cijelim balama?
2. Koji još parametri (osim dodatnih naprezanja uslijed zakrivljenosti) mogu utjecati na mjerenja gubitaka na balama lima?

2.2. PREFERENCIJALNA TEMA 2: MATERIJALI I MODELIRANJE

Referat D1-07 R42

Vedran Đurina, Dijana Vrsaljko, Ana Verbanac, Domagoj Vrsaljko

Kompatibilnost 3D ispisanih materijala s izolacijskim tekućinama

Referat istražuje kompatibilnost dvaju 3D-ispisanih materijala: polilaktida (PLA) i poliamida (PA) s mineralnim izolacijskim uljem i sintetskim esterom pri kratkotrajnom izlaganju na 100 °C. Ispitana su i uspoređena fizikalno-kemijska svojstva izolacijskih tekućina te mehanička svojstva 3D-ispisanih epruveta prije i poslije međusobnog izlaganja na povišenoj temperaturi.

Pitanja za diskusiju:

1. Koje su dodatne potencijalne primjene 3D-ispisanih materijala u velikim električnim uređajima?
2. Prema dosadašnjem iskustvu, na što treba obratiti pažnju prilikom 3D-ispisa materijala kako bi se dobili dijelovi sa što boljim svojstvima?

Referat D1-08 R208

Matej Antonio Bajić, Ivan Stojanović, Lara Janković

Utjecaj vrste temeljnog sloja na učinkovitost zaštite sustava premaza

Referat istražuje utjecaj vrste temeljnog sloja na učinkovitost zaštite sustava premaza za metalne površine energetskih transformatora, s ciljem prevencije korozije i produljenja vijeka trajanja. Ispitana su tri antikorozivna sustava, a uzorci su podvrgnuti ispitivanjima debljine premaza, prionjivosti („Pull-off“ test) prije i nakon izlaganja u slanoj i vlažnoj komori, korozije oko ureza te elektrokemijskim metodama (OCP i EIS).

Pitanja za diskusiju:

1. Autori navode: "Sva tri sustava premaza dokazala su vrhunska antikorozivna svojstva....". Što to točno znači? Mogu li se ispitani sustavi klasificirati u skladu s nekom relevantnom normom? Ako da, kako biste ih klasificirali i koji rezultati to potvrđuju?

2. Kako sustav zaštite od korozije osigurava dugotrajan životni vijek transformatora? Pojasnite, ako je moguće navedite primjer.

Referat D1-09 R246

Valeria Marjanović, Maria Moubarak, Roshan Aarons, Xochitli L. Osorio Barajas, Tim Person and Silke Haberlandt

Otplinjavanje u uvjetima okoline - usporedna studija između konvencionalnih XLPE i novih XLPE materijala s niskim emisijama

Referat prezentira novi izolacijski materijal za proizvodnju kabela koji ubrzava proces proizvodnje, te opisuje računski model za predviđanje emisija metana iz kabela s postojećim i novim izolacijskim materijalom.

Pitanja za diskusiju/Discussion questions:

1. Kako metoda konačnih razlika olakšava modeliranje procesa difuzije u materijalima kao što je XLPE? Koje su prednosti i ograničenja numeričkih metoda poput metode konačnih razlika za rješavanje jednažbi difuzije? Postoje li alternativne metode za ovu vrstu modeliranja i koje su to?
 - 1e. *How does the finite difference method make the process of diffusion modelling in materials such as XLPE easier? What are the advantages and limitations of numerical methods such as the finite difference method for solving diffusion equations? Are there alternative methods for this type of modelling and which ones?*
2. Koje su kemijske ili fizikalne promjene potrebne u formulaciji XLPE za proizvodnju XLPE s niskim emisijama? Kakav utjecaj te promjene imaju na druge nusprodukte umrežavanja XLPE kao što su acetofenon, kumilni alkohol i alfa-metilstiren? Postoji li potencijal za daljnje smanjenje emisija?
 - 2e. *What are the chemical or physical changes necessary in the XLPE formulation to produce low-emissions XLPE? What impact do the changes have on other byproducts of XLPE crosslinking such as acetophenone, cumyl alcohol and alpha-methylstyrene? Is there potential for further emissions decrease?*
3. Jesu li poznati utjecaji izolacije s niskim emisijama na električna svojstva (parcijalna izbijanja, dielektričnu čvrstoću, stvaranje šupljina), mehanička svojstva (strukturni integritet) i prijenos topline u XLPE izolaciji?
 - 3e. *Are the influences of low-emissions insulation on the the electrical properties (partial discharges, dielectric strength, creation of voids), mechanical properties (structural integrity) and heat transfer in the XLPE insulation known?*

Referat A2-R91

Toni Pohovski, Bruno Jurišić

Metoda za procjenu naprežanja izolacije transformatora prikladna za monitoring sustave

Referat se bavi procjenom naprežanja izolacije transformatora uzrokovanog atmosferskim prenaponskim udarima. Prikazani su rezultati mjerenja stvarnih udara munje na različitim naponskim razinama transformatora te simulacije raspodjele napona po namotima. Zaključeno je da standardna mjerenja možda ne pokrivaju sve stvarne uvjete, što naglašava potrebu za uključivanjem nestandardnih valnih oblika u ispitne protokole radi povećanja pouzdanosti i trajnosti izolacijskih sustava.

Pitanja za diskusiju:

1. Koja ispitivanja je potrebno provesti da bi se standardizirao valni oblik za ispitivanje stvarnih prenapona munje?
2. Koji valni oblik bi autori predložili za ispitivanje stvarnih prenapona munje?

2.3. PREFERENCIJALNA TEMA 3: UTJECAJ NA OKOLIŠ I ENERGETSKA TRANZICIJA

Referat D1-10 R86

Kresimir Vlahov, Marina Gapit, Nebojsa Gavrilov, Marina Mrda

LCA i ugljični otisak transformatora

Referat se bavi procjenom životnog ciklusa (LCA) i ugljičnog otiska transformatora kao odgovorom na sve strože europske regulative, zahtjeve kupaca i rastuću svijest o održivosti. Naglašava se potreba za preciznim praćenjem energetske i materijalne potrošnje u svim fazama proizvodnje, što zahtijeva digitalnu transformaciju procesa i kvalitetnu suradnju s dobavljačima, uz osiguravanje vjerodostojnih certifikata o ugljičnom otisku sirovina.

Pitanja za diskusiju:

1. Molimo pojasniti na koji način je GHG protokol isključivo usmjeren na kompanije?
2. Molimo pojasniti informaciju da 98 % emisija kompanije pripada Opsegu 2 - odnosi li se to samo na ukupne emisije Opsega 1 i 2?

Referat D1-11 R167

Ivanka Radić, Božena Odošić, Vlatka Šerkinić and Vedran Maljković

Reciklirane izolacijske tekućine za transformatore

Referat obrađuje temu recikliranih izolacijskih tekućina, vrlo značajnu za proizvođače i korisnike transformatora. U vremenu kada lako dođe do zastoja u opskrbi konvencionalnim izolacijskim tekućinama, važno je znati da postoji alternativna opcija koja ne narušava karakteristike opreme.

Pitanja za diskusiju:

1. Iz iskustva proizvođača transformatora, kolika je potražnja za recikliranim transformatorskim uljima?
2. Imate li informaciju o dostupnosti recikliranih ulja te mogu li se koristiti kao rezervna opcija ukoliko dođe do poremećaja u lancu opskrbe planiranih ulja?
3. Koji se potencijalni problemi mogu očekivati u kompatibilnosti recikliranih ulja s materijalima u transformatoru?

3. ZAKLJUČAK

Za 17. savjetovanje zaprimljeno je 11 referata koji tematski pripadaju SO D1 te obuhvaćaju sve preferencijalne teme. Iz SO A1 i A2 preuzeta su dodatna 2 referata za raspravu u okviru preferencijalnih tema 1 i 2. Svi referati izrađeni su u skladu s *Uputama autorima* za tehničku pripremu te sadržajno odgovaraju karakteru savjetovanja i postavljenim preferencijalnim temama.

Teme referata obuhvaćaju aktualne problematike iz područja materijala, modeliranja, ispitnih tehnika, dijagnostike stanja elektroopreme i primjenjive su za široko područje elektroindustrije. Na temelju pristiglih referata može se zaključiti da je ostvaren povećan interes za područje unutar SO D1, uz ukupno vrlo visoku razinu kvalitete svih referata.