



FERI

FAKULTETA ZA ELEKTROTEHNIKO,
RAČUNALNIŠTVO IN INFORMATIKO

MATERIALI IN TEHNOLOGIJE

Laboratorijske vaje

Anton Hamler, Bojan Štumberger

Maribor, 2008

Priimek in ime: _____

Vpisna številka:

OBISKI VAJ

Številka skupine: _____

Zap. št. obiska	Datum	Ura (od-do)	Številke opravljenih vaj	Podpis asistenta
1.		-		
2.		-		
3.		-		
4.		-		
5.		-		
6.		-		
7.		-		
8.		-		
9.		-		
10.		-		

RAZDELITEV VAJ PO SKLOPIH

Laboratorijske vaje so razdeljene v tri sklope. V istem terminu se izvaja samo en sklop vaj. Razdelitev vaj po sklopih je naslednji:

- 1. sklop: 1, 2, 3, 4, 5, 6
- 2. sklop: 7, 8, 9, 10, 11
- 3. sklop: 12, 13, 14, 15

KAZALO

UVOD.....	I
I. VAJA.....	1
II. VAJA.....	4
III. VAJA.....	7
IV. VAJA.....	11
V. VAJA.....	15
VI. VAJA.....	18
VII. VAJA.....	22
VIII. VAJA.....	25
IX. VAJA.....	28
X. VAJA.....	32
XI. VAJA.....	35
XII. VAJA.....	37
XIII. VAJA.....	41
XIV. VAJA.....	45
XV. VAJA.....	48

UVOD

Namen laboratorijskih vaj

- spoznavanje lastnosti materialov, ki se najpogosteje uporabljajo v elektrotehnik in
- spoznavanje metod za določitev lastnosti in kvalitete materialov po IEC predpisih.

Delo v laboratoriju

Za nemoteno, uspešno in varno delo v laboratoriju je potrebno upoštevati nekatera pravila. Le tako bo preizkus, meritev ali eksperiment uspešno zaključen, študentje pa bodo pridobili ustrezno znanje.

Varnostna priporočila

1. Pri delu je potrebno biti zbran in pazljiv. Dotik delov pod napetostjo nad 50 V je lahko tudi smrtno nevaren.
 2. Na začetku vaj je potrebno ugotoviti in si dobro zapomniti, kje je tipka za zasilni izklop napajanja. Zasilni izklop napajanja se uporabi takoj, ko se oceni, da grozi nevarnost komurkoli od prisotnih ali v primeru, ko bi lahko prišlo do poškodbe instrumentov in naprav.
 3. Pred pričetkom dela je potrebno preveriti, če so vsa stikala na delovnem mestu izključena.
 4. Izločiti je treba vse vezalne žice s poškodovano izolacijo.
 5. Pri kakršnih koli spremembah v vezju, je potrebno predhodno izključiti napajalno napetost.
 6. Neizoliranih priključkov na uporabljeni opremi in vezalnih žicah se ne sme dotikati v primeru priključenega napajanja. Pri izvedbi vaje naj na rokah ne bo nobenih kovinskih predmetov npr. prstanov in zapestnic.
 7. Prekinjanje vključenih tokokrogov, predvsem tistih z velikimi induktivnostmi, je lahko zelo nevarno, zaradi možnih induciranih prenapetosti.
 8. Če pride do dotika z delom pod napetostjo kogarkoli od prisotnih v laboratoriju, je treba reagirati hitro in učinkovito. Najprej je treba poskrbeti za hiter, vendar varen izklop napetosti.
 9. Če je potrebno, je treba pristopiti takoj k prvi pomoči, oziroma oživljanju ponesrečenca.
 10. V primeru kakršnegakoli dvoma glede varnosti se je treba pogovoriti z vodjo vaj.
-

Potek dela v laboratoriju

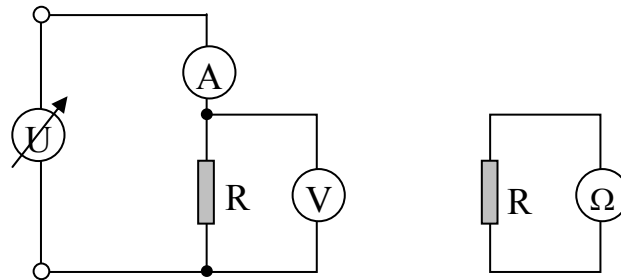
1. Vaje se začnejo izvajati točno ob dogovorjenem času.
 2. Vaje vodi asistent s tehničnim sodelavcem. Vsi, ki so v laboratoriju morajo upoštevati njuna navodila. **Če kateri od študentov njunih navodil ne upošteva ali na neki drugi način moti delo v laboratoriju in s tem ogroža varnost udeležencev vaj, mu bo vodja vaj prepovedal nadaljnjo prisotnost na vajah.**
 3. Študenti morajo na vaje prihajati pripravljeni. Pripravijo se po materialih, ki sledijo tem napotkom. Znati morajo pojasniti, kako razumejo zahteve posameznih nalog in kako priti do želenega rezultata.
 4. Vsak opravlja vaje samostojno na delovnem mestu, kjer so postavljeni vsi instrumenti in ostala oprema za izvedbo določene vaje. Če katera od potrebnih naprav manjka, je potrebno obvestiti vodjo vaj.
 5. Vse instrumente in naprave je potrebno povezati po vezalnem načrtu s priloženimi vezalnimi žicami. Razpored naprav naj se ujema z vezalnim načrtom.
 6. Preden se vezje vključi in začne z merjenjem, ga mora obvezno pregledati eden od prisotnih pedagoških delavcev. On tudi opravi prvi vklop, oziroma da dovoljenje zanj.
 7. Merjenje opravljajo študenti samostojno. Za vsa naknadna vprašanja sta na voljo prisotna pedagoška delavca.
 8. Po končani nalogi je potrebno izklopiti vsa stikala, vezje razvezati, urediti instrumente in naprave, pospraviti vezalne žice in postaviti napajalne vire in potenciometre v začetni položaj.
 9. Opažene poškodbe instrumentov in naprav je treba takoj sporočiti vodji vaj. Za naprave med delom z njimi študenti tudi materialno odgovarjajo.
 10. Izmerjene vrednosti in na osnovi njih izračunane vrednosti je potrebno zapisati na ustrezna mesta v tabelah, enačbah ali v tekstu, ki so del navodil vaj. Da je to možno narediti, je potrebno na vaje prinesiti ustrezen pribor (pisalo, kalkulator, trikotnik, ...).
 11. Pri vsaki vaji je potrebno odgovoriti na nekaj vprašanj. Osnutek odgovora se lahko oblikuje že med vajami. Vsebinsko podobna vprašanja bodo postavljena na testu in na izpitu.
 12. **Rezultate meritev in odgovore na vprašanja je potrebno pred vsakokratnim zaključkom dela v laboratoriju dati v pogled asistentu, ki jih pregleda in ugotovi, če so bile vaje pravilno izvedene, kar potrdi s podpisom.**
 13. **Opis vaj in rezultati meritev so del študijskega gradiva.**
-

I. VAJA

1. NASLOV VAJE

MERJENJE NAPETOSTI, TOKA IN OHMSKE UPORNOSTI

2. MERILNA SHEMA



3. SEZNAM INSTRUMENTOV IN NAPRAV

- V – voltmeter
- A – ampermeter
- Ω – ohmmeter
- R – upor
- U – napetostni vir

4. OPIS MERILNE METODE

V primeru, da sestavimo tokokroga, kot sta prikazana na merilnih shemah zgoraj, lahko ohmsko upornost R določimo na dva različna načina. Prvi način je, da ohmsko upornost določimo posredno s pomočjo uporabe ohmovega zakona. Pri tem načinu moramo izmeriti vrednost električnega toka, ki teče skozi upor, in električno napetost na upor. Električni tok merimo z merilnim instrumentom, ki mu pravimo ampermeter, katerega vežemo v električni tokokrog zaporedno z uporom. Električno napetost (dejansko padec napetosti, ki ga povzroči električni tok na upor) pa merimo z merilnim instrumentom, ki mu pravimo voltmeter, katerega vežemo v električni tokokrog vzporedno k upor. Drugi način določitve vrednosti upornosti upora, je da ohmsko upornost direktno izmerimo s pomočjo instrumenta, ki se imenuje ohmmeter.

Ampermeter vključimo v električni tokokrog tako, da skozenj teče tok, ki ga želimo izmeriti. Zato je potrebno električni tokokrog fizično prekiniti in ga nato skleniti z ampermetrom, kar imenujemo zaporedna vezava. Druga značilnost ampermetra je, da ima majhno notranjo upornostjo R_A . To je pomembno zato, da je padec napetosti, ki ga povzroča merjeni tok na njegovi upornosti R_A in s tem njegov vpliv na razmere v tokokrogu čim manjši. Zaradi njegove majhne notranje upornosti R_A je potrebna previdnost pri priključitvi.

Voltmeter vključimo v meritev tako, da se merjena napetost pojavi med njegovima priključkoma, kar pomeni, da ga priključimo vzporedno elementu na katerem se pojavlja

merjena napetost. V nasprotju z ampermetrom, ima voltmeter veliko notranjo upornost R_V , da je tok, ki teče skozi njega in s tem njegov vpliv na razmere v tokokrogu, čim manjši. Zaradi njegove velike notranje upornosti R_V morebitna napačna priključitev nima tako hudih posledic kot pri ampermetru.

Osnovni pojmi:

- Analogni merilni instrument je tisti, ki prikazuje merjeno veličino na analogni način (s kotom odklona kazalca).
- Digitalni merilni instrument je tisti, ki prikazuje vrednost merjene veličine v digitalni obliki (številčni prikaz na prikazovalniku).
- Merilno območje instrumenta predstavlja največjo vrednost merjene veličine. Merilno območje pri nekaterih instrumentih (običajno pri analognih) izberemo ročno (s preklopom), ali pa si merilni instrument glede na velikost merjene veličine avtomatsko izbere merilno območje (običajno digitalni instrumenti).
- Vežalna shema je načrt električnih povezav merilnega vezja, ki ga sestavljata tokovna in napetostna veja, v kateri so vključeni merilni instrumenti, objekt merjenja, električni viri,...

5. IZVEDBA PREIZKUSA

V električni tokokrog zaporedno z ohmskim uporom vežemo ampermeter in vzporedno z uporom voltmeter. Na ampermetru in voltmetru nastavimo najvišje možno merilno območje. Sestavljeno merilno vezje priključimo na napetostni vir. Napetost vira spreminjamo in pri različnih napetostih izmerimo električni tok skozi upor in napetost na njem. V kolikor izbiramo merilno območje ročno, tega zmanjšajmo do stopnje, da bo odklon kazalca v drugi polovici skale. Takrat bo točnost meritve največja. Po opravljenih meritvah za vsako merilno točko izračunamo vrednost ohmske upornosti.

Upornost upora izmerimo še z ohmmetrom.

6. REZULTATI MERITEV IN IZRAČUNOV

$$R = \frac{U}{I} = \text{---} = \Omega$$

št. m.	U (V)	I (A)	R (Ω)
1.			
2.			
3.			
4.			
5.			
6.			
7.			

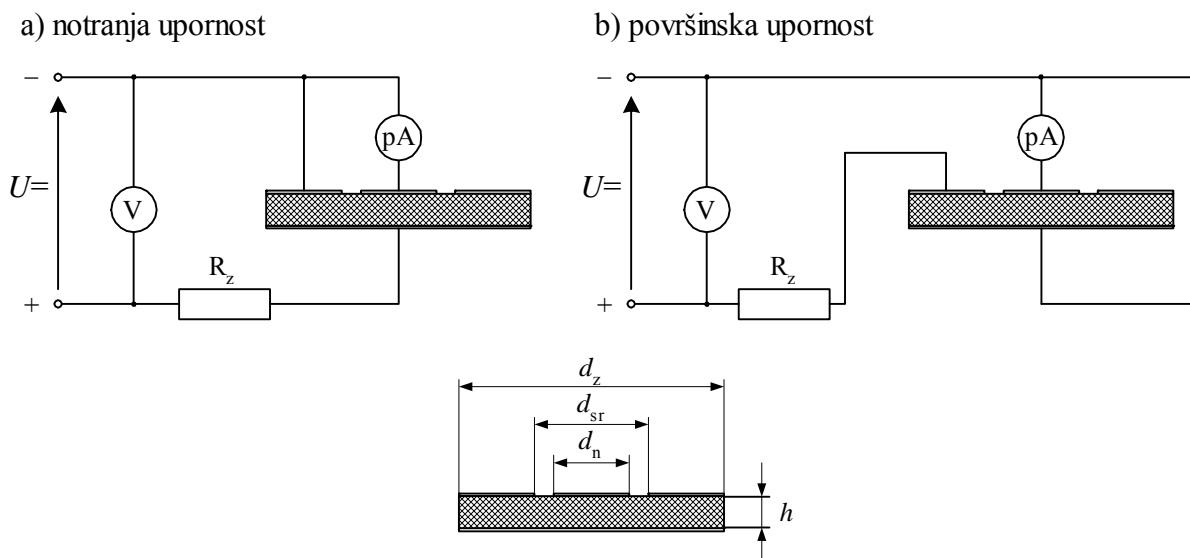
Izmerjena upornost z ohmmetrom: $R =$ (Ω)

II. VAJA

1. NASLOV VAJE

- a.) **MERITEV NOTRANJE IN POVRŠINSKE UPORNOSTI TRDNEGA IZOLACIJSKEGA MATERIALA**
- b.) **DOLOČITEV SPECIFIČNE NOTRANJE IN SPECIFIČNE POVRŠINSKE UPORNOSTI TRDNEGA IZOLACIJSKEGA MATERIALA**

2. MERILNA SHEMA



3. SEZNAM INSTRUMENTOV IN NAPRAV

- V – voltmeter
- pA – piko ampermeter
- R_z – zaščitni upor
- $U=$ – enosmerni napetostni vir
- vzorci izolacijskega materiala

4. OPIS MERILNE METODE

Meritev izvajamo po standardu SIST HD 429 S1:1998 ali IEC 60093:1980

Notranjo in površinsko upornost vzorca izmerimo po U-I metodi primerni za velike upornosti. Napetost vira je enosmerna in znaša 500 V. Tokovi, ki tečejo skozi (meritev notranje upornosti) in po površini vzorca (meritev površinske upornosti) so reda piko-ampera. Na vzorcih izolacijskega materiala so nameščene elektrode s priključnimi žicami. Priključne žice se pri priključitvi vzorcev med seboj ne smejo dotikati kajti tokovi, ki bi tekli preko izolacije priključnih žic so lahko enakega velikostnega reda kot tokovi, ki jih želimo izmeriti. Po vklopu enosmernega vira napetosti je potrebno počakati določen čas, da se tok piko-ampermetra zaradi

polarizacije izolacijskega materiala ustali. V času meritve je potrebno mirovati, da v vezju ne tečejo polnilni in praznilni tokovi zaradi spremembe medsebojnih kapacitivnosti. Specifično notranjo in specifično površinsko upornost izolacijskega materiala izračunamo iz izmerjenih vrednosti napetosti in tokov ter geometrije vzorca.

5. IZVEDBA PREIZKUSA

Po merilni shemi glede na želeno vrsto meritve povežemo napetostni vir, instrumente, zaščitni upor in merjenec. Vključimo napetostni vir in na njem nastavimo napetost 500 V. Nato izmerimo tok, napetosti pa ni potrebno meriti, ker je vir kalibriran in jo odčitamo iz napetostnega vira. Po izključitvi napetostnega vira določimo še geometrijske parametre vzorca.

Pazi nase in opremo: možnost poškodb!

6. REZULTATI MERITEV IN IZRAČUNOV

Notranjo upornost R_n in površinsko upornost R_p izračunamo po ohmovem zakonu.

1. vzorec (material je _____)

$$R_n = \frac{U}{I_n} = \text{-----} = \quad R_p = \frac{U}{I_p} = \text{-----} =$$

2. vzorec (material je _____)

$$R_n = \frac{U}{I_n} = \text{-----} = \quad R_p = \frac{U}{I_p} = \text{-----} =$$

Specifične upornosti pa izračunano z naslednjimi izrazi:

1. vzorec

$$\begin{array}{ll} h = & \text{(mm)} \\ d_z = & \text{(mm)} \end{array} \quad \begin{array}{ll} d_{sr} = & \text{(mm)} \\ d_n = & \text{(mm)} \end{array}$$

$$\rho_n = d_n^2 \frac{\pi}{4 h} R_n = \quad \rho_p = 2d_n \frac{\pi}{d_{sr} - d_n} R_p =$$

2. vzorec

$$\begin{array}{ll} h = & \text{(mm)} \\ d_z = & \text{(mm)} \end{array} \quad \begin{array}{ll} d_{sr} = & \text{(mm)} \\ d_n = & \text{(mm)} \end{array}$$

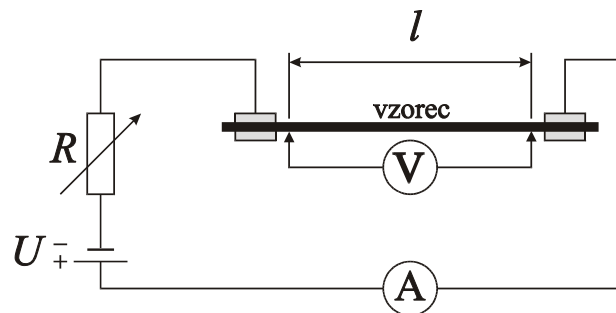
$$\rho_n = d_n^2 \frac{\pi}{4 h} R_n = \quad \rho_p = 2d_n \frac{\pi}{d_{sr} - d_n} R_p =$$

III. VAJA

1. NASLOV VAJE

DOLOČITEV SPECIFIČNIH ELEKTRIČNIH UPORNOSTI KOVINSKIH MATERIALOV IN DOLOČITEV VRSTE MATERIALOV VZORCEV

2. MERILNA SHEMA



3. SEZNAM INSTRUMENTOV IN NAPRAV

- R – drsni upor
- A – ampermeter
- V – voltmeter
- napetostni vir
- pomično merilo
- vpenjalna priprava
- termometer

4. OPIS MERILNE METODE

Meritev izvajamo po standardu IEC 60468:1974

Specifično upornost materiala je možno določiti posredno iz izmerjene vrednosti upornosti in geometrije vzorca. Za meritev upornosti uporabimo U-I metodo pri kateri imamo ločene tokovne in napetostne sponke in je primerna za merjenje majhnih upornosti. Meritev izvedemo pri sobni temperaturi in dovolj hitro, da so vplivi segrevanja vzorca zaradi merilnega toka na upornost vzorca zanemarljivi.

5. IZVEDBA PREIZKUSA

Vzorcju prevodnega materiala, ki ima obliko dolge ravne žice okroglega preseka, najprej izmerimo premer d s pomičnim merilom na različnih mestih. Vzorec vpenjemo v merilno pripravo med tokovne sponke. Povežemo merilno pripravo, merilne instrumente, upor in napajalni vir kot prikazuje merilna shema. Napetost vira dvigamo tako dolgo, da skozi vzorec steče tok 5A. Tedaj

odčitamo padec napetosti na vzorcu, ki ga povzroča tok skozi vzorec na merilni dolžini l enega metra (razdalja med napetostnima sponkama merilne priprave). Izključimo napajalni vir in s termometrom izmerimo temperaturo okolice ter izračunamo specifično upornost materiala vzorca.

Nato preračunamo specifično upornost čistih kovin (baker, aluminij in železo) na temperaturo pri kateri smo izvedli meritve. Specifične upornosti so namreč podane za 20 °C. Material vzorca določimo s primerjavo vrednosti specifične upornosti dobljene iz rezultatov meritve in preračunanih vrednostih specifične upornosti čistih kovin.

Pazi nase in opremo: možnost poškodb!

6. REZULTATI MERITEV IN IZRAČUNOV

a) Izračun specifičnih upornosti vzorcev (meritev)

1. vzorec

$$\rho_{\text{ok}} = R \frac{\pi d^2}{4l} = \frac{U \pi d^2}{I 4l} = \text{-----} =$$

$$\mathcal{G}_{\text{ok}} =$$

2. vzorec

$$\rho_{\text{ok}} = \frac{U \pi d^2}{I 4l} = \text{-----} =$$

$$\mathcal{G}_{\text{ok}} =$$

3. vzorec

$$\rho_{\text{ok}} = \frac{U \pi d^2}{I 4l} = \text{-----} =$$

$$\mathcal{G}_{\text{ok}} =$$

b) Preračun specifičnih upornosti čistih materialov (bakra, aluminija in železa) na temperaturo okolice pri meritvi (vrednosti specifičnih upornosti ρ in temperaturnih koeficientov upornosti α so vzete iz priročnika).

baker

$$\rho_{\text{Cu}(20^\circ\text{C})} = 0.0175 \cdot 10^{-6} \Omega\text{m}$$

$$\alpha_{\text{Cu}} = 0.0039 \text{ 1/K}$$

$$\rho_{\text{Cu}(\mathcal{G}_{\text{ok}})} = \rho_{\text{Cu}(20^\circ\text{C})} (1 + \alpha_{\text{Cu}} \Delta\mathcal{G}) =$$

$$\Delta\mathcal{G} = \mathcal{G}_{\text{ok}} - 20^\circ\text{C} =$$

aluminij

$$\rho_{\text{Al}(20^{\circ}\text{C})} = 0.028 \cdot 10^{-6} \text{ } \Omega\text{m}$$

$$\alpha_{\text{Al}} = 0.0049 \text{ } 1/\text{K}$$

$$\rho_{\text{Al}(\vartheta_{\text{ok}})} = \rho_{\text{Al}(20^{\circ}\text{C})} (1 + \alpha_{\text{Al}} \Delta\vartheta) =$$

$$\Delta\vartheta = \vartheta_{\text{ok}} - 20^{\circ}\text{C} =$$

železo

$$\rho_{\text{Fe}(20^{\circ}\text{C})} = 0.098 \cdot 10^{-6} \text{ } \Omega\text{m}$$

$$\alpha_{\text{Fe}} = 0.0062 \text{ } 1/\text{K}$$

$$\rho_{\text{Fe}(\vartheta_{\text{ok}})} = \rho_{\text{Fe}(20^{\circ}\text{C})} (1 + \alpha_{\text{Fe}} \Delta\vartheta) =$$

$$\Delta\vartheta = \vartheta_{\text{ok}} - 20^{\circ}\text{C} =$$

veličine	1. VZOREC	2. VZOREC	3. VZOREC
U (V)			
I (A)			
l (mm)			
d (mm)			
ρ (Ωm)			
ϑ_{ok} ($^{\circ}\text{C}$)			
material			

Lastnosti čistih kovin:

veličine	baker	aluminij	železo
α (1/K)	0.0039	0.0049	0.0062
ρ (Ωm)	$0.0175 \cdot 10^{-6}$	$0.028 \cdot 10^{-6}$	$0.098 \cdot 10^{-6}$
$\rho_{\vartheta_{\text{ok}}}$ (Ωm)			

7. VPRAŠANJA IN ODGOVORI**Vprašanja:**

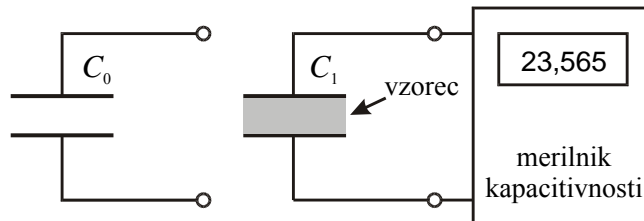
- Kakšno vlogo ima zaščitni upor pri meritvi?
- Ali ima zaščitni upor vpliv na točnost meritve in zakaj?
- Kaj najbolj vpliva na natančnost izračunane vrednosti specifične upornosti?
- Kako vplivajo primesi na specifično upornost materiala?
- Kakšen vpliv ima temperatura na vrednost upornosti pri merjenih materialih?

IV. VAJA

1. NASLOV VAJE

DOLOČITEV RELATIVNE DIELEKTRIČNOSTI IZOLACIJSKEGA MATERIALA

2. MERILNA SHEMA



3. SEZNAM INSTRUMENTOV IN NAPRAV

- merilnik kapacitivnosti
- ploščni kondenzator z zaščitno elektrodo
- pomično merilo
- izolacijski material

4. OPIS MERILNE METODE

Meritev izvajamo po standardu IEC 60250:1969

Relativna dielektričnost je razmerje med kapacitivnostjo kondenzatorja C_1 , pri katerem je med elektrodama in okrog njiju izolacijski material, in kapacitivnostjo kondenzatorja C_0 z enako razporeditvijo elektrod v vakuumu, ki ima relativno dielektričnost enako 1. Ker je relativna dielektričnost suhega zraka pri normalnem zračnem pritisku 1.00053, lahko z dovolj veliko natančnostjo pri meritvi uporabimo zračni kondenzator.

Pri meritvi bomo uporabili ploščni kondenzator, kateremu je možno odstraniti dielektrik. Za eliminacijo robnega efekta ima kondenzator zaščitno elektrodo. Kapacitivnost kondenzatorja merimo z resonančno metodo, kapacitivnost zračnega ploščnega kondenzatorja pa lahko tudi izračunamo, vendar je točnost določitve dielektričnosti v tem primeru manjša, saj pri izračunu kapacitivnosti ni zajeta kapacitivnost veznih žic in pogrešek meritve.

5. IZVEDBA PREIZKUSA

Ploščni kondenzator priključimo na merilni instrument za merjenje kapacitivnosti in izmerimo kapacitivnost zračnega kondenzatorja ter nato kapacitivnost z vstavljenim dielektrikom. Relativno dielektričnost izolacijskega materiala izračunamo iz razmerja izmerjenih kapacitivnosti. V primeru, da dielektrik ne zapolnjuje celotnega prostora med ploščama, to upoštevamo kot paralelno vezavo dveh kondenzatorjev.

Pazi na opremo: možnost poškodb!

6. REZULTATI MERITEV IN IZRAČUNOV

Izračunana vrednost kapacitivnosti zračnega kondenzatorja.

$$a = \quad (\text{mm})$$

$$b = \quad (\text{mm})$$

$$d = \quad (\text{mm})$$

$$C_0 = \varepsilon_0 \frac{a \cdot b}{d} = 8.854 \cdot 10^{-12} \frac{\text{As}}{\text{Vm}} =$$

$$\varepsilon_0 = 8.854 \cdot 10^{-12} \frac{\text{As}}{\text{Vm}}$$

Izmerjena vrednost kapacitivnosti zračnega kondenzatorja brez priključene zaščitne elektrode.

$$C'_0 =$$

Izmerjena vrednost kapacitivnosti zračnega kondenzatorja s priključeno zaščitno elektrodo.

$$C''_0 =$$

Izmerjena vrednost kapacitivnosti kondenzatorja s priključeno zaščitno elektrodo in vstavljenim dielektrikom iz **steatita**.

$$C_{\text{steatit}} =$$

$$\varepsilon_r = \frac{C_{\text{steatit}}}{C'_0} = \frac{\quad}{\quad} =$$

$$\varepsilon_r = \frac{C_{\text{steatit}}}{C''_0} = \frac{\quad}{\quad} =$$

Izmerjena vrednost kapacitivnosti kondenzatorja s priključeno zaščitno elektrodo in vstavljenim dielektrikom iz **teflona** (C_{skupna}).

$$a = \quad (\text{mm})$$

$$b_{\text{teflon}} = \quad (\text{mm})$$

$$b_{\text{zrak}} = \quad (\text{mm})$$

$$d = \quad (\text{mm})$$

$$C_{\text{skupna}} = \quad (\text{F})$$

$$\varepsilon_r = \frac{1}{b_{\text{teflon}}} \left(\frac{d \cdot C_{\text{skupna}}}{a \cdot \varepsilon_0} - b_{\text{zrak}} \right) = \frac{\quad}{\quad} =$$

Izmerjena vrednost kapacitivnosti z dielektrikom iz **vitroplasta**.

$$a_{\text{vitroplast}} = \quad (\text{mm})$$

$$b_{\text{vitroplast}} = \quad (\text{mm})$$

$$d_{\text{vitroplast}} = \quad (\text{mm})$$

$$C_{\text{vitroplast}} = \quad (\text{F})$$

$$C_{0\text{-vitroplast}} = \varepsilon_0 \frac{a b}{d} = 8.854 \cdot 10^{-12} \frac{\text{mm}^2}{\text{mm}} =$$

$$\varepsilon_r = \frac{C_{\text{vitroplast}}}{C_{0\text{-vitroplast}}} = \frac{\text{mm}^2}{\text{mm}^2} =$$

Izmerjena vrednost kapacitivnosti z dielektrikom iz **pertinaksa**.

$$a_{\text{pertinaks}} = \text{mm}$$

$$b_{\text{pertinaks}} = \text{mm}$$

$$d_{\text{pertinaks}} = \text{mm}$$

$$C_{\text{pertinaks}} = \text{F}$$

$$C_{0\text{-pertinaks}} = \varepsilon_0 \frac{a b}{d} = 8.854 \cdot 10^{-12} \frac{\text{mm}^2}{\text{mm}} =$$

$$\varepsilon_r = \frac{C_{\text{pertinaks}}}{C_{0\text{-pertinaks}}} = \frac{\text{mm}^2}{\text{mm}^2} =$$

veličine	STEATIT	TEFLON	VITROPLAST	PERTINAKS	ZRAK
a (mm)					
b (mm)					
d (mm)					
C_0 (F)	/	/	/	/	
C'_0 (F)	/	/	/	/	
C''_0 (F)	/	/	/	/	
$C_{\text{dielektrik}}$ (F)					/
ε_r					/

7. VPRAŠANJA IN ODGOVORI

Vprašanja:

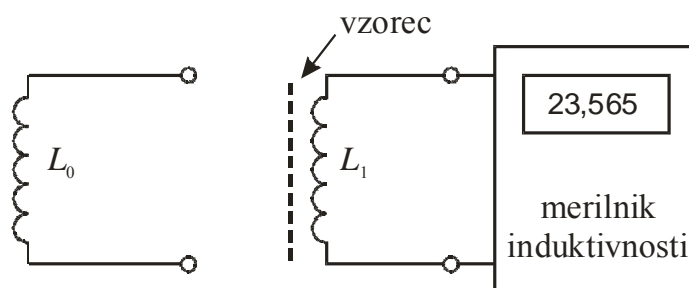
- Ali lahko robni efekt pri merjenem kondenzatorju zanemarimo?
- Kaj dosežemo s priključitvijo zaščitne elektrode?
- V katere namene se uporabljajo dielektriki z veliko dielektričnostjo?
- Kakšno dielektričnost naj imajo izolacijski materiali?
- Kateri material od merjenih bi bil najprimernejši za dielektrik pri kondenzatorju?
- Ali lahko zanemarimo doprinos kapacitivnosti veznih žic (zakaj da ali zakaj ne)?
- Kateri dielektrik je glede na velikost ε_r pri zaporedni namestitvi bolj obremenjen z električnim poljem?

V. VAJA

1. NASLOV VAJE

DOLOČITEV ZAČETNE RELATIVNE PERMEABILNOSTI MAGNETNEGA MATERIALA

2. MERILNA SHEMA



3. SEZNAM INSTRUMENTOV IN NAPRAV

- merilnik induktivnosti
- zračna tuljava
- feritni lonček z zračno režo
- feritni lonček brez zračne reže

4. OPIS MERILNE METODE

Meritev izvajamo po standardu SIST EN 60401:2004 ali IEC 60401:2003

Permeabilnost je definirana kot razmerje med gostoto magnetnega pretoka B in magnetno poljsko jakostjo H . Poznamo več vrst permeabilnosti. Za vse je značilno, da so definirane v točki ali na odseku magnetilne krivulje ali histerezne zanke magnetnega materiala. Relativna začetna permeabilnost je definirana z naslednjim izrazom:

$$\mu_{rz} = \frac{1}{\mu_0} \lim_{H \rightarrow 0} \frac{B}{H} \quad \text{in} \quad \mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \left(\frac{\text{Vs}}{\text{Am}} \right)$$

Pri meritvi zgornje zahteve ne moremo popolnoma izpolniti, saj mora biti magnetna poljska jakost pri meritvi večja od vrednosti nič. Da pri meritvi ne naredimo prevelike napake, določajo predpisi maksimalno vrednost magnetne poljske jakosti, ki znaša 1 A/m. To zahtevo pa izpolnimo s pravilno izbiro merilne metode.

Relativno začetno permeabilnost lahko določimo tudi posredno preko induktivnosti zračne tuljave L_0 in induktivnosti te iste tuljave L_1 , ki ima za jedro merjenec, če je pri meritvi L_1 izpolnjen zgornji pogoj.

Pri meritvi začetne permeabilnosti mora biti magnetni krog sklenjen brez vsakršne zračne reže, saj je to podatek materiala. V kolikor je zračna reža prisotna, izmerimo efektivno začetno permeabilnost, ki je podatek jedra.

5. IZVEDBA PREIZKUSA

Tuljavo priključimo na merilni instrument za merjenje induktivnosti in izmerimo induktivnost zračne tuljave L_0 ter nato induktivnost z vstavljenim jedrom (vzorcem) L_1 . Začetno relativno permeabilnost nato izračunamo iz izmerjenih vrednosti induktivnosti. Vzorec (merjenec) je iz mehkomagnetnega ferita različnih oblik. Ena od oblik ima v magnetnem krogu prisotno zračno režo zato lahko določimo le efektivno permeabilnost.

Pazi na opremo: možnost poškodb!

6. REZULTATI MERITEV IN IZRAČUNOV

Induktivnost zračne tuljave.

$$L_0 =$$

Induktivnost tuljave s feritnim jedrom brez zračne reže.

$$L_1 =$$

Relativna začetna permeabilnost (samo vpliv materiala jedra).

$$\mu_{rz} = \frac{L_1}{L_0} =$$

Induktivnost tuljave s feritnim jedrom z zračno režo.

$$L_2 =$$

Relativna začetna efektivna permeabilnost (vpliv materiala jedra in zračne reže).

$$\mu_{rze} = \frac{L_2}{L_0} =$$

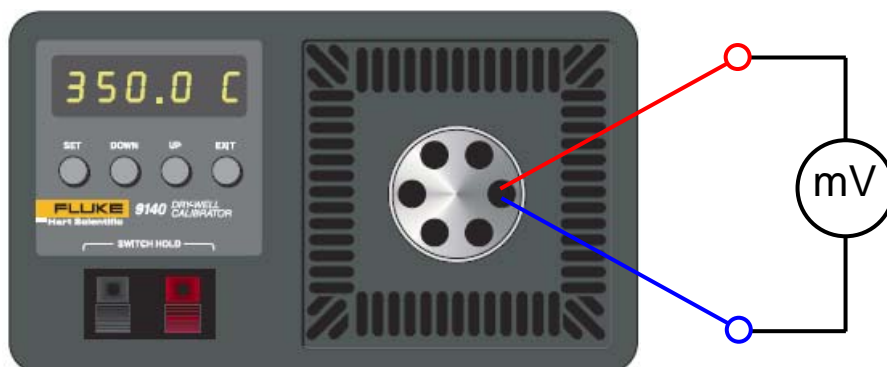
Veličine	Zračna tuljava	Jedro brez zračne reže	Jedro z zračno režo
L_0 (H)		/	/
L_1 (H)	/		/
L_2 (H)	/	/	
μ_{rz}	/		

VI. VAJA

1. NASLOV VAJE

MERJENJE TERMOELEKTRIČNE NAPETOSTI

2. NAČIN PREIZKUSA



3. SEZNAM INSTRUMENTOV IN NAPRAV

- termoelement tipa J (Fe-Constantan, Fe-CuNi, temperaturno področje $-200^{\circ}\text{C} \div 800^{\circ}\text{C}$)
- termoelement tipa T (Cu-Constantan, Cu-CuNi, temperaturno področje do 800°C)
- termoelement tipa K (NiCr-Ni, temperaturno področje do 1300°C)
- umerjeni toplotni vir (temperaturni kalibrator) FLUKE 9140
- milivoltmeter

4. OPIS MERILNE METODE

Termoelektrična napetost je posledica Seebeckovega pojava, pri katerem pride do direktne pretvorba temperaturne razlike v električno napetost. Termoelektrična napetost se pojavi med koncema prevodne ali polprevodne palice, kadar je med koncema temperaturna razlika. Velikost termoelektrične napetosti je odvisna od vrste materiala in od temperaturne razlike med koncema. Ta pojav se pogosto izkorišča v termoelementih za merjenje temperatur. Inverzni pojav je Peltierov pojav.

Termoelement sestavljata dve električno izolirani kovinski žici iz različnih materialov, ki morata imeti čim bolj različen koeficient termoelektrične napetosti. Material ene kovinske žice je običajno čista kovina, druga žica pa je iz zlitine dveh različnih kovin. Na enem koncu sta žici zavarjeni, med druga konca pa priključimo merilnik napetosti. Zvarjeni del termoelementa imenujemo »vroči konec«, ki ga namestimo na mesto kateremu želimo izmeriti temperaturo. Prosta konca termoelementa pa imenujemo »hladni konec« in se nahaja na poznani referenčni temperaturi. V primeru, da je vroči konec izpostavljen temperaturi, ki je različna od temperature hladnega konca termoelementa, se med prostima koncema termoelementa pojavi razlika termoelektrične napetosti obeh žic, ki je sorazmerna razliki temperature med toplim in hladnim koncem termoelementa in jo lahko merimo. S kombinacijo žic dveh materialov pri

termoelementu dosežemo, da nam za meritev termoelektrične napetosti ni potreben dostop do toplega in hladnega konca. Odvisnost termoelektrične napetosti termoelementa od razlike temperature med toplim in hladnim koncem ni konstantna, zato je potrebno termoelemente umeriti.

5. IZVEDBA PREIZKUSA

Termoelemente tipov J, K in T namestimo v merilne odprtine temperaturnega kalibratorja. Na temperaturnem kalibratorju nastavimo želeno temperaturo in počakamo približno 8 min, da temperatura kalibratorja doseže želeno vrednost in se stabilizira. Potem izmerimo z milivoltmetrom termoelektrično napetost med prostima koncema termoelementa in temperaturo okolice.

Nastavitev zelene temperature temperaturnega kalibratorja poteka po naslednjih korakih:

- 1) Z dvakratnim zaporednim pritiskom na tipko »SET« začnemo postopek nastavitve,
- 2) S pritiskanjem tipke »UP« ali tipke »DOWN« nastavimo želeno temperaturo v °C,
- 3) S pritiskom tipke »SET« potrdimo novo izbrano temperaturo,
- 4) S pritiskom tipke »EXIT« se vrnemo v način temperaturnega prikaza.

Začetna nastavljena temperatura temperaturnega kalibratorja naj bo 50 °C. Meritev izvedemo pri različnih temperaturah s korakom spremembe 50 °C.

OPOZORILA:

1. zgornja in zadnja plošča temperaturnega kalibratorja lahko doseže tudi 350 °C, pazi na nevarnost opeklin,
2. temperaturnemu kalibratorju ne izklaplaj napajanje dokler se mu temperatura ne spusti izpod 100 °C, zaradi prisilnega hlajenja kalibratorja,
3. temperaturni kalibrator doseže maksimalno temperaturo 350 °C v ~12 min,
4. temperaturni kalibrator se počasneje ohlaja kot segreva, čas ohlajanja od 350 °C do 100 °C ~15 min,
5. v okolici temperaturnega kalibratorja (okolica ~20 cm) ne sme biti prisotnih nobenih gorljivih snovi.

6. REZULTATI MERITEV IN IZRAČUNOV

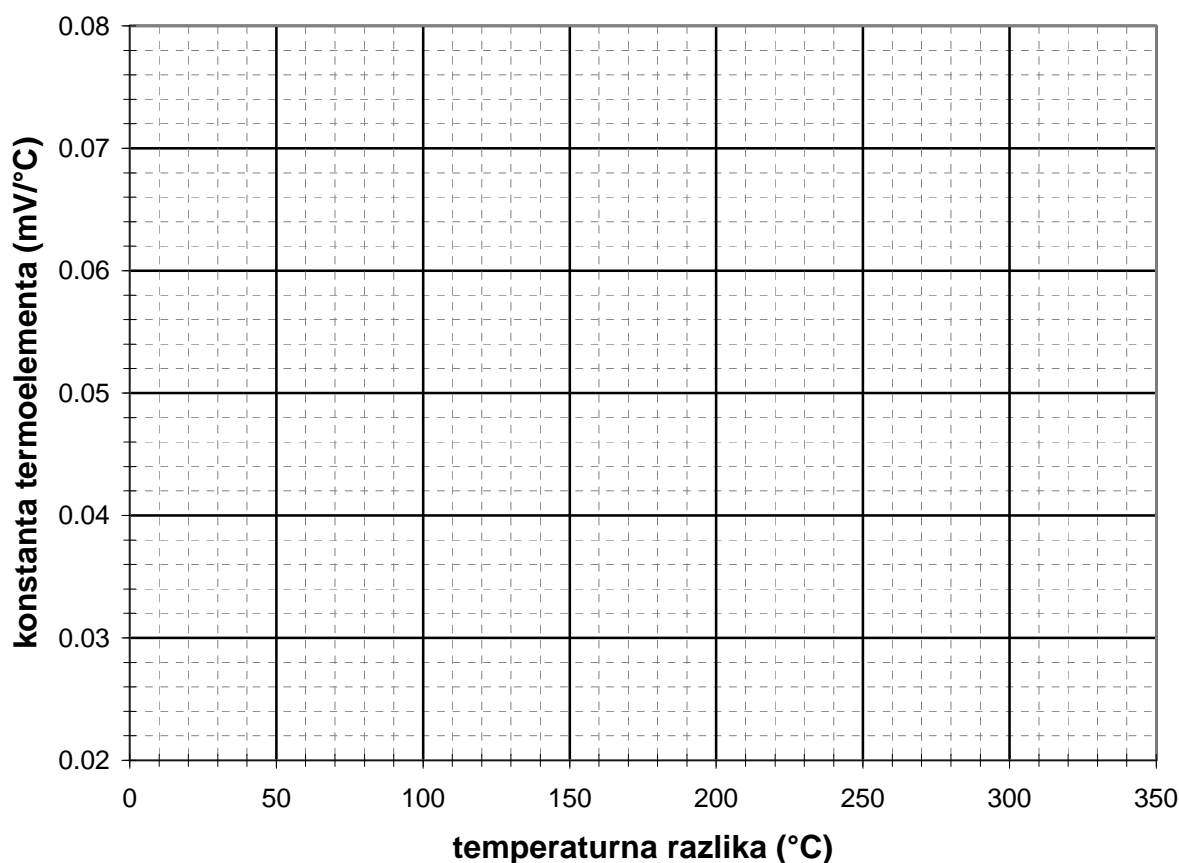
Konstanto termoelementa k_{ter} izračunamo na naslednji način:

$$k_{\text{ter}} = \frac{U_t}{\vartheta_t - \vartheta_o} = \left(\frac{\text{mV}}{\text{°C}} \right), \text{ kjer so}$$

U_t (mV)	izmerjena termoelektrična napetost med prostima koncema termoelementa
ϑ_t (°C)	nastavljena temperatura temperaturnega kalibratorja,
ϑ_o (°C)	temperatura hladnega dela termoelementa, ki je enaka temperaturi okolice.

Temperatura toplega konca (°C)	Temperatura hladnega konca (°C)	Termoelektrična napetost termoelementa tipa J (mV)	Termoelektrična napetost termoelementa tipa K (mV)	Termoelektrična napetost termoelementa tipa T (mV)	Konstanta termoelementa (mV/°C)		
					Tip J	Tip K	Tip T
50							
100							
150							
200							
250							
300							
350							

Temperaturno odvisnost konstante termoelementa $k_t = f(\vartheta_t - \vartheta_0)$ za termoelemente tipa J, K in T prikažemo tudi v grafični obliki.



7. VPRAŠANJA IN ODGOVORI

Vprašanja:

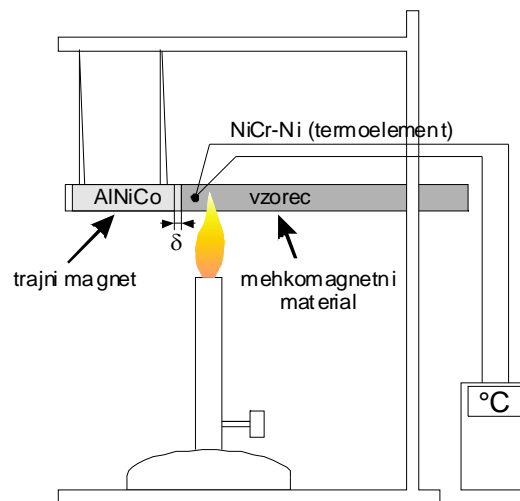
- Kaj je termoelektrična napetost in kdaj se pojavi?
- Ali je velikost termoelektrične napetosti posameznega tipa termoelementa odvisna od absolutne temperature vročega konca ali od razlike temperature med vročim in hladnim koncem?

VII. VAJA

1. NASLOV VAJE

DOLOČITEV CURIEJEVE TEMPERATURE MAGNETNEGA MATERIALA

2. MERILNA SHEMA



3. SEZNAM INSTRUMENTOV IN NAPRAV

- plinski gorilnik
- vpenjalno stojalo
- trajni magnet Al-Ni-Co
- vzorca iz Ni in ferita
- V meter za merjenje termoelektrične napetosti

4. OPIS MERILNE METODE

Meritev ni izvedena po standardu (ne obstaja)

Temperaturo pri kateri izgubijo feromagnetni ali ferimagnetni materiali magnetne lastnosti in postanejo paramagnetni imenujemo Curiejeva temperatura. Pri vaji določamo Curiejevo temperaturo na osnovi magnetne sile med trajnim magnetom in vzorcem. Ko se vzorec segreje čez Curiejevo temperaturo, magnetna sila med njima izgine in se ponovno pojavi, ko se ohladi pod Curiejevo temperaturo. V kolikor bi segreli nad Curiejevo temperaturo trajni magnet, bi se ta razmagnetil in po ohladitvi se več ne bi pojavila magnetna sila.

5. IZVEDBA PREIZKUSA

Vzorec, ki mu želimo določiti Curie-jevo temperaturo vpmemo v stojalo, v osi vzorca pa v obliki nihanke obesimo trajni magnet (Al-Ni-Co), ki ima višjo Curiejevo temperaturo kot vzorec.

Zaradi magnetne sile se magnet odkloni iz ravnotežne lege in se prisloni na vzorec. Vzorec s plinskim gorilnikom segrevamo tako dolgo, da izgubi magnetne lastnosti. V tem primeru magnetna sila izgine, zato se magnet zaradi sile teže vrne v ravnotežno lego. Zaradi točnosti določitve Curiejeve temperature, naj bo v tej legi reža med vzorcem in magnetom δ čim manjša. Z režo je namreč povezana velikost gostote magnetnega pretoka pri kateri se ob segrevanju odpusti magnet od vzorca, pri ohlajanju pa pritegne k vzorcu.

Temperaturo vzorca merimo s pomočjo termoelementa tipa K (NiCr-Ni), katerega termoelektrična napetost je sorazmerna razliki temperature med toplim in hladnim koncem termoelementa. Pri določanju Curiejeve temperature moramo določiti absolutno temperaturo vzorca, zato bi morali izmerjeni temperaturi prišteti še temperaturo okolice. V našem primeru uporabimo instrument, ki ima vgrajeno kompenzacijo ničelne točke in kaže absolutno vrednost temperature v $^{\circ}\text{C}$, zato prištevanje temperature okolice ni potrebno.

Curiejevo temperaturo odčitamo iz instrumenta takrat, ko se trajni magnet pri ohlajanju spet prisloni na vzorec. Vzorec se namreč enakomerneje in počasneje ohlaja kot segreva. Poskus ponovimo trikrat, kot rezultat pa podamo srednjo vrednost izmerjenih temperatur.

Pazi nase in opremo: možnost poškodb!

6. REZULTATI MERITEV IN IZRAČUNOV

1. vzorec ()

$$T_1 = \quad ^{\circ}\text{C}$$

$$T_2 = \quad ^{\circ}\text{C}$$

$$T_3 = \quad ^{\circ}\text{C}$$

$$T_{\text{sr}} = \frac{T_1 + T_2 + T_3}{3} = T_{\text{C}} =$$

2. vzorec ()

$$T_1 = \quad ^{\circ}\text{C}$$

$$T_2 = \quad ^{\circ}\text{C}$$

$$T_3 = \quad ^{\circ}\text{C}$$

$$T_{\text{sr}} = \frac{T_1 + T_2 + T_3}{3} = T_{\text{C}} =$$

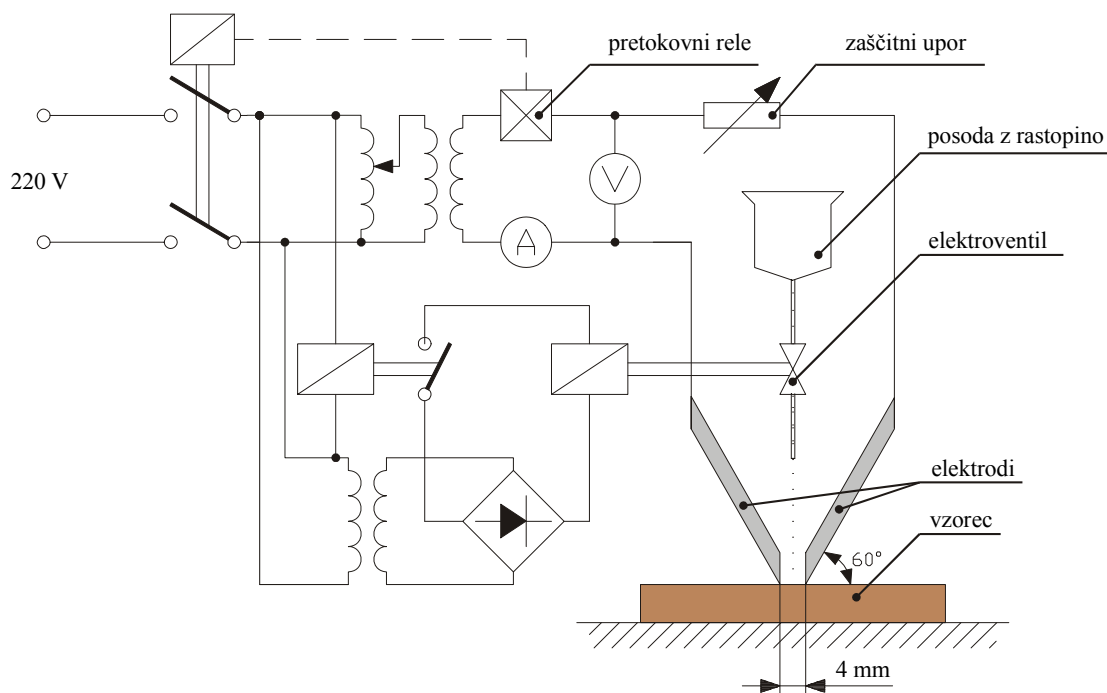
	1. VZOREC	2. VZOREC
Material		
T_{C} ($^{\circ}\text{C}$)		

VIII. VAJA

1. NASLOV VAJE

DOLOČITEV PRIMERJALNEGA INDEKSA PREPLAZA TRDNEMU IZOLACIJSKEMU MATERIALU PO METODI A

2. SHEMA MERILNE NAPRAVE



3. SEZNAM INSTRUMENTOV IN NAPRAV

- naprava za preizkušanje odpornosti izolacijskih materialov na plazilne tokove
- vzorci materiala

4. OPIS MERILNE METODE

Meritev izvajamo po standardu [SIST EN 60112:2004](#) ali [IEC 60112:2003](#)

Električni preplaz (tracking) predstavlja stopnjujočo širitev prevodne poti, ki nastane na površini in/ali znotraj trdnega izolacijskega materiala ter je posledica kombiniranega delovanja električne napetosti in elektrolitskega onesnaženja materiala.

Določitev primerjalnega indeksa preplaza CTI (Comparative Tracking Indices – primerjalni indeks preplaza) trdnemu izolacijskemu materialu uporabljamo za presojo, kako se ta obnaša med prevodnima deloma (elektrodama), ki sta priključena na izmenična napetost ob hkratnem onesnaženju z elektrolitom. Rezultatov testa ni možno direktno uporabiti za določitev varne plazilne razdalje pri načrtovanju električnih naprav.

S preizkusom določamo maksimalno vzdržno napetost, ki jo material vzdrži, ne da bi se pri tem pojavil plazilni tok večji od vnaprej predpisane vrednosti ob predpisanih preizkusnih pogojih.

Preizkus mora potekati hkrati na petih vzorcih v enakih preizkusnih pogojih. Ti pogoji so:

- raztopina (A tip): 0.1 % raztopina amonijevega klorida (NH_4Cl) s specifično upornostjo 1 mS/m pri 23 °C
- raztopina (B tip): 0.1 % raztopina natrijevega sulfata
- masa kapljice: masa serije 50 kapljic mora biti med 0,997 g in 1,147 g
- interval spuščanja kapljic: 30 s \pm 5 s (50 kapljic 24,5 min \pm 2 min)
- višina kapljanja: 35 mm \pm 0.5 mm
- napetost: AC 100 V – 600 V, 48 Hz – 62 Hz
- moč električnega izvora: > 600 VA
- maksimalni dopustni tok: 1 A \pm 0,1 A
- sila elektrod na površino vzorca: 1 N \pm 0,05 N
- razmik elektrod: 4 mm \pm 0.1 mm
- kot elektrod glede na vzorec: 60 ° \pm 0,5°
- minimalna velikost vzorca: 20×20×3 mm
- temperatura okolice: 23 ° \pm 5°C

5. IZVEDBA PREIZKUSA

Čisti vzorec vstavimo pod elektrode naprave in nastavimo zahtevani razmik elektrod ter njihov pritisk na vzorec. Preizkus začnemo pri napetosti 100 V. Kapljice elektrolita spuščamo v časovnih intervalih 30 s. Če po petdesetih kapljicah tok ne preseže vrednosti maksimalnega dopustnega toka, napetost povišamo za 25 V in postopek ponovimo pri tej povišani napetosti. To ponavljamo, dokler tok ne preseže predpisane vrednosti 1 A, oziroma dokler ne pride do preplaza.

Rezultat preizkusa je maksimalna vzdržna napetost, ki jo material vzdrži, ne da bi stekel tok vnaprej predpisane vrednosti (1 A) preden pade 50 kapljic.

Končni rezultat podamo kot povprečje vseh petih preizkusov v obliki **CTI xxx**, kjer pomeni CTI (Comparative Tracking Indices) in xxx najvišjo nastavljeno vrednost napetosti pri kateri še tok ni presegel vrednosti 1 A. Če izvajamo B tip preizkusa, podamo rezultat v obliki **CTI xxxM**.

Pazi nase in opremo: možnost poškodb!

6. REZULTATI MERITEV IN IZRAČUNOV

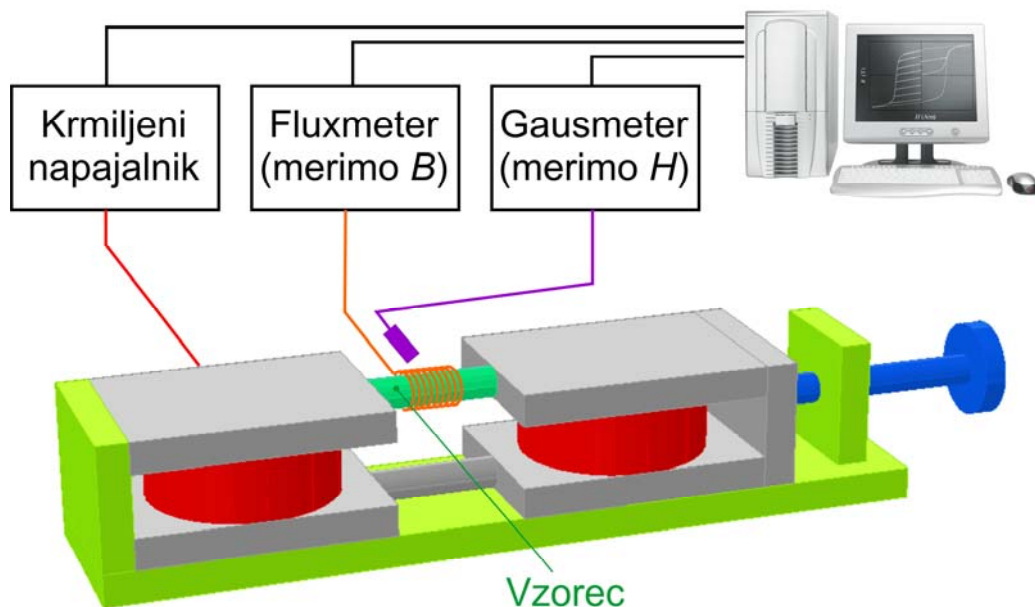
CTI

IX. VAJA

1. NASLOV VAJE

- a) **MERITEV STATIČNE MAGNETILNE IN HISTEREZNE KRIVULJE FEROMAGNETNEGA MATERIALA**
- b) **DOLOČITEV PERMANENTNE PERMEABILNOSTI, MAKSIMALNEGA ENERGIJSKEGA PRODUKTA IN KARAKTERISTIČNIH TOČK NA HISTEREZNI ZANKI**

2. MERILNA SHEMA



3. SEZNAM INSTRUMENTOV IN NAPRAV

- merilni jarem
- Gausmeter - merilnik magnetne poljske jakosti (določamo H)
- Fluxmeter - merilnik magnetnega pretoka (določamo B)
- Krmiljeni napajalnik
- Osebni računalnik z merilno kartico

4. OPIS MERILNE METODE

Meritev izvajamo po standardu SIST EN 60404:2002 ali IEC 60404:1995

Osnovne lastnosti feromagnetnih materialov najtočneje podamo z njegovo magnetilno krivuljo in histerezno zanko, ter s karakterističnimi točkami na nji. Statično magnetilno krivuljo in histerezno zanko feromagnetnega materiala določimo pri zelo počasnem spreminjanju magnetne

poljske jakosti H med meritvijo (s počasnim spreminjanjem toka v vzbujalnih tuljavah merilnega jarma). S tem so vrtnični tokovi, ki se pojavijo v vzorcu med meritvijo majhni in so njihovi vplivi na meritev zanemarljivi (dejansko opravimo kvazi-statično meritev).

Časovni potek vzbujalnega toka tuljav merilnega jarma je odvisen od oblike krmilnega signala močnostnega ojačevalnika, ki ga generiramo z računalnikom.

Pri preizkusu merimo gostoto magnetnega pretoka B v vzorcu z merilnikom magnetnega pretoka Φ (fluksmetrom), ki deluje na indukcijskem principu. V ta namen navijemo okrog vzorca merilno tuljavico z znanim številom ovojev, v kateri se med meritvijo inducira električna napetost. Gostoto magnetnega pretoka v vzorcu dobimo po enačbi $B = \Phi / S$, kjer je S presek vzorca.

Magnetno poljsko jakost H v vzorcu merimo z merilnikom magnetne poljske jakosti (gauss metrom), ki deluje na principu Hallovega efekta. Sonda tega merilnika je nameščena tik ob vzorcu tako, da meri samo tangencialno komponento.

Oba instrumenta sta priključena na računalnik, kamor se preneseta časovna poteka gostote magnetnega pretoka $b(t)$ in magnetne poljske jakosti $h(t)$. V kolikor grafično prikažemo odvisnost izmerjenih vrednosti $b(h)$ dobimo magnetilno krivuljo in histerezno zanko.

Pred meritvijo je potrebno vzorec razmagnetiti. To opravimo tako, da vzbujalne tuljave merilnega jarma napajamo z tokom nizke frekvence in padajoče amplitude. V primeru, da vzorca pred meritvijo popolnoma ne razmagnetimo, histerezna zanka ne leži simetrično glede na koordinatni sistem.

5. IZVEDBA PREIZKUSA

Vaja je v celoti pripravljena z vsemi povezavami med instrumenti in merilnim jarmom ter je popolnoma računalniško vodena. Zato je njena izvedba demonstracijske narave. Iz grafičnega prikaza izmerjenih vrednosti (magnetilne krivulje in histerezne zanke) nato določite karakteristične točke in maksimalni energijski produkt.

Pazi na opremo: možnost poškodb!

6. REZULTATI MERITEV IN IZRAČUNOV

Iz izmerjenih časovnih potekov $b(t)$ in $h(t)$ in izrisane odvisnosti $b(h)$ določimo karakteristične točke magnetilne in histerezne krivulje magnetnega materiala:

1.) gostoto nasičenja magnetnega pretoka B_s (T)

$$B_s = \quad (\text{T})$$

2.) remanentno gostoto magnetnega pretoka B_r (T)

$$B_r = \quad (\text{T})$$

3.) koercitivno magnetno poljsko jakost H_{CB} (A/m)

$$H_{CB} = \quad (\text{A/m})$$

4.) maksimalni energijski produkt v drugem kvadrantu (razmagnetilna krivulja)

$$w_{\max} = (b(t) \cdot h(t))_{\max} = \quad (\text{Ws/m}^3, \text{J/m}^3)$$

5.) permanentno permeabilnost μ_{rec}

$$\mu_{\text{rec}} = \left(\frac{1}{\mu_0} \right) \left(\frac{\Delta B}{\Delta H} \right) =$$

$$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} (\text{Vs/Am})$$

kjer sta ΔB in ΔH razliki koordinat skrajnih točk subhisterezne zanke v drugem kvadrantu. Na časovnih potekih $b(t)$ in $h(t)$ označite lego karakterističnih točk.

Veličine	Vrednosti
B_s (T)	
B_r (T)	
H_{CB} (A/m)	
w_{\max} (J/m ³)	
μ_{rec}	

7. VPRAŠANJA IN ODGOVORI

Vprašanja:

- Po kakšnem principu merimo gostoto magnetnega pretoka?
- Po kakšnem principu merimo magnetno poljsko jakost?
- Kakšno histerezno zanko imajo mehkomagnetni in kakšno trdomagnetni materiali?
- Za katere namene se uporabljajo mehkomagnetni in za katere trdomagnetni materiala?
- Kako je možno trdomagnetni material razmagnetiti, če je namagneten?
- Kaj predstavlja vrednost permanentne permeabilnosti?
- Kaj nam pove maksimalni energijski produkt?
- Kakšen vpliv ima temperatura na B_r in na H_{CB} pri feromagnetnih in kakšen pri ferimagnetnih materialih?

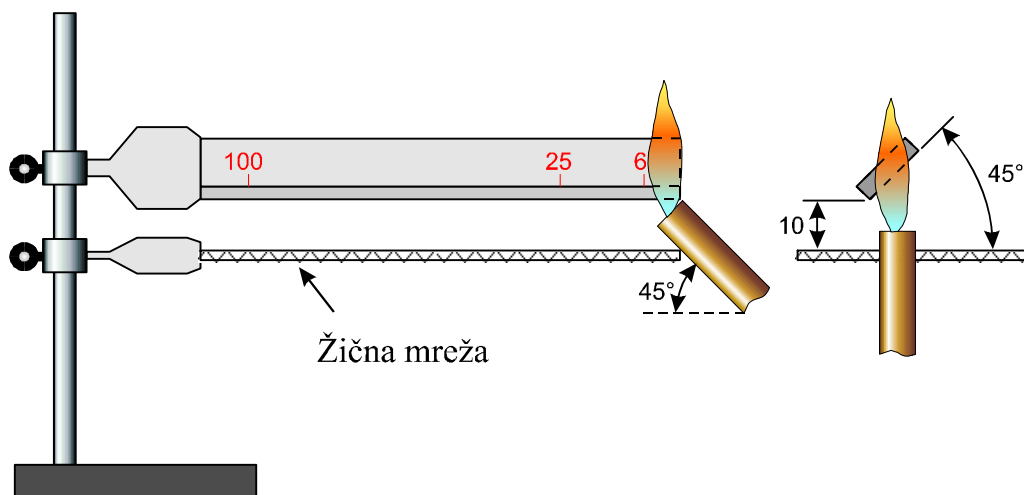
Odgovori:

X. VAJA

1. NASLOV VAJE

PREIZKUS VNETHLJIVOSTI PO METODI A

2. NAČIN PREIZKUSA



3. SEZNAM INSTRUMENTOV IN NAPRAV

- plinski gorilnik
- vzorci materiala
- stojalo

4. OPIS MERILNE METODE

Meritev izvajamo deloma v skladu s standardom SIST EN 60695-11-10:2000 ali IEC 60695-11-10:1999 (odstopanja so v upoštevanju zadnje dopolnitve predpisa ter pri uporabljenem gorilniku).

Preizkus nam služi za ugotavljanje obnašanja trdih izolacijskih materialov v dotiku s plamenom. Izvor plamena je pri tem preizkusu plinski gorilnik. Plamen gorilnika nastavimo tako, da ima modro osnovo in rumeni vrh, višina plamena naj bo 20 mm. Vzorec mora imeti predpisane dimenzije $125 \times 13 \times 3$ mm. Vzorec postavimo v takšen položaj, da je njegova vzdolžna os v horizontalni legi, prečna os pa pod kotom 45° .

Plamen postavimo pod prosti konec vzorca tako, da je vzorec podvržen delovanju plamena v razdalji 6 mm. Čas dotika vzorca s plamenom je 30 s oziroma manj, če ta zagori do oznake 25 mm pred iztekom 30 s. V primeru, da vzorec gori tudi po odstranitvi iz plamena, je potrebno določiti linearno hitrost širjenja plamena od oznake 25 mm do oznake 100 mm.

Linearna hitrost širjenja plamena v , ki jo podajamo v milimetrih na minuto je definirana kot:

$$v = \frac{60 L}{t} \text{ (mm/min)}$$

kjer je:

- v linearna hitrost širjenja plamena od oznake 25 mm do oznake 100 mm;
- L poškodovana dolžina vzorca v milimetrih;
- t čas v sekundah, ki ga potrebuje prednji konec plamena, da napreduje od oznake 25 mm do oznake 100 mm.

5. IZVEDBA PREIZKUSA

Prižgemo gorilnik in nastavimo zahtevani plamen. Na vzorcu naredimo potrebne oznake in ga izpostavimo plamenu ter po pravilih izvedemo preizkus. V kolikor imamo opravka z materiali, ki pri gorenju kapljajo pazimo, da kapljica ne pade v gorilnik in ga ugasne. V času preizkusa zagotovimo, da v prostoru ni prepaha.

Pazi nase in opremo: možnost poškodb! Po končani vaji zapri plinsko jeklenko!

6. REZULTATI MERITEV IN IZRAČUNOV

Na podlagi obnašanja vzorca materiala v času preizkusa ga razvrstimo v eno izmed dveh skupin. Obnašanje vzorca materiala mora zadostiti enemu od naslednjih kriterijev navedenih pri posamezni skupini:

Skupina: HB40

- vzorec materiala ne kaže vidnih znakov gorenja po umaknitvi izvora plamena;
- vzorec materiala gori po umaknitvi izvora plamena, vendar prednji konec plamena ne doseže oznake 100 mm;
- vzorec materiala gori po umaknitvi izvora plamena in prednji konec plamena preseže oznako 100 mm, vendar linearna hitrost širjenja plamena ne presega vrednosti 40 mm/min.

Skupina: HB75

- vzorec materiala gori po umaknitvi izvora plamena in prednji konec plamena preseže oznako 100 mm, vendar linearna hitrost širjenja plamena ne presega vrednosti 75 mm/min.

Za vsak vzorec je potrebno podati še:

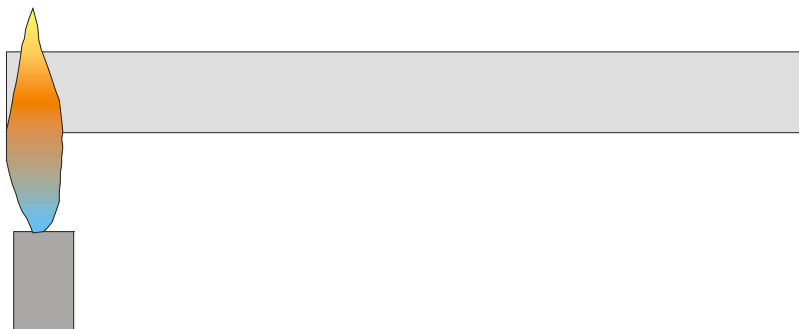
- ali vzorec materiala gori še dalje po odstranitvi plamena (DA ali NE);
 - ali prednji konec plamena preseže oznako 25 mm (DA ali NE) in oznako 100 mm (DA ali NE);
 - za vzorec materiala katerega plamen preseže oznako 25 mm ne pa oznake 100 mm je potrebno podati potreben čas v katerem vzorec popolnoma ugasne in poškodovano dolžino vzorca;
 - za vzorec materiala katerega plamen preseže oznako 100 mm je potrebno podati še linearno hitrost širjenja plamena.
-

XI. VAJA

1. NASLOV VAJE

DOLOČANJE VRSTE PLASTIČNE MASE S POMOČJO PLAMENA IN TABELE

2. NAČIN PREIZKUSA



3. SEZNAM INSTRUMENTOV IN NAPRAV

- plinski gorilnik
- vzorci materiala

4. OPIS MERILNE METODE

Meritev ni izvedena po standardu (ne obstaja)

Pri tem preizkusu vzorec izpostavimo plamenu in opazujemo kako ta zagori, kakšna je barva plamena pri gorenju, kakšna je barva in vonj dima, ali vzorec gori po odstranitvi iz plamena in barvo ostanka. Na osnovi opaženih lastnosti poiščemo v tabeli material z enakimi lastnostmi.

MATERIAL GORI			
Material ugasne po odstranitvi iz plamena		Material gori po odstranitvi iz plamena	
PVC	plamen za kratek čas zeleno zasveti, oster vonj	POLIESTER	rumena barva plamena z modrim vrhom, plamen prasketa
FENOL, FORMALDEHID, BAKELIT	rumena barva plamena, vonj po fenolu in formaldehidu (žgan les, žgan papir)	SILIKON	svetlorumen bel plamen, brez vonja, bele pare, bel ostanek
CELULOZNI ACETAT	iskrenje v plamenu, vonj po očetni kislini	POLIURETAN	rumena barva plamena z modro osnovo, kisel vonj
		POLISTIROL	rumena barva plamena, močan dim s sajastimi krpicami

5. IZVEDBA PREIZKUSA

Prižgemo gorilnik in nastavimo plamen. Vzorec izpostavimo plamenu ter opazujemo njegovo obnašanje. V kolikor določamo material, ki pri gorenju kaplja pazimo, da kapljica ne pade v gorilnik in ga ugasne. V času preizkusa zagotovimo, da v prostoru ni prepiha.

Pazi nase in opremo: možnost poškodb! Po končani vaji zapri plinsko jeklenko!

6. REZULTATI MERITEV IN IZRAČUNOV

Vrsto materiala ugotovimo s pomočjo tabele in naših opazovanj.

material 1. vzorca: _____

material 2. vzorca: _____

material 3. vzorca: _____

material 4. vzorca: _____

	1. VZOREC	2. VZOREC	3. VZOREC	4. VZOREC
Material				
Barva dima				
Vonj dima				
Ostane				

7. VPRAŠANJA IN ODGOVORI

Vprašanja:

- Ali imajo lahko primesi vpliv na rezultat določitve materiala?
- Kakšen je vpliv subjektivnega opazovanja na točnost določitve materiala?

Odgovori:

Pregledal: _____

Datum: _____

XII. VAJA

1. NASLOV VAJE

MERJENJE TRDOTE MATERIALA

2. NAČIN PREIZKUSA



a.) napenjanje vzmeti



b.) namestitev naprave na merjenec



c.) meritev (proženje)

3. SEZNAM INSTRUMENTOV IN NAPRAV

- vzorci materialov
- prenosni merilnik trdote Equotip Piccolo

4. OPIS MERILNE METODE

Trdota materiala je lastnost, ki okarakterizira upiranje materiala pri vdiranju tujega telesa, ki povzroča plastične deformacije. Trdoto materiala lahko povežemo tudi z odpornostjo materiala na upogib, praskam povzročnim v dotiku z drugim materialom (telesom), brušenju ali rezanju. Trdota materiala ni lastnost, ki bi bila izražena v merskih enotah, ampak je njena številčna vrednost rezultat **uporabljenega** merilnega postopka.

Uveljavljeni postopki za določitev trdote materialov temeljijo na merjenju globine ali površine vtisa, ki ga povzročajo vtiskana telesa z natančno določenimi oblikami, dimenzijami in vrsto materiala. Vtiskovanje je potrebno izvesti s silo, ki mora naraščati do maksimalne vrednosti v določenem časovnem intervalu nato pa je potrebno silo še določen čas ohranjati na konstantni vrednosti.

V praksi se najpogosteje za merjenje trdote materialov uporabljajo naslednji trije standardizirani tipi preizkusov: preizkus po **Brinellu**, po **Vickersu** in po **Rockwellu**. Zaradi praktičnosti in umerjanja, so za vsak tip preizkusa določena območja trdote za katere so določene vrednosti sile vtiskovanja in geometrije vtiskanega telesa.

Med različnimi tipi in različnimi območji trdot ne obstaja splošna matematična povezava. Različne obremenitve pri različnih tipih, različne oblike in dimenzije vtiskanega telesa, homogenost materiala, lastnosti hladnega preoblikovanja in elastične lastnosti materialov onemogočajo neposredno medsebojno primerjavo rezultatov različnih metod med seboj.

Pri preizkusu po **Brinellu** označujemo trdoto z **HB**, vtiskovano telo pa ima obliko krogle določenega premera. Krogla je narejena iz jekla ali karbidne trdnine. Trdoto pa določimo iz premera vtisa, velikosti uporabljene vtisne sile in časa trajanja vtisne sile (običajno 30 s).

Pri preizkusu po **Vickersu** označujemo trdoto z **HV**, za vtiskovanje pa se uporablja diamantna konica v obliki pravilne piramide s kvadratno osnovo in 136 stopinjskim kotom konice. Trdota pa je določena iz aritmetične srednje vrednosti diagonal pravokotnega vtisa, velikosti uporabljene vtisne sile in časa trajanja vtisne sile (običajno med 10 in 15 s).

Pri preizkusu po **Rockwellu** pa označujemo trdoto z **HRC**. Za vtiskovanje se uporablja telo v obliki diamantnega stožca ali jeklene kroglice. Trdota materiala preizkušanca je določena iz globine vtisa in velikosti uporabljene vtisne sile.

Zadnjih nekaj let se vse pogosteje uporabljajo dinamični testi za določanje trdote materialov. Pri teh testih vtiskano telo s trdo konico trči z določeno hitrostjo v material, ki mu določamo trdoto. Hitrost vtiskanega telesa je odvisna od sile napete vzmeti, ki to telo potiska. Po trčenju vtiskanega telesa s površino merjenca, se telesu zmanjša kinetična energija. Zmanjšanje kinetične energije določimo z meritvijo hitrosti gibajočega telesa na natančno določeni razdalji od površine vzorca v fazi pred trčenjem (dotikom) in v fazi po odboju (odskoku). Meritev hitrosti je izvedena na principu meritve inducirane napetosti v merilni tuljavi, ki je posledica gibanja magnetnega polja trajnega magneta. Ta se nahaja v konici vtiskanega telesa. Razmerje hitrosti telesa po odboju in hitrosti telesa pred trkom nam določa številčno vrednost trdote **HL** (HL=hardness in LEEB units).

Zadovoljive rezultate meritve trdote materiala s to merilno metodo dobimo samo v primeru:

- ustrezne priprave površine merjenca (hrapavost površine vzorca ISO N7, maksimalna hrapavost 10 μm , ...);
- minimalne mase vzorca (kompaktna oblika vzorca 5 kg, vzorec na trdi podlagi 2 kg, vzorec pritrjen na pritrditveni plošči 0.1 kg);
- minimalne debeline vzorca (kompaktna oblika 25 mm, vzorec na trdi podlagi 3 mm, vzorec pritrjen na pritrditveni plošči 0.8 mm)

5. IZVEDBA PREIZKUSA

Izvedba samega preizkusa poteka v treh fazah (slika: Način preizkusa):

- a.) napenjanje vzmeti merilne naprave,
- b.) postavitev merilne naprave pravokotno na površino merjenca in
- c.) izvedba meritve s proženjem merilne naprave.

Meritev opravite na štirih vzorcih iz različnih materialov (baker, aluminij, jeklo in medenina). Na vsakem vzorcu ponovite meritev trikrat na različnih mestih. Mesta opravljanja meritev naj bodo med seboj razmaknjena od 3 do 5 mm. Rezultate meritev odčitamo na LCD prikazovalniku merilne naprave v lestvicah HL, HB HV. Rezultat meritev so srednje vrednosti treh preizkusov na istem vzorcu.

6. REZULTATI MERITEV IN IZRAČUNOV

1. vzorec (baker)

1. meritev: HL₁ = , HB₁ = , HV₁ =

2. meritev: HL₂ = , HB₂ = , HV₂ =

3. meritev: HL₃ = , HB₃ = , HV₃ =

$$HL_{sr} = \frac{HL_1 + HL_2 + HL_3}{3} =$$

$$HB_{sr} = \frac{HB_1 + HB_2 + HB_3}{3} =$$

$$HRC_{sr} = \frac{HV_1 + HV_2 + HV_3}{3} =$$

2. vzorec (aluminij)

1. meritev: $HL_1 =$, $HB_1 =$, $HV_1 =$

2. meritev: $HL_2 =$, $HB_2 =$, $HV_2 =$

3. meritev: $HL_3 =$, $HB_3 =$, $HV_3 =$

$$HL_{sr} = \frac{HL_1 + HL_2 + HL_3}{3} =$$

$$HB_{sr} = \frac{HB_1 + HB_2 + HB_3}{3} =$$

$$HRC_{sr} = \frac{HV_1 + HV_2 + HV_3}{3} =$$

3. vzorec (jeklo)

1. meritev: $HL_1 =$, $HB_1 =$, $HV_1 =$

2. meritev: $HL_2 =$, $HB_2 =$, $HV_2 =$

3. meritev: $HL_3 =$, $HB_3 =$, $HV_3 =$

$$HL_{sr} = \frac{HL_1 + HL_2 + HL_3}{3} =$$

$$HB_{sr} = \frac{HB_1 + HB_2 + HB_3}{3} =$$

$$HRC_{sr} = \frac{HV_1 + HV_2 + HV_3}{3} =$$

4. vzorec (medenina)

1. meritev: $HL_1 =$, $HB_1 =$, $HV_1 =$

2. meritev: $HL_2 =$, $HB_2 =$, $HV_2 =$

3. meritev: $HL_3 =$, $HB_3 =$, $HV_3 =$

$$HL_{sr} = \frac{HL_1 + HL_2 + HL_3}{3} =$$

$$HB_{sr} = \frac{HB_1 + HB_2 + HB_3}{3} =$$

$$HRC_{sr} = \frac{HV_1 + HV_2 + HV_3}{3} =$$

Material	Trdota HL	Trdota HB	Trdota HV
<i>baker</i>			
<i>aluminij</i>			
<i>jeklo</i>			
<i>medenina</i>			

7. VPRAŠANJA IN ODGOVORI

Vprašanja:

- Kakšna je oblika vtiskanega telesa pri preizkusu trdote po Brinellu in kaj dejansko merimo?
- Kakšna je oblika vtiskanega telesa pri preizkusu trdote po Vickersu in kaj pri tem preizkusu merimo?
- Kakšna je oblika vtiskanega telesa pri preizkusu trdote po Rockwellu in kaj je potrebno pri tem tipu preizkusa izmeriti?
- Ali obstaja med različnimi metodami za merjenje trdote materialov natančna matematična povezava?
- Pri katerem materialu je opazen največji odtis in zakaj?
- Kateri material lahko mehansko bolj obremenimo glede na trdoto?

Odgovori:

Pregledal: _____

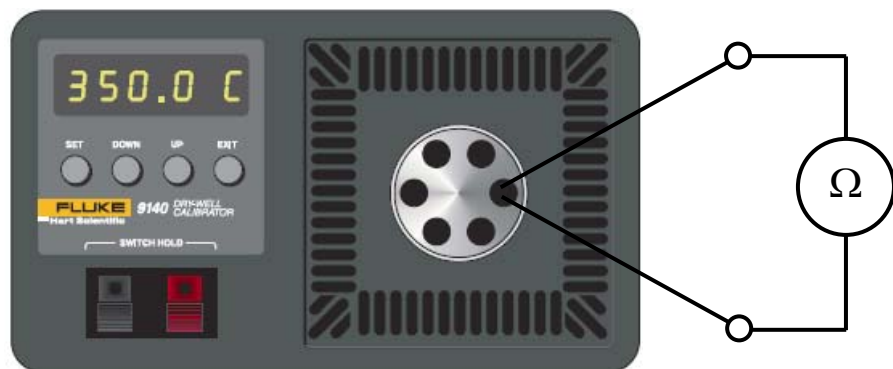
Datum: _____

XIII. VAJA

1. NASLOV VAJE

MERJENJE TEMPERATURNE ODVISNOSTI UPORNOSTI MATERIALOV Z NEGATIVNIM IN POZITIVNIM TEMPERATURNIM KOEFICIENTOM (NTK IN PTK)

2. NAČIN PREIZKUSA



3. SEZNAM INSTRUMENTOV IN NAPRAV

- NTK termistor
- PTK termistor
- umerjen temperaturni vir (temperaturni kalibrator)
- ohmmeter

4. OPIS MERILNE METODE

Materialom se v večji ali manjši meri spreminja električna upornost s temperaturo. Za tiste, katerim upornost s temperaturo pada pravimo, da imajo negativni temperaturni koeficient in jih označujemo z NTK. Katerim pa upornost s temperaturo raste pravimo, da imajo pozitivni temperaturni koeficient in jih označujemo s PTK.

Termistorji pa so elektronski elementi, ki imajo izjemno veliko temperaturno odvisnost upornosti in jih zaradi tega uporabljamo kot senzorje temperatur. Poznamo NTK in PTK termistorje. NTK termistorji so temperaturno odvisni polprevodniški upori, katerim vrednost upornosti z naraščanjem temperature pada. Za izdelavo NTK termistorjev se običajno uporablja polikristalna keramika iz mešanih oksidov. PTK termistorji so polprevodniški upori, katerim vrednost upornosti z naraščanjem temperature narašča. Za njihovo izdelavo pa se običajno uporablja feroelektrična keramika (TiO_3).

5. IZVEDBA PREIZKUSA

Termistorje namestimo v merilne odprtine temperaturnega kalibratorja. Na priključke termistorja priključimo instrument za merjenje upornosti (Ohmmeter). Na temperaturnem kalibratorju nastavimo želeno temperaturo in počakamo približno 8 min, da temperatura kalibratorja doseže želeno vrednost in se stabilizira. Po tem času izmerimo upornost termistorja in nato na kalibratorju nastavimo naslednjo višjo temperaturo.

Nastavitev zelene temperature temperaturnega kalibratorja poteka po naslednjih korakih:

- 1) Z dvakratnim zaporednim pritiskom na tipko »SET« začujemo postopek nastavitve,
- 2) S pritiskanjem tipke »UP« ali tipke »DOWN« nastavimo želeno temperaturo v °C,
- 3) S pritiskom tipke »SET« potrdimo novo izbrano temperaturo,
- 4) S pritiskom tipke »EXIT« se vrnemo v način temperaturnega prikaza.

Začetna nastavljena temperatura temperaturnega kalibratorja naj bo 50 °C. Meritev izvedemo pri različnih temperaturah s korakom spremembe 50 °C.

OPOZORILA:

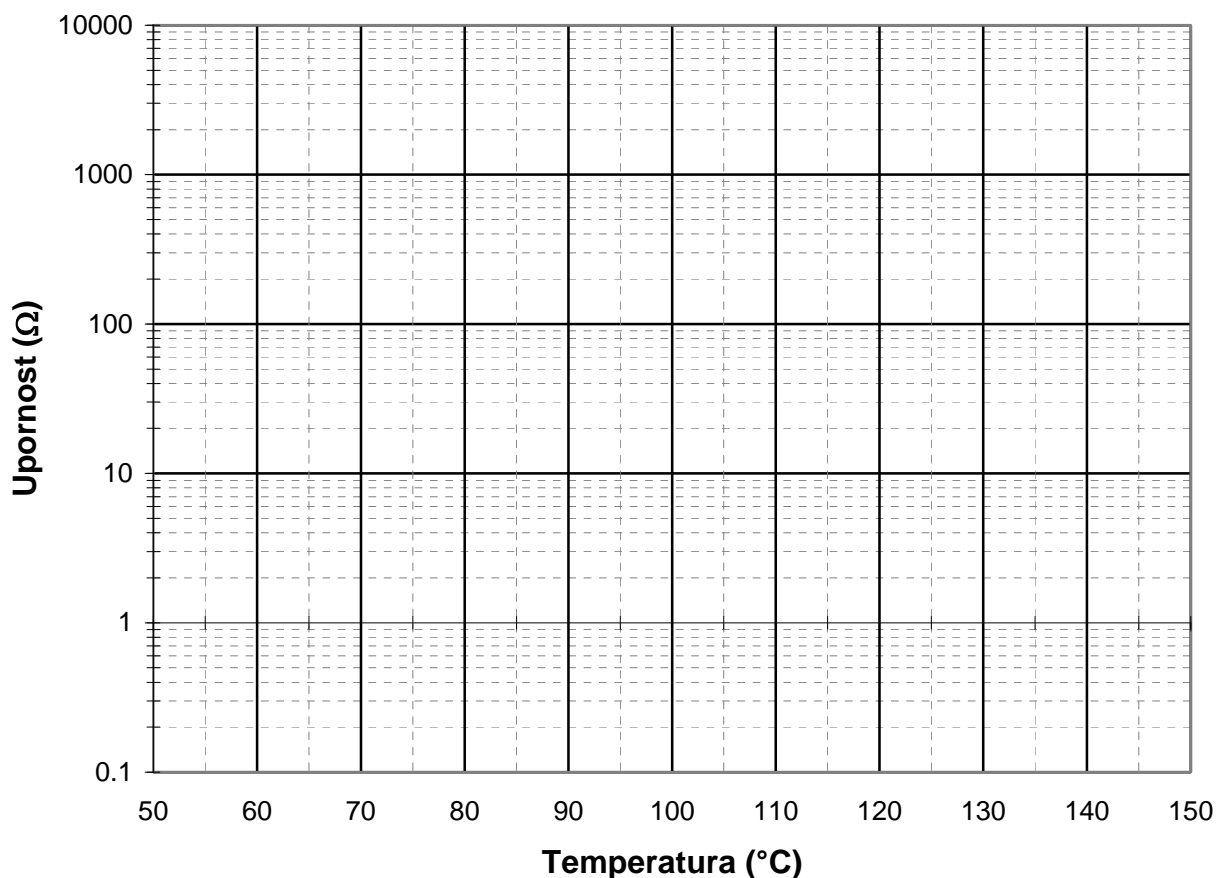
1. zgornja in zadnja plošča temperaturnega kalibratorja lahko doseže tudi 350 °C, pazi na nevarnost opeklin,
2. temperaturnemu kalibratorju ne izklaplaj napajanje dokler se mu temperatura ne spusti izpod 100 °C, zaradi prisilnega hlajenja kalibratorja,
3. temperaturni kalibrator doseže maksimalno temperaturo 350 °C v ~12 min,
4. temperaturni kalibrator se počasneje ohlaja kot segreva, čas ohlajanja od 350 °C do 100 °C ~15 min,
5. v okolici temperaturnega kalibratorja (okolica ~20 cm) ne sme biti prisotnih nobenih gorljivih snovi.

6. REZULTATI MERITEV IN IZRAČUNOV

Pri vsaki nastavljeni temperaturi temperaturnega kalibratorja izmerite upornost NTK in PTK termistorja.

Vrsta termistorja	NTK termistor		PTK termistor	
	K 227	NTC-TIV 0.5W 2.2KR	KTY81-122	PT 100
Temperatura termistorja (°C)	$R (\Omega)$	$R (\Omega)$	$R (\Omega)$	$R (\Omega)$
25	34420	2205	1006	109.8
50				
70				
90				
110				
130				
150				

Spreminjane upornosti NTK in PTK termistorja v odvisnosti od temperature prikažite še v grafični obliki.



7. VPRAŠANJA IN ODGOVORI

Vprašanja:

- Kaj je termistor?
- Kakšno je spreminjanje upornosti NTK termistorja z naraščanjem temperature?
- Kakšno je spreminjanje upornosti PTK termistorja z naraščanjem temperature?
- Kateri tip od uporabljenih termistorjev ima največjo temperaturno odvisno upornost?
- Kakšen bo vklopni tok PTK termistorja in kakšen NTK termistorja?
- V kakšne namene se v praksi uporabljajo termistorji?
- Kakšno karakteristiko imajo materiali za električne vodnike (PTK, NTK)?
- Zakaj se materialom z NTK karakteristiko zmanjšuje električna upornost s temperaturo in zakaj se materialom s PTK karakteristiko ta povečuje?

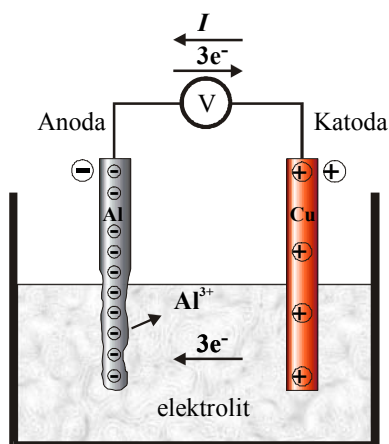
Odgovori:

XIV. VAJA

1. NASLOV VAJE

MERJENJE RAZLIKE ELEKTROKEMIČNEGA POTENCIALA DVEH KOVIN

2. NAČIN PREIZKUSA



3. SEZNAM INSTRUMENTOV IN NAPRAV

- posoda z raztopino jodirane morske soli in vode (elektrolit)
- vzorci kovin (Cu-baker, Al-aluminij, Fe-železo, Zn-cink)
- voltmeter

4. OPIS MERILNE METODE

Za materiale predvsem kovine je značilno, da imajo svojski električni potencial, ki ga imenujemo elektrokemični potencial. V kolikor se nam pojavi kombinacija dveh materialov z različnim elektrokemičnim potencialom in sta na eni strani električno povezani z elektrolitom na drugi strani pa galvansko s prevodnikom, požene razlika elektrokemičnih potencialov prisotnih materialov preko tako nastalega tokokroga električni tok. Material, ki ima nižji elektrokemični potencial predstavlja anodo, material z višjim potencialom pa katodo. Katoda zaradi višjega potenciala privablja elektrone iz anode. S tem anoda izgublja elektrone zaradi česar se atomi anode ionizirajo in se kot pozitivni ioni raztapljajo v elektrolitu. Prehajanje ionov v elektrolit pa predstavlja izgubo materiala anode. Z zunanjim električnim izvorom je možno ta proces še pospešiti, zavreti, ustaviti ali obrniti. Takšen primer se uporablja pri galvanskem nanašanju kovin (galvanizaciji).

Tok, ki ga požene razlika elektrokemičnih potencialov anode in katode je odvisen od električne prevodnosti elektrolita in galvanske povezave. Za odvijanje omenjenega procesa zadoščajo elektroliti v obliki pare, zračne vlage, prevodnih plinov, ...

Na osnovi različnih elektrokemičnih potencialov snovi delujejo galvanski členi, akumulatorji in procesi elektrokemične korozije.

Za praktične namene običajno zraven standardne elektrokemične vrste, ki velja le v idealnih razmerah, uporabljamo še elektrokemične vrste (galvanske vrste), ki predstavljajo obnašanje kovin in zlitin v morski vodi.

Elektrokemični potencial nekaterih kovin z morskovo vodo kot elektrolitom, je podan v tabeli 1. Za nekaj kombinacij kovin pa v tabeli 2. Vrednosti v obeh tabelah ustrezajo za temperaturno območje od 10 do 27 °C. Ker na vrednost potenciala razen elektrolita vpliva tudi stanje in čistoča materiala, so v tabeli podani intervali potencialov v katerih se lahko nahajajo vrednosti.

Tabela 1

Kovina	Potencial kovin (V)	
	Min	Max
Magnezij, Mg	-1.63	-1.60
Cink, Zn	-1.03	-0.98
Al zlitine	-1.00	-0.76
Železo, jeklo	-0.72	-0.60
Baker, Cu	-0.37	-0.30
Kositer, Sn	-0.33	-0.30
Svinec, Pb	-0.25	-0.19
Srebro, Ag	-0.15	-0.10
Titan, Ti	+0.04	+0.06
Platina, Pt	+0.18	+0.26
Grafit	+0.2	+0.3

Tabela 2

Kombinacija kovin	Potencial med kovinami (V)	
	Min	Max
Zn - Cu	-0.27	0.02
Zn - Fe	-0.43	-0.26
Zn - Cu	-0.73	-0.61
Al - Fe	-0.4	-0.04
Al - Cu	-0.7	-0.39
Fe - Cu	-0.42	-0.23

5. IZVEDBA PREIZKUSA

Elektrodi iz dveh različnih kovin potopimo v raztopino vode in jodirane morske soli ter izmerimo razliko potencialov na prostih koncih elektrod, ki niso potopljeni v raztopino. Potencialno razliko izmerimo za vse možne kombinacije elektrod iz različnih kovin in za vsako kombinacijo določimo katera elektroda predstavlja anodo in katera katodo.

6. REZULTATI MERITEV IN IZRAČUNOV

Kombinacija elektrod	Al - Zn		Al - Fe		Al - Cu		Zn - Fe		Zn - Cu		Fe - Cu	
Vrsta elektrode												
Razlika potencialov (V)												

7. VPRAŠANJA IN ODGOVORI

Vprašanja:

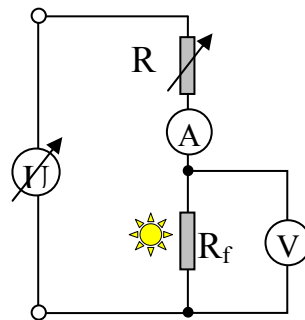
- Kakšen potencial ima anoda glede na katodo?
- Za katero kombinacijo elektrod je izmerjena potencialna razlika največja?
- Kateri material je obstojnejši glede na elektrokemični potencial?

XV. VAJA

1. NASLOV VAJE

MERJENJE ODVISNOSTI UPORNOSTI MATERIALA OD OSVETLJENOSTI

2. MERILNA SHEMA



3. SEZNAM INSTRUMENTOV IN NAPRAV

- R_f - svetlobno odvisni upor (fotoupor)
- R - zaščitni upor
- A - ampermeter
- V - voltmeter
- U - napetostni vir
- - svetlobni vir

4. OPIS MERILNE METODE

Pri nekaterih materialih je električna upornost odvisna od osvetljenosti. Elektronske elemente, pri katerih ta pojav izkoriščamo, imenujemo fotoupori. Fotoupori so polprevodniški elementi, ki pri nizki osvetljenosti slabo prevajajo električni tok. Z večanjem osvetljenosti pa jim upornost nelinearno pada. V primeru konstantne osvetljenosti pa je I/U karakteristika fotoupora linearna kar pomeni, da je upornost konstantna. Fotoupori so zelo občutljivi na spremembo osvetljenosti, vendar je sprememba upornosti pri nenadni spremembi osvetljenosti nekoliko časovno zakasnjena, kar moramo upoštevati pri merjenju upornosti fotoupora.

Običajno se za izdelavo fotoupora uporabljajo materiali kot so: CdS (kadmijev sulfid), CdSe (kadmijev selenid) in PbS (svinčev sulfid).

5. IZVEDBA PREIZKUSA

Fotoupor priključimo po merilni shemi na napetostni vir in ga osvetlimo. Pri meritvi najprej pri maksimalni osvetljenosti fotoupora nastavimo z uporom R izbrano vrednost toka, ki še ne

