

Ivanka Radić, dipl. kem. ing.
Končar D&ST
ivanka.radic@koncar-dst.hr

Branka Jakopović, dipl. kem. ing.
Končar D&ST
branka.jakopovic@koncar-dst.hr

UTJECAJ KONSTRUKCIJSKIH MATERIJALA NA SVOJSTVA TRANSFORMATORSKIH ULJA

SAŽETAK

Materijali koji dolaze u kontakt s transformatorskim uljem moraju biti pažljivo odabrani na način da moraju biti kompatibilni s izolacijskim uljem u radnim uvjetima rada transformatora. Materijal ne smije narušavati svojstva ulja i ulje ne smije utjecati na svojstva materijala, a u svrhu osiguranja pouzdanog rada transformatora. U radu će biti prikazana ispitivanja kompatibilnosti unutrašnjih zaštitnih prevlaka kotlova distributivnih transformatora u kontaktu s transformatorskim uljima. Detaljnije će biti pojašnjena svojstva ulja koja mogu biti narušena uslijed moguće nekompatibilnosti.

Gljučne riječi: kompatibilnost, transformatorsko ulje, kotlovi, zaštitne prevlake

INFLUENCE OF CONSTRUCTION MATERIALS ON THE PROPERTIES OF TRANSFORMER OILS

SUMMARY

Materials that are in contact with the transformer oil must be carefully selected in a way that they must be compatible with the insulating oil under the operating conditions of the transformer. Material must not affect of the oil properties and the properties of the material must not be affected by the oil to ensure reliable operation of the transformer. In this paper the compatibility tests of internal protective coatings of tanks in contact with transformer oils will be presented. The properties of the oil, which may be compromised by possible incompatibilities, will be explained in more detail.

Key words: compatibility, transformer oil, corrugated tanks, protective coatings

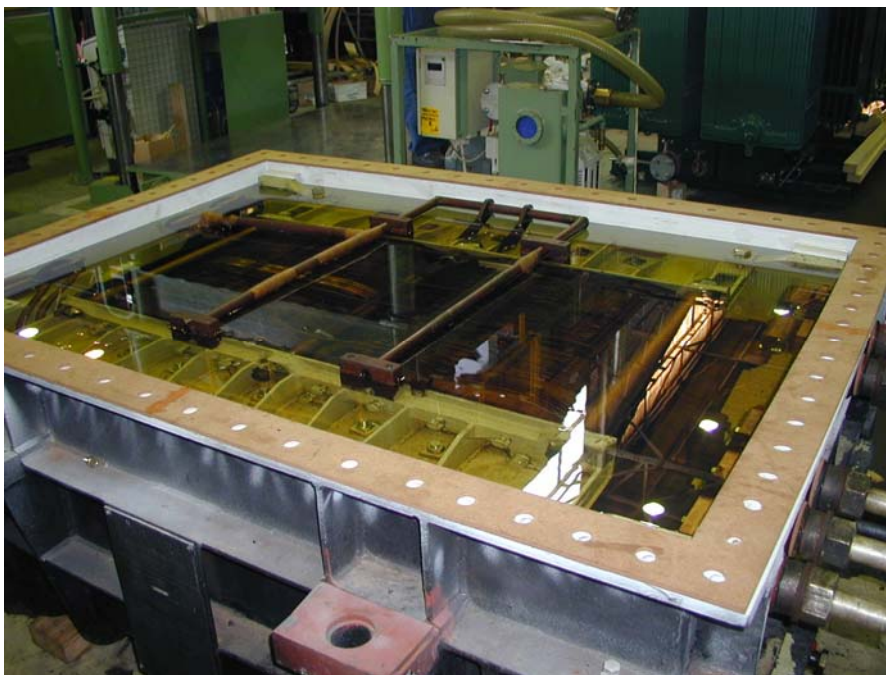
1. UVOD

Različiti materijali se koriste danas u proizvodnji distributivnih transformatora. Osim izolacijskih materijala (papira i izolacijskog ulja) imamo i ostale konstrukcijske i pomoćne materijale (različite metale, ljepila, premaze, brtve...).

Mineralno izolacijsko ulje je vitalni dio svih uljnih transformatora (slika 1.) zbog svojih izolacijskih svojstava kao i svojstva hlađenja. Ujedno je to i tekući medij koji prenosi informacije o stanju izolacijskog sustava ulje-papir [1]. Transformatorsko ulje mora imati specifična svojstva bitna za primjenu, na temelju kojih se osigurava pouzdano funkcioniranje i optimalan vijek transformatora. Danas su u upotrebi različite vrste izolacijskih tekućina: mineralna ulja (naftenska, izoparafinska), esteri (prirodni i sintetski), od čega su mineralna ulja na naftenskoj bazi i dalje najčešće korišten izolacijski medij u distributivnim transformatorima. Za specijalne primjene (zaštita okoliša, nezapaljivost) i u specijalnim transformatorima koriste se prirodni ili sintetski esteri.

Materijali koji su u kontaktu s transformatorskim uljem moraju zadovoljiti svojstvo kompatibilnosti s uljem tj. materijali moraju biti otporni na ulje i ne smije biti utjecaja materijala na svojstva ulja. Fizikalno-kemijske promjene u ulju uslijed nekompatibilnosti materijala vode do ubrzanog starenja ulja, smanjenja njegovih izolacijskih svojstava kao i mogućih direktnih ili indirektnih kvarova u radu samog transformatora.

U radu su detaljnije opisana svojstva koja moraju zadovoljiti zaštitni premazi kotlova distributivnih transformatora koji su u kontaktu s transformatorskim uljem, kao i utjecaj eventualno zaostalog penetranta (sredstva za ispitivanje zavara) u kotlu transformatora.



Slika 1. Aktivni dio transformatora utopljen u transformatorsko ulje

2. KOMPATIBILNOST MATERIJALA I TRANSFORMATORSKOG ULJA

Nema međunarodnih normi za ispitivanje kompatibilnosti materijala i transformatorskog ulja, ali postoje neke nacionalne norme. Ispitivanje kompatibilnosti materijala i transformatorskog ulja je opisano u nacionalnoj (američkoj) normi ASTM D3455 [2]. Norma daje preporuke za uvjete ispitivanja, omjere materijala i ulja, pripremu uzoraka, svojstva ulja i materijala koja je potrebno ispitati.

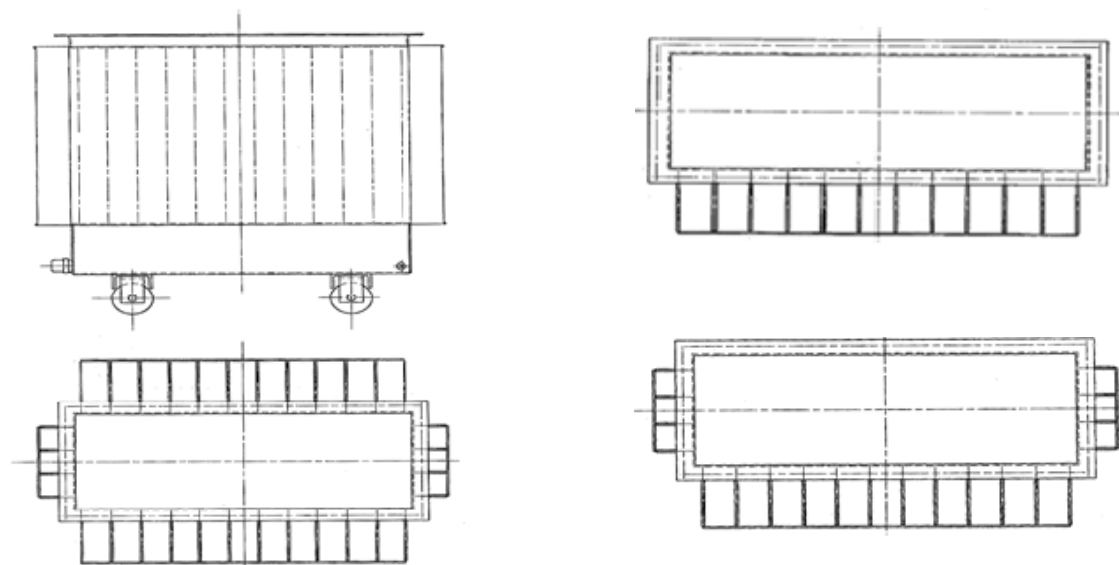
Fizikalno-kemijske karakteristike ulja koje je potrebno ispitati (nakon izlaganja materijala ulju) su: boja, površinska napetost, neutralizacijski broj, probojni napon i tan delta. Opseg ispitivanja je potrebno po potrebi proširiti i na druga ispitivanja: ispitivanje korozivnog sumpora, ispitivanje otopljenih plinova u ulju (DGA analiza) kao i IR spektroskopija.

Tipični testovi na materijalima mogu uključiti upijanje ulja, promjena dimenzija, promjena boje i tvrdoće materijala. Rezultati ispitivanja se dobiju tako što se uspoređuju dobiveni rezultati sa referentim uzorkom ulja (slijepom probom). Ukoliko rezultati odstupaju u odnosu na slijepu probu materijali nisu kompatibilni tj. potrebno ih je ili odbaciti ili detaljnije ispitati. Materijali koji zadovolje kriterije prema ovoj normi ne moraju nužno biti prikladni za korištenje u transformatorima (kao što se navodi u normi). Stoga je potrebno sagledati ostale parametre tj. realne uvjete pogona (realan omjer materijala/ulje, temperature, uvjete rada, okolišne i ostale uvjete).

2.1. Unutrašnje zaštitne prevlake kotlova distributivnih transformatora

Kotlovi distributivnih transformatora mogu imati ravne stranice ili valovite. Valoviti kotlovi distributivnih transformatora mogu biti različite konstrukcije te mogu imati rebra s jedne, dvije, tri ili sa svih strana kotla (slika 2). Rebra mogu biti različite dubine. Unutrašnjost kotla mora biti čista, suha bez vidljivih nečistoća i tragova cijedenja penetranta (slika 3.). Navedeno se provjerava uvijek prilikom ulazne kontrole kotlova.

Unutarnje zaštitne prevlake distributivnih transformatora koje su u kontaktu s uljem mogu biti zaštićene s zaštitnim uljootpornim premazom ili mogu biti vruće pocinčane. Unutarnji premaz kotla je najčešće uljootporni dvokomponentni epoksid u svijetloj nijansi (RAL 9003 ili slično), s ciljem da se uoče bilo kakve nečistoće na vrijeme tj. prije montaže i/ili utopa transformatora (slika 3).



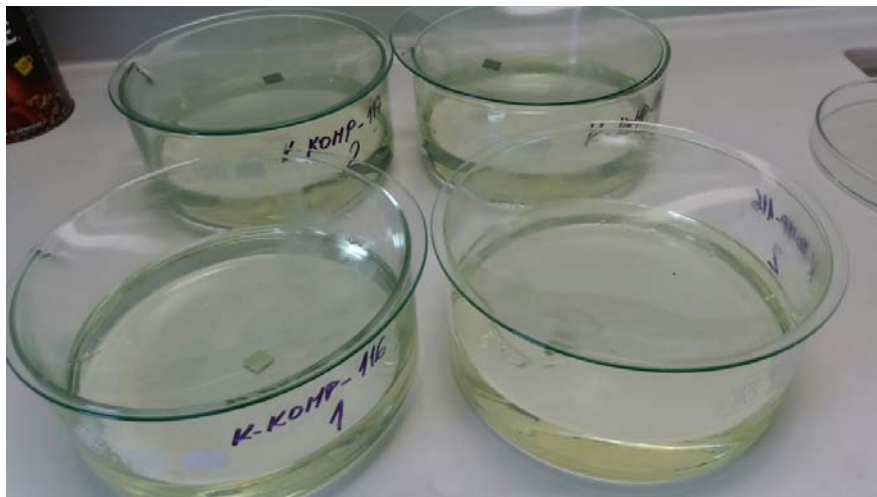
Slika 2. Presjek različitih valovitih kotlova distributivnih transformatora

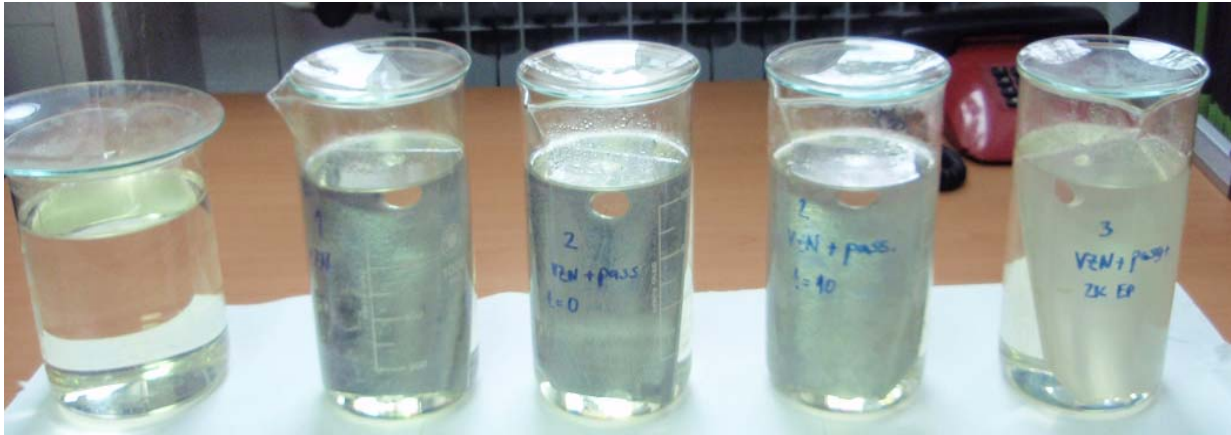


Slika 3. Unutrašnjost kotlova distributivnih transformatora obojani uljootpornim premazom

2.1.1. Ispitivanje utjecaja premaza na transformatorsko ulje

Uljootpornost (kompatibilnost) premaza kotla sa transformatorskim izolacijskim uljem se ispituje sukladno normi ASTM D 3455-11 i internim radnim uputama. Pločice s premazom se izlažu utjecaju transformatorskog ulja na 100°C, 164 h (Slika 4.). Ispituju se svojstva transformatorskog ulja nakon starenja te se uspoređuju sa slijepom probom.





Slika 4. Pripremljene pločice za ispitivanje kompatibilnosti s transformatorskim uljem

U tablici I. su prikazani rezultati ispitivanja utjecaja epoksidnog premaza na transformatorsko ulje. Prikazan je i opseg ispitivanja, koji je uključio izgled, boju, neutralizacijski broj, faktor dielektričkih gubitaka i specifični otpor. Provedena je i DGA analiza te je uočeno da nema pojave plinova. Rezultati su u skladu s našim internim radnim uputama te ispitivani premaz nema utjecaja na transformatorsko ulje. Ispitivanje je provedeno u Končar Institutu za elektrotehniku, Laboratoriju za fizikalno-kemijska Ispitivanja.

Osim fizikalno-kemijskog ispitivanja transformatorskog ulja, potrebno je i ispitati i pločice s premazom nakon starenja u ulju. Provjerava se da li je došlo do gubitka prionjivosti kao i gubitka samog premaza ispitivanjem debljine prevlake. Debljina premaza se ispituje prema normi HRN EN ISO 2178 [3].

Prionjivost premaza provodi se sukladno normi HRN EN ISO 2409 [4] tako da se noževima uređaja urežu dva reda linija međusobno okomitih (90°). Dubina zarezivanja kvadrata mora biti takva da noževi prolaze kroz sloj premaza do metalne podloge. Nakon zarezivanja promatra se u kojoj je mjeri došlo do odvajanja premaza od podloge. Nalaz se klasificira ocjenama od 0 do 5 (tablica III.). Rezultati 0 i 1 su zadovoljavajući sukladno normi ISO 2409.

Tablica I. Rezultati ispitivanja utjecaja premaza na transformatorsko ulje

Karakteristika ulja	Metoda	Ulje slijepa proba	Ulje + uzorak	Zahtjev
Izgled		čisto, bistro	čisto, bistro	bez promjene
Boja	HRN ISO 2049	<0,5	<0,5	max. porast 1,5
Neutralizacijski broj, mg KOH/g	HRN EN 62021-1	0,03	0,04	max. porast 0,03
Granična površinska napetost, mN/m	ASTM D 971	47	46	pad za max. 5
Faktor diel. gubitaka, $\tan \delta$ na 90°C	HRN EN 60247	0,0005	0,0006	max. porast 0,005
Specifični električni otpor na 90°C	HRN EN 60247	394	304	min.60

Rezultati ispitivanja debljine prevlake i prionjivosti dvokomponentnog epoksidnog premaza su prikazani u tablici II. Svi ispitivani premazi pokazuju dobru adheziju (prionjivost) cross cut testom (rezultat O) te nije došlo do promjena u debljini prevlake, što znači da nema utjecaja ulja na kvalitetu prevlake.

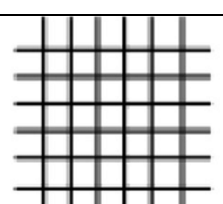
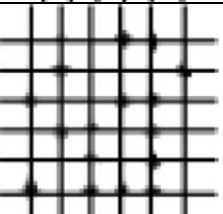
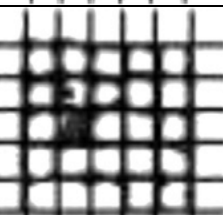
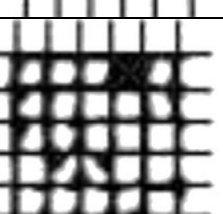
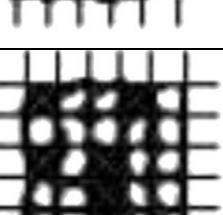
Tablica II. Rezultati ispitivanja debljine prionjivosti prevlaka testnih pločica 2K EP premaza

Uzorak	Debljina, μm		Prionjivost	
	prije izlaganja	poslije izlaganja	prije izlaganja	poslije izlaganja
Uzorak 1 dostavno stanje	$123 \pm 9,3$	$125 \pm 10,1$	0	0
Uzorak 2 izlaganje temperaturi 100°C , 164 h na zraku	$128 \pm 10,8$	$116 \pm 7,3$	0	0
Uzorak 3 izlaganje ulju 100°C , 164 h	$140 \pm 15,3$	$142 \pm 9,2$	0	0
Uzorak 4 izlaganje ulju 100°C , 164 h	$133 \pm 4,7$	$138 \pm 7,6$	0	0
Uzorak 5 izlaganje ulju 100°C , 164 h	$125 \pm 14,7$	$133 \pm 9,8$	0	0
Uzorak 6 izlaganje ulju 100°C , 164 h	$147 \pm 11,6$	$148 \pm 12,0$	0	0



Slika 5. Ispitivanje prionjivosti i debljine premaza

Tablica III. Ocjena adhezije (prionjivosti) premaza prema ISO 2409

Opis	Ocjena	
Tragovi rezova su potpuno glatki, nijedan kvadratić mrežice nije otkinut	0	
Nešto premaza je oljušteno na sjecištima u mrežici, manje od 5% površine je oštećeno	1	
Dio premaza je oljušten na rubovima i sjecištima u mrežici. 5 do 15% površine je oštećeno	2	
Premaz je oljušten duž rubova i unutar kvadratića mrežice. 15 do 35% površine je oštećeno.	3	
Premaz je oljušten duž rubova cijelog niza, neki kvadratići su potpuno oljušteni. 35 do 65% površine je oštećeno	4	
Više od 65% površine je oštećeno	5	

Navedena ispitivanja pokazuju da je dvokomponentni epoksid (2K EP) kompatibilan s trafo uljem tj. nema utjecaja premaza na ulje niti utjecaja ulja na svojstva premaza. 2K EP premaz se može koristiti za zaštitu kotlova distributivnih transformatora. Ista ispitivanja su se provela i u slučaju pocinčane površine kotla (osim testa prionjivosti, koji se ne može provesti na pocinčanim prevlakama).

2.1.2. Ispitivanje utjecaja penetranta na svojstva transformatorskog ulja

Penetrant je kemikalija koja se koristi nakon proizvodnje kotlova u svrhu provjere zavora kotla. Nakon ispitivanja nepropusnosti zavora neophodno je očistiti zaostali penetrant jer se radi o polarnom kemijskom spoju koji može kontaminirati transformatorsko ulje te smanjiti njegova izolacijska svojstva. Zaostali penetrant se može uočiti kao zelenkasto-žučkasta tekućina koje se cijedi između rebara kotla (Slika 5.)



Slika 5. Zaostali penetrant u kotlu transformatora

Ispitivanje utjecaja penetranta (PENETRANT FP-93TU) na transformatorsko ulje je provedeno u svrhu provjere utjecaja na ulje te je uočeno da se radi o polarnom kemijskom spoju koji narušava izolacijska svojstva (tan delta i spec. otpor – Tablica IV.). Iz tablice je vidljiv kemijski utjecaj penetranta na tan delta i specifični otpor ulja pri velikim omjerima penetrant : ulje.

Tablica IV. Utjecaj peneranta na izolacijska svojstva ulja

	Tan delta	Spec. otpor
IEC 60296 (novo ulje) - zahtjev	< 0,005	
Slijepa proba (novo ulje)	0,0023	560
Uzorak 1. (1:20)	0,0032	85
Uzorak 2. (1:1)	0,025	9,8

3. ZAKLJUČAK

Kod selekcije novih materijala koji će biti u kontaktu s transformatorskim uljem neophodno je provesti ispitivanje otpornosti materijala i utjecaja materijala na ulje.

Utjecaj nekompatibilnih materijala na transformatorsko ulje može uzrokovati smanjenje izolacijskih svojstava ulja što direktno ili indirektno može dovesti do greški i kvarova u radu transformatora.

Prilikom ulazne kontrole valovitih kotlova treba provjeriti unutrašnjost kotla koja mora biti čista, suha i bez cijedenja penetranta između rebara kotla.

4. LITERATURA

- [1] N. Bernard, B. Čuček, „Compatibility of Mineral Insulating Oil with Transformer Construction Materials“, IEEE (ICDL). Manchester, UK, June 2017.
- [2] ASTM D3455-11 Standard Tests methods for Compatibility of Constructions Material with Electrical Insulating Oil of Petroleum Origin, 2019
- [3] HRN EN ISO 2178 - Boje i lakovi - Nemagnetne prevlake na magnetskim podlogama -- Mjerenje debljine prevlake -- Magnetska metoda
- [4] HRN EN ISO 2409 - Boje i lakovi -- Ispitivanje zarezivanjem mrežicom (Paints and varnishes -- Cross-cut tests)