

# Postupci električne izolacije, ispitivanja ispravnosti i održavanja brodskih električnih strojeva

---

**Brala, Jelena**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2021**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **University of Zadar / Sveučilište u Zadru**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:162:638812>

*Rights / Prava:* [In copyright](#) / [Zaštićeno autorskim pravom.](#)

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-06-21**



**Sveučilište u Zadru**  
Universitas Studiorum  
Jadertina | 1396 | 2002 |

*Repository / Repozitorij:*

[University of Zadar Institutional Repository](#)



zir.nsk.hr



DIGITALNI AKADEMSKI ARHIVI I REPOZITORIJI

Sveučilište u Zadru

Pomorski odjel - Brodostrojarški odsjek

Preddiplomski sveučilišni studij Brodostrojarstva i tehnologije pomorskog prometa  
(jednopedmetni -redoviti)



**Jelena Brala**

**Postupci električne izolacije, ispitivanja  
ispravnosti i održavanja brodskih električnih  
strojeva**

**Završni rad**

Zadar, 2021.

Sveučilište u Zadru

Pomorski odjel - Brodostrojarški odsjek

Preddiplomski sveučilišni studij Brodostrojarstva i tehnologije pomorskog prometa  
(jednopedmetni -redoviti)

Postupci električne izolacije, ispitivanja ispravnosti i održavanja brodskih električnih  
strojeva

Završni rad

Studentica:

Jelena Brala

Mentor:

doc. dr. sc. Marijan Gržan, dipl. ing

Zadar, 2021.



## Izjava o akademskoj čestitosti

Ja, **Jelena Brala**, ovime izjavljujem da je moj **završni** rad pod naslovom **Postupci električne izolacije, ispitivanja ispravnosti i održavanja brodskih električnih strojeva** rezultat mojega vlastitog rada, da se temelji na mojim istraživanjima te da se oslanja na izvore i radove navedene u bilješkama i popisu literature. Ni jedan dio mojega rada nije napisan na nedopušten način, odnosno nije prepisan iz necitiranih radova i ne krši bilo čija autorska prava.

Izjavljujem da ni jedan dio ovoga rada nije iskorišten u kojem drugom radu pri bilo kojoj drugoj visokoškolskoj, znanstvenoj, obrazovnoj ili inoj ustanovi.

Sadržaj mojega rada u potpunosti odgovara sadržaju obranjenoga i nakon obrane uređenoga rada.

Zadar, 9. rujna 2021.

## Sadržaj

1.	UVOD .....	1
2.	POVIJESNI RAZVOJ ELEKTRIFIKACIJE BRODA .....	2
3.	OPĆENITO O BRODSKIM ELEKTRIČNIH UREĐAJIMA I POSTROJENJIMA .....	4
4.	METODE ISPITIVANJA ELEKTRIČNE IZOLACIJE .....	5
4.1.	Ispitivanje krute izolacije.....	5
4.2.	Ispitivanje izolacijskih tekućina.....	6
4.3.	Ispitivanje zaštitnih uređaja .....	6
4.4.	Analiza vremena prorade prekidača .....	6
4.5.	Ispitivanje otpora uzemljenja postrojenja.....	6
4.6.	Ispitivanje na „plinove koji ukazuju na rad“ .....	7
4.7.	Metoda infracrvenog ispitivanja.....	7
5.	KARAKTERISTIKE DIELEKTRIKA (IZOLACIJE) .....	8
5.1.	Dielektrični gubici .....	8
5.2.	Faktor snage i faktor disipacije .....	8
5.3.	Kapacitet .....	9
5.4.	Dielktrične pojave i polarizacija.....	10
5.5.	Izolacija kao kondenzator.....	10
5.6.	Kvarovi izolacije .....	12
6.	ISPITIVANJE IZOLACIJE ISTOSMJERNIM NAPONOM .....	13
7.	DC ISPITNE METODE .....	17
7.1.	Ispitivanje otpora izolacije.....	17
8.	ISPITIVANJA IZMJENIČNIM NAPONOM.....	20
9.	ISPITIVANJE KABELA .....	22
10.	ODRŽAVANJE BRODSKIH ELEKTRIČNIH SUSTAVA.....	23
10.1.	Radovi održavanja po stupnjevima.....	24
10.2.	Radovi održavanja 1. stupnja .....	25
10.3.	Radovi održavanja 2. stupnja .....	25
10.4.	Radovi održavanja 3. stupnja .....	26
10.5.	Pregledi postojećih brodova .....	27
11.	ZAKLJUČAK .....	30
12.	SAŽETAK.....	31
13.	SUMMARY.....	32
14.	LITERATURA.....	33
15.	POPIS SLIKA .....	34
16.	POPIS TABLICA.....	35

## 1. UVOD

Brodsko električna oprema troši se već prilikom ugradnje. Kako bismo izbjegli moguće nepravilnosti u radu, kvarove i u krajnjem slučaju otkaz električnog uređaja ili stroja nužno je redovito održavanje i ispitivanje ispravnosti električne opreme. Obzirom na uvjete u kojima se nalaze poput temperature, vlage u zraku s visokim sadržajem soli, agresivne atmosfere, nečistoća u zraku, vibracija, mehaničkog opterećenja i valjanja broda, pred brodske izvedbe električnih uređaja postavljaju se vrlo strogi tehnički zahtjevi. Zbog izloženosti električnih strojeva širokom rasponu okolišnih uvjeta i utjecaju starenja vrši se ispitivanje izolacije. Ispitivanje električne opreme uključuje provjeru izolacije i električnih svojstava. Za provjeru kvalitete izolacija koristi se iznos otpora izolacije. Viši otpor izolacije znači bolje stanje izolacije. Fokus ovoga rada usmjeren je upravo ka električnoj izolaciji, naročito u pogledu ispitivanja ispravnosti izolacije kojoj je krajnji cilj smanjiti prijenos topline, vibracija i buke na brodu. Opisano je nekoliko vrsta ispitivanja električne opreme i to u odnosu na krutu izolaciju, izolacijske tekućine, zaštitne uređaje, vrijeme prorade prekidača, uzemljivačke sustave, analize plina pri kvaru i infracrveni nadzor.

Tradicionalno su za brodsku izolaciju korišteni proizvodi na bazi pluta i izolacijski proizvodi od mineralne vune. Moderni i napredni materijali na bazi stakloplastike, poliuretana ili aluminija nude visokokvalitetna izolacijska svojstva, istovremeno i bolje performanse u težini.

Suvremeni izolacijski materijali dizajnirani su da zadovolje pravila i propise postavljene od strane Međunarodne pomorske organizacije (eng. IMO- *International Maritime Organization*). Pravila moraju zadovoljiti uvjete vezane za toplinsku izolaciju te za izolaciju od požara i buke.

Pred brodske električne uređaje postavlja se zahtjev da rade i u najtežim uvjetima te da su što manjeg volumena i mase. Ušteda prostora i mase ostvaruje se izborom kvalitetnijeg izolacijskog i feromagnetskog materijala. Uz manji volumen i masu stroja moguće je ostvariti isto opterećenje odabirom višeg stupnja klase izolacije s višom dopuštenom nadtemperaturom.

## 2. POVIJESNI RAZVOJ ELEKTRIFIKACIJE BRODA

Elektrifikacija broda povećala je sigurnost i zaštitu posade i putnika, te je danas teško zamisliti brod bez ugrađenih električnih strojeva, uređaja i aparata odnosno bez brodskih električnih instalacija izvedenih na način kako bi u teškim uvjetima plovidbe radili na pouzdan način, odnosno kako ne bi bili opasni za posadu broda i putnike.

Međutim, u povijesti brodovi nisu bili opremljeni brodskim električnim instalacijama. Ugradnja prve električne žarulje, kojom je započela elektrifikacija broda, bila je na teretnom brodu Columbia. Predmetni brod izgrađen je 1880. godine, te je imao ukupno 115 žarulja. Potom je u teretni brod Oregon, izgrađen 1883. godine, ugrađeno 500 žarulja. Navedena dva broda predstavljaju prve poznate primjere u povijesti brodogradnje u kojima je iskorištena električna energija na brodu.

U međuvremenu je primjena električne energije na brodovima značajno porasla, zbog čega je danas teško zamisliti da bi postojao brod koji u sebi ne bi imao električni pogon, pomoćne strojeve, palubne strojeve, sustav klimatizacije, navigacije, zatim signalizaciju, rasvjetu i slično.

Tijekom prve faze (primjena generatora istosmjerne struje) propulziju broda pokretao je stapni parni stroj, dok je pomoćne strojeve pokretao parni pogon.

U drugoj fazi kada je došlo do primjene generatora izmjenične struje, propulziju broda počeli su pokretati dizelski motori, dok je električni pogon bio u sve većoj primjeni kod pokretanja pomoćnih strojeva. Primjera radi, 1914. godine na brodu za prijevoz putnika „Waterland“ ugrađeno je čak 15 000 žarulja, kojima je zajedno sa ostalim električnim trošilima, napon osiguravao pet generatora ukupne snage 1400 kW. U vremenu od 1918. do 1940. alternator postaje glavni izvor električne energije, te je kao takav počeo potiskivati iz uporabe istosmjerni izvor. Od 1965., u brodovima električnu energiju osiguravaju na svim elektromotornim pogonima veliki trofazni sinkroni samouzbudni kompaundirani generatori. Kad je došlo do ugradnje do većeg broja električnih uređaja na brodovima, samim time je brodska mreža postala postala složenija, a praćena je i razvojem brodske elektronike, što je ubrzalo prijelaz od neautomatiziranog do poluautomatiziranog ili automatiziranom sustava napajanja, a također i razvoda električne energije. Sve navedeno dovelo je i do pada broja nositelja posla (posade) budući da je ljudski faktor postao manje važan zbog činjenice da se produžio radni vijek strojeva. Uz navedeno, povećana je i sigurnost samog pogona brodova, plovidba je postala ekonomičnija, olakšani su uvjeti rada posade, a također je osigurana i veća udobnost korisnicima brodova (putnicima).

Razvoj elektrifikacije broda pratilo je i donošenje propisa u tom pravcu. S tim u vezi, doneseni su mnogi međunarodni propisi, odnosno propisi pojedinih država članica, kojima se

u bitnome nameće izvedba pravilnih električnih instalacija, koje bi osigurale pouzdan i siguran rad strojeva u bilo kojim uvjetima plovidbe. [1,2]



### **3. OPĆENITO O BRODSKIM ELEKTRIČNIM UREĐAJIMA I POSTROJENJIMA**

Brodski električni uređaji (u daljnjem tekstu BEU) naziv je za sve uređaje na brodu koji su na bilo koji način povezani električnim naponom i strujom.

Brodska električna postrojenja naziv je za dio brodskih električnih uređaja namijenjenih proizvodnji i pretvorbi energije. Električna oprema predstavlja sve objekte uz pomoć kojih se proizvodi, prenosi i troši električna energija.

Inače brodski energetska sustav sastoji se od glavnog pogonskog sustava koji osigurava plovidbu i pomoćnog brodskog sustava koji osigurava ostale procese na brodu.

S druge strane elektroenergetsko postrojenje, koje je sastavni dio brodske energetike, namiruje potrebe svih BEU za energijom, te obuhvaća toplinska i fluidična postrojenja, koja pak spadaju u pomoćni brodski sustav.

BEU rade po posebnim uvjetima, te kao takvi trebaju ispuniti strože zahtjeve, u odnosu na električne uređaje na kopnu. Klasifikacijska društva (u RH je to Hrvatski registar brodova) provode nadzor prilikom gradnje brodova, odnosno nad njihovom električnom i tehničkom opremom i dokumentacijom, te nadzor nad zaštitnim i sigurnosnim mjerama, sve dok se ne utvrdi sposobnost broda za obavljanjem pokusne plovidbe i klasifikacije broda.

## 4. METODE ISPITIVANJA ELEKTRIČNE IZOLACIJE

Izolaciju koriste svi električni sklopovi pod pretpostavkom da isti ne provode električnu energiju, odnosno da električna energija teče unutar sklopa. Naime, izolacija sama po sebi mora osigurati otpor prema protoku električne energije, te imati potrebnu snagu radi izdržavanja električnog udara, kao i odlična svojstva za provođenjem topline.

Provjerom izolacije, električnih svojstava i drugih faktora povezanih sa radom električnog sustava vrši se ispitivanje električnih uređaja.

Ispitivanje električne opreme vrši se: ispitivanjem krutih izolacija, ispitivanjem izolacijskih tekućina, ispitivanjem zaštitnih naprava, ispitivanjem vremena isključenja osigurača, ispitivanjem uzemljivačkih elektroda, ispitivanjem analiza kvara, ispitivanjem infracrvenih nadzora.

### a. Ispitivanje krute izolacije

Izolacija može biti u obliku krutog, tekućeg ili plinovitog dielektričnog materijala, koji sprječava tok električne energije između točaka različitih potencijala.

Izolacija se testira radi određivanja integriteta izolacijskog medija, a izvodi se na način da se visoki napon priključi na testni primjerak, pomoću kojeg će se odrediti struja koja će teći u tim uvjetima. Pretjerana električna energija ukazuje na loše stanje instalacija, odnosno na njihov nadolazeći kvar. Izolacijski testovi provode se na istosmjernim ili izmjeničnim naponima. Međutim, ukoliko tim naponima testiramo krutu izolaciju, to se karakterizira nedestruktivnim, odnosno destruktivnim testiranjem. Destruktivni testovi u stanju su prouzrokovati kvarove na izolacijama ili ih učiniti nepodobnima za daljnju primjenu. S druge strane, nedestruktivne testove provest ćemo na nižim naponima, što će testiranu opremu rijeđe oštetiti.

Dakle, testiranjem visokim izmjeničnim naponima utvrđuje se je li testirana izolacija ispravna ili nije. Nakon što se napon podigne na određenu razinu, ukoliko bi oprema zakazala odnosno ako bi došlo do velikog protoka struje, tada oprema koja je testirana nije pogodna za rad. Međutim, ako testirana oprema nije zakazala, u tom je slučaju uspješno prošla na testiranju. Ovim testom moguće je utvrditi samo je li oprema dobra ili loša, s time da se s istim ne može utvrditi sigurnosna granica za prolazak na testiranju. Valja reći da postoje i nedestruktivni testovi koji se provode s izmjeničnim naponom (faktorom snage, faktorom disipacije i drugo).

Testiranjem uz pomoć visokog istosmjernog napona može se utvrditi viši spektar, odnosno kakva je stanje opreme u trenutku testiranja, je li isto zadovoljavajuće odnosno postoji li mogućnost kakvih kvarova u budućem periodu. Osim toga navedenim testiranjem prikupljaju se informacije za periodične usporedbene analize. Kod ovog testiranja vrši se mjerenje struje koja se propušta tijekom samog testa, te se ista uspoređuje s rezultatima prijašnjih testiranja.

Visokonaponsko istosmjerno testiranje smatra se destruktivnim testiranjem, jedino ukoliko se ispitni napon ne bi primjenjivao u prethodno određenim naponskim koracima. Visokonaponskim istosmjernim testovima koje provodimo na nižim naponima nazivamo nedestruktivnim testovima. [4]

#### **b. Ispitivanje izolacijskih tekućina**

Određene izolacijske tekućine kao na primjer one koje koristimo u transformatorima, te u drugim vrstama električnih elemenata protekom vremena se zagađuju i gube svojstva. Naime, zagađivači štetno utječu na izolacijska svojstva tekućine, ali i na izolaciju sustava transformatorskih namota. Onečišćenje izolacijske tekućine uzrokuje vlaga, toplina, kisik, odnosno drugi katalizatori koji dovode do kemijske reakcije proizvodnjom kiseline i mulja, koji kao takvi negativno utječu na izolacijsku tekućinu. Danas se za transformatore, kao glavne izolacijske tekućine, koriste ulje, silikon i RTemp. Ranije je u transformatorima korišten askarel, no to je u međuvremenu zabranjeno zbog velike toksičnosti. Predloženo je testiranje kojim bi se nadgledalo stanje navedenih izolacijskih tekućina. Uzorci iz transformatora trebaju se uzimati periodično radi provođenja različitih vrsta testovi sukladno s ASTM metodama. [4]

#### **c. Ispitivanje zaštitnih uređaja**

Testiranje i održavanje zaštitnih releja, prekidača niskonaponske snage te slične opreme poput mjernih transformatora i ožičenja uključuje testiranje zaštitnih uređaja. Radi ostvarenja njihove primarne zadaće u uvjetima rada, zaštitni uređaji i releji podvrgavaju se testiranju, kao i održavanju. Ispitivanja na zaštitnim uređajima i relejima te prekidačima možemo svrstati u rutinske preglede. [4]

#### **d. Analiza vremena prorade prekidača**

Predmetnom analizom utvrđuje se ispravnost rada operativnog mehanizma prekidača. Ovaj test obično se primjenjuje na srednjem i visokonaponskom prekidaču, prikazujući poziciju kontakta prekidača u odnosu na vrijeme. Potom se odredi brzina rada prekidača, zatim otvaranje, zatvaranje i odskočni kontakt te interval zatvaranja i okidanja prekidača. Primjenom vremena reagiranja prekidača možemo ustanoviti stanje u kojem se nalaze mehanički dijelovi prekidača (mehanizam zatvaranja, opruge i amortizeri). [4]

#### **e. Ispitivanje otpora uzemljenja postrojenja**

Integritet sustava uzemljenja bitan je u električnom sustavu kako zbog održavanja referentne točke potencijala (zemlje) za opremu tako i zbog osobne sigurnosti, a sve da bi se omogućilo

električno pražnjenje valova za vrijeme udara groma, te kako bi zaustavili pretjerano visok napon radi induciranog napona u električnom sustavu.

Periodična testiranja uzemljenja elektroda i sustava uzemljenja potrebna su kako bi se osigurala učinkovitost nultog potencijala. [4]

#### **f. Ispitivanje na „plinove koji ukazuju na rad“**

Analiza otopljenoga plina i testa zapaljivoga plina sadržani su pri ispitivanjima na „plinove greške“. Informacije o pojedinačnim zapaljivim plinovima otopljenima u izolacijskome ulju omogućava se analiza otopljenoga plina. S druge strane, analizom zapaljivog plina daju se informacije o inicijalnim greškama u transformatoru ispunjenim uljem mjerenjem ukupne količine zapaljivih plinova čija se radnja odvija unutar „dušikove kape“ transformatora. Dio ulja u transformatoru razgradi se stvarajući zapaljive plinove, nakon čega se rastope u ulju te se protekom vremena oslobode nakon miješanja s dušikom radi prevelike topline tijekom opterećenja transformatora ili iskrenja unutar transformatorskog izolacijskog ulja. [4]

#### **g. Metoda infracrvenog ispitivanja**

U upotrebi su brojni uređaji koji pomoću infracrvene tehnologije mogu detektirati termalno kritična mjesta provjeravaju u prekidačima i ostalim elementima pod naponom u energetsom sustavu. Vrlo su korisni kod rutinskih održavanja i traženja loših veza i spojeva te preopterećenja terminala i linija. [4]

## 5. KARAKTERISTIKE DIELEKTRIKA (IZOLACIJE)

Kroz različite primjene dielektrik (izolacija) se upotrebljava za električnu opremu i aparate. Definirana je za raznolik spektar okolinskih uvjeta poput temperature, vlage, kemijske i druga zagađenja i podložnost klimatskim uvjetima. Toplinska degradacija bitan je čimbenik koji narušava vijek izolacije premda utjecaj vlage, zagađenosti, naponski udari, te ostali čimbenici također ubrzavaju njegovo propadanje. O vijeku izolacije ovisi nivo opterećenja izolacije, tip servisiranja kojem je podvrgnut, pružena briga tijekom instaliranja i rada te mehaničke vibracije. Otpornosti na vlagu, površinsko propuštanje, kemikalije, ulja i druge onečišćene tekućine te dobre mehaničke karakteristike važne su karakteristike izolacijskih materijala. Najvažnije električne karakteristike izolatora jesu volumna otpornost, faktor snage, faktor rasipanja, kapacitivnost, dielektrična konstanta i dielektrična snaga. Ispitivanjem bez uništavanja možemo ustanoviti sve navedene karakteristike, izuzev je dielektrična snaga.

Razlikuje se više takvih ispitivanja:

1. dielektrični gubici (provođenje izmjeničnim naponom)
2. faktor snage (faktor rasipanja)
3. kapacitivnost
4. izolacijska otpornost (provođenje izmjeničnim naponom)
5. napon radijskih smetnji
6. otpor izolatora (provođenje istosmjernim naponom)
7. dielektrična apsorpcija (provođenje istosmjernim naponom)

### a. Dielektrični gubici

Sve krute i tekuće izolacije imaju mjerljivih gubitaka obzirom ne postojanja savršene izolacije. Takvi gubici nerijetko su maleni usporedno sa uobičajeno korištenom izolacijom kod električne opreme i uređaje, proporcionalni su kvadratu napona koji se primjenjuje. Sve dok ne postanu ionizirane, plinske izolacije, poput zraka, nemaju mjerljivih gubitaka. Dielektrični gubici mjera su disipacije energije kroz i preko površine izolacije te se mjere u vatima (W). Dielektrični gubici izolacije rastu povećanjem vlage, temperature i korone. Do podbačaja izolacije moglo bi doći prilikom djelovanja efekta temperature gdje je temperaturni porast uzrok povećanja dielektričnih gubitaka što za posljedicu ima daljni temperaturni porast. Prethodno navedena pojava je trajna i nastavlja se dok ne dođe do podbačaja izolacije.

### b. Faktor snage i faktor disipacije

Faktor snage definiran omjerom djelatnih gubitaka (W) u ukupne prividne snage (VA) ili kosinusom kuta  $\Theta$  između ukupnog vektora struje ( $I_T$ ) i narinutog vektora napona. Može se

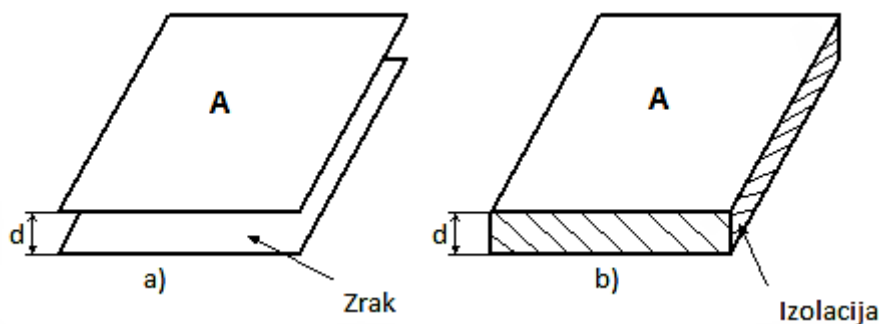
zvati mjerom komponente otpora struje opterećenja. Faktor disipacije definiran je omjerom djelatnih gubitaka ( $W$ ) naspram struje opterećenja ili tangensom kuta  $\delta$  između vektora ukupne struje i vektora kapacitivne struje. Kutevi  $\delta$  i  $\Theta$  komplementarni su.

Premda se prividnoj snazi i djelatnim gubicima iznos povećava porastom volumena izolacije testiranoga na određeni napon, omjer djelatnih gubitaka naspram prividne snage (faktor snage ili faktor disipacije) ostaje jednak neovisno o volumenu ispitivane izolacije. Shodno tome, faktorom snage i faktorom disipacije uklanja se efekt volumene izolacije kojom je predstavljena veličina ispitivanja električnih uređaja. Time je pojednostavljen problem formiranja "normalne" kvalitete izolacije znatnog broja električnih uređaja.

### c. Kapacitet

Kod kondenzatora, električni naboj (oznaka  $Q$ ), koji se još može nazvati i količinom elektriciteta, i napon (oznaka  $E$ ) međusobno su proporcionalni. Takva relacija može se zapisati kao:

$$Q = CE [4]$$



Slika 1. Prikaz pločastog zračnog kondenzatora [4]

gdje se konstanta  $C$  naziva kapacitetom. Kapacitet različitih električnih uređaja, koji uključuje kondenzator, može se dobiti iz izračuna pripadajućih geometrijskih svojstava. Kondenzator je, najjednostavnije izvedbe, pločasti zračni kondenzator prikazan slikom 1. Kapacitet ovakvog kondenzatora može se računati navedenom relacijom:

$$C = \frac{KA}{d} [4]$$

gdje:

A- označava područje među elektrodama;

d- označava debljinu izolacije (razmak među elektrodama);

K- označava dielektričnu konstantu izolacije (zraka).

Dielektrična konstanta (oznaka K) zraka gotovo je specifična, dok je kod ostalih izolacijskih materijala dielektrična konstanta definirana obzirom na izraz za zrak ili vakuum. Tablicom 1. prikazane su dielektrične konstante izolacijskih materijala koje se često upotrebljavaju. U slučaju poznavanja i jednostavnosti geometrijskog oblika električkog elementa, matematički možemo doći do vrijednosti kapaciteta. Međutim, kod većine slučajeva, geometrija izolacijskog materijala je složena i nije dovoljno jasna za matematičko izračunavanje kapaciteta.

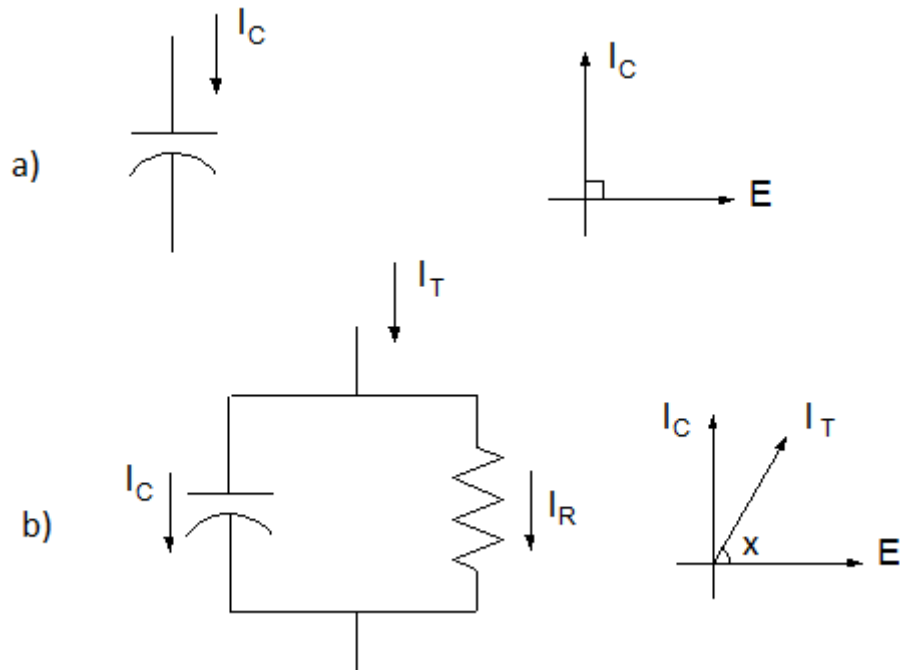
#### **d. Dielektrične pojave i polarizacija**

Privremena ili trajna apsorpcija električnog naboja i vodljivost karakteristično je za dielektrike. Nakon dovođenja napona na njih, pozitivna i negativna sila naboja, koja je svojstvena česticama od kojih je izrađen dielektrik orijentiraju čestice ka smjeru narinutog polja. Moguće je da se neki dielektrički materijali sastoje se od molekula neparanog broja atoma i zbog čega je raspored naboja u istima asimetričan. Prilikom smještanja takve molekule u električno polje, ista se počinje gibati te postaje polarizirana u smjeru polja. Dipol je naziv molekule koja ima značajnu ulogu za karakteristike izolacije. Inače, dipol je čestica s malim pozitivnim nabojem na jednom kraju odnosno malim negativnim nabojem na drugom kraju. Dipolna polarizacija je pojava gdje su dipolne čestice polarizirane i poravnate u skladu sa pozitivnim i negativnim polaritetom napona, nakon što ih se podvrgava DC naponu. Na pojavnost polarizacije utječu karakteristike materijala, strukture i stanja izolacije. Nabijene čestice, bilo pozitivnim ili negativnim nabojima ne zaustavljaju se na barijeri kontaktne površine i putuju kroz dielektrik s jedne elektrode na drugu tvore struju curenja i nisu dijelom dielektričnih pojava. Po završetku uklanjanja izvora napona sa dielektrika, polarizirane molekule svoj položaj će kroz neko vrijeme promijeniti u svoj početni slučajaj razmještaj nakon čega se polarizacija približava nuli i nestaje. Vrijeme potrebno polarizaciji kako bi pala na ništicu kod kratkog spajanja izolacije, naziv je za vrijeme relaksacije. Treba imati na umu jer, prilikom vraćanja molekula u prvobitno stanje, veliki dielektrici imaju veliko vrijeme relaksacije i neophodno je poduzimanje odgovarajuće radnje kako bi u zemlju bila odvedena energija koja je oslobođena odnosno napon i struja. [4]

#### **e. Izolacija kao kondenzator**

Perfektni dielektrik predstavljen kao idealni kondenzator, predočeno je pod 2. a). Međutim, izolator nije čisti kondenzator s obzirom da svaka izolacija električnih elemenata ima gubitaka. Na način kako je to prikazano na 2. b), električni krug stvarnog izolatora prikazan je u obliku

kondenzatora s malim otpornikom koji je spojen paralelno.



Slika 2. Električna shema i grafikon, a) idealna; b) realna

Pošto narav izolacijskih materija ne dopušta struji od 60 Hz prolazak lagano kroz njih, čija svrha je usmjeravanje kroz vodič. Ukoliko se na vodič narine napon, dođe do uspostave magnetskog polja zbog protjecanja struje i dielektričnog polja zbog napona. Oko vodiča nastaju linije magnetnog toka u obliku koncentrične kružnice, a linije oko dielektričnog toka oko vodiča su radijalnog oblika. Rezultantno naprezanje napona oscilira kako se mijenja udaljenost među ekvipotencijalnih linija zbog dielektričnog polja.

Tablica 1. Dielektrične konstante različitih materijala izolacije [4]

vakuum	1.0	vlakno	2.5- 5.0
zrak	1.0	staklo	5.4- 9.9
papir	2- 2.6	tinjac	2.5- 7.7
guma	2- 3.5	drvo	2.5- 7.7
ulje	2.2	porculan	5.7- 6.8
bakelit	4.5- 5.5	polietilen	2.3

Pokazatelj koliko će dielektričnog toka izolator propustiti naziva se dielektrična konstanta izolatora. Izolator koji ima veću dielektričnu konstantu propustit će više dielektričnog toka u usporedbi sa izolatorom niže dielektrične konstante, i to ako su uvjeti isti. U gornjoj tablici 1.



možemo uočiti kako dielektrična konstanta za većinu izolatora na tržištu varira između vrijednosti 2 i 7. Dielektrična konstanta vode je 81 i generalno kada kondenzator bude mokar, povećanjem dielektrične konstante, povećava se i kapacitet, čiji je rezultat još veći dielektrični gubici. Kao što je već rečeno, idealni izolator može biti predstavljen kao kondenzator, zbog sličnog ponašanja. Paralelni pločasti i cilindrični kondenzatori su dvije najčešće konfiguracije izolatora. Primjerice, paralelne pločaste kondenzatore upotrebljavamo za izoliranje transformatora odnosno namotaje stroja, a cilindrične kondenzatore za izoliranje kabela.

#### **f. Kvarovi izolacije**

U proboj izolacije mogu spadati kvarovi prilikom prevelikih dielektričnih gubitaka i kvarovi prilikom prenaponskih naprežanja.

Prekomjerni dielektrični gubici rezultiraju oslabljenom izolacijom ili onečišćenje izolacije sa slabim dielektrikom poput vode. Porastom dielektričnih gubitaka, raste i temperatura izolacije izazivajući veći gubitak. S vremenom, posljedično, pojava ima za rezultat čak i potpuno uništenje izolacije. Prenaponska naprežanja nastaju ukoliko je narinuti napon na izolatoru većih dielektričnih svojstava od njegovih. Sile molekule su svladane i izolator potom postaje vodič. Prilikom prenaponskog naprežanja, uzroci kvara izolacije mogu biti: vanjsko povećanje narinutog napona, smanjenje debljine izolacije i zračni mjehurići ili raspori u izolaciji.

Kod kvarova prilikom prekomjernih dielektričnih gubitaka, dolazi do onečišćenja uljne izolacije sa vodom povećavajući tako dielektrične gubitke u ulju istovremeno smanjujući dielektričnu čvrstoću izolacije. Uljna izolacija s vremenom bit će uništena radi povećanja gubitaka,.

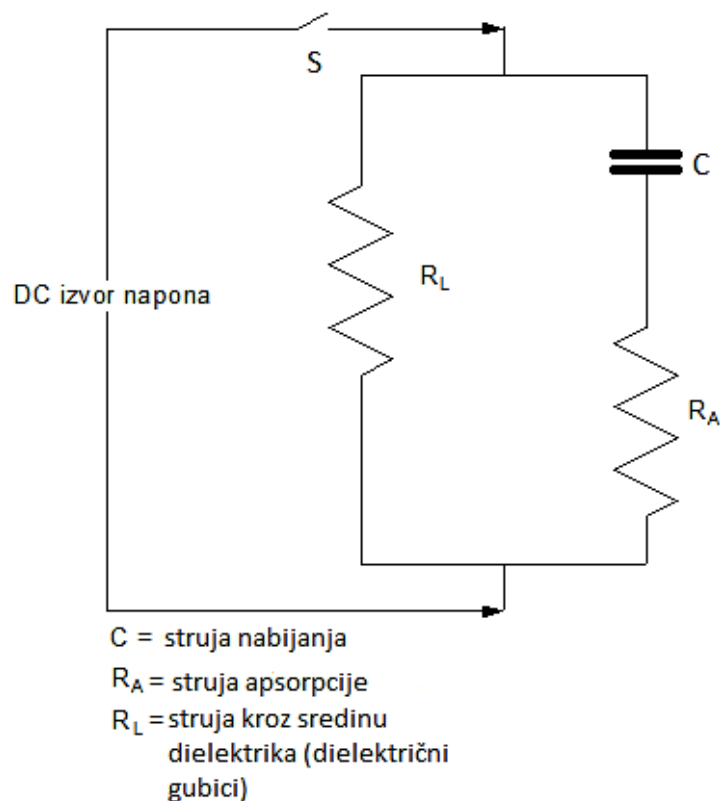
Kvarovi prilikom prenaponskih naprežanja nastaju kada se zrak implementira u izolaciju. Na višim naponima zrak postaje prenapregnut, što nije slučaj pri nižem naponu. Procijenjeno je kako zračni raspon postaje prenapregnut na 3400 V i kada započinje ionizacija, a ionizacija potom uzrokuje koronu i eventualno može oslabiti papirnu izolaciju. U ovom načinu, proboj izolacije uzrokuje smanjenu debljinu izolacije i rezultatno naponsko naprežanje.

## 6. ISPITIVANJE IZOLACIJE ISTOSMJERNIM NAPONOM

Kada se istosmjerni napon priključi na izolaciju dolazi do pojave velike početne struje, a sve kako bi bila osigurana energija napajanja. Ali tako osigurana struja s vremenom se smanjuje na minimum. Struja na minimumu utvrđena je stalnim istjecanjem ili gubitkom vata kroz izolaciju. Efekt dielektrične apsorpcije je energija potrebna za napajanje izolacije.

Gubici dielektrične apsorpcije odnosno apsorpcijske struje u praksi su veći od gubitka nastalog stalnim istjecanjem. Prilikom testiranja istosmjernim naponom, moguće je izvesti mjerenja struje kontinuiranog istjecanja jer efekt dielektrične apsorpcije postaje minimalan tijekom nekog vremena. Na promjene u sadržaju vlage u izolaciji i ostala onečišćenja osjetljivi su gubici dielektrične apsorpcije. Već i minimalno povećanje vlage u izolaciji dovodi do povećanja dielektrične apsorpcije. Do dielektričnih gubitaka dolazi prilikom dielektrične apsorpcije. Ispitivanje faktora snage i faktora disipacije možemo obaviti pomoću osjetljivih testova čija uloga je otkrivanje vlage u izolaciji. U slučaju priključenja istosmjernog napona na izolaciju, ukupna struja na izolaciji sastoji se od kapacitivne struje opterećenja, struje dielektrične apsorpcije i struje stalnog istjecanja.

Kad se istosmjerni napon spoji na izolator dolazi do naprezanja izolacije zbog električnog polja koje dovodi do povećanja vodljivosti struje i povećanja električne polarizacije. Osnovni strujni krug predložen pod 3. sastoji se od istosmjernog izvora, prekidača i nadomjesne sheme izolatora. Kod zatvaranja prekidača, proteče velika struja, te naelektrizirana postaje i sama izolacija. Nakon porasta, struja se naglo smanjuje, te nastavlja padati dok ne postigne konstantnu vrijednost. Izobličena struja može biti opisana kroz nekoliko komponenti i to kroz kapacitivnu struju nabijanja, struju apsorpcije dielektrika, struju gubitaka po površini i kroz sredinu dielektrika.



**Slika 3.** Električna shema izolacije kod istosmjernog ispitivanja [4]

Kapacitivna struja nabijanja je zapravo funkcija vremena koja se smanjuje povećavanjem vremena kroz koji je napon narinut. Nebitna je za ispitivanja koja se provode jer je to početna struja nabijanja kod narinutog napona. Tek kad se ova struja smanji na zadovoljavajuće nisku vrijednost, rezultati testa mogu se razmatrati.

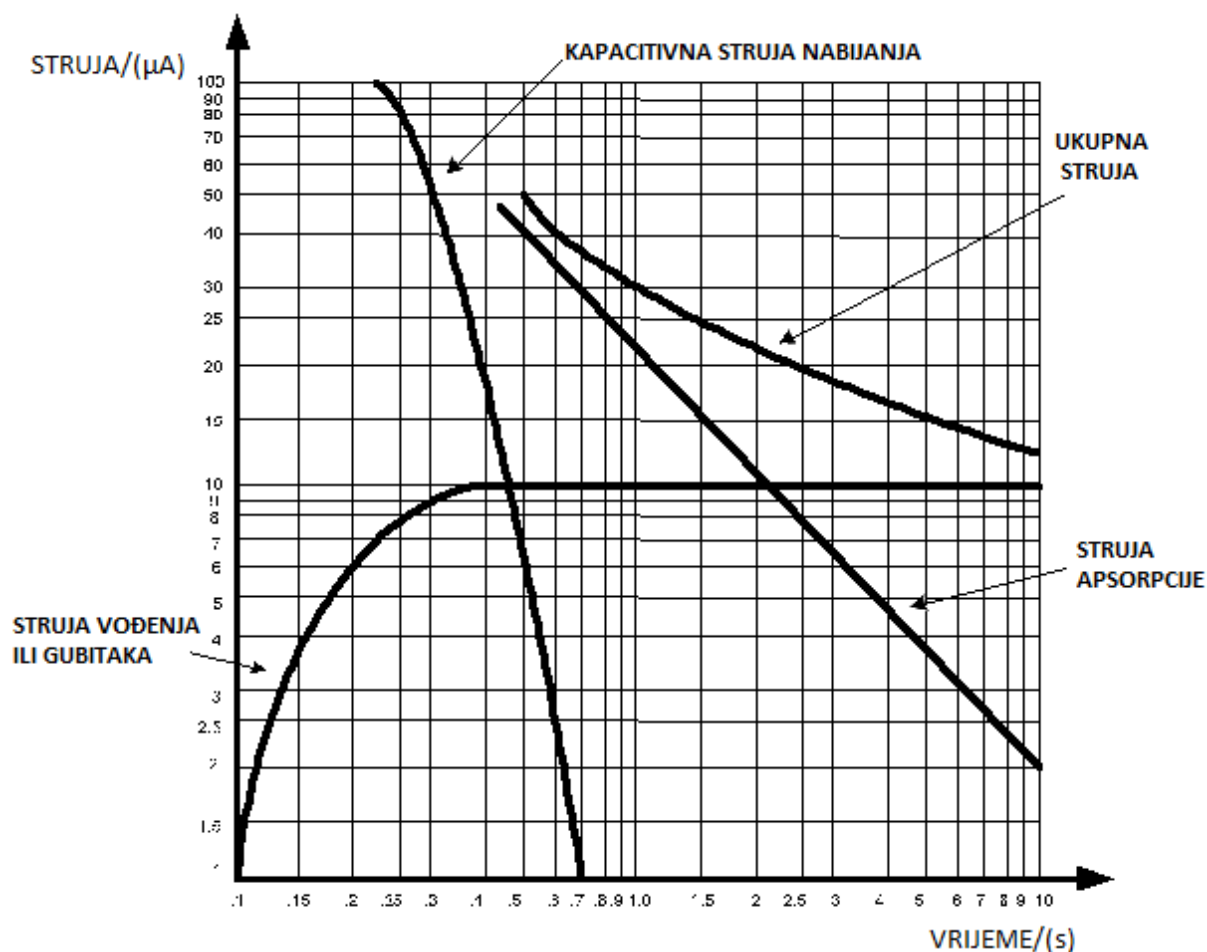
Također velika je struja apsorpcije dielektrika dočim je napon narinut i vrijednost pada vremenom. Ova struja je velika, iako je kapacitivna struja nabijanja veća. Dijeli se na „reverzibilnu“ i „nereverzibilnu“ struju nabijanja. Iako podosta manja, nereverzibilna struja nabijanja ima isti oblik kao i reverzibilna. Nereverzibilnu struju nabijanja čine gubici u izolaciji, nepovratna je.

Struja gubitaka po površini dielektrika pojavljuje se upravo na površini izolacije na mjestu gdje vodič izađe zbog vodljivosti te ga dovodi na zemljin potencijal. Nepoželjna je u rezultatima testova i treba je poništiti ukoliko se detaljno očiste površine vodiča poradi uklanjanja kliznih staza odnosno ako se snimi i izbaciti iz rezultata mjerenja.

Struja parcijalnih izbijanja ili struja korone, javlja se radi nastanka prevelikog naponskog naprezanja zraka na oštrim dijelovima vodiča radi nastanka visokog napona. Ta je struja također nepoželjna, eliminira se pomoću oklopa zaštite od naponskog naprezanja tih mjesta. Ne pojavljuje se kod manjim naponima, a što je slučaj kod mjerenja otpora izolacije.

Struja gubitaka sredinom dielektrika koja teče u izolaciji je najbitnija. U službi je ocjene stanja sustava izolacije koji je u testiranju. Prije početka snimanja rezultata testa ostavi se

dovoljno vremena da se navedena struja stabilizira. Ukupna struja sastoji od svih iznad navedenih struja gubitaka, te su u prikazu na donjoj slici 4. [4]



**Slika 4.** Različite struje gubitaka nastale radi primjene DC napona na sustav izolacije [5]

Na osnovi danih informacija ovih testova procjenjuje se da li treba preventivno održavanje ili izmijena opreme koja je instalirana, može li se ta novoinstalirana oprema pustiti sigurno u pogon kao i određivanje postupnog propadanja opreme za roka određenog za njeno trajanje.

Od velike je važnosti da se za provođenje testiranja omogući kako odgovarajuća oprema, tako i kvalificirani operatori za rukovanjem istom. Radi postizanja optimalne koristi od testiranja bitno je snimiti sve podatke za vrijeme testiranja, kao i odrediti postupke održavanja radi budućih analiza i uputa za postupanje. Nužno je da oprema kojom se obavlja testiranje bude u stanju koje odgovara testiranju i da njome upravljaju osobe osposobljene za testiranje. Oprema koja se koristi za testiranje treba imati dva puta veću točnost od točnosti opreme na kojoj se obavlja podešavanje, kad se ta oprema namijenjena za test koristi za podešavanje ostale opreme. Dalje, potrebno je da oprema kojom se obavlja testiranje bude podešena za testiranje u pravilnim intervalima, a sve kako bi bila osigurana točnost podataka koji se testiraju.

Naponi i metode u testiranju su uglavnom sukladni standardima tipu opreme koja se testira. Iznos istosmjernog napona poklapa se sa iznosom izmjeničnog napona koji je određen odgovarajućim standardom. Preporuka je posavjetovati se sa proizvođačem opreme radi načina provođenja testa i razine napona testiranja u situaciji kad se ne zna u potpunosti kako je konstruiran uređaj čije se testiranje provodi. Pri tome je savjet da se razina istosmjernog napona korištenog prilikom testiranja odredi temeljem nazivnog napona opreme, sve kako bi se izbjeglo da se ošteti izolacija, i to u situaciji nemogućnosti pribavljanja točnih informacija. Pri tome valja naglasiti potrebu pridržavanja radi predostrožnosti svih dodatnih mjera prilikom ispitivanja istosmjernim naponom. [4]

## 7. DC ISPITNE METODE

Pogledajmo različita ispitivanja obavljana istosmjernim naponom. Primjenom testa krute izolacije moguće je provesti sljedeće testove primjenom DC napona:

Ispitivanje otpora izolacije;

Ispitivanje na visokom potencijalu.

### a. Ispitivanje otpora izolacije

Ispitivanje otpora izolacije vrši se primjena napona od 100 do 15 000 V. Ispitivanje se obavlja megaohmmetrom, instrumentom upravljanim ručno, elektronski ili motorno pogonjene, u megaohmima prikazujući otpor izolacije. Promjena kvalitete izolacije događa se uslijed promjene temperature, vlage i drugim klimatskim faktorima. Kompletna mjerenja treba prilagoditi standardnoj temperaturi za klasu ispitivane opreme. Vrijednost megaohmskoga otpora izolacije obrnuto je proporcionalne veličine volumenu ispitivane izolacije. Primjera radi, kabelu dužine sto metara deset puta veći je otpor izolacije u usporedbi s kabelom dužine tisuću metara, uz iste uvjete za oba. Takvo ispitivanje može poslužiti za indicaciju trenda kada se pogoršava stanje izolacijskog sustava. Vrijednosti otpora izolacije mogu biti pokazatelji kontaminacije izolacije ili moguće buduće probleme sa sustavom izolacije ako ne dođe do zaustavljanja padajućeg trenda vrijednosti otpora izolacije, nije pokazatelj slabosti u izolaciji, kao ni ukupne dielektrične čvrsoće. Vrijednost otpora izolacije mogu se izmjeriti pomoću sljedećih metoda:

- Kratkoročna očitavanja;
- Očitavanja ovisnosti otpora o vremenu (ispitivanje omjera dielektrične apsorpcije);
- Ispitivanje indeksa polarizacije;
- Ispitivanje na step napon

### i. Kratkoročna očitavanja

U ovom ispitivanju vrijednost otpora izolacije mjeri se u kraćem vremenskom periodu, primjerice 30 odnosno 60 sekundi prateći točku koja se nalazi na krivulji rastuće vrijednosti otpora izolacije. Jednim mjerenjem pruža se provjera stanja izolacije u grubo. Premda je važno usporediti očitane vrijednosti s prethodnim vrijednostima. Neprekidni padajući trend uvjetuje moguće nadolazeće pogoršano stanje izolacije. Za tumačenje rezultata, sve vrijednosti koje su korištene za usporedbu, trebaju biti normalizirane na 20°C te u obzir treba biti uzet utjecaj vlage u zraku.

## ii. Vremensko-otporna mjerenja

Za određeni vremenski period pod naponom, izolacijski sustav s dobrim svojstvima pokazat će kontinuiran rast vrijednosti otpora izolacije. S druge strane, sustav izolacije kojeg je vlaga, prašina ili prljavština onečistila, pokazat će nižu vrijednost otpora izolacije. Kod izolacija ima dobra svojstva, kako se vrijeme povećava, efekt apsorpcije struje se smanjuje. Kad izolacija ima loša svojstva obrnuto je, efekt apsorpcije pojačava se radi visokih struja gubitaka. Vremensko-otporno mjerenje ne ovisi o temperaturi i veličini opreme. Mogu se pružiti konačni rezultati stanja izolacije. Odnos vremensko-otpornih mjerenja ukazuje na stanje sustava izolacije. Pokazateljem dielektrične apsorpcije (DAR- *dielectric absorption ratio*) naziva se omjer očitavanja unutar 60 sekundi i očitavanja unutar 30 sekundi:

$$DAR = \frac{\text{mjerenje kroz 60 s}}{\text{mjerenje kroz 30 s}}$$

Kada je DAR vrijednost niža od 1.25 podrazumijeva razloge za poduzimanje istrage i moguće popravke električne opreme. Obično se DAR očitavanja ograničavaju megaohmmetrom koji se ručno upravlja.

## iii. Testiranje indeksa polarizacije

Testiranje indeksa polarizacije posebna je primjena testiranja dielektrične apsorpcije. Testiranje indeksa polarizacije može se opisati kao omjer otpora izolacije vremenski unutar deset minuta i otpora izolacije vremenski unutar jedne minute. Indeks polarizacije niži od 1 pokazuje na istrošenost opreme i obvezu za hitno održavanje. Ovakavo testiranje upotrebljava se za suhe sustave izolacije kao što su suhi transformatori, kablovi, rotacijski strojevi i drugo.

## iv. Testiranje naponom visokog potencijala

Testiranje istosmjernim naponom visokog potencijala sastavljeno je za primjenjivanje napona duž cijele izolacije iznad istosmjernog ekvivalenta vršne vrijednosti 60 Hz operacijskog napona. Maksimalni napon postupno se upotrebljava u vremenu od 60 do 90 sekundi, ukoliko je napon visokog potencijala primjenjivan kao test dielektrične apsorpcije. U tom slučaju maksimalni napon zadržan je pet minuta, a nakon svake minute očitava se struja gubitka. Ovaj test koristi se i za testiranje razine napona. Tada je maksimalni napon postignut u nekolicini istih povećanja, najčešće iznad osam, a svaka je razina zadržana isti vremenski interval. Vremenski period među pojedinim koracima treba biti unutar jedne i četiri minute. Prije prelaska iduće razine, vrši se mjerenje struje gubitaka ili otpora izolacije i to po završetku svakog intervala. Moguće je napraviti graf ovisno o mjerenjima da bi stanje

izolacije bilo grafički predočeno. Rutinske testove provodimo maksimalnim naponom iznosom 80 %tnog maksimalnog testnog napona pri prihvaćanju odnosno 60 %tnog tvorničkog testnog napona.

#### **v. Testiranje dielektrične apsorpcije**

Testiranje dielektrične apsorpcije primjenjuje se za napone dosta veće naspram uobičajenih vrijednosti testa otpora izolacije s mogućnosti prelaska 100 kV. Ovo testiranje dodatak je testiranju visokog potencijala. Ovim testiranjem, napon se provodi duže vrijeme, unutar vremena od pet do petnaest minuta. Otpor izolacije ili gubici struje očitavaju se periodično. Test je vrednovan temeljem otpora izolacije. Ukoliko je izolacija dobrih svojstava, dolazi do povećanja prividnog izolacijskog otpora tijekom testiranja. Temperatura i volumen provođene izolacije ne utječe na testiranje dielektrične apsorpcije.



## 8. ISPITIVANJA IZMJENIČNIM NAPONOM

Kada je izmjenični napon priključen na izolaciju dolazi do manifestacije velike struje koja ostaje kontinuirana, dok se izmjeničnim naponom naizmjenično napaja ili prazni izolacija. Međutim, pri pojavi dielektrične apsorpcije i dalje su struje visoke iz razloga što se dielektrično polje u potpunosti nikad ne uspostavlja, a zbog kojeg djelovanja svaka polovica ciklusa ima promjenjiv polaritet struje. No, u situaciji priključenog izmjeničnog napona na izolaciju, kao posljedica nastaje izobličenje struje izolacije zbog toga što se puni kapacitet, dielektrična apsorpcija, struja kontinuiranog istjecanja i korona o čemu će biti riječi:

a. Kapacitivna struja opterećenja kod DC napona je stalna i u funkciji je napona, dielektrične konstante materijala izolacije i geometrijskog oblika izolacije.

b. Struja dielektrične apsorpcije- kad je električno polje izvedeno preko izolacije, dipolne molekule imaju htijenje usklađivanja sukladno polju. Obzirom stalnog mijenjanja smjera molekula u izmjeničnom polju i obzirom da nikada nisu u cijelosti usklađene, energija koja je potrebna je u funkciji materijala, onečišćenje, primjerice voda, i električne frekvencije, ali istovremeno nije funkcija vremena.

c. Struja istjecanja (vodljivost)- svaki izolacijski materijali provodi određenu struju. Za slučaj porasta napona preko određene razine dolazi do pojave udaranja elektrona od molekule, a što posljedično ima prolazak struje unutar izolacije. Radi se o funkciji materijala, onečišćenje, specijalno vode, i temperature. Takva pretjerana vodljivost može posljedično stvoriti toplinu izazivajući kvarove na izolaciji.

Korona (ionizacijska struja) je proces pri čemu dolazi do odvajanja neutralnih molekula iz zraka kako bi se oblikovali pozitivno ili negativno nabijeni ioni. Do toga dolazi zbog preizražene zrakopraznosti u izolaciji. Moguće je da do zračne praznine u ulju ili krutoj izolaciji dođe zbog dotrajalosti uzrokovane toplinom odnosno fizičkim naprežanjem, nepravilno u procesu proizvodnje, neispravnosti pri ugradnji ili zbog nepravilnosti u radu. Korona zajedno s vodom stvara dušikove kiseline te razgrađuje zrak u ozon. Ionizirani zrak napada okoliš izolacije i prouzrokuje toplinu. Zbir ovih uvjeta prouzrokuje oštećenje izolacije i stvara ugljik.



**Slika 5.** Korona (ionizacijska struja) [4]

## 9. ISPITIVANJE KABELA

Testiranje kabela obavlja se zbog: da bi se došlo do grafičkog prikaza gubljenja njihovih svojstava u nekom vremenu, da se provedu testiranja neposredno nakon ugradnje kabela, radi provjere spojeva i upletka kabela, a posebno nakon obavljenih popravaka. Uglavnom, provjere kabela provode s ispitnim naponom u iznosu od 60 % od vrijednosti ispitnog napona kojeg određuje tvornica. Ukoliko su svojstva kabela nepoznate, u aktualnim instalacijama preporuka je da prilikom istosmjernom ispitivanja, uporaba napona čija se vrijednost temelji na procijeni izmjeničnog napona, preporučena vrijednost upotrebljava se za onaj provodnik koji je najmanji u procijenjenom obujmu izmjeničnog napona. Ispitivanje kabela istosmjernim naponom uključuje mjerenje otpora izolacije i prenaponsko istosmjerno ispitivanje. Prenaponsko istosmjerno ispitivanje moguće je obavljati u okviru ispitivanja provodne struje naspram napona, provodne struje naspram vremena odnosno kao oblik „ide, ne ide“ prenaponskih ispitivanja.

Kao prioritet preporuča se obavljanje ispitivanja otpora izolacije te ako su dobiveni podaci zadovoljavajući nastavlja se s istosmjernim prenaponskim ispitivanjem. Neophodno treba ponovno ispitivati otpor izolacije a sve radi toga da bi bili uvjereni da kabel nije za vrijeme prenaponskog ispitivanja istosmjernim naponom, nakon završetka istosmjernog prenaponskog ispitivanja.

## 10. ODRŽAVANJE BRODSKIH ELEKTRIČNIH SUSTAVA

Prirodna pojava je trošenje električne opreme do koje dolazi već prilikom ugradnje. Ukoliko se ne obavlja provjera istrošenosti, vrlo lako dolazi do kvara odnosno nepravilnog rada.

Postoji mogućnost mijenjanja tereta i alternacije električne mreže koja nije napravljena sukladno postojećoj mreži, a što onda može dovesti do odabira pogrešne opreme, neispravnosti pri podešavanju zaštite ili pogrešnom instaliranju sklopnih jedinica u mrežu. Glavna zadaća preventivnog programa održavanja i testiranja električne opreme (u daljnjem tekstu EPM) je upravo da detektira ovakve mogućnosti i omogući metode njihovog ispravljanja.

Upravo uporabom EPM-a, pravovremeno se mogu otkriti i ispraviti moguće ugroze kojima mogu biti prouzrokovani kvarovi opreme ili prekidi u opskrbi. Također, u slučaju neispravnog održavanja, EPM program značajno smanjuje rizik od opasnosti po život i kvalitetu opreme koji mogu rezultirati kvaru opreme. U slučaju ispravnog održavanja opreme, smanjuje se vrijeme prekida opskrbe smanjenjem broja ozbiljnih kvarova. Neophodno je uspostavljanje učinkovitog programa održavanja i ispitivanja kako bi rad električne opreme bio ispravan. Takav program može se izvršiti formiranjem odjela održavanja ili sklapanjem ugovora radi obavljanja poslova sa pravnom ili fizičkom osobom stručnom za to područje.

EPM program obuhvaća rutinske preglede, testove, popravke i servise elemenata elektroenergetske mreže poput transformatora, kabela, prekidača, sklopnih postrojenja i drugo, kao i opremu poput ožičenja, zaštitnih uređaja i releja, nadzornih i mjernih oprema i opreme koja ukazuje na kvar. [4]

U održavanje broda može se svrstati i održavanje brodskih električnih uređaja. Brod se mora održavati u skladu s propisima, dok je brodar zadužen za određivanje postupaka kojima će se to osigurava. Svaki brod ima svoj razrađeni planirani sustav održavanja što uključuje:

- sustave i dijelove obuhvaćene planom održavanja,
- vremensko razdoblje poslova održavanja,
- proceduru održavanja,
- način izvješćivanja i vođenja dokumentacije.

Oprema i tehnički sustavi (tzv. kritična brodska oprema) označava se u skladu sa sigurnosnim sustavom upravljanja ukoliko bi došlo do iznenadnih kvarova u radu koji mogu dovesti do opasnih situacija.

BEU kao sastavni dijelovi drugih tehničkih sustava, ili kao samostalni sustav uvršteni su u planirani program održavanja.

Svaki upotrebljavani električni element pribjegava protekom vremena fizičkom trošenju i starenju čime umanjuje njegova uporabna svojstva. Ukoliko pravovremeno ne bude zahvaćen

procesom trošenja i starenja, u nekom trenutku može doći do ispadanja električnog proizvoda iz pogona. Međutim, smišljenom i dosljednom primjenom zaštitnog (preventivnog) održavanja električnih proizvoda sprječava se njihovo iznenadno ispadanje iz pogona. Proizvođači brodskih električnih uređaja daju katkada i vrlo opširne upute o njihovom korištenju i održavanju. Uz takve upute i stečena iskustva projektanata, konstruktora, te stručnjaka za postavljanje (montažu) i održavanje brodskih električnih uređaja, odgovarajuće institucije izdaju preporuke, i/ili propise o njezi, nadzoru posluživanju i održavanju brodskih električnih uređaja.

#### **a. Radovi održavanja po stupnjevima**

Pojedini teoretičari razlikuju tri stupnja održavanja brodskih električnih uređaja, koji se međusobno razlikuju po opsegu i vrsti radova, a to su:

1. Stupanj: Tekuća dnevna ili tjedna kontrola;
2. Stupanj: Radovi održavanja na mjestu postavljenih uređaja i strojeva bez njihovih opsežnih rastavljanja;
3. Stupanj: Zaštitni (preventivni) popravci s opremom broda ili stranim uređajima u radionici ili na mjestu postavljenih strojeva s njihovim rastavljanjem. Ovdje se ubraja i generalno obnavljanje (remont) strojeva.

Prije početka radova na održavanju potrebno je u načelu stvoriti neophodne i sigurnosne radne uvjete:

- dijelove postrojenja isključiti s napona,
- utvrditi da je napon isključen i onemogućiti uključenje,
- postaviti natpise upozorenja na sklopke kao i sklopne ploče i dijelove postrojenja na kojima se izvode radovi, a kod potpunog rastavljanja uređaja ili stroja treba slobodne priključke dobro izolirati.

Sukladno programu koji je podijeljen u navedena tri stupnja, održavanje postrojenja treba provoditi planski i sistematski. Posebno se program radi za agregate, pojedine električne strojeve, ugradbene dijelove, te za cjelokupno postrojenje. Pri tome mogu nastati i neka odstupanja u stupnjevima održavanja ovisno o veličini agregata a time i njegovom značaju. Organizacija održavanja može si olakšati uvođenjem radne karte za pojedine dijelove postrojenja. Radna karta treba sadržavati sljedeće informacije:

- oznaku agregata, stroja ili uređaja,
- mjesto gdje je postavljen,
- količinu, veličinu i broj narudžbe najvažnijih dijelova podložnih trošenju,

- upotrijebljenu vrstu maziva,
- nazivne vrijednosti, npr. otpor izolacije i granične temperature,
- interval održavanja,
- oznaku sklopke ili osigurača za isključenje napona,
- poseban specijalni alat,
- mjesto skladištenja pričuvnih dijelova,
- upute za sastavljanje i rastavljanje kao i upute zaštite na radu i zaštite od požara,
- datume održavanja s naznakom uočenih osobitosti.

Pregled općih najvažnijih radova u pojedinom stupnju održavanja i to samo za neke od sastavnih dijelova električnog postrojenja navode se u nastavku.

### **b. Radovi održavanja 1. stupnja**

U radove održavanja prvog stupnja spadaju nadzorni pregledi u području postrojenja koji mogu primijetiti promjene u pogonskom ponašanju dijelova postrojenja i agregata pomoću vida, sluha, opipa ili mirisa. Generalno govoreći, to su npr. kontrole razine ulja, mjernih instrumenata, šumova ležaja, vibracija, zagrijavanja, podmazivanja, pravilne rotacije rotora, zatim kontrola pričvrtnih vijaka, odvodnjavanje uređaja preko predviđenih ispusnih vijaka, pregled zaštitnih uređaja, te kontrola potrebnih tabli upozorenja.

Za mnoge uređaje i strojeve navedeni pregledi su neophodni, za neke opći, a za neki, pak, električni uređaji zahtijevaju pojedine specifične radove. Tako se npr. u kabelskoj mreži pregledava učvršćenje, te postoje li mehanička i vlagom nastala oštećenja. Kod zaštitnih uređaja provjerava se ispravnost djelovanja i eventualno se zamijene signalne žarulje. Treba napomenuti da je na svim električnim spojevima potrebno napraviti provjeru učvršćenja kabelskih uvodnica, poklopca priključnih kutija, učvršćenja postolja i stroja te uzemljenje. Kod kliznokolutnih i istosmjernih motora potrebno je još kontrolirati istrošenost kliznih koluta, kolektora i četkica, te ispitati ispravnost držača četkica.

### **c. Radovi održavanja 2. stupnja**

Radovi održavanja drugog stupnja poduzimaju se na mjestu postavljenih uređaja i bez opsežnog rastavljanja. U takve radove spada:

- djelomično rastavljanje uređaja i njihovo čišćenje,
- pregled ležaja i podmazivanje,
- ispitivanje namota, kaveza, kliznih koluta i kolektora

- ispitivanje spojeva vijaka i kontakata,
- mjerenje izolacijskog otpora,
- kontrola ventilatora i sita,
- kontrola priključnih kutija i postolja,
- kontrola brtvljenja (zaptivanja),
- kontrola djelovanja zaštitnih uređaja.

Izuzev navedenih općih radova koji vrijede za sve brodske električne uređaje gdje su primjenjivi, još je potrebno na kablskoj mreži provjeriti kablске staze, te međupregadne i međupalubne prolaze kabela, posebno zalivne mase i brtvenice. Kod sklopnih postrojenja treba kontrolirati sklopne aparate i eventualno izmijeniti kontakte. Kod zračne zaštitne sklopke treba provjeravati glavne i pomoćne kontakte, eventualno ih namjestiti ili oštećene zamijeniti. Također je potrebno ispitati djelovanje opruga i komore električnog luka. Kod svih električnih motora treba ispitati stanje mehaničkog povezivanja s radnim strojem (spojka i sl.), podmazati ležajeve i očistiti kućište motora. Kod kolutnih i istosmjernih motora potrebno je zamijeniti četkice; klizne kolute i kolektor treba izbrusiti, a kod istosmjernog motora kontrolirati neutralnu zonu.

#### **d. Radovi održavanja 3. stupnja**

U radove održavanja trećeg stupnja spadaju generalni popravci predviđeni za pojedine dijelove postrojenja. Najčešće se obavljaju na kablskoj mreži i na električnim strojevima. U kablskoj mreži treba obnoviti kabel i kablске staze. Kod generatora i elektromotora izvode se opsežni radovi, najčešće sa rastavljanjem. Za primjer su navedeni radovi za najčešće korištene vrste motora.

##### a) Kavezni motor

- rastavljanje motora,
- čišćenje rotora i statora,
- mjerenje izolacijskog otpora,
- ispitivanje stanja izolacije s eventualnim dodatnim izoliranjem, lakiranjem i sušenjem,
- pregled paketa limova,
- pregled štapova i kratkospojenih prstena kaveza, te provjera jesu li čvrsti i da nisu u prekidu,
- pregled ležajeva, podmazivanje i po potrebi zamjena,
- provjera ravnoteže rotora, montaža rotora i kontrola lakoće okretanja,
- čišćenje priključne kutije i stezanje vijaka,

- ispitivanje stanja spojke,
- kontrola uzemljenja,
- kontrola smjera i brzine vrtnje,
- namještanje električnih zaštitnih elemenata.

#### b) Kolutni motor

Gore nabrojanim radovima koji se mogu primijeniti i na ovaj motor, treba dodati:

- ispitivanje rotorskog namota,
- tokarenje i brušenje kliznih prstenova,
- zamjena četkica,
- kontrola držača četkica, te namještanje pritisaka četkica.

#### c) istosmjerni motor

Svemu navedenomu pod a) i b) što je primjenjivo na istosmjerni motor treba dodati:

- istokariti kolektor, skinuti srh i po potrebi skratiti (izdupsti) izolaciju između lamela,
- kontrolirati spojeve na kolektoru i po potrebi dodatno lemiti,
- ispitati povoj (bandažu) i izolaciju glave namota,
- sastaviti motor i kontrolirati međusobne spojeve pojedinih namota,
- ispitati i po potrebi namjestiti neutralnu zonu. [1]

### **e. Pregledi postojećih brodova**

Pregledi postojećih brodova su obvezni i razlikuju se zavisno o vrsti, starosti i namjeni broda. Ovim pregledima i potvrđivanjem odgovarajućih brodskih isprava Registar posvjedočuje sigurnost ljudskih života, brodova i tereta, te zaštitu okoliša s brodova propisanu Pravilima. Postojeći brodovi su oni koji su upisani u registar brodova, ili koji se namjeravaju upisati.

Za pomorske brodove i za brodove unutrašnje plovidbe Pravila Registra detaljno propisuju koje preglede, s kojeg razloga, u kojem roku, na koji način, na kojoj opremi i na kojim dijelovima broda se izvode.

U načelu pregledi su: osnovni, redoviti, izvanredni.

Osnovni pregled je obvezni i njime se utvrđuje da sve stavke određene isprave odgovaraju zahtjevima Pravila. Ovaj pregled se obavlja prilikom:

- upisa broda u Upisnik brodova,
- promjena namjene ili područja plovidbe ili ostalih elemenata na koje se primjenjuju odredbe Pravila.



Redoviti pregled za postojeće brodove obvezan je u određenim vremenskim razmacima. U ove preglede mogu se uvrstiti:

- obnovni pregledi,
- međupregledi (kontrolni pregledi),
- godišnji pregledi.

Izvanredni (prigodni) pregled je obvezan i primjenjuje se na postojeći brod:

- nakon pretrpljene nezgode (havarije) ili utvrđenih nedostataka koji su od utjecaja na plovidbu,

- u prigodi većih popravaka ili obnavljanja dijela broda,
- u prigodi stavljanja broda u raspremu,
- prije uključivanja u plovidbu u situaciji kada je brod bio u raspremi više od jedne godine,
- u prigodi promjene namjene ili područja plovidbe koja je privremena,
- kao dodatak redovitim pregledima, kad to zahtijeva Registar.

Brodski električni uređaji čine manji dio brodske opreme i pregledavaju se ili kao sastavni dijelovi mnogih strojnih uređaja, opreme i automatizacije na brodu (npr. pregled opreme za sidrenje i vez, pregled kormilarskog uređaja, provjera funkcionalnosti za sprječavanje buke, ispitivanje protupožarnih pumpi itd.) koji podliježu navedenim pregledima, ili pak kao samostalni dijelovi.

Najčešći pregledi brodskih električnih uređaja jesu:

1. Pregled izvora električne energije koji se sastoji od:

- vizualnog pregleda,
- mjerenja otpora izolacije,
- provjere funkcionalnosti,
- pregleda u rastavljenom stanju osnovnog i osovinskog generatora i generatora za slučaj

nužnosti (ako je potrebno).

2. Pregled električnog porivnog sustava sastoji se od vizualnog pregleda dok je rastavljen, mjerenju izolacijskog otpora i provjeri funkcionalnosti na:

- generatorima i motorima EPS,
- ventilatorima za hlađenje poluvodičkih pretvornika,
- upravljačkim i regulacijskim uređajima.

3. Pregled sustava razbiobe električne energije koji obuhvaća:

- pregled GSP i njenih sastavnih elemenata, mjerenje otpora izolacije, kontrolu funkcionalnosti, provjeru paralelnog rada i zaštite,

- pregled sklopne ploče za slučaj nužnosti i njenih elemenata uz mjerenje otpora izolacije, kontrolu funkcionalnosti i automatike prebacivanja i zaštite,

- pregled razdjelnika navigacijsko-signalnih svjetala te ostalih razdjelnika, a sastoji se od vizualnog pregleda, mjerenja otpora izolacije i provjere funkcionalnosti,
  - pregled kabela između pojedinih generatora i GSP, te kabela za napajanje važnih trošila. Sastoji se od mjerenja otpora izolacije, te vizualnog pregleda plašta, kablskih staza, prolaza i međuspojeva.
4. Pregled elektromotornih pogona obuhvaća vizualni pregled, mjerenje otpora izolacije i kontrolu funkcionalnosti, a za elektromotore za pogon važnih trošila (npr. za kormilarski stroj, sidrena vitla, protupožarne i kaljužne pumpe) i dodatna ispitivanja prema Pravilima Registra.
5. Pregled rasvjetnih armatura i izvora svjetla za:
- rasvjetu u slučaju nužnosti,
  - rasvjetu u prostorijama bitnim za brodsku službu.
6. Pregled uređaja i instalacija u eksplozivno ugroženim prostorima koji se odnosi:
- na kontrolu uzemljenja, stanja kablskih plašteva, uvodnica, spojnih kutija, ekspanzijskih spojeva i kablskih prolaza kroz pregrade,
  - na provjeravanje rada uređaja za provjeru stanja izolacije mreže, te mjerenje otpora izolacije mreže u inertiziranom stanju,
  - na ispitivanje sustava protueksplozijske zaštite s alarmiranjem i blokiranjem.
7. Pregled uređaja za signalizaciju, alarm i zaštitu obuhvaća kontrolu funkcionalnosti:
- sustava glavnog porivnog stroja,
  - sustava glavnog izvora električne energije i izvora električne energije za slučaj nužnosti,
  - sustava kormilarskog stroja i broskog vijka sa zakretnim krilima,
  - uređaja za kontrolu stanja izolacije mreže,
  - alarma vodonepropusnih vrata.
8. Pregled automatizacije strojnog uređaja koji, između ostalog, obuhvaća:
- provjeru automatike brodske centrale i brodske mreže,
  - provjeru postupnog uključivanja važnih trošila nakon ispadanja generatora sa mreže,
  - kontrolu alarmnog sustava.
9. Pregled ostalih BEU kao na primjer:
- vizualnu kontrolu i ispitivanje otpora izolacije instalacija za električno grijanje,
  - provjeru funkcionalnosti unutarnjih veza, broskog električnog telegrafa i sustava uređaja za spaljivanje otpadaka,
  - kontrolu pričuvnih dijelova koji se prema propisima moraju nalaziti na brodu. [1]

## 11. ZAKLJUČAK

U novije doba nezamisliv je rad bez električnih strojeva, pa tako i na brodu. Kako bismo spriječili kvarove, smanjili štetu i spriječili opasnost štetnog djelovanja na ljudsko tijelo, potrebno je provoditi održavanje električnih strojeva i uređaja u skladu s propisima. Sigurnost radnika je prvi i najvažniji kriterij i to onih koji rukuju strojevima pod naponom. Drugo, redovnim periodičnim ispitivanjima moguće je produžiti trajanje električnog stroja.

Svaki električni stroj sastoji se od električne izolacije. Izolacija dijelova pod naponom nužno mora imati odgovarajuću električnu čvrstoću, otpornost na klizne struje, vlagu i ulja, i mora imati dovoljnu mehaničku čvrstoću i propisnu zaštitu. Iz razloga sigurnosti izolaciju je važno kontrolirati uz povremeno mjerenje otpora izolacije odnosno ispitati ispravnost. U ovom radu dan je kratki osvrt za neke od metoda ispitivanja električne izolacije, a to su ispitivanje krute izolacije, izolacijske tekućine, zaštitnih uređaja, uzemljivačke elektrode, infracrvenog nadzora, analize kvara pri kvaru te vremena isključenja osigurača. Također, ispitivanje izolacije može se vršiti istosmjernim i izmjeničnim naponom. Istosmjerno ispitivanje pogodno je za ispitivanje opreme sa velikim nabojnim kapacitetom. Tako nastala naprezanja prouzrokovat će značajno manja oštećenja, što nije slučaj kod izmjeničnog napona. Vremensko trajanje primjene istosmjernog napona niže je od primjene izmjeničnog napona. Metodama ispitivanja istosmjernim naponom mogu se obavljati različiti testovi s ciljem ispitivanja otpora izolacije. Zaštita električnih strojeva i uređaja postiže se izolacijom dijelova pod različitim naponom.

## 12.SAŽETAK

Uz uvod, u prvom dijelu rada dan je kratki pregled povijesnog razvoja elektrifikacije broda i značajke o brodskim električnim uređajima. Potom, u četvrtom poglavlju opisane su metode ispitivanja električne izolacije: ispitivanje krute izolacije, izolacijskih tekućina, zaštitnih uređaja, otpora uzemljenja postrojenja, ispitivanje na „plinove koji ukazuju na rad“, analiza vremena prorade prekidača i metoda infracrvenog ispitivanja. Nadalje, u petom poglavlju objašnjene su karakteristike dielektrika. Ispitivanje izolacije istosmjernim naponom uz DC ispitne metode sadržano je u šestom poglavlju, dok je u sedmom ispitivanje izmjeničnim naponom. U osmom poglavlju pojašnjeno je ispitivanje kabela, dok je deveto posvećeno održavanju električnih strojeva.

Ključne riječi: metode ispitivanja izolacije, dielektrik, istosmjerni napon, izmjenični napon, održavanje

Title of paper: Electrical insulation methods, accuracy testing and marine electric machines maintenance

### **13.SUMMARY**

With the introduction, the first chapter includes an overview of the historical electrification and features of electrical appliances of boats.

The fourth chapter describes electrical insulation methods: rigid insulation, insulating liquids, protective gear, fume testing, time analysis of switch operation, and method of infrared testing.

Furthermore the fifth chapter explains characteristics of the dielectric.

Testing of insulation with DC voltage with testing methods is contained in the sixth chapter, while the seventh is about alternating current.

The eighth chapter explains testing of the cables, and the ninth is about electric device maintenance.

Key words: electrical insulation methods, dielectric, direct current, alternating current, maintenance

## 14.LITERATURA

[1.] B. SKALICKI, J. GRILEC.: „Brodski električni uređaji“, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb, 2000.

[2.] M. MILKOVIĆ.: „Brodski električni uređaji i sustavi“, Pomorski fakultet u Dubrovniku, Dubrovnik, 1996.

[3.] I. ARAMBAŠIĆ.: „Visokonaponska ispitivanja i vizualni pregledi opreme za rad pod naponom“, 2017.

<https://repositorij.etfos.hr/islandora/object/etfos%3A1365/datastream/PDF/view>

[4.] I. KUZLE, H. PANDŽIĆ.: „Održavanje elektroenergetskog sustava“

[https://www.fer.unizg.hr/\\_download/repository/UVOD\\_U\\_ODRZAVANJE\\_I\\_TESTIRANJE\\_ELEKTRICNE\\_OPREME.pdf](https://www.fer.unizg.hr/_download/repository/UVOD_U_ODRZAVANJE_I_TESTIRANJE_ELEKTRICNE_OPREME.pdf)

Zagreb, 2012.

[5.] Ž. DESPOTOVIĆ.: „Merenje otpora izolacije električnih mašina i transformatora“, 2015.

<file:///C:/Users/Korisnik/Downloads/Merenje%20otpora%20izolacije%20elektricnih%20masina%20i%20transformatora.pdf>

## 15. POPIS SLIKA

<b>Slika 1.</b> Prikaz pločastog zračnog kondenzatora.....	7
<b>Slika 2.</b> Električna shema i grafikon, a) idealna; b) realna .....	9
<b>Slika 3.</b> Električna shema izolacije kod istosmjernog ispitivanja .....	12
<b>Slika 4.</b> Različite struje gubitaka nastale radi primjene DC napona na sustav izolacije ....	13
<b>Slika 5.</b> Korona (ionizacijska struja) .....	17

## **16.POPIS TABLICA**

<b>Tablica 1.</b> Dielektrične konstante različitih materijala izolacije.....	11
---	----