Određivanje refrakcijskog indeksa i boje ulja

Groznica, Nikolina

Undergraduate thesis / Završni rad

2022

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **Josip Juraj Strossmayer University of Osijek, Department of Chemistry / Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Odjel za kemiju**

Permanent link / Trajna poveznica: https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:182:323161

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2024-03-29**

Repository / Repozitorij:

Repository of the Department of Chemistry, Osijek

Sveučilište J. J. Strossmayera u Osijeku

Odjel za kemiju

Preddiplomski studij kemije

Nikolina Groznica

Određivanje refrakcijskog indeksa i boje ulja

Završni rad

Mentorica: izv. prof. dr. sc. Martina Medvidović-Kosanović

Neposredni voditelj: Dominik Goman

Osijek, 2021.

Sažetak

Transformator je uređaj koji pretvara izmjeničnu struju zadanoga napona u izmjeničnu struju višeg ili nižeg napona i kao takav ključan je u prijenosu električne energije od proizvođača do potrošača, jer smanjuje gubitak energije. Svaki transformator u sebi sadrži ulje koje služi kao izolacijska i rashladna tekućina, a uz to ulje daje informacije o kvaliteti transformatora. S vremenom transformatorsko ulje oksidira i postane onečišćeno, a sve to se odražava na kemijska i fizikalna svojstva ulja što u konačnici stvara nekvalitetno ulje za rad transformatora. Postoji tri vrste ulja koja se koriste u transformatorima, a to su mineralna, silikonska i esterska. U ovom radu koristila su se mineralna izolacijska ulja, osam uzoraka s područja Slavonije. Svrha ovog rada je proučiti metode kojima se određuje kvaliteta transformatorkog ulja, usporediti njihove rezultate i na temelju svih rezultata donijeti zaključak o ispravnosti ulja. Naglasak je na metodama određivanja refrakcijskog indeksa i boje ulja.

Ključne riječi: Transformatorska ulja, boja ulja, refrakcijski indeks

Abstract

A transformer is a device that converts alternating current of a given voltage into alternating current of higher or lower voltage and as such is crucial in the transmission of electricity from the producer to the consumer, because it reduces energy loss. Each transformer contains an oil that serves as an insulating and cooling liquid, and in addition the oil provides information on the quality of the transformer. Over time, transformer oil oxidizes and becomes contaminated, all of which is reflected in the chemical and physical properties of the oil which ultimately creates poor quality oil for the operation of the transformer. There are three types of oils used in transformers: mineral oil, silicone oil and ester oil. In this work are used mineral insulating oils, eight samples from the area of Slavonia. The purpose of this final work is to study the methods used to determine the quality of transformer oil, to compare their results and on the basis of all the results to draw a conclusion about the correctness of the oil. The emphasis is on methods for determining the refractive index and oil color.

Keywords: Transformer oils, refractive index, oil color

Sadržaj

1. UVOD 1

2. LITERATURNI PREGLED 2

2.1. Transformatori 2

2.2. Transformatorska ulja 3

2.2.1. Mineralna ulja 5

2.2.2. Silikonska ulja 6

2.2.3. Esterska ulja 7

2.2.3.1. Prirodno estersko ulje 8

2.2.3.2. Sintetsko estersko ulje 8

2.3. Metode određivanja kvalitete ulja 9

2.3.1. Određivanje boje ulja 10

2.3.2. Određivanje refrakcijskog indeksa 11

3. EKSPERIMENTALNI DIO 15

3.1. Boja ulja 16

3.2. Refrakcijski indeks 17

4. REZULTATI I RASPRAVA 19

5. ZAKLJUČAK 22

6. LITERATURA 23

1. UVOD

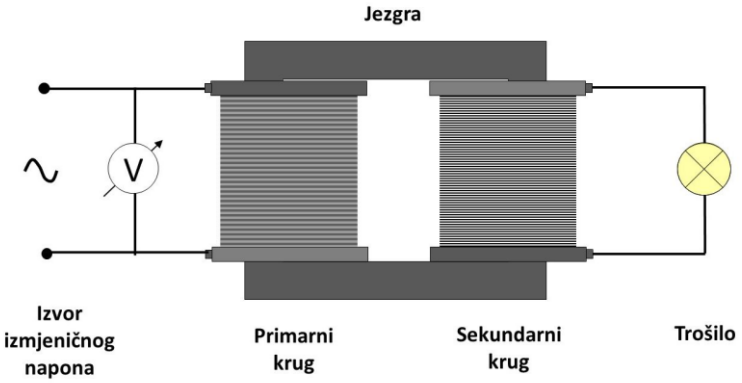
Otkriće električne energije predstavljalo je veliku prekretnicu u povijesti. Svijet se nakon toga okrenuo tehnološkom razvitku, a tehnologija kakvu danas poznajemo ne bi postojala da nije bilo Nikole Tesle i njegovog doprinosa u tom području. Danas se električna energija smatra osnovom za život kako u domaćinstvima tako i u industriji, stoga je važno prenijeti električnu energiju od mjesta proizvodnje do krajnjeg potrošača. U samom prijenosu električne energije javlja se nekoliko problema, jedan od njih je gubitak dijela energije zbog dalekovoda koji imaju određeni otpor, a drugi je smanjenje napona od izvora električne energije do potrošača. Transformator je uređaj koji je ključan za prijenos električne energije, jer pretvara izmjeničnu struju zadanoga napona u izmjeničnu struju višeg ili nižeg napona [1]. Kako bi transformator mogao kvalitetno odrađivati svoju funkciju važno je pratiti kvalitetu ulja koja u njemu služi za hlađenje i izolaciju.

U ovom završnom radu određivana je ispravnost ulja u različitim transformatorima. Na temelju tih istraživanja dobivaju se informacije o kvaliteti ulja, može li se isto ulje nastaviti koristiti u transformatoru ili se mora mijenjati, te se dobivaju informacije o ispravnosti rada transformatora. Metode koje su korištene u ovom radu su određivanje boje ulja i refrakcijskog indeksa.

2. LITERATURNI PREGLED

2.1. Transformatori

U prijenosu električne energije od proizvođača do potrošača dolazi do gubitaka energije zbog otpora dalekovoda. Transformatori su uređaji koji djelomično nadoknađuju gubitke, a primarna funkcija im je pretvaranje ulazne električne struje određenog napona u struju višeg ili nižeg napona [1].



Slika 1. Građa transformatora [2].

Na slici 1 prikazana je jednostavna shema transformatora. On se sastoji od dviju zavojnica, primarne i sekundarne, koje su povezane feromagnetskom jezgrom. Jezgra se sastoji od niza pločica koje su međusobno električno izoliranie te ona služi za prijenos magnetskog toka između zavojnica. Budući da jezgra prolazi kroz obje zavojnice i tako zatvara puni krug, magnetski tok prelazi iz primarne u sekundarnu zavojnicu uz minimalne gubitke [3].

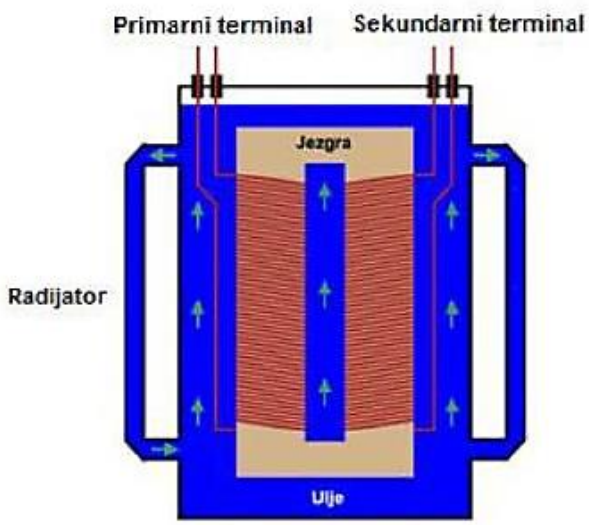
Prema namjeni i izvedbi transformatori se dijele na: a) energetski transformator namijenjen prijenosu i pretvorbi električne energije, b) mjerni transformator koji se primjenjuje se za električna mjerenja te c) transformator impedancije koji se u visokofrekvencijskoj tehnici prilagođava impedanciji dvaju strujnih krugova. Postoji više podvrsta energetskih transformatora poput: generatorskog, mrežnog, distribucijskog, ispravljačkog, pećnog i dr. U elektroničkoj se industriji uz energetske transformatore primjenjuje niz specijalnih malih transformatora kao što su niskofrekvencijski ili tonski transformator, međufrekvencijski, visokofrekvencijski, antenski i sl. Poseban

visokofrekvencijski transformator velikoga prijenosnog omjera naziva se Teslin transformator [4].

2.2. Transformatorska ulja

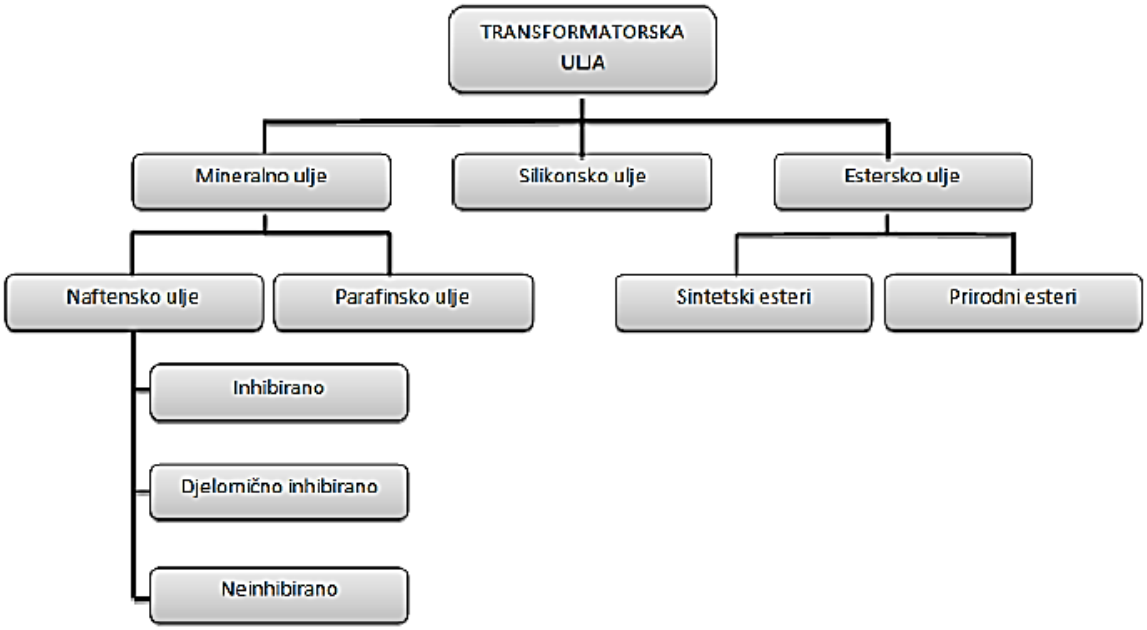
General Electric počeo je 1892. godine koristiti prva ulja na bazi nafte kao izolacijsku tekućinu u transformatoru. Komercijalna proizvodnja mineralnog ulja na bazi parafina započela je 1899. godine. Mineralno ulje na bazi parafina sadržavalo je veliku količinu voska što je rezultiralo nepoželjnim visokim vrelištem. Također se proizvela velika količina netopivog taloga u klimatskim uvjetima ispod nule što je smanjilo viskoznost i time smanjilo kapacitet prijenosa topline. Kasnije je parafinsko mineralno ulje zamijenjeno naftenskim uljima koje je zadržalo mineralno ulje kao tekućinu na vrlo niskim temperaturama, ali je nedostatak takvih ulja zapaljivost. Poliklorirani bifenil (PCB), s kojim je riješen problem zapaljivosti naftenskih ulja, prvi je put napravljen 1930. godine. No, početkom 1970. godine utvrđeno je da PCB više nisu ekološki prihvatljivi pa je zabranjena njihova uporaba i proizvodnja. Prestankom primjene PCB-a, elektroprivreda se okrenula drugim tekućim izolacijama poput sintetskih estera, biljnog ulja, silicijeve tekućine i sl. Međutim od svih tekućina, danas se najviše koristi minerano ulje [5].

Transformatori oslobađaju toplinu u procesu prolaska struje kroz namote i magnetiziranjem jezgre, što s vremenom može uzrokovati pregrijavanje uređaja. Stoga svaki takav transformator treba hladiti. Za hlađenje transformatora koristi se ulje, a na slici 2 je prikazan smjer strujanja ulja kroz transformator. Osim hlađenja, ulje u transformatoru služi kao izolator te nosač informacija.



Slika 2. Prikaz strujanja ulja u transformatoru [4].

Ulja koja se koriste u transformatorima pripadaju elektroizolacijskim tekućinama, a ona se dijele na mineralna, silikonska i esterska izolacijska ulja. Na slici 3 prikazana je podjela ulja.



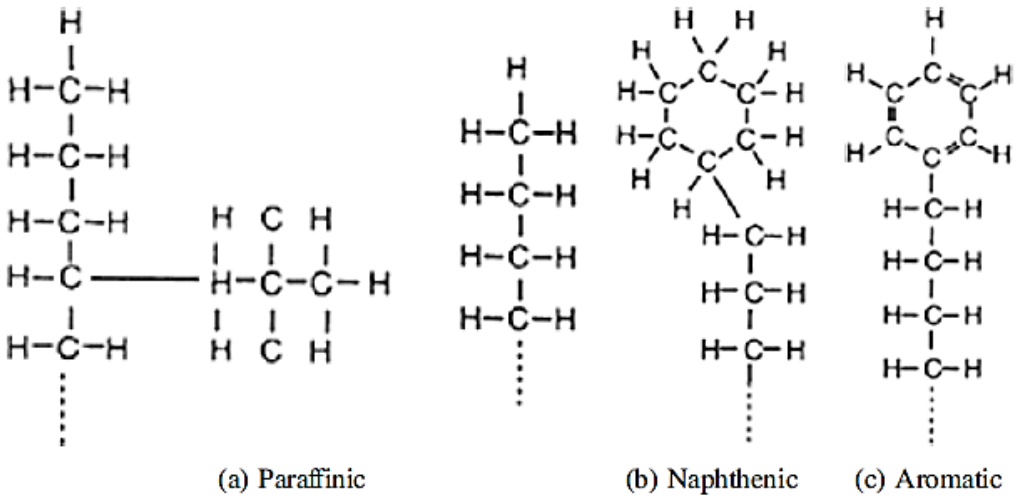
Slika 3. Vrste izolacijskih ulja u transformatorima [4].

2.2.1. Mineralna ulja

Sirovina za mineralno ulje je sirova nafta. Sirova nafta trenutno je najvažnija sirovina i sadrži veliki broj kemijskih spojeva, u kojima je najviše zastupljen ugljik, a zatim vodik, dušik, kisik, sumpor i u tragovima se pronalaze metali. Nafta je mješavina mnogih ugljikovodika, pri čemu se razlikuju linearni i razgranati alkani (parafini), ciklički zasićeni cikloalkani (nafteni) i ciklički nezasićeni aromati. Prema tome se mineralna ulja dijele na parafinska, naftenska i atomatska (slika 4) [6].

Parafinsko ulje sadrži znatnu količinu prirodnih n-parafina. U prošlosti su parafinska ulja imala relativno visoku točku stiništa te su zahtijevala upotrebu dodatnih aditiva za sniženje točke stiništa. Današnja iskustva širom svijeta pokazuju da se uz određene aditive ovaj nedostatak može riješiti [4].

Naftensko ulje je derivat nafte koji sadrži malo prirodnih n-parafina. Naftenska ulja imaju nisku točku stiništa bez dodatnih aditiva, bolju viskoznost i bolju oksidacijsku stabilnost. Iz tog razloga su danas u transformatorima korištena uglavnom naftenska mineralna ulja [4].



Slika 4. Klasifikacija mineralnih izolacijskih ulja [5].

Dug je put od sirove sirove nafte do gotovog izolacijskog ulja. Opsežni koraci procesa, kao što su destilacija, ekstrakcija, apsorpcija i hidrogeniranje, potrebni su kako bi

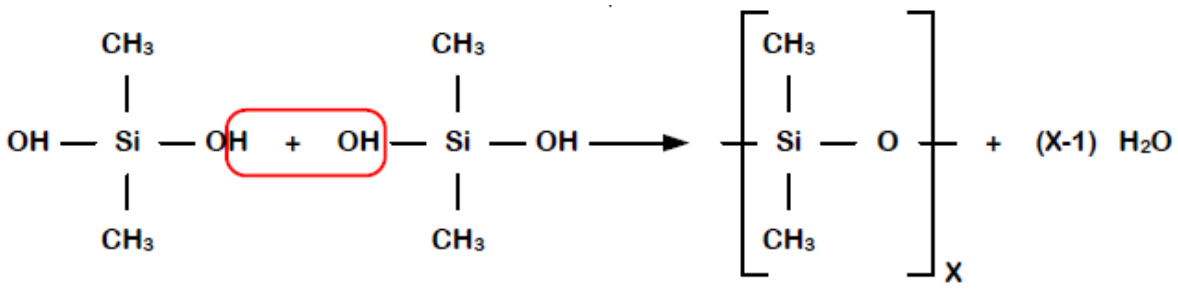
se od sirovine dobio gotov proizvod, tj. mineralno izolacijsko ulje. Kako su tehnologije rafiniranja napredovale, tako su i mineralna izolacijska ulja nastala. Fizikalna, kemijska i električna svojstva mineralnog izolacijskog ulja određena su njegovim sastavom koji varira ovisno o sirovoj nafti i procesu rafinacije. Budući da se sirova nafta nalazi u različitim zemljopisnim područjima, jedna se sirova nafta može značajno razlikovati od druge u relativnom udjelu svakog ugljikovodika, što znači da mjesto proizvodnje sirove nafte nije beznačajno za kasniju kvalitetu proizvoda [7].

Postupak proizvodnje ulja utječe na krajnji produkt i na kvalitetu dobivenog ulja, stoga se može razlikovati inhibirano i neinhibirano mineralno ulje. Obje se vrste mogu naći na tržištu, a koje će se mineralno ulje koristiti ovisi o zahtjevima. Inhibirano mineralno ulje najpoznatije je po visokoj oksidacijskoj stabilnosti, jer je svrha inhibitora da se uspori proces oksidacije, stvaranje taloga i kiselina te ulje na taj način duže vrijeme ostaje kvalitetno i kasnije dolazi do kvara [6]. Najčešći antioksidansi, tj. inhibitori su fenoli ili amini, a najrašireniji tip inhibitora je 2,6-di-tert-butil-para-krezol, DBPC i 2,6-di-tert-butil-fenol, DBP. Kako bi se neko ulje klasificiralo kao inhibirano mora sadržavati 0,08 – 0,4 % inhibitora, dok djelomično inhibirano ulje ima manje od 0,08 % inhibitora. Neinhibirano ulje je ono koje sadrži samo prirodne inhibitore i to do 0,01 % [4].

2.2.2. Silikonska ulja

U današnje vrijeme silikonski proizvodi postali su neophodni u svakodnevnom životu, od kućanstva do tehnologije. Silikoni su čisto sintetički proizvodi. Kvarc (SiO_2) se reducira u silicij u električnoj peći, a klorometilsilani nastaju s metil-kloridom na 300 °C i bakrom kao katalizatorom, od kojih je većina prisutna kao diklordimetilsilan [6].

Osnovni materijal za silikonsko ulje dobiva se naknadnom polikondenzacijom. Silikonsko ulje je polidimetilsiloksan, polimer u kojem su dimetilsililne skupine međusobno povezane preko kisikovih mostova u lanac - pojednostavljeni prikaz je na slici 5. U slučaju silikonskog ulja, polimer je građen od 100 dimetilsililnih skupina [6].



Slika 5. Pojednostavljen prikaz nastajanja polidimetilslioksana [6].

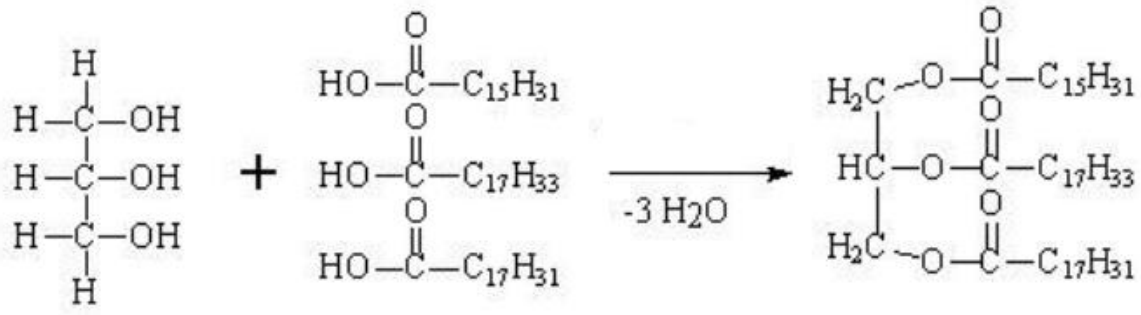
Silikonskim uljima htjelo se zamijeniti PCB-ove koji sadrže askarel. Međutim visoka cijena spriječila je široku upotrebu do danas. Uz to nastaje problem pri punjenju transformatora napunjenih mineralnim uljem silikonskim uljem zbog kapanja mineralnog ulja iz jezgre transformatora i povezanog pjenjenja tekuće smjese [6]. Osim toga, ova ulja su otporna na biorazgradivost te je njihova upotreba ~~je~~ ograničena u ekološki osjetljivijim područjima.

2.2.3. Esterska ulja

Esterska ulja imaju različita svojstava u usporedbi s mineralnim uljima. Zbog većeg polariteta esteri imaju različitu topljivosti u odnosu na mineralno ulje. Vjerojatno najveća razlika u korištenju prirodnih i sintetskih estera u smislu kemijskog ponašanja leži u njihovoj niskoj oksidacijskoj stabilnosti u usporedbi s mineralnim uljem, što se pokazalo kao prednost u biorazgradnji [6]. Ako se usporedi mineralno ulje s esterskim, vidi se da esterska ulja imaju nekoliko prednosti u odnosu na mineralno ulje. Na primjer esteri imaju višu točku paljenja od mineralnih ulja, pa esterska ulja zato bolje odgovaraju transformatorima. Također valja naglasiti da je viša točka paljenja bitna za okoliš, poput podzemlja ili mora, gdje je važna zaštita od požara. Nadalje esteri pokazuju visoku biorazgradivost i nisu toksični u usporedbi s običnim mineralnim uljem, što može biti korisno ako dođe do curenja ulja u okolš, manji su troškovi čišćenja te su manje opasni za ekosustav [8].

2.2.3.1. Prirodno estersko ulje

Bazno ulje je biljnog podrijetla (pšenica, soja, suncokret, ricinus, palma, kokos, kikiriki i sl.). Ova bazna ulja su trigliceridi, pri čemu se različite masne kiseline u prirodnom procesu esterificiraju s alkoholom (glicerinom) kao što se može vidjeti na slici 6.



Slika 6. Prikaz reakcije glicerina s masnim kiselinama u kojoj nastaje triglicerid kao produkt reakcije [6].

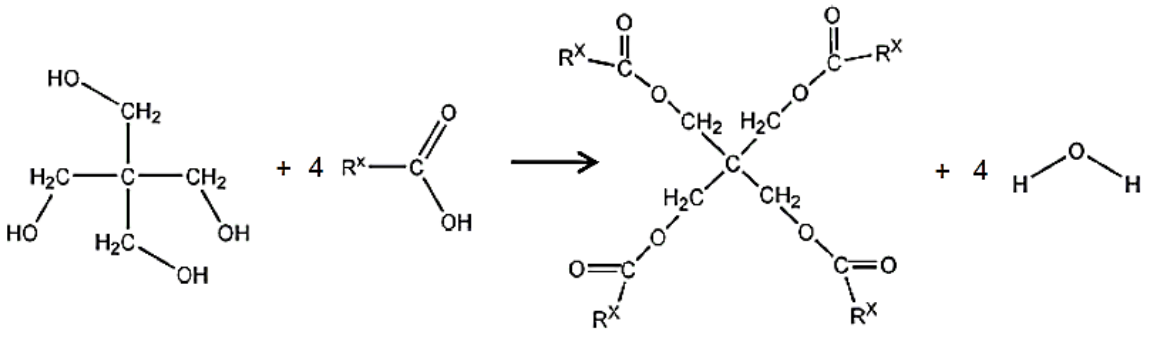
Masne kiseline mogu biti zasićene, ali i nezasićene. Ova bazna ulja obično sadrže prirodno nezasićene spojeve koji olakšavaju mogućnost oksidacijskog napada ili stvaraju duže molekule polimerizacijom, što ima snažan utjecaj na viskoznost. Općenito te molekule sadrže od 16 do 18 atoma ugljika. Da bi se postigla maksimalna stabilnost, nezasićeni spojevi zasićeni su hidrogeniranjem. Tim se tekućinama dodaju aditivi kako bi se postigla trajnost i visoka razina stabilnosti što je dulje moguće. Jedan od najčešćih dodataka koji se koristi za sprječavanje oksidacije je tercijarni butilhidrokinon (tvar koja se također vrlo često koristi u prehrambenoj industriji pod imenom E 319 kao konzervans) [6].

Prirodna esterska ulja imaju drugačija svojsvta od mineralnih ulja. Gušća su i viskoznija, imaju karakteristični miris i boju, visoko plamište i gorište, teško su zapaljiva, imaju visok indeks viskoznosti i dobra dielektrična svojstva.

2.2.3.2. Sintetsko estersko ulje

Osnova sintetskog estera je poliol ester, koji se proizvodi esterifikacijom pentaeritritol {2,2-bis(hidroksimetil)1,3-propandiol} s različitim kiselinama. Reakcija nastajanja estera

prikazana je na slici 7. Glavne razlike između poliol estera postižu se promjenom molekularnih lanaca (R^x).



Slika 7. Reakcija nastajanja poliol estera [6].

Sintetsko estersko ulje je tekućina, bez mirisa, nešto gušća i viskoznija od mineralnog ulja. Sintetski organski esteri se koriste kao rashladni mediji u transformatorima čije su radne temperature puno više od transformatora čiji su rashladni mediji mineralna ili silikonska ulja. Iznimna svojstva kojima se izdvajaju od ostalih izolacijskih tekućina su visoka točka paljenja, visok stupanj biorazgradivosti, niska akutna i kronična toksičnost, dobra električna i termička svojstva, nizak tlak para u radnim uvjetima, dobro svojstvo podmazivanja i kompatibilnost s ugradbenim materijalima u transformatoru. Sintetski esteri su u primjeni već dugi niz godina i danas se široko primjenju u distributivnim, specijalnim i energetskim transformatorima. Nedostatak je još uvijek visoka cijena u odnosu na mineralna ulja [4].

2.3. Metode određivanja kvalitete ulja

Praćenje i održavanje kvalitete ulja ključno je za pouzdan rad transformatora. Metode praćenja kvalitete ulja dijele se u tri kategorije: rutinski, dodatni i specijalni testovi. Rutinski test obuhvaća manji broj testiranja ulja, međutim ako se testovi pokažu dobrima, ulje se može nastaviti koristiti i nije potrebno daljnje testiranje ulja. U rutinske testove ubrajaju se sljedeće metode: praćenje izgleda i boja ulja, određivanje probojnog napona, određivanje udjela vode, određivanje neutralizacijskog broj, određivanje koeficijenta dielektričnog gubitka te udjela nečistoća u ulju. Dodatni testovi se primjenjuju kad je potrebna dodatna

informacija o kvaliteti ulja koja se nije mogla dobiti iz rutinskih testova. U ovu se kategoriju ubrajaju: stvaranje taloga s n-heptanom i površinska napetost. Specijalni testovi koriste se kako bi se utvrdila prikladnost ulja s transformatorom i oni uključuju sljedeće metode: određivanje oksidacijskog stanja, točke paljenja, gustoće i viskoznosti [9].

2.3.1. Određivanje boje ulja

Boja ulja u transformatorima jedan je od pokazatelja starosti ulja i njegovog kemijskog onečišćenja. Nova ulja koja se tek stavljaju u transformator su blijedo žute boje, dok starenjem ulje poprima tamniju boju. Boja ulja može biti pokazatelj ispravnosti ulja, no ono nije isključujući faktor. Tamnija boja ulja je uglavnom pokazatelj da ulje gubi kvalitetu ili da je došlo do njegovog zagađenja. Međutim postoje slučajevi u kojima boja ulja nije bila zadovoljavajuća, no drugim testovima se pokazalo da je ulje ispravno te se može nastaviti koristiti.

Metoda kojom se određuje boja ulja je ASTM D1500. Ova metoda ispitivanja obuhvaća vizualno određivanje boje širokog spektra naftnih derivata [10]. Raspon skale je od 0 do 8 te je za svakih 0,5 dodijeljena sljedeća nijansa boje, kao što se vidi na slici 8. Prednost metode je brzina i lakoća određivanja, dok je negativna strana subjektivno određivanje nijansi boja. Ne može se sa sigurnošću reći koja je granična boja koja bi dijelila kvalitetno od nekvalitetnog ulja. Bilo bi dobro da kvalitetno ulje poprimi što niži broj na skali, tj. da je svijetlije boje. Ulja koja su lošije kvalitete obično poprimaju tamniju boju što može biti indikator zagađenosti. Međutim postoje iznimke u kojima se pokazalo da kvalitetno ulje ima tamniju boji, a isto tako ulje loše kvalitete svijetlije boje.

Slika 8. Uzorci ulja u HEP-ovom laboratoriju

2.3.2. Određivanje refrakcijskog indeksa

Refrakcijski indeks, koji se naziva i indeks loma, definiran je kao količnik brzine svjetlosti pri prolasku kroz dva medija. To je bezdimenzionalna veličina koja ovisi o temperaturi i o valnoj duljini svjetlosnog snopa. Dakle, indeks loma opisuje koliko brzo snop svjetlosti putuje kroz medije, a taj odnos opisuje formula:

$$n = \frac{c}{v}$$

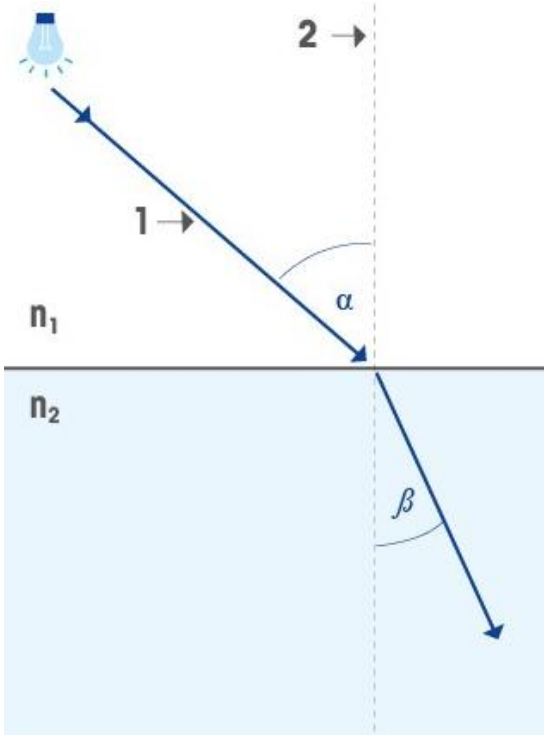
gdje je n je indeks loma, c je brzina svjetlosti u vakuumu (ili zraku), a v je brzina svjetlosti u mediju (npr. voda, ulje isl.) [11].

Snellov zakon, poznat i kao Snell-Descartesov zakon, povezuje kutove loma s indeksima loma medija. Kao što je prikazano na slici 9. zakon određuje da umnožak sinusa kuta nastalog između zrake svjetlosti (1), ravne linije (2) i indeksa loma medija (n_1 i n_2) mora biti konstantan. Formula koja to objedinjuje glasi:

$$n_1 \sin \alpha = n_2 \sin \beta$$

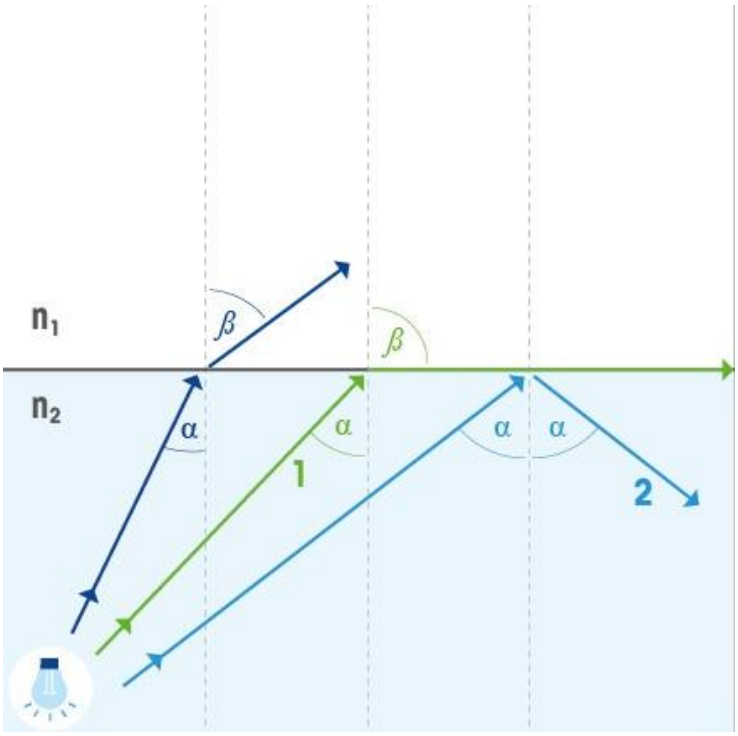
Na slici 9. je prikazano kako se svjetlosni snop (plava strelica) skreće pri prijelazu pod određenim kutom iz optički rjeđeg (n_1) u optički gušće sredstvo (n_2), npr. iz zraka u vodu. Snellov zakon kaže da je omjer indeksa loma svakog medija proporcionalan omjeru upadnog i lomnog kuta svjetlosnog snopa, te vrijedi formula:

$$\frac{n_1}{n_2} = \frac{\sin \beta}{\sin \alpha}$$



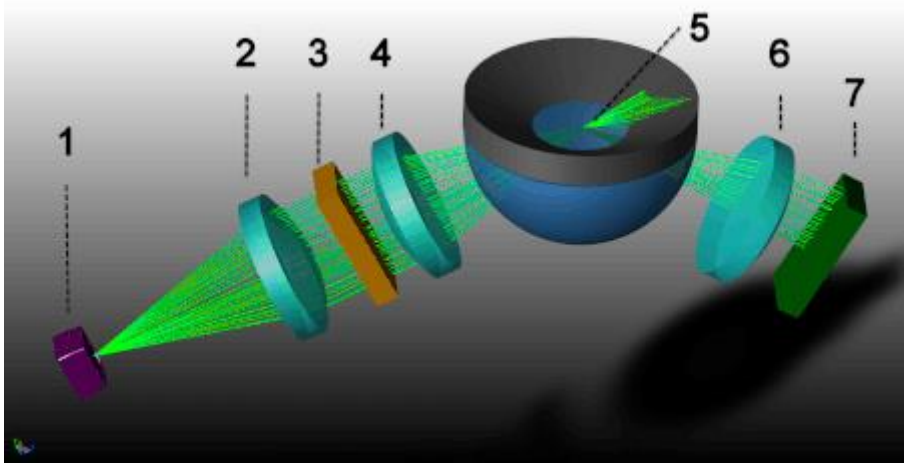
Slika 9. Promjena smjera gibanja svjetlosti prelaskom iz jednog sredstva u drugo [11].

Totalna refleksija definirana je kao proces pri kojem se sva svjetlost koja putuje od optički gušćeg medija prema optički rjeđem mediju reflektira natrag u optički gušći medij. Na slici 10 može se promotriti ovaj fenomen. U prvom slučaju, prateći tamnoplavu liniju, snop svjetlosti prijelazi iz optički gušćeg u optički rjeđi medij te se snop svjetlosti odbija. U drugom slučaju, prateći zelenu liniju, dolazi do povećanja upadnog kuta α, snop svjetlosti tada ne prelazi u rjeđi medij, nego postiže kritičnu vrijednost (kritični kut totalne refleksije) pri kojoj se lomi točno na prijelazu između dva medija. U trećem slučaju, prati se svjetloplava linija, snop svjetlosti lomi se pod kutem koji je veći od kritičnog kuta te se sva svjetlost reflektira natrag u otički gušći medij [11].



Slika 10. Prikaz totalne refleksije [11].

Na temelju Snellovog zakona razvijeni su refraktometri za mjerenje indeksa loma tekućina i polutvrdih uzoraka. Digitalna mjerna ćelija refraktometra ima shematski postav zasnovan na Snellovom zakonu (Slika 11). Izvor svjetlosti (1) je svjetlosna dioda (LED). Emitirani LED snop prolazi kroz polarizacijski filter (2), filter smetnji (3) i žarišne leće (4) prije nego što dođe do uzorka kroz safirnu prizmu (5). Odbijeno svjetlo, kojemu upadni kut mora biti veći od kritičniog kuta, odbija se kroz leću (6) do optičkog senzora CCD (7) koji određuje kritični kut. Refrakcijski indeks izračunava se pomoću kritičnog kuta α. U tom slučaju kut β iznosi 90° te sinus kuta iznosi 1 [11].



Slika 11. Princip rada refraktometra temeljen na Snellovom zakonu [11]. (1) izvor svjetlosti, (2) emitipolarizacijski filter, (3) filter smetnji (4) žarišne leće, (5) safirna prizma, (6) leća te (7) optički senzor CCD.

Refrakcijski indeks transofrmatorskih ulja ovisi o sastavu, prirodi i količini onečišćenja koja se nalaze u ulju. S vremenom dolazi do promjene vrijednosti refrakcijskog indeksa ulja koje se nalazi u transformatoru, a razlog tome je starenje ulja i zagađenje [12]. Konkretno refrakcijski indeks osjetljiv je na oksidaciju i starenje te je ovisan o visokom sadržaju vode. U realnim uvjetima pojedine degradacije djeluju na refrakcijski indeks u suprotnim smjerovima. Zbog toga se može dogoditi da neispravno ulje bude u zadovoljenim granicama koje su između 1,46 i 1,48 za mineralno izolacijsko ulje.

3. EKSPERIMENTALNI DIO

Prilikom izvođenja eksperimentalnog dijela ovog završnog rada korištena su transformatorska ulja s područja Slavonije (Osijek, Đakovo, Županja, Orahovica, Vukovar). Ulje 1 uzorkovano je 24. 7. 2020. na lokaciji TS zapad, ulje 2 uzorkovano je 24. 7. 2020. na lokaciji KTS 41 Đakovo, ulje 3 uzorkovano je 23. 9. 2020. na lokaciji TS Vukovar 3TP 3, ulje 4 uzorkovano je 2. 9. 2020. na lokaciji TS Županja 2 TP 2, ulje 5 uzorkovano je 16. 11. 2020. na lokaciji farma Magadenovac, ulje 6 uzorkovano je 24. 11. 2020. na lokaciji TS Đakovo, ulje 7 uzorkovano je 2. 9. 2020. na lokaciji TS Županja 2 KT, ulje 8 uzorkovano je 29. 5. 2020. na lokaciji KTS 10 Orahovica. Eksperimentalni dio ovog završnog rada odrađen je u Fizikalno-kemijskom laboratoriju referentnog centra za transformatore, HEP, Osijek.

Kvaliteta gore navedenih ulja odredila se pomoću sljedećih metoda: prema izgledu i boji ulja, stvaranje taloga s n-heptanom, određivanje sadržaja vode, gustoće, refrakcijskog indeksa, točke paljenja, površinske napetosti, neutralizacijskog broja, koeficijenta dielektričnih gubitaka i specifičnog otpora. Primjer izvješća o kvaliteti ulja u HEP-ovom fizikalno-kemijskom laboratoriju prikazan je na slici 12.

HEP OPERATOR DISTRIBUCIJSKOG SUSTAVA d.o.o.
ELEKTROSLAVONIJA OSIJEK
Odjel za transformatorske stanice

ISPITNI LIST BR. 0440/b/2020

Predmet: ISPITIVANJE FIZIKALNOKEMIJSKIH KARAKTERISTIKA TRANSFORMATORSKOG ULJA IZ TRANSFORMATORA U EKSPLOATACIJI

Opseg ispitivanja: U skladu sa zahtjevima preporuke **HRN EN 60422, HRN EN 60247** (neakreditirano)

Naručitelj: **HEP-OPERATOR DISTRIBUCIJSKOG PODRUČJA d.o.o.Elektra Vinkovci**

Lokacija objekta: **TS VUKOVAR 3TP 3** Datum uzimanja uzorka:**23.09.2020.**

Proizvođač transformatora: **KONČAR**

Tvornički broj: **462851** Godina proizvodnje: **2012**

Snaga: **8000** kVA Tip: **9NTBN 8000-38X**

Napon: **35000 / 20000** V Kategorija proizvodnje: **C**

KARAKTERISTIKE	JED. MJERE	TEST METODA	UVJET	REZULTATI ISPITIVANJA
IZGLED		HRN EN 60296	BISTRO	BISTRO
BOJA		ASTM D1500		0,5
TALOG S N-HEPTANOM			NE SADRŽI	
SADRŽAJ VODE, mg/kg	mg/kg	HRN EN 60814	≤ 25	5,0
GUSTOĆA (pri 20° C)	kg/dm³	HRN EN 60296	≤ 0.8950	0,8722
REFRAKCIJSKI INDEX	nD	ASTM D 1807	1.46-1.48*	1,4772
TOČKA PALJENJA	°C	HRN EN ISO 2719	≥ 130	150
POVRŠINSKA NAPETOST	mN/m	HRN EN 14210	≥ 22	35
NEUTRALIZACIJSKI BROJ	mgKOH/g	HRN EN 62021	≤ 0,30	0,014
Koef.dielektričnih gubitaka	%	HRN EN 60247	< 0,1	0,003
Specifični otpor (pri 20 °C)	GΩm	HRN EN 60247	> 60	999,90
PRIMJEDBA:				

* očekivano područje RI za naftenska transformatorska ulja

ZAKLJUČAK:

Na osnovu rezultata ispitivanja dostavljenog uzorka proizlazi da kvaliteta ulja zahtjeve preporuke **HRN EN 60422**. **ZADOVOLJAVA**

Ispitao: Voditelj odjela:

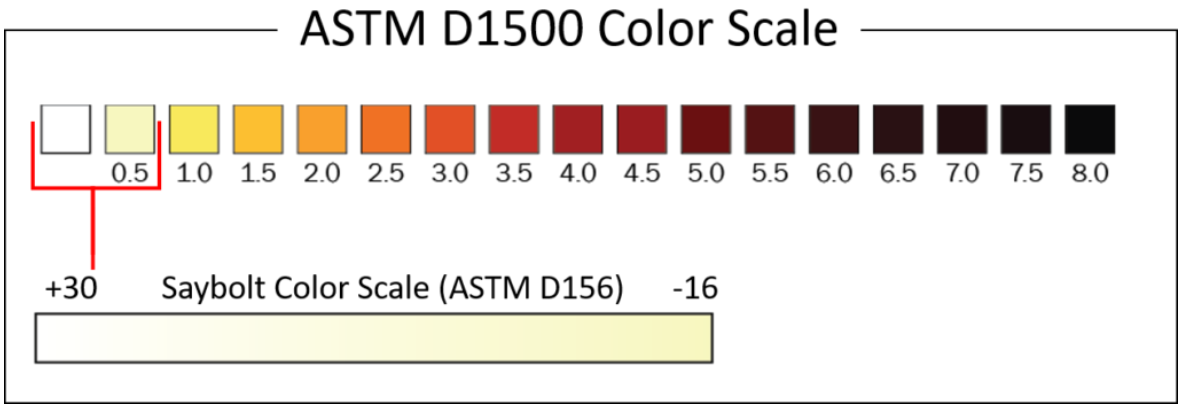
Osijek, 19.10.2020. Blaženka Hirnštajn, teh. Boris Nikolić, dipl.ing.

Slika 12. Izvješće o kvaliteti transformatorskog ulja.

3.1. Boja ulja

Definiranje boje ulja vizualna je i vrlo jednostavna metoda. Preporučena aparatura je prozirna čaša s ravnim dnom, promjera 30 - 32,4 mm, visine 115 – 125 mm i debljine do 1,6 mm. Uzorak ulja stavi se u čašu te se čaša postavi uz prirodno svjetlo kako bi se što točnije uočila boja. Boja uzorka uspoređuje se sa skalom boja raspona od 0,5 do 8 prikazana na slici 13. U slučaju da se boja ne može točno odrediti između dvije susjedne boje na skali, uzima

se veća vrijednost [13]. Ova metoda praćena je uz pomoć norme ASTM D 1500-07 „Standard test method for ASTM color of petroleum products“.



Slika 13. Skala boja ulja prema ASTM D1500 metodi [14].

3.2. Refrakcijski indeks

Za određivanje refrakcijskog indeksa koristi se refraktometar, prikazan na slici 14. To je uređaj koji pokazuje vrijednosti između 1,33 i 1,5 te ima preciznost od ± 0,0002.

Slika 14. Refraktometar [15].

Eksperiment se izvodi pri sobnoj temperaturi. Prije početka mjerenja, očisti se instrument pomoću gaze, kako bi se uklonila onećišćenja od prethodno mjerenog ulja. Pričeka se oko dvije minute za uravnotežavanje temperature. Nekoliko kapi uzorka ispitivanog ulja se pomoću kromatografske igle (slika 15) nanese na prizmu refraktometra, uređaj se poklopi te se pričeka par trenutaka za očitavanje vrijednosti refrakcijskog indeksa. Prema preporukama i normi ASTM D 1807-94 „Standard test methods for refractive index and specific optical dispersion of electrical insulating liquids“ vrijednosti refrakcijskog indeksa trebala bi biti u rasponu od 1,46 do 1,48.

Slika 15. Kromatografska igla korištena za unos uzorka ulja na refraktometar [16].

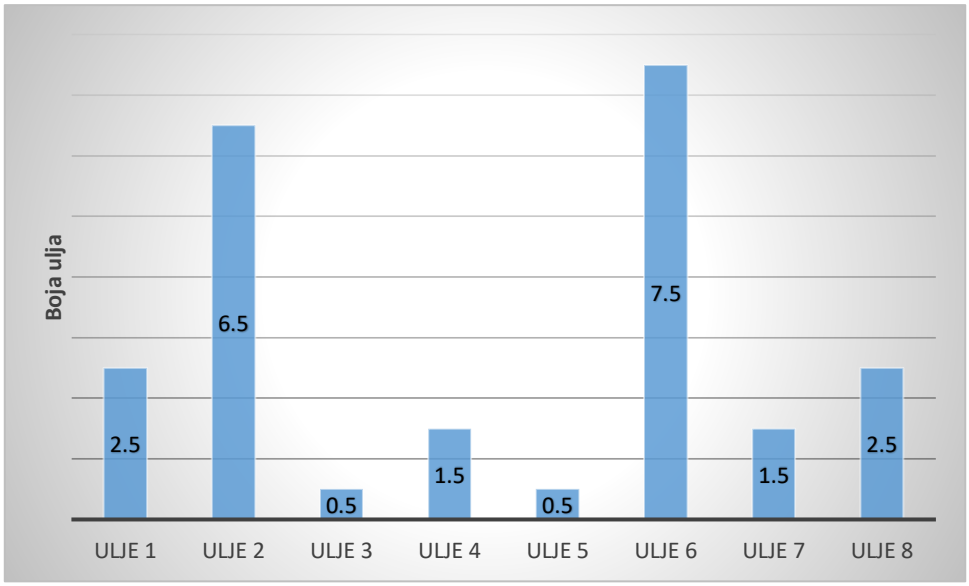
4. REZULTATI I RASPRAVA

Za određivanje kvalitete i ispravnosti ulja, ispitivano je osam uzoraka ulja iz različitih transformatora. U prvom eksperimentu pratila se boja ulja. Dobiveni rezultati su prikazani u tablici 1. te na slici 15. Iz podataka prikazanih u tablici 1 vidljivo je da je boja ulja varirala u rasponu od 0,5 (ulje 3) do 7,5 (ulje 6). Prema normi HRN EN 60422 boja ulja trebala bi poprimati što nižu vrijednost na skali boja prema ASTM D1500 metodi. Visok broj na skali, tj. tamnija boja ulja može ukazivati na degradaciju ili zagađenost ulja.

Tablica 1. Prikaz vrijednosti boje ispitivanih ulja prema metodi ASTM D1500

Uzorak	**Boja ulja**
Ulje 1	2,5
Ulje 2	6,5
Ulje 3	0,5
Ulje 4	1,5
Ulje 5	0,5
Ulje 6	7,5
Ulje 7	1,5
Ulje 8	2,5

Na slici 16 grafički su prikazane boje ulja svih ispitivanih uzoraka. Iz slike je vidljivo da najveće vrijednosti boje ulja pokazuju uzorci ulje 6 (boja 7,5) i ulje 2 (boja 6,5). Najniže vrijednosti boje ulja pokazuju uzorci ulje 3 i ulje 5 (boja 0,5) dok se vrijednosti boje ulja 1, ulja 4, ulja 7 i ulja 8 kreću u rasponu od boje 1,5 do boje 2,5. Visoke vrijednosti boja ulja 6 i 2 mogle bi ukazivati na procese oksidacije odnosno lošiju kvalitetu tih ulja.



Slika 16. Grafički prikaz boja ispitivanih uzoraka ulja.

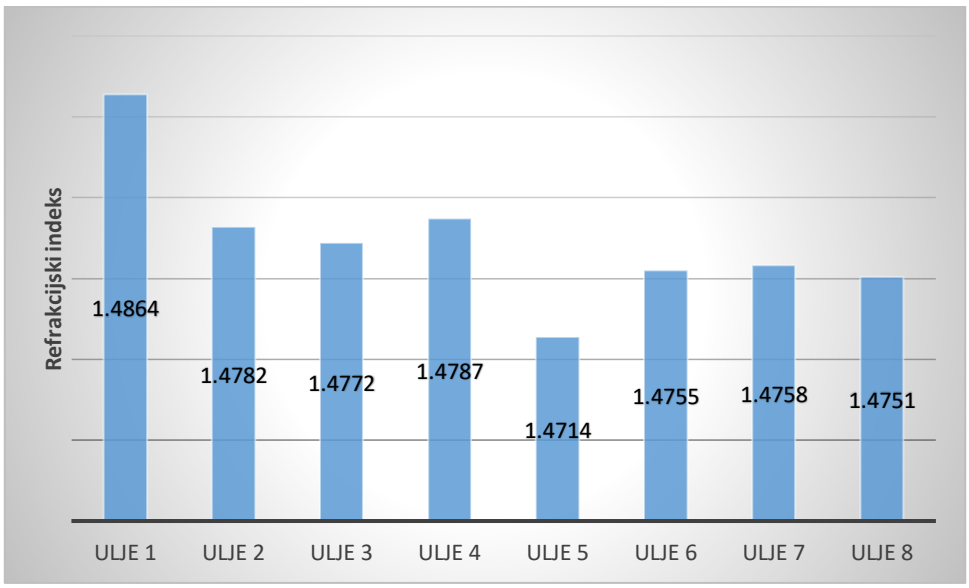
Drugim eksperimentom određivao se refrakcijski indeks ispitivanih ulja. Dobiveni rezultati prikazani su u tablici 2 te na slici 16. Za ispravno ulje se očekuje vrijednost refrakcijskog indeksa između 1,46 i 1,48. Sve vrijednosti iznad ili ispod očekivane mogu ukazivati na neispravnost ulja. Iz podataka prikazanih u tablici 2 vidljivo je da je refrakcijski indeks ispitivanih ulja varirao u rasponu od 1,4714 (ulje 5) do 1,4864 (ulje 1). Prema normi HRN EN 60442 te tesnoj metodi ASTM D 1807 – 94 refrakcijski indeks za mineralna ulja treba poprimati vrijednosti između 1,46 i 1,48.

Tablica 2. Prikaz vrijednosti refrakcijskog indeksa u ispitivanim uljima.

Uzorak	**Refrakcijski indeks**
Ulje 1	1,4864
Ulje 2	1,4782
Ulje 3	1,4772
Ulje 4	1,4787
Ulje 5	1,4714
Ulje 6	1,4755
Ulje 7	1,4758
Ulje 8	1,4751

Na slici 17 grafički su prikazani refrakcijski indeksi svih ispitivanih uzoraka ulja. Iz slike je vidljivo da je najveća vrijednost refrakcijskog indeksa ulja 1 (refrakcijski indeks

1,4864) dok je najniža vrijednost refrakcijskog indeksa određena za ulje 5 (refrakcijski indeks 1,4714). Refrakcijski indeksi uzoraka ulja ulje 2, ulje 3, ulje 4, ulje 6, ulje 7 i ulje 8 varirali su od 1,4751 do 1,4787.



Slika 17. Grafički prikaz refrakcijskog indeksa u uzorcima ispitivanih ulja.

Kvaliteta ulja ne može se u potpunosti odrediti samo s ove dvije metode, već se uzimaju svi parametri u obzir te se na temelju cjelokupne slike procjenjuje ispravnost ispitivanog ulja. Kada bi se ispravnost ulja određivala isključivo po parametru refrakcijskog indeksa, tada bi svi ispitivani uzorci ulja bili ispravni za korištenje osim uzorka ulja 1. S druge strane ako bi se gledala isključivo boja ulja, onda bi se sva ulja s dodijeljenim visokim brojem prema ASTM D1500 skali mogla smatrati neispravna, a u ovom slučaju to bi bilo ulje 2 i ulje 6. Potpuna analiza ulja koja uključuje ostale parametre (izgled, talog s n-heptanom, sadržaj vode, gustoća, točka paljenja, površinska napetost, neutralizacijski broj, koeficijent dielektričnog gubitka i specifični otpor) pokazala je da su neispravna četiri ulja i to: ulje 1, ulje 2, ulje 6 i ulje 8. Zanimljivo je da su refrakcijski indeksi u uzorcima ulja 2, 6 i 8 u intervalu očekivanom za ispravno ulje, međutim navedena ulja su se pokazala neispravnima zbog koeficijenta dielektričnog gubitka i specifičnog otpora. Boja ulja za uzorak ulje 1 i ulje 8 je prihvatljiva, ali se zbog drugih parametara ulja smatraju neispravnima za korištenje.

5. ZAKLJUČAK

Pri izradi ovog završnog rada kvaliteta ulja određivala se prema izgledu i boji ulja, refrakcijskom indeksu, gustoći, površinskoj napetosti, sadržaju vode, točki paljenja, neutralizacijskiom broju, koeficijentu dielektrilnog gubitka, specifičnom otporu te probojnom naponu. Poneka ulja su se analizirala plinskom kromatografijom kako bi se doznalo zbog kojih plinova ulje nije ispravno. Iako se ovaj rad temelji na metodama određivanja refrakcijskog indeksa i boji ulja, ona nisu dovoljna kako bi se dobila cjelokupna slika kvalitete ulja, već je potrebno uključiti sve gore navedene metode i na temelju svih rezultata donjeti zaključak o ispravnosti pojedinog ulja. U ovom eksperimentalnom radu od osam ulja četiri su se pokazala neispravna i to ulje 1, ulje 2, ulje 6 i ulje 8. Zanimljivo je da se boja ulja pokazala loša samo u ulju 2 i 6, dok su ostala ulja bila prihvatljiva. Refrakcijski indeks odstupao je od očekivanog samo u ulju 1.

Kriva procjena kvalitete ulja uzrokuje smanjenje vijeka trajanja i ispravnosti transformatora, a posljedica su ranije reparacije ili kupnja novog transformatora, što donosi veliku materijalnu štetu.

6. LITERATURA

[1] https://enciklopedija.hr/natuknica.aspx?ID=62032 (25.7.2021.)

[2] https://edutorij.e-skole.hr/share/proxy/alfresco-noauth/edutorij/api/proxy-guest/452e1469-e362-4711-abcb-6f535c3b5254/html/7590_Transformatori.html (15.7.2021.)

[3] http://www.phy.pmf.unizg.hr/~dpajic/buksa/praktikum/6_Transformator.pdf

[4] I. Vilić, Ispitivanje smjese mineralnog i esterskog ulja električnim i toplinskim metodama, Diplomski rad, Fakultet kemijskog inženjerstva i tehnologije, Zagreb, 2018.

[5] D. K. Mahanta, S. Laskar, Journal of advanced dielectrics, 7 (2017), 1-9

[6] E. P. Pagger, Alternative isolierflüssigkeiten im vergleich zum klassischen mineralöl, Doktorska disertacija, Fakultät für elektrotechnik und informationstechnik an der technischen universität Graz, 2013.

[7] N. Lukenda, Transformers magazine, 6 (2019) 112-117

[8] D. Martin, et al., An Overview of the Suitability of Vegetable Oil Dielectrics for Use in Large Power Transformers, (2006)

[9] HRN EN 60422, Mineralna izolacijska ulja u električnoj opremi - Upute za nadzor i održavanje, Hrvatski zavod za norme, 2013.

[10] https://www.astm.org/Standards/D1500.htm (18.5.2021.)

[11] https://www.mt.com/hk/en/home/applications/Application_Browse_Laboratory_Analytics/Refractive_index/definition_and_measurement.html#overviewaf (20.7.2021.)

[12] American society for testing and materials, Standard test methods for refractive index and specitif optical dispersion of electrical insulating liquids, D 1807-94

[13] American society for testing and materials, Standard test methods for refractive index and specitif optical dispersion of electrical insulating liquids, D 1500-07

[14] https://guided-wave.com/color-refined-fuels/ (26.03.2021.)

[15] https://www.kruess.com/wp-content/uploads/2018/08/Digitale-Handrefraktometer-DR301-95-1920x640.png (26.03.2021.)

[16] https://www.sigmaaldrich.com/HR/en/product/aldrich/ham204052 (7.7.2021.)