



Praktikum

ELEKTROTEHNIKA in VARNOST

Praktikum je izvajan v Laboratoriju za električna omrežja in naprave Katedre za elektroenergetske sisteme in naprave Fakultete za elektrotehniko Univerze v Ljubljani.

Študent(ka): _____

študijsko leto: 2017/18

Prisotnost na vajah (100 %): ☐ DA ☐ NE

Vaje oddane pravočasno: ☐ DA ☐ NE

Pregledano: _____

Ocena: _____

Podpis: _____

Praktikum mora biti oddan vsaj 14 dni pred opravljanjem pisnega dela izpita!

Pripravil:
doc. dr. Matej B. Kobav

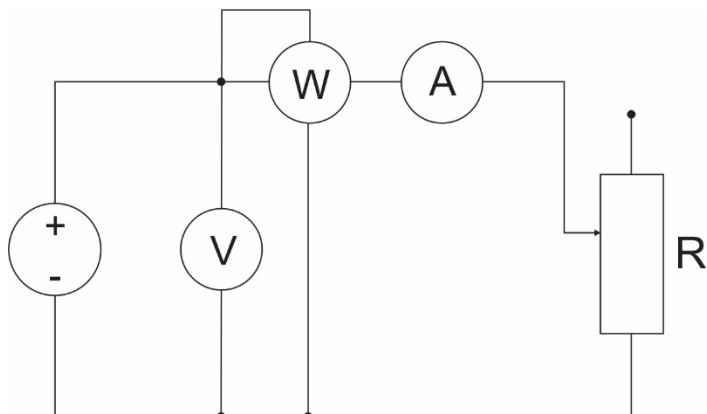
Ljubljana, 2017

VAJA 1

NAPETOSTNI VIRI, MERJENJE NAPETOSTI, TOKOV IN MOČI

Po spodnji shemi (Slika 1) priključite v tokokrog vse potrebne elemente. Najprej povežite tokovno pot!

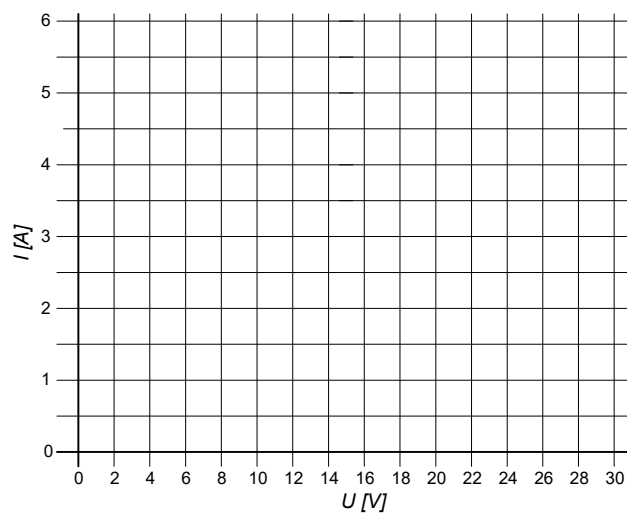
S pomočjo **vrtljivih gumbov** na viru napetosti nastavljate napetost, ki jo odčitavate na V-metru. Pri tem merite tok skozi breme in moč, ki se porablja na bremenu. V tabelo poleg meritev vnesite še izračunano moč na bremenu in razliko med odčitano in izračunano vrednostjo moči. Narišite tudi graf odvisnosti toka od napetosti in moči od napetosti ($I=f(U)$ in $P=f(U)$). Za vsako izmerjeno vrednost izračunajte tudi upornost bremena.



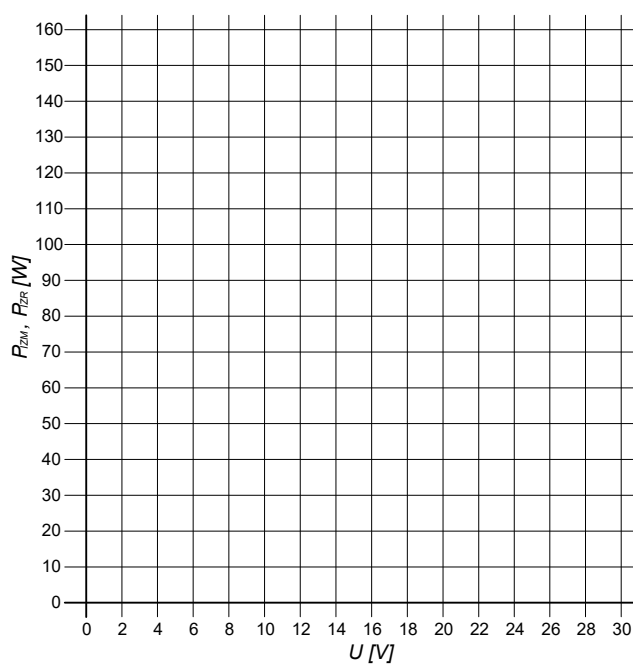
Slika 1: Priključna shema za merjenje moči

meritev	U [V]	I [A]	P_{IZR} [W]	P_{IZM}			ΔP [W]	R [Ω]
				P_{IZM} [del]	k [W/del]	P_{IZM} [W]		
1	0,0							-----
2	2,0							
3	4,0							
4	6,0							
5	8,0							
6	10,0							
7	12,0							
8	14,0							
9	16,0							
10	18,0							
11	20,0							
12	22,0							
13	24,0							
14	26,0							
15	28,0							
16	30,0							

$$P_{IZR} [W] = U [V] \cdot I [A] \quad P_{IZM} [W] = P_{IZM} [del] \cdot k [W / del] \quad \Delta P [W] = |P_{IZM} [W] - P_{IZR} [W]| \quad R [\Omega] = \frac{U [V]}{I [A]}$$



Graf 1: Odvisnost toka od napetosti



Graf 2: Odvisnost moči od napetosti

INSTRUMENTI:

Vir napetosti:

W-meter:

V-meter:

A-meter:

breme:

KOMENTAR:

VAJA 2A

MERJENJE PRESTAVE TRANSFORMATORJA

Transformator

Transformator je priprava, ki lahko nizko izmenično napetost pretvori v visoko ali obratno. Transformator je sestavljen iz dveh tuljav - primarne in sekundarne, ki sta povezani z zaključnim železnim jedrom. Ko na primarno tuljavo (N_1) priključimo izvir izmenične napetosti U_1 , teče po primarni tuljavi spremenljiv tok I_1 , ki v železnem jedru ustvarja spremenljivo magnetno polje $U_1 = -N_1 \cdot \frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$. V zaključnem železnem jedru se magnetno polje prenese iz primarne do sekundarne tuljave praktično brez izgub. Spremenljiv magnetni pretok v sekundarni tuljavi inducira izmenično napetost na koncih sekundarne tuljave $U_2 = -N_2 \cdot \frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$.

Spremenljiv magnetni pretok na sekundarni strani je praktično enak pretoku na primarni strani, zato iz zvez za napetosti U_1 in U_2 dobimo

$$U_2 = \left(\frac{N_2}{N_1} \right) \cdot U_1$$

Napetost na sekundarni tuljavi neobremenjenega transformatorja je mnogokratnik napetosti na primarni tuljavi. Mnogokratnik je razmerje števila obojev (N_2 / N_1), večja napetost je tam, kjer je večje število obojev. Če se napetost poveča, se tok zmanjša.

POTEK VAJE

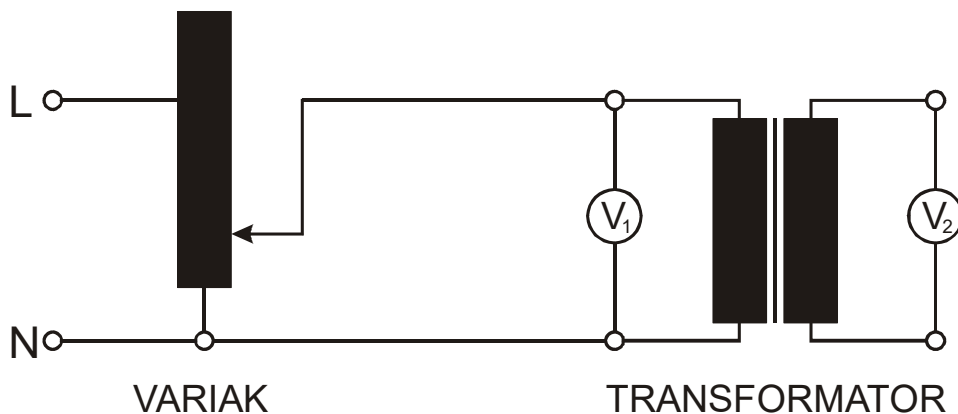
Izračun prestave s spreminjanjem vhodne napetosti na primarni tuljavi, v odvisnosti izhodne napetosti na sekundarni tuljavi.

Enačba za izračun prestave: $n = \frac{N_1}{N_2}$; $\frac{N_1}{N_2} = \frac{U_1}{U_2} \Rightarrow N_1 = \frac{U_1 \cdot N_2}{U_2}$

$$n = \frac{U_1 \cdot N_2}{U_2 \cdot N_2} \quad \boxed{n = \frac{U_1}{U_2}}$$

Vezje:

Najprej sestavimo vezje (po spodnji shemi). Na variak najprej priključimo primarne sponke (P) transformatorja, nato na sekundarne sponke (S) priključimo drugi V-meter in na koncu na primarne sponke priključimo še prvi V-meter. S pomočjo variaka nastavljamo napetost U_1 , ki jo odčitavamo na prvem V-metru.



Izvedite meritve za različne napetosti na primarni strani transformatorja. Število meritev je določeno s spodnjo tabelo, ki mora biti na koncu vaje polna!

Meritev	$U_1[V]$	$U_1[V]$ (dejanska)	$U_2[V]$	n
1.	5,0			
2.	10,0			
3.	20,0			
4.	30,0			
5.	40,0			
6.	50,0			
7.	60,0			
8.	70,0			
9.	80,0			
10.	100,0			
11.	120,0			
12.	140,0			
13.	160,0			
14.	180,0			
15.	200			
16.	220			
17.	240			
18.	250			
POVPREČNA PRESTAVA				

SEZNAM INŠTRUMENTOV

- variak:
- transformator:
- voltmeter 1:
- voltmeter 2:

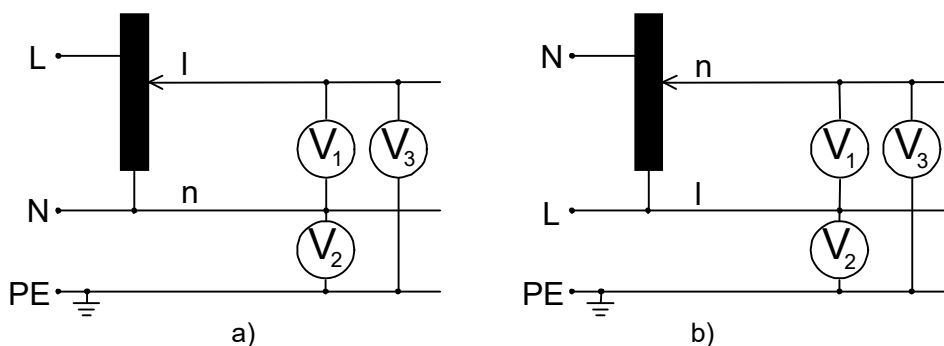
KOMENTAR:

VAJA 2B

IZMENIČNI NAPETOSTNI VIR, MERJENJE NAPETOSTI

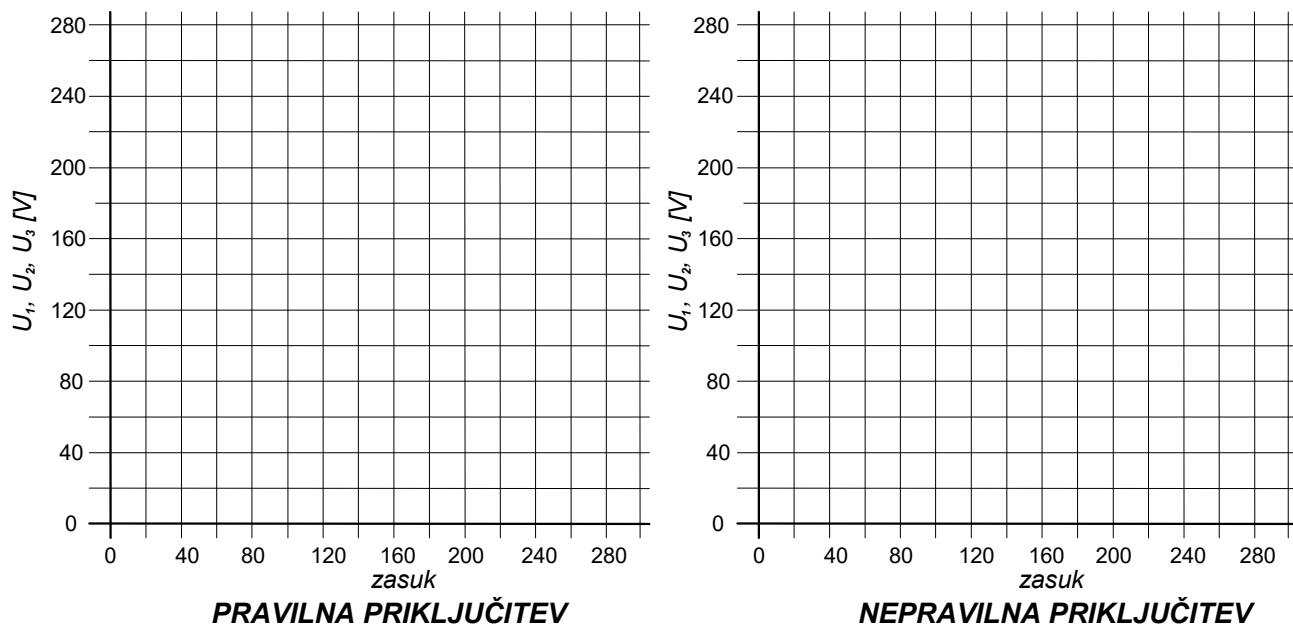
Nastavljalni transformator oz. variak je zelo pogost vir izmenične napetosti. Napetost na izhodu je zvezno regulirana od 0 do cca. 130% vhodne (primarne) napetosti. Pri enofaznem variaku je zelo pomembno, kako priključimo fazni in ničelni vodnik, saj dobimo pri nepravilni vezavi napačno karakteristiko, ki je lahko nevarna celo človeku.

Pri vaji izmerite karakteristiki za obe spodaj narisani vezji. Na sliki 2a je narisana pravilna vezava variaka, na sliki 2b pa nepravilna vezava. Na izhodu variaka merite napetosti med faznim (L) in ničelnim (N), med ničelnim (N) in ozemljitvenim (PE) ter med faznim (L) in ozemljitvenim vodnikom (PE). Tabeli dodajte še graf za obe vezavi. Vajo izvajajte, ko variak ni obremenjen (odprte sponke).



Slika 2: Pravilna in nepravilna priključitev variaka

	PRAVILNA PRIKLJUČITEV			NEPRAVILNA PRIKLJUČITEV		
zasuk	U_1 [V]	U_2 [V]	U_3 [V]	U_1 [V]	U_2 [V]	U_3 [V]
0						
20						
40						
60						
80						
100						
120						
140						
160						
180						
200						
220						
240						
260						
280						
300						



Graf 3: Potek napetosti pri pravilni in nepravilni priključitvi variaka

INSTRUMENTI:

Variak:

V-meter 1:

V-meter 2:

V-meter 3:

KOMENTAR:

VAJA 3

MERJENJE NEPREKINJENOSTI ZAŠČITNIH VODNIKOV, VODNIKOV ZA GLAVNO IN DODATNO IZENAČEVANJE POTENCIALOV TER OZEMLJITVENIH VODNIKOV

Zgoraj omenjeni vodniki so pomemben del zaščitnega sistema, ki preprečuje nastanek za človeka in živali nevarnih napetosti v trajanju, ki lahko povzroči nezaželene posledice na živem organizmu. Seveda pa ti vodniki lahko uspešno služijo svojemu namenu le, če so pravilno dimenzionirani in pravilno vezani oziroma neprekinjeni, zato je pomembno testirati povezave. Zaščitne vodnike združujemo v električnih inštalacijah v zgradbah na zbiralki za glavno izenačitev potenciala (GIP), zbiralkah zaščitnih vodnikov (ZB) in dodatnega izenačenja potencialov. Neprekinjenost zaščitnega vodnika, glavnega in dodatnega vodnika za izenačenje potencialov ter ozemljitvenega vodnika ugotavljamo z merjenjem upornosti. Vrednost upornosti zaščitnih vodnikov ne sme znašati več kot $2\ \Omega$.

Opozorilo!

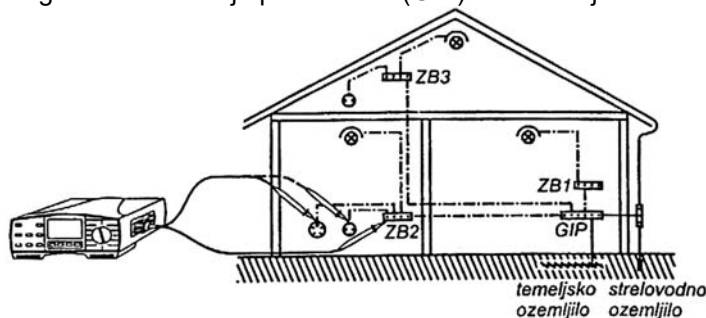
Prepričaj se, da merjeni objekt pred pričetkom merjenja ni pod nevarno napetostjo dotika. Demonstracijsko tablo izključi iz omrežja!

Pomembno!

- V primeru prisotne napetosti, višje od 10 V med priključenimi sponkami, po pritisku na tipko **START** na prikazalniku ne bo prikazanega rezultata. Prikaže se znak »!
« in sporočilo **prikl. napetost > 10 V!** Vklopi se tudi zvočni signal.
- Instrument je nastavljen na najvišjo dopustno upornost vodnikov $2\ \Omega$. V primeru, da je izmerjena vrednost upornosti nad najvišjo dopustno, se izpiše vrednost in opozorilo **izven dop. vrednosti!**
- V primeru, da je izmerjena vrednost višja od merilnega dosega (odprte sponke), se na prikazalniku izpiše vrednost **>2000 Ω !**

POTEK VAJE

1. Poveži merilne vezi (univerzalni merilni kabel) na merilni instrument.
2. Nastavi preklopnik v položaj **R±200mA/CONTINUITY**.
3. Modro in zeleno merilno vez kratko skleni.
4. Poveži merilne vezi na demonstracijsko tablo glede na zahtevano meritev:
 - a) Meritev med zbiralko zaščitnih vodnikov (ZB3) in zaščito na računalniškem sistemu,
 - b) Meritev med zbiralko zaščitnih vodnikov (ZB3) in zaščito na vtičnici 3,
 - c) Meritev med zbiralko zaščitnih vodnikov (ZB2) in zaščito na vtičnici 2,
 - d) Meritev med zbiralko zaščitnih vodnikov (ZB2) in zaščito na luči 2,
 - e) Meritev med zbiralko zaščitnih vodnikov (ZB2) in zaščito na pralnem stroju,
 - f) Meritev med zbiralko zaščitnih vodnikov (ZB1) in zaščito na trifaznem motorju,
 - g) Meritev med zbiralko zaščitnih vodnikov (ZB1) in zaščito na luči 1,
 - h) Meritev med zbiralko zaščitnih vodnikov (ZB1) in zaščito na vtičnici 1,
 - i) Meritev med zbiralko zaščitnih vodnikov (ZB1) in zaščito na 3-fazni vtičnici,
 - j) Meritev med zbiralko zaščitnih vodnikov (ZB1) in zbiralko zaščitnih vodnikov (ZB2),
 - k) Meritev med zbiralko zaščitnih vodnikov (ZB2) in zbiralko zaščitnih vodnikov (ZB3),
 - l) Meritev med zbiralko za glavno izenačenje potencialov (GIP) in zbiralko zaščitnih vodnikov ZB2,
 - m) Meritev med zbiralko za glavno izenačenje potencialov (GIP) in ozemljitvijo plinovoda,
 - n) Meritev med zbiralko za glavno izenačenje potencialov (GIP) in ozemljitvijo vodovodne inštalacije,
 - o) Meritev med zbiralko za glavno izenačenje potencialov (GIP) in radiatorjem.



5. Pritisni tipko **START**. Instrument izvede meritev in prikaže rezultat. Meritev se izvede avtomatsko v dveh korakih, v vsakem koraku pa instrument avtomatsko obrne polariteto.

Izpolni tabelo ter vpiši izmerjene in korigirane rezultate. Za korekcijo rezultatov glej tabelo korekcij.

meritev	mesto meritve	izmerjeni rezultat R (Ω)	korigirani rezultat R (Ω)	rezultat ustreza DA / NE
a	med ZB3 in ohišjem računalnika			
b	med ZB3 in ozemljitvijo na vtičnici 3			
c	med ZB2 in ozemljitvijo na vtičnici 2			
d	med ZB2 in ozemljitvijo na luči 2			
e	med ZB2 in ozemljitvijo na pralnem stroju			
f	med ZB1 in ozemljitvijo na trifaznem motorju			
g	med ZB1 in ozemljitvijo na luči 1			
h	med ZB1 in ozemljitvijo na vtičnici 1			
i	med ZB1 in ozemljitvijo na 3-fazni vtičnici			
j	med ZB1 in ZB2			
k	med ZB2 in ZB3			
l	med GIP in ZB2			
m	med GIP in ozemljitvijo plinovoda			
n	med GIP in ozemljitvijo vodovodne inštalacije			
o	med GIP in ozemljitvijo radiatorja			

KOREKCIJA REZULTATOV, DOBLJENIH PRI MERITVAH NA ELEKTRIČNIH INŠTALACIJAH

Pri meritvah električnih inštalacij moramo vse izmerjene rezultate, ne glede na uporabljeni merilni instrument in ne glede na merjeni parameter korigirati pred primerjanjem z dopustno vrednostjo. Korigiranje je potrebno zaradi pogreškov meritve. Dopustno odstopanje in iz tega izhajajoče potrebno korigiranje izmerjenih rezultatov, prikazuje spodnja tabela.

Tabela korekcije izmerjenih rezultatov

Parameter	Dopustno odstopanje	Potrebno korigiranje izmerjenega rezultata
Upornost zaščitnih vodnikov, vodnikov za glavno in dodatno izenačevanje potencialov ter ozemljitvenih vodnikov	$\pm 30 \%$	$R \times 1,3$

Kjer je:

R z merjenim instrumentom izmerjeni rezultati

KOMENTAR:

VAJA 4

MERJENJE IZOLACIJSKE UPORNOSTI

Osnovni element varnosti človeka in živali pred neposrednim in posrednim dotikom delov pod napetostjo je ustrezna izolacija med deli pod napetostjo in človeku dostopno okolico (izpostavljeni prevodni deli, tuji prevodni deli, itd.). Pomembna je tudi izolacija med samimi deli pod napetostjo, ki preprečuje kratke stike ali tudi delno odtekanje tokov (uhajavi in okvarni tokovi).

Raznovrstni izolacijski materiali se uporabljajo v različnih primerih kot so izolacija vodnikov, spojnih elementov, izolacija med kontakti v razdelilnih dozah, stikalih, vtičnicah, izolacijska ohišja itd. Ne glede na material pa mora biti izolacijska upornost v vsakem primeru skladna s predpisi, zato je potrebno izvajati meritve izolacijske upornosti.

Meritve izolacijske upornosti spadajo med temeljne meritve na električnih inštalacijah in napravah. Izolacijsko upornost električne inštalacije merimo pred prvo priključitvijo inštalacije na omrežno napetost.

Električno izolacijsko upornost električne inštalacije merimo med faznimi vodniki, na primer L1 proti L2, L2 proti L3, L3 proti L1 ter med faznimi in nevtralnimi vodnikom, na primer L1 proti N, L2 proti N in L3 proti N pri trifaznih tokokrogih ali L1 proti N pri enofaznih tokokrogih. Prav tako merimo izolacijsko upornost električne inštalacije med vsakim faznim vodnikom in zemljo. Pri meritvah lahko povežemo fazne vodnike z nevtralnim in merimo proti ozemljenemu PE-vodniku, oziroma pri TN-C sistemu povežemo fazne vodnike in merimo proti ozemljenemu PEN-vodniku. Podobno merimo v enofaznih tokokrogih.

Vrednost izolacijske upornosti na inštalaciji, katere nazivna napetost je do 500 V, ne sme biti manjša od 0,5 MΩ.

Opozorilo!

Pred pričetkom meritev morajo biti izpolnjeni naslednji pogoji na demonstracijski tabli:

- v stikalnem bloku S1 izklopite FID stikalo,
- v stikalnem bloku S2 izklopite FID stikalo,
- v stikalnem bloku S1 in S3 izklopite inštalacijske odklopnike,
- demonstracijsko tablo priključite na izvor napetosti.

Pomembno!

- V primeru prisotne napetosti, višje od 10 V med priključenimi sponkami, po pritisku na tipko **START** na prikazalniku ne bo prikazanega rezultata. Prikaže se znak »!« in sporočilo **prikl. napetost > 10 V!** Vklopi se tudi zvočni signal. Izklopi instrument!
- V primeru, da je izmerjena vrednost višja od merilnega dosega (odprte sponke ali dobra izolacija), se na prikazalniku izpiše vrednost **> 1000 MΩ**
- Instrument je nastavljen na **0,5 MΩ** pri preizkusni enosmerni napetosti 500 V. V primeru, da je izmerjena vrednost izolacijske upornosti pod dopustno, se izpiše vrednost in opozorilo **vrednost pod dopustno**

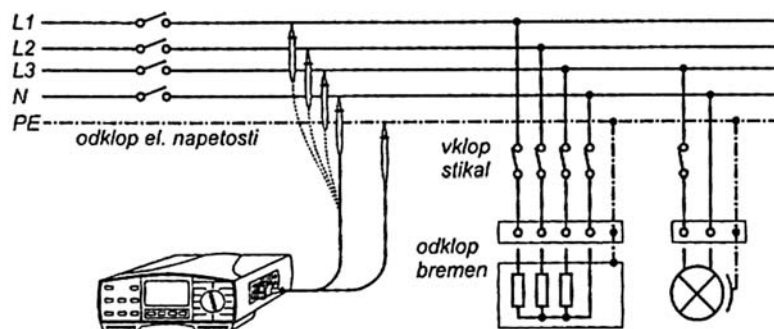
Opomba:

Fazni kontakt na enofazni vtičnici je na levi strani, za 3-fazno vtičnico je razporeditev faz narisana na demonstracijski tabli poleg vtičnice!

POTEK VAJE

1. Poveži merilne vezi (univerzalni merilni kabel) na merilni instrument.
2. Prestavi preklopnik na položaj **RESISTANCE**.
3. Modro in zeleno merilno vez kratko skleni.
4. Poveži merilne vezi na demonstracijsko tablo glede na meritve
 - a) Meritev med faznim (L1) in nevtralnim (N) vodnikom na vtičnici 3,
 - b) Meritev med faznim (L1) in zaščitnim (PE) vodnikom na vtičnici 3,
 - c) Meritev med faznim (L1) in nevtralnim (N) vodnikom na vtičnici 2,
 - d) Meritev med faznim (L1) in zaščitnim (PE) vodnikom na vtičnici 2,
 - e) Meritev med faznim (L1) in nevtralnim (N) vodnikom na vtičnici 1,
 - f) Meritev med faznim (L1) in zaščitnim (PE) vodnikom na vtičnici 1,
 - g) Meritev med faznim (L1) in zaščitnim (PE) vodnikom na pralnem stroju,
 - h) Meritev med faznim (L1) in zaščitnim (PE) vodnikom na 3-faznem motorju,
 - i) Meritev med faznim (L2) in nevtralnim (N) vodnikom na 3-fazni vtičnici,

- j) Meritev med faznim (L1) in faznim (L2) vodnikom na 3-fazni vtičnici,
- k) Meritev med faznim (L2) in faznim (L3) vodnikom na 3-fazni vtičnici,
- l) Meritev med faznim (L3) in nevtralnim (N) vodnikom na 3-fazni vtičnici.



5. Pritisni na tipko **START** in jo spusti. Instrument izvede meritev in prikaže rezultat.

Izpolni tabelo ter vpiši izmerjene in korigirane rezultate. Za korekcijo rezultatov glej tabelo korekcij.

meritev	mesto meritve	izmerjeni rezultat R (MΩ)	korigirani rezultat R (MΩ)	rezultat ustreza DA / NE
a	med L1 in N vodnikom na vtičnici 3			
b	med L1 in PE vodnikom na vtičnici 3			
c	med L1 in N vodnikom na vtičnici 2			
d	med L1 in PE vodnikom na vtičnici 2			
e	med L1 in N vodnikom na vtičnici 1			
f	med L1 in PE vodnikom na vtičnici 1			
g	med L1 in PE vodnikom na pralnem stroju			
h	med L1 in PE vodnikom na 3-faznem motorju			
i	med L2 in N vodnikom na 3-fazni vtičnici			
j	med L1 in L2 vodnikom na 3-fazni vtičnici			
k	med L2 in L3 vodnikom na 3-fazni vtičnici			
l	med L3 in N vodnikom na 3-fazni vtičnici			

KOREKCIJA REZULTATOV, DOBLJENIH PRI MERITVAH NA ELEKTRIČNIH INŠTALACIJAH

Parameter	Dopustno odstopanje	Potrebno korigiranje izmerjenega rezultata
Izolacijska upornost	$\pm 30 \%$	$R \times 0,7$

kjer je:

R z merilnim instrumentom izmerjeni rezultati

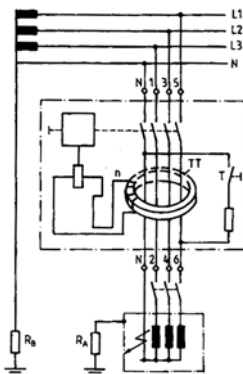
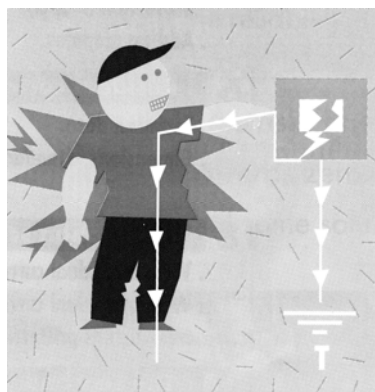
KOMENTAR:

VAJA 5

TOKOVNO ZAŠČITNO STIKALO - RCD (FID)

V električnih inštalacijah za zaščito s samodejnim odklopom napajanja uporabljamo napravo za diferenčno tokovno zaščito, ki je namenjena zaščititi človeka in živali pred električnim udarom.

FID stikalo (tokovno zaščitno stikalo) proži okvarni tok, ki steče od faznega na zaščitni vodnik ali po kakšni drugi poti v zemljo. Zaradi visoke stopnje zaščite pred električnim udarom, ki jo dosežemo z uporabo teh stikal, so danes nepogrešljiva v inštalacijah stanovanjskih, poslovnih in podobnih prostorov. V določenih primerih je uporaba teh stikal obvezna (TT sistem ozemljitve).



Sestavni deli FID zaščitnega stikala so: diferenčni transformator, kontaktni del in vklopno-izklopni mehanizem z elektromagnetnim sprožnikom. V normalnem obratovanju je vsota tokov enaka nič. Ob okvari steče okvarni tok po zaščitnem vodniku mimo tokovnega zaščitnega stikala in vsota tokov ni več nič. Pri zadosti velikem diferenčnem toku I_{Δ} (toku, ki teče mimo stikala po zaščitnem vodniku) se stikalo izklopi.

Slika: Zgradba in vezalna shema RCD – tokovnega zaščitnega stikala

Kratkostični tokovi (med faznimi vodniki ali med faznim in nevtralnimi vodnikom) ne povzročijo tokovnih nesimetrij, zato tokovno zaščitno stikalo ne izklopi. Inštalacijo moramo torej ščititi pred tokovi kratkih stikov z varovalkami ali inštalacijskimi odklopniki. Izklopni časi FID-zaščitnih stikal so izredno kratki, običajno okoli 30 ms.

PREVERJANJE DELOVANJA NAPRAV ZA DIFERENČNO TOKOVNO ZAŠČITO

Za zagotavljanje uspešne zaščite z napravami za diferenčno tokovno zaščito (FID stikali) je potrebno testirati naslednje parametre:

- napetost dotika U_c ,
- izklopni čas zaščitnega stikala t_{iz} ,
- izklopni tok zaščitnega stikala $I_{\Delta} izk$,
- ozemljitveno upornost R_A .

Pred pričetkom preverjanja delovanja FID stikal morajo biti že na teh tokokrogih opravljene meritve neprekinjenosti zaščitnih vodnikov in meritve izolacijske upornosti.

Meritev napetosti dotika U_c

Napetost dotika U_c je napetost, ki se v primeru okvare porabnika pojavi na izpostavljenih prevodnih delih električnih porabnikov in jo lahko premosti človeško telo. Zaradi okvare namreč teče okvarni tok preko zaščitnega vodnika ter ozemljila v zemljo. Okvarni tok povzroči padec napetosti na ozemljitveni upornosti in upornosti zaščitnega vodnika. Ta padec imenujemo napetost okvare, del te napetosti pa lahko premosti človeško telo in jo zato imenujemo napetost dotika. Meritev napetosti dotika merimo samo v TT-sistemi.

Merjenje izklopnega časa FID stikala t_{iz}

Izklopni čas FID stikala je čas, v katerem izklopi stikalo potem, ko diferenčni okvarni tok že doseže nazivno vrednost. Postopek merjenja je enak kot pri meritvi napetosti dotika, le da je tukaj merilni tok enak $0,5 I_{\Delta n}$, $I_{\Delta n}$, $2 I_{\Delta n}$ ali $5 I_{\Delta n}$.

Glede na zahtevani izklopilni čas RCD stikala ločimo dva tipa in sicer:

- Standardni tip (nezakasneni izklop)
- Selektivni tip (zakasneni izklop)

Dopustne vrednosti izklopnih časov so navedene v spodnji tabeli:

Tip FID stikala	$I_{\Delta n}$	$2I_{\Delta n}$	$5I_{\Delta n}^*$	Opomba
standardni	0,3 s	0,15 s	0,04 s	maks.dopustni čas izklopa
selektivni	0,5 s	0,2 s	0,15 s	maks.dopustni čas izklopa
	0,13 s	0,06 s	0,05 s	min.dopustni čas izklopa

*..... za vrednosti $I_{\Delta n} \leq 30$ mA se namesto $5I_{\Delta n}$ uporablja vrednost 0,25 A

Merjenje izklopnega toka I_{Δ}

Izklopni tok naprave za diferenčno tokovno zaščito je najnižji diferenčni tok, pri katerem zaščitna naprava izklopi.

Princip merjenja in priključitev merilnega instrumenta je enak kot pri meritvi napetosti dotika, le da tukaj merilni instrument začne vrivati polovični nazivni tok, nato pa ga dviga do izklopa zaščitnega stikala.

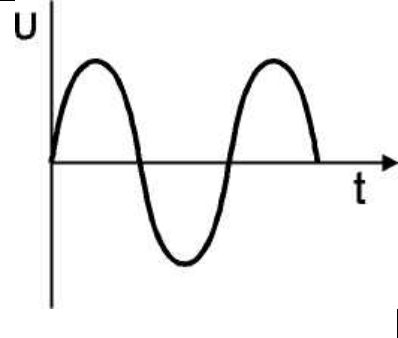
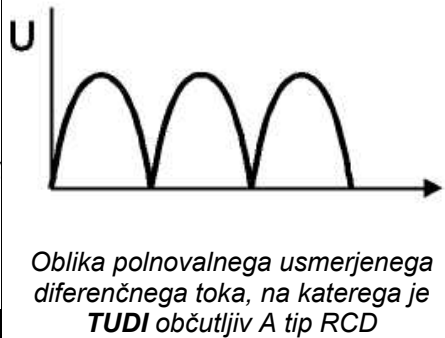
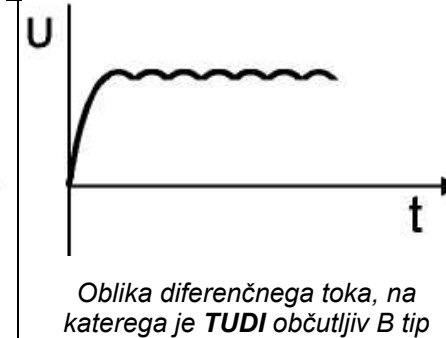
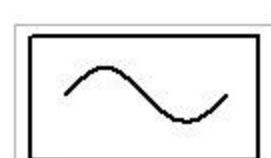
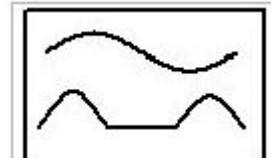
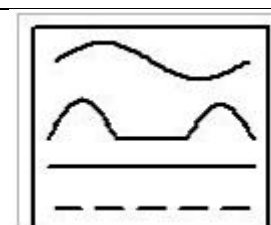
Če je izmerjeni izklopni tok izven predpisanega območja, je potrebno preveriti zaščitno stikalo, pravilnost izvedbe električne inštalacije in stanje na priključenih električnih porabnikih, saj lahko le-ti povzročajo odtekanje določenega okvarnega ali uhajavega toka.

Dopustna vrednost izklopnega toka je odvisna od tipa zaščitnega stikala AC, A ali B kot sledi:

$$I_{\Delta} = (0,5 \text{ do } 1) \times I_{\Delta N} \quad \text{AC tip}$$

$$I_{\Delta} = (0,35 \text{ do } 1,4) \times I_{\Delta N} \quad \text{A tip}$$

$$I_{\Delta} = (0,5 \text{ do } 2) \times I_{\Delta N} \quad \text{B tip}$$

AC tip	A tip	B tip
	 Oblika polnovalnega usmerjenega diferenčnega toka, na katerega je TUDI občutljiv A tip RCD	 Oblika diferenčnega toka, na katerega je TUDI občutljiv B tip RCD
Občutljiv na izmenični diferenčni tok. To je tip, ki je v praksi najpogostejše uporabljen, saj večina inštalacij napaja porabnike s sinusno izmenično napetostjo.	Občutljiv je poleg na izmenični tok tudi na polvalno ali polnovalno usmerjeni izmenični tok. V praksi se ga uporablja redkeje, saj je sorazmerno malo porabnikov napajanih z napetostjo takšne oblike (npr. DC motorji, galvanizacija...)	Občutljiv je poleg na izmenični in usmerjeni izmenični tok tudi na čisti enosmerni ali približno enosmerni diferenčni tok. V praksi je zelo redko uporabljen (npr. v primeru napajanja s trofazno polnovalno usmerjeno napetostjo).
		

Merjenje ozemljitvene upornosti

V primeru uporabe FID stikala je ustrezna ozemljitvena upornost temeljnega pomena za uspešno zaščito pred električnim udarom. Če je ozemljitvena upornost previsoka, lahko v primeru prehoda okvarnega toka iz okvarnega mesta v zaščitni vodnik in nato preko ozemljila v zemljo, nastane previsok padec napetosti na ozemljitveni upornosti. Ta padec napetosti se preko zaščitnega vodnika prenaša na izpostavljene prevodne dele in tako predstavlja neposredno nevarnost električnega udara.

Maksimalna dopustna vrednost ozemljitvene upornosti R_A izpostavljenih prevodnih delov pri uporabi naprav za diferenčno tokovno zaščito je enolično določena, če sta znana naslednja podatka:

- Nazivni diferenčni tok $I_{\Delta n}$ vgrajene naprave (FID stikala).
- Maksimalna dovoljena napetost dotika U_L :
 - o **normalne razmere** 50 V izmenično; 120 V enosmerno (suhi ali občasno vlažni prostori, suha koža, sem spadajo stanovanjski, poslovni objekti...)
 - o **neugodne razmere**: 25 V izmenično; 60 V enosmerno (mokri prostori, mokra koža, sem spadajo inštalacije na prostem, gradbišča, kampi...)
 - o **zelo neugodne razmere**: 12 V izmenično; 30 V enosmerno (bazeni, kopališča...)

Tabela: Najvišje dopustne upornosti ozemljila in zaščitnega vodnika izpostavljenih prevodnih delov

Nazivni tok FID stikala $I_{\Delta n}$ (A)		0,01	0,03	0,1	0,3	0,5	1
Najvišja dopustna ozemljitvena upornost $R_A(\Omega)$, merjena na izpostavljenem prevodnem delu	$U_L = 50$ V	5000	1666	500	166	100	50
	$U_L = 25$ V	2500	833	250	83	50	25
	$U_L = 12$ V	1200	400	120	40	24	12

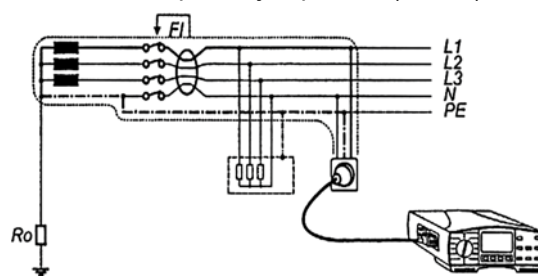
Vajo bomo izvedli v dveh prostorih z različnimi funkcijami in zahtevami!

Pomembno!

- Nazivna vhodna napetost je ≈ 220 V. Če na RCD stikalu ni napetosti (je izključen) oziroma demonstracijska tabla ni pod napetostjo, se pojavi sporočilo **napetost Ulpe < 100 V**.

POTEK VAJE

1. Izpolni tabelo s podatki za obe RCD stikali!
2. Na demonstracijski tabli prestavi vrsto ozemljitvenega sistema na TT-sistem in sicer odklopi povezavo **J1**. V stikalnem bloku 1 vklopi povezavo **M4**
3. Vklopi RCD zaščitni stikali v stikalnem bloku 1 in 2
4. S preizkusno tipko **T** na RCD stikalu preizkusi izklop naprave. S tem smo ugotovili, če naprava deluje, ni pa s tem preskušena učinkovitost naprave
5. Na instrument priključi »šuko upravljalce« in preklopnik prestavi na RCD. S pomočjo tipke **F1** (FUNC) izberi prvo meritev in sicer **napetost dotika**. Funkcija je izbrana, ko je v levem zgornjem kotu izpisan napis **RCD Uc**.
6. Izberi nazivni diferenčni tok $I_{\Delta n}$ z uporabo tipke **F2** ($I_{\Delta n}$). Tok je lahko nastavljen na 10, 30, 100, 300, 500 ali 1000 mA in je prikazan na vrhu prikazalnika. Velikost nazivnega diferenčnega toka nastavi glede na podatek ($I_{\Delta n}$), ki je naveden na RCD stikalu.
7. Poveži »šuko upravljalce« na testni objekt (demonstracijsko tablo) in sicer v **vtičnico 1** tako, da so komandne tipke zgoraj.
8. Pritisni na tipko **START** (na instrumentu) in jo spusti. Instrument izvede meritev in prikaže rezultat.
9. Izmerjeni rezultat vpiše v tabelo.
10. Na instrumentu s pomočjo tipke **F1** izberi meritev **izklopnega časa** in izvedi vajo, kot je opisano v točkah 7 in 8. Funkcija je izbrana, ko je izpisan napis **RCD t**. Instrument nastavi na preizkus pri **1x nazivnega toka!** **Zapiši merilni tok (mnogokratnik nazivnega dif. toka)!**
11. Na instrumentu s pomočjo tipke **F1** izberi meritev **izklopnega toka** in izvedi vajo, kot je opisano v točkah 7 in 8. Funkcija je izbrana, ko je izpisan napis **RCD I**.
12. Na instrumentu s pomočjo tipke **F1** izberi meritev **ozemljitvene upornosti** in izvedi vajo, kot je opisano v točkah 7 in 8. Funkcija je izbrana, ko je izpisan napis **RCD Rs**
13. **Vse meritve ponovi še na vtičnici 2!**
14. Izpolni tabelo ter vpiši izmerjene in korigirane rezultate. Za korekcijo rezultatov glej spodnjo tabelo.
15. Primerjaj izmerjene podatke z maksimalnimi oziroma minimalnimi vrednostmi in zapiši ugotovitve:



Podatki FID (RCD) zaščitnih stikal

	Stikalni blok 1	Stikalni blok 2
Oznaka		
Nazivni bremenski tok I_N		
Nazivna napetost U_N		
Nazivna vrednost diferenčnega toka $I_{\Delta N}$		

Tip (standardni/selektivni), vrsta izkl. toka	standardni	standardni
---	------------	------------

Izmerjene vrednosti

Parameter	Stikalni blok	Izmerjena vrednost	Korigirana vrednost	Maksimalna oziroma minimalna dopustna vrednost	rezultat ustreza DA / NE
Napetost dotika U_c	S1				
	S2				
Izklopni čas t_{iz}	* S1				
	* S2				
Izklopni tok I_{Δ}	S1		Sp. meja: _____ Zg. meja: _____		
	S2		Sp. meja: _____ Zg. meja: _____		
Ozemljitvena upornost R_s	S1				
	S2				

* merilni tok (mnogokratnik nazivnega diferenčnega toka)

KOREKCIJA REZULTATOV, DOBLJENIH PRI MERITVAH NA ELEKTRIČNIH INŠTALACIJAH

Parameter	Izmerjena veličina	Dopustno odstopanje	Korigiranje izmerjenega rezultata
Napetost dotika	U	+ 20/-0 % od U_L	$U + 5V$ ($U_L = 25V$) $U + 10V$ ($U_L = 50V$)
Izklopni čas RCD	t	± 10 % od t_L	$t + 0,1 t_L$
Izklopni tok RCD	I	± 10 % od $I_{\Delta N}$	$I + 0,1 I_{\Delta N}$ (zgornja meja) $I - 0,1 I_{\Delta N}$ (spodnja meja)
Ozemljitvena upornost	R	± 30 %	$R \times 1,3$

Kjer je:		Podatki za naši FID stikali	
		S1	S2
U_L	najvišja dopustna vrednost napetosti dotika (25 ali 50V)		
t_L	mejna dopustna vrednost izklopnega časa RCD		
$I_{\Delta N}$	nazivna vrednost izklopnega toka RCD		
R	z merilnim instrumentom izmerjeni rezultati upornosti		

KOMENTAR:

VAJA 6

MERJENJE IMPEDANCE OKVARNE ZANKE

Pri uporabi zaščitnih naprav za nadtokovno zaščito moramo izmeriti impedanco okvarne zanke in ugotoviti, če bo okvarni tok dovolj velik, da bo povzročil odklop naprave v času, krajšem od navedenega. Impedanca okvarne zanke zajema energetski vir – nizkonapetostno navitje transformatorja, fazni vodnik do mesta okvare in zaščitni vodnik med mestom okvare do energetskega vira. Dejansko pri tej meritvi merimo upornost in ne impedance okvarne zanke, kar je pri nižjih prerezih vodnikov dopustno, ker je merilni pogrešek zaradi majhnih induktivnosti vodnikov zanemarljiv.

Meritev upornosti okvarnih zank izvajamo tedaj, ko smo na vseh tokokrogih že izvedli meritve neprekinjenosti zaščitnih vodnikov. Meritev upornosti okvarnih zank izvajamo na vseh vtičnicah in fiksni priključkih (bojler, štedilnik...), ko je inštalacija pod napetostjo. Napravo za diferenčno tokovno zaščito (RCD oz. FID stikalo) moramo pri tej meritvi izločiti.

Dopustne upornosti okvarnih zank pri uporabi inštalacijskih odklopnikov so navedene v spodnji tabeli.

Opozorilo!

Pred pričetkom meritev morajo biti izpolnjeni naslednji pogoji na demonstracijski tabli:

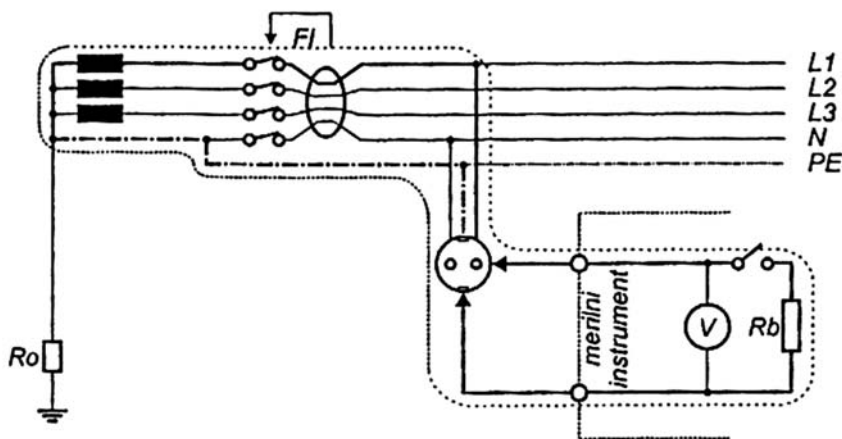
- Inštalacijska odklopnika VAR2 in VAR3 morata biti vklopljena,
- Povezava M3 mora biti sklenjena,
- Povezavi J1 in M2 morata biti sklenjeni,
- Ozemljitveni vezi VEZ 1 in VEZ 2 morata biti sklenjeni,
- Demonstracijska tabla mora biti pod napetostjo.

Pomembno!

- Nazivna vhodna napetost je ≈ 220 V. Če na porabniku ni napetosti (je izključen) oziroma demonstracijska tabla ni pod napetostjo, se pojavi sporočilo **napetost Ulpe < 100 V**.

POTEK VAJE

1. Prestavi preklopnik v položaj **Z_{LOOP}** in na prikazalniku se pojavi prikaz merjenja impedance okvarne zanke.
2. Poveži merilne vezi (univerzalni merilni kabel, modro in zeleno vez kratko skleni) na merilni instrument in na demonstracijsko tablo glede na meritev:
 - a) Meritev med faznim (L1) in zaščitnim (PE) vodnikom na 3-faznem motorju.
 - b) Meritev med faznim (L1) in zaščitnim (PE) vodnikom na 3-fazni vtičnici.
 - c) Meritev med faznim (L1) in zaščitnim (PE) vodnikom na 1-fazni vtičnici



3. Pritisni na tipko **START** in jo spusti. Instrument izvede meritev in prikaže rezultat.
4. Izpolni tabelo ter vpiši izmerjene in korigirane rezultate. Za korekcijo rezultatov glej spodnjo tabelo.

Rezultati meritev:

meritev	mesto meritve	Izmerjeni rezultat R (Ω)	Korigirani rezultat R (Ω)	Zaščitni element	Maksimalna dopustna vrednost	Rezultat ustreza DA / NE
1	3-f motor					
2	3-f vtičnica					
3	1-f vtičnica					

KOREKCIJA REZULTATOV, DOBLJENIH PRI MERITVAH NA ELEKTRIČNIH INŠTALACIJAH

Parameter	Dopustno odstopanje	Potrebno korigiranje izmerjenega rezultata
Impedanca okvarne zanke	$\pm 30 \%$	$R \times 1,3$

kjer je:

R z merjenim instrumentom izmerjeni rezultati

TABELA: Dopustne impedance okvarnih zank pri uporabi inštalacijskih odklopnikov tipov B in C.

Nazivni tok zaščite I (A)	Tip inštalacijskega odklopnika	
	B	C
	Zs [Ω] (0,2s)	Zs [Ω] (0,2s)
2	22	11
4	11	5,5
6	7,3	3,65
10	4,4	2,2
16	2,8	1,4
20	2,2	1,1
25	1,8	0,9
32	1,4	0,7
35	1,3	0,65
40	1,1	0,55
50	0,9	0,45
63	0,7	0,35

KOMENTAR:

VAJA 7

MERJENJE OZEMLJITVENE UPORNOSTI OZEMLJIL

Ozemljitev je eden najpomembnejših elementov zaščite človeka, živali in na omrežje priključene električne opreme, pred vplivi električnega toka. Namen ozemljevanja izpostavljenih prevodnih delov električnih porabnikov in tujih prevodnih delov (npr. vodovodna inštalacija) je odvesti morebitni električni potencial, ki se je pojavil v primeru okvare električnega porabnika, na nivo zemlje.

V strelovodnih napeljavah predstavljajo ozemljila ključni element napeljave, ker vodijo in porazdelijo tok strele v zemljo.

Stik z zemljo dosežemo z ozemljilom. Povezave z njim pa izvajamo z ozemljitvenimi vodi. Zemlja je prevodna masa, pri kateri je električni potencial v katerikoli točki nič. Zato je zemlja lahko obsežen in pomemben vodnik za izenačenje potencialov.

Ozemljitvena upornost je električna upornost ozemljila, ki jo čuti električni tok, kateri teče preko ozemljila v zemljo. Sestavljena je iz površinske upornosti ozemljitvene elektrode (oksidi na kovinski površini) in upornosti zemlje (materiala) predvsem v bližini površine ozemljitvene elektrode.

Glede na zelo različne ozemljitvene sisteme, s katerimi se srečujejo merilci, je dobrodošla možnost uporabe različnih merilnih principov, od katerih ima vsaka svoje prednosti in omejitve. Večina modernih merilnih instrumentov zato uporablja več principov.

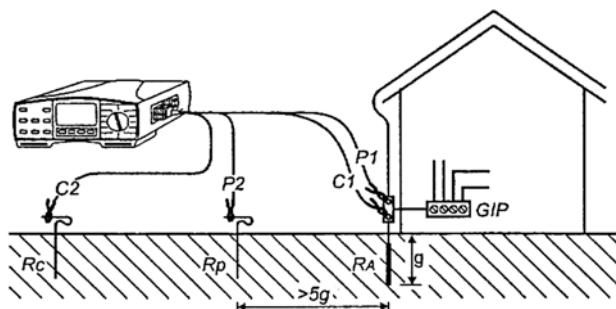
Meritve izvedi pri TT sistemu ozemljevanja (J1 odstranjena).

Največja dovoljena upornost ozemljila je 50Ω .

POTEK VAJE

Metoda 1: Meritev ozemljitvene upornosti po standardni štiri-vodni metodi

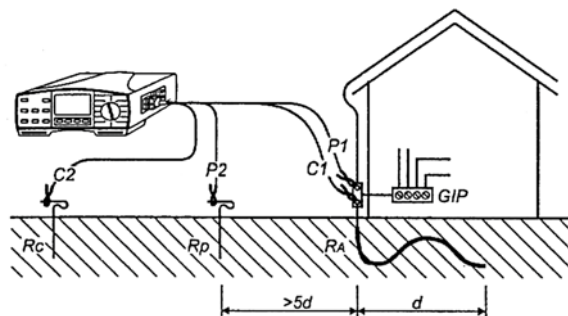
1. Prestavi preklopnik v položaj ρR_{EARTH} in na prikazovalniku se pojavi prikaz merjenja ozemljitvene upornosti in specifične upornosti tal.
2. Izberi funkcijo z uporabo tipke F1. Meritev ozemljitvene upornosti po standardni štiri-vodni metodi je izbrana, ko je na prikazovalniku napis **R EARTH**.
3. Poveži merilne vezi (merilni kabel za meritev ozemljitve) na merilni instrument in na demonstracijsko tablo glede na meritev:
 - a) Poveži merilne vezi za meritev ozemljila z paličastim ozemljilom (spodnja slika)



C2-modra-PS1
P2-rdeča-PS2
C1-zelena-OS1/2
P1-črna-OS1/2

- izvedi meritev celotnega ozemljila (VEZ1, VEZ2 in M2 sklenjene)
- izvedi meritev paličastih ozemljil (VEZ1 in VEZ2 sklenjeni, M2 odprta; C1 in P1 na OS1 ali OS2)
- izvedi meritev paličastega ozemljila 1 (VEZ1 sklenjena, VEZ2 in M2 odprti, C1 in P1 na OS1)
- izvedi meritev paličastega ozemljila 2 (VEZ1 in M2 odprti, VEZ2 sklenjena, C1 in P1 na OS2)

b) Poveži merilne vezi za meritev ozemljila z valjancem (spodnja slika)



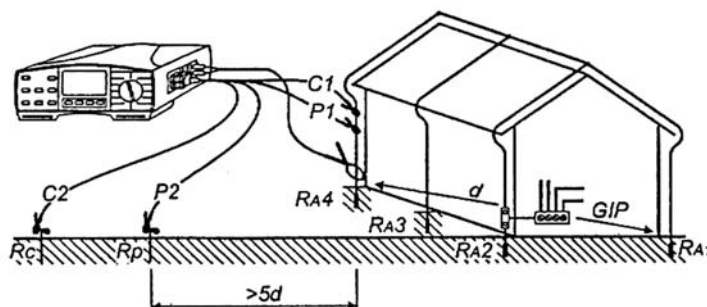
C2-modra-PS1
 P2-rdeča-PS2
 C1-zelena-OT
 P1-črna-OT

- izvedi meritev temeljnega ozemljila (M2 odprta; C1 in P1 na OT)

4. Pritisni na tipko **START**. Merilni rezultat se prikaže.

Metoda 2: Meritev ozemljitvene upornosti po standardni štiri-vodni metodi s kombinacijo merilnih klešč

1. Prestavi preklopnik v položaj ρR_{EARTH} in na prikazovalniku se pojavi prikaz merjenja ozemljitvene upornosti in specifične upornosti tal.
2. Izberi funkcijo z uporabo tipke F1. Meritev ozemljitvene upornosti po standardni štiri-vodni metodi s kombinacijo merilnih klešč je izbrana, ko je na prikazovalniku napis **R EARTH**.
3. Poveži merilne vezi (merilni kabel za meritev ozemljitve) in merilne klešče (A1018) na merilni instrument in na demonstracijsko tablo za meritev ozemljila z paličastim ozemljilom (spodnja slika)



C2-modra-PS1
 P2-rdeča-PS2
 C1-zelena-OS/OT
 P1-črna-OS/OT

- izvedi meritev paličastega ozemljila 1 (VEZ1, VEZ2 in M2 sklenjene; C1 in P1 na OS1, klešče na VEZ1)
- izvedi meritev paličastega ozemljila 2 (VEZ1, VEZ2 in M2 sklenjene; C1 in P1 na OS2, klešče na VEZ2)
- izvedi meritev temeljnega ozemljila (VEZ1, VEZ2 in M2 sklenjene; C1 in P1 na OT, klešče na Z2)

4. Pritisni na tipko **START**. Merilni rezultat se prikaže.

Primer prikaza na zaslonu

Metoda 1		Skupna upornost ozemljila Rc Upornost tokovne sonde Rp Upornost napetostne sonde
Metoda 2		Upornost obravnavanega ozemljila Re Skupna upornost ozemljila Rc Upornost tokovne sonde Rp Upornost napetostne sonde

Rezultati meritev:

Meritev	Metoda	Meritev	Upornost posameznega ozemljila $R (\Omega)$	Skupna ozemljitvena upornost $R_e (\Omega)$	Korigirani rezultat $R_e' (\Omega)$	Rezultat ustreza DA / NE
1	1	meritev celotnega ozemljila	-----			
2	1	meritev paličastih ozemljil (1 in 2)	-----			
3	1	meritev paličastega ozemljila 1		-----	-----	-----
4	1	meritev paličastega ozemljila 2		-----	-----	-----
5	1	meritev temeljnega ozemljila		-----	-----	-----
6	2	meritev paličastega ozemljila 1				
7	2	meritev paličastega ozemljila 2				
8	2	meritev temeljnega ozemljila				

KOREKCIJA REZULTATOV, DOBLJENIH PRI MERITVAH NA ELEKTRIČNIH INŠTALACIJAH

Parameter	Dopustno odstopanje	Potrebno korigiranje izmerjenega rezultata
Impedanca okvarne zanke	$\pm 30 \%$	$R \times 1,3$

kjer je:

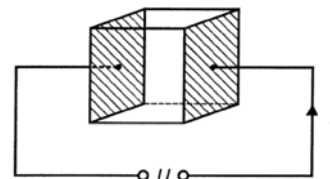
R z merjenim instrumentom izmerjeni rezultati

KOMENTAR:

VAJA 8

MERJENJE SPECIFIČNE UPORNOSTI TAL

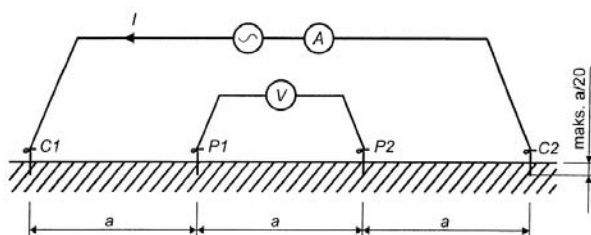
Z instrumenti za merjenje ozemljitvenih upornosti ozemljil lahko merimo tudi specifično upornost zemlje (tal). To je upornost zemlje med dvema nasprotnima ploskvama kocke s stranicami dolžine 1 m. Enota specifične upornosti je Ωm .



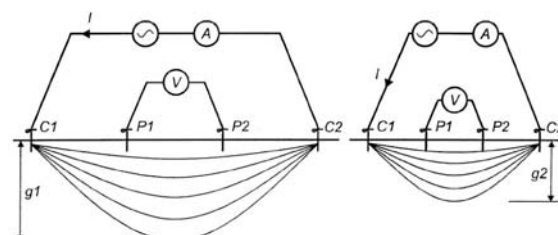
Velikost upornosti je odvisna od sestave in vlažnosti tal ter temperature zemlje v okolici ozemljila. Vlažnost zemlje je močno odvisna od vremenskih pogojev in letnega časa. Zato merimo specifično upornost zemlje takrat, ko pričakujemo najneugodnejše vrednosti, ker so le-te pomembne za izračun ozemljil, saj mora le-to opraviti svojo nalogo tudi v neugodnih razmerah.

Meritev specifične upornosti zemlje opravimo tako, da zapičimo na popolnoma enakih medsebojnih razdaljah štiri enako dolge sonde v premi črti do enake globine, ki naj ne bo večja od $1/20$ medsebojnih razdalj sond (leva spodnja slika).

Z izvajanjem meritev pri različnih razdaljah med merilnimi sondami, je mogoče izmeriti specifično upornost tal na različnih globinah. Pri večjih razdaljah med sondami se merilni tok zaključuje preko globljih plasti zemlje, pri manjših razdaljah pa bolj preko površinskih (desna spodnja slika).



Princip meritve specifične upornosti tal po U-I metodi



Vpliv razmika a na zajeto globino

Rezultat izračunamo po enačbi:

$$\rho = 2 * \pi * a * \frac{U}{I}$$

Kjer je:

- ρ specifična upornost tal,
- a razdalja med merilnimi sondami,
- U napetost med merilnima sondama P1 in P2 (ki jo meri V-meter),
- I merilni tok, ki ga vriva izmenični generator (meri pa A-meter).

Pomembno!

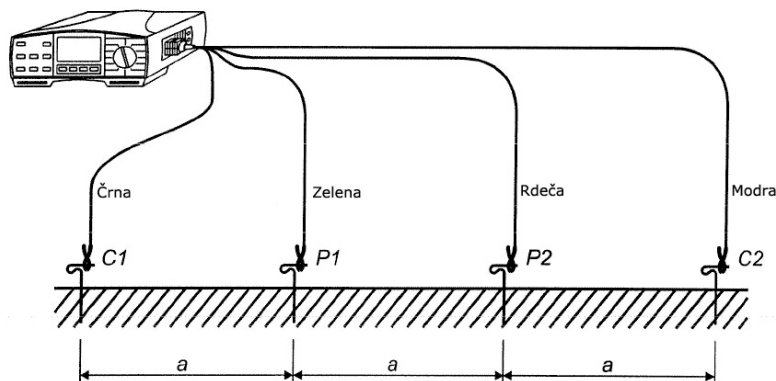
- V primeru prisotne napetosti, višje od 20 V a.c./d.c. med priključnimi sponkami C2 in C1 ali P1 in P2 na prikazovalniku po pritisku na tipko START ne bo prikazanega rezultata. Prikaže se znak »!« in sporočilo **Input voltage >20 V!** Vklopi se tudi zvočni signal.
- V primeru, da je izmerjena vrednost višja od merilnega dosega (odprte sponke), se na prikazovalniku izpiše vrednost **>xxx k Ωm !** Vrednost xxx je odvisna od nastavljene razdalje »a« in je izračunana po enačbi: $xxx \approx 130 \text{ k} * a$ (k Ωm).
- V primeru prevelikih upornosti merilnih sponk ($>(4 \text{ k}\Omega + 100R_E)$) ali $>50 \text{ k}\Omega$, kateri je nižji) bo poleg rezultata prikazan znak »!« in sporočilo **Pote.spike Rp > xxx Ω/Curr . spike Rc > xxx Ω**

POTEK VAJE na modelu:

1. Prestavi preklopnik v položaj ρR_{EARTH} in na prikazovalniku se pojavi prikaz merjenja ozemljitvene upornosti in specifične upornosti tal.
2. Izberi funkcijo z uporabo tipke F1 (FUNC). Meritev specifične upornosti tal je izbrana, ko je na prikazovalniku napis **ρ EARTH**.
3. S pomočjo tipke F2 (DIST) in nato tipk F2 ($\uparrow$) in F3 ($\downarrow$) nastavi razdaljo med merilnimi sondami:
 - a. meritev 1: razdalja je 1 m (stikala na demonstracijski tabli: 00)
 - b. meritev 2: razdalja je 3 m (stikala na demonstracijski tabli 10)
 - c. meritev 3: razdalja je 10 m (stikala na demonstracijski tabli 01)
 - d. meritev 4: razdalja je 12 m (stikala na demonstracijski tabli 11)

Po končani nastavitvi razdalje med sondami se s pritiskom na tipko F1 (Back) vrnete na prikaz meritve specifične upornosti tal.

4. Poveži merilne vezi (merilni kabel za meritev ozemljitve) na merilni instrument in na demonstracijsko tablo glede na spodnjo sliko:



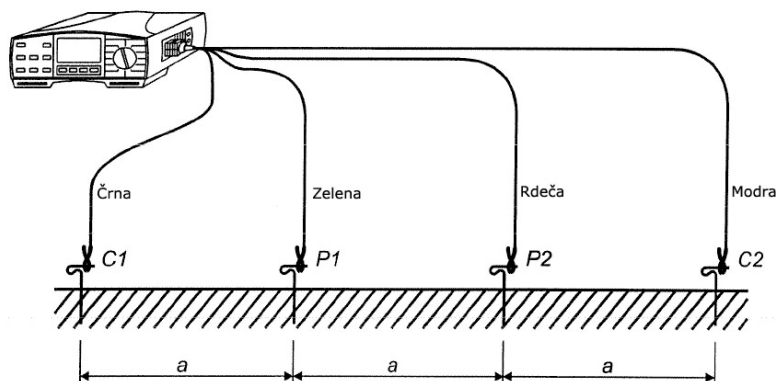
5. Pritisni na tipko **START**. Merilni rezultat se prikaže.

POTEK VAJE na terenu:

1. Prestavi preklopnik v položaj ρR_{EARTH} in na prikazovalniku se pojavi prikaz merjenja ozemljitvene upornosti in specifične upornosti tal.
2. Izberi funkcijo z uporabo tipke F1 (FUNC). Meritev specifične upornosti tal je izbrana, ko je na prikazovalniku napis **ρ EARTH**.
3. S pomočjo tipke F2 (DIST) in nato tipk F2 ($\uparrow$) in F3 ($\downarrow$) nastavi razdaljo med merilnimi sondami:
 - a. meritev 1: razdalja je 1 m
 - b. meritev 2: razdalja je 2 m
 - c. meritev 3: razdalja je 3 m
 - d. meritev 4: razdalja je 4 m
 - e. meritev 5: razdalja je 5 m

Po končani nastavitvi razdalje med sondami se s pritiskom na tipko F1 (Back) vrnete na prikaz meritve specifične upornosti tal.

4. Poveži merilne vezi (merilni kabel za meritev ozemljitve in dodatni set za ozemljitve) na merilni instrument in na sonde:



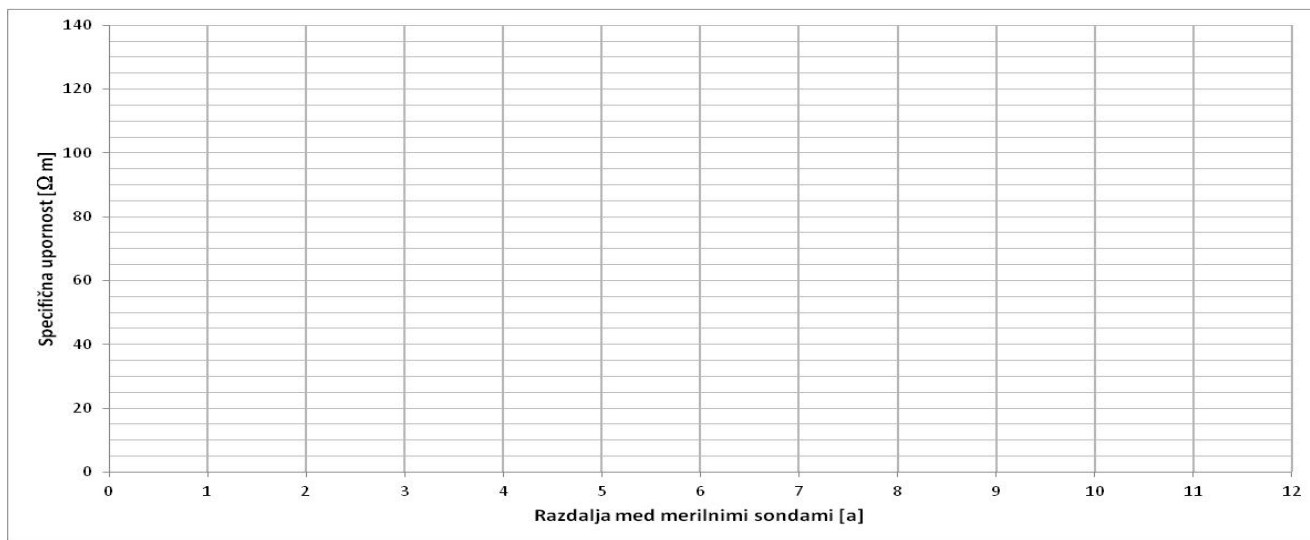
6. Pritisni na tipko **START**. Merilni rezultat se prikaže.

Rezultati meritev na modelu:

Meritev	Razdalja med sondami [m]	Meritev	Specifična upornost tal ρ (Ωm)
1	1	Meritev 1 (stikala 00)	
2	3	Meritev 2 (stikala 10)	
3	10	Meritev 3 (stikala 01)	
4	12	Meritev 4 (stikala 11)	
Povprečna vrednost			

Rezultati meritev na terenu:

Meritev	Razdalja med sondami [m]	Meritev	Specifična upornost tal ρ (Ωm)	
			1. smer	2. smer
1	1	Meritev 1		
2	2	Meritev 2		
3	3	Meritev 3		
3	4	Meritev 4		
4	5	Meritev 5		
5	6	Meritev 6		
6	7	Meritev 7		



Graf odvisnosti specifične upornosti od razdalje med sondami

KOMENTAR:

VAJA 9

Svetilnost I [cd]

Z izrazom »fotometrija« označujemo merjenje veličin, ki jih dogovorno vrednotimo po vidnih vtisih, ki jih povzroča vidno sevanje (svetloba). Osnova za samo merjenje je fiziološko delovanje človeškega očesa, oziroma njegova spektralna občutljivost pri fotopskem (dnevem) videnju.

Fotometrijo delimo glede na princip oziroma izvedbo meritev na vizualno fotometrijo in fizikalno fotometrijo.

Vizualna fotometrija

je merjenje svetlobnotehničnih (fotometričnih) veličin s postopki, pri katerih je človeško oko neposredno vključeno v merilni proces. Ta oblika fotometrije, ki jo imenujemo tudi »subjektivna fotometrija«, temelji na primerjalni metodi, pri kateri na vizualni način primerjamo neznano (merjeno) veličino z znano (referenčno) veličino; to primerjavo je mogoče izvesti na osnovi enake sijavosti, enakega kontrasta ali enakega migetanja. Merilne instrumente, ki jih pri tem uporabljamo, imenujemo vizualne fotometre. Princip delovanja le-teh pa je naslednji:

Oko opazuje neko »primerjalno ploskev« - sadro, ki jo izmenoma osvetljujejo znano (referenčno) in neznano (merjeno) sevanje. Na osnovi sijavosti, enakega kontrasta, ali enakega migetanja obeh sevanj nato določimo vrednost merjene veličine.

Najbolj pogost način vizualnega merjenja svetilnosti je po Lummer-Brodhunovi primerjalni metodi, ki temelji na *zakonu fotometrične razdalje*:

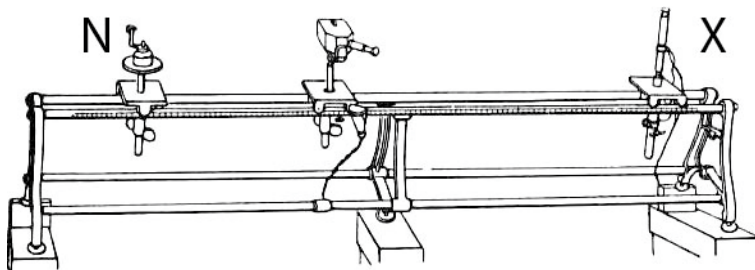
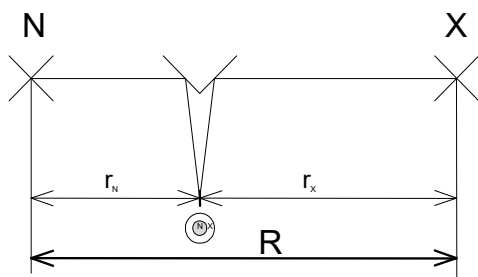
$$E = \frac{I \cdot \cos \varepsilon}{r^2} \cdot sr \Rightarrow \text{izrazimo } I = E \cdot r^2 \text{ za } \varepsilon = 90^\circ \text{ in } sr = 1$$

Primerjava pri pravokotnem vpadu svetlobe:

$$\frac{E_X}{E_N} = \frac{r_N^2}{r_X^2}$$

Princip merjenja po metodi slabitve

Opazovani pogoji: difuzni, refleksi zaslon



$$\text{če } x = n \text{ bo } L_X = L_N \Rightarrow I_X = I_N \cdot \frac{r_X^2}{r_N^2}$$

$$I_X = I_N \cdot \frac{r_X^2}{(R - r_X)^2}$$

MERJENJE

Vira sta pritrjena (med njima je stalna razdalja), premikamo samo Lummer-Brodhunov fotometer (škatlico v kateri je sadra). Ko imamo občutek, da je sadra enako osvetljena od obeh virov, odčitamo razdaljo med sadro in normalo ter izračunamo svetilnost neznanega vira.

Zaradi različne občutljivosti oči opravimo več meritev ter iz njih izračunamo povprečno vrednost.

Pri merjenju stresano svetlobo zastiramo z zaslonkami.

Rezultati meritev

merilna razdalja $R = 200 \text{ cm}$ napetost omrežja $U = 230 \text{ V}$ svetilnost normale $I_N = \underline{\hspace{2cm}}$ cd

testna žarnica: _____

Neznano svetilnost izračunamo po enačbi: $I_X = I_N \cdot \frac{r_X^2}{(R - r_X)^2}$ oziroma: $I_X = I_N \cdot \frac{r_X^2}{r_N^2}$

št.	merilec	r_N (cm)	r_X (cm)	I_X (cd)
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				
10				
11				
12				
13				
14				
15				
16				
17				
18				
19				
20				
21				
22				
23				
24				
25				
26				
27				
28				
PV	povprečna vrednost	-----	-----	

Rezultat meritev po subjektivni metodi (povprečna vrednost)

$$I_{sub} = \quad \text{cd}$$

cd

Povprečna svetilnost osebno izmerjenih meritev:

$$I_{oseb} = \frac{I_{oseb1} + I_{oseb2}}{2} = \quad \text{cd}$$

Odstopanje osebno izmerjene vrednosti od povprečne vrednosti:

$$\Delta I = I_{sub} - I_{oseb} =$$

$$\Delta I\% = \frac{I_{sub} - I_{oseb}}{I_{sub}} \cdot 100\% =$$

KOMENTAR:

Fizikalna fotometrija

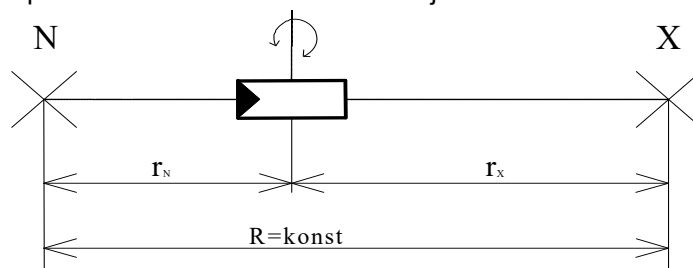
Fizikalna fotometrija je merjenje svetlobnotehničnih (fotometričnih) veličin s fizikalnimi sprejemniki. To so posebni elementi, ki pod vplivom sevanja povzročijo merljiv fizikalni učinek. Iz navedenega izhaja, da se fizikalna fotometrija loči od vizualne le po tem, da človeško oko zamenja fizikalni sprejemnik, ki je občutljiv na svetlobo.

Merilne instrumente in naprave, ki jih uporabljamo v fizikalni fotometriji, imenujemo fizikalne fotometre. Osnovni element slehernega fizikalnega fotometra je tako imenovani fizikalni sprejemnik. Pri merjenju svetlobnotehničnih veličin v glavnem uporabljamo fizikalne sprejemnike, ki jih imenujemo fotoelementi. To so sprejemniki, ki imajo lastnost, da vidno sevanje (svetlobo) spreminjajo v električno energijo. Pojav, ki spremlja to spreminjanje, imenujemo »fotoefekt«. Le-ta je v fizikalnem smislu definiran kot medsebojni vpliv (učinek) med sevanjem in materijo, ki ga označujeta absorpcija fotonov in nastanek prostih elektronov.

Pri Vaji 1 smo za ugotavljanje enakosti osvetljenosti sadre od znanega in neznanega vira uporabljali oko. Pri tej vaji bomo sadro in naše oko zamenjali s fotoelementom, ki ga bomo vstavili namesto sadre med normalo in med merjenca. Izhodna veličina fotoelementa je električni tok, ki je premo sorazmeren osvetljenosti na sprejemniku. Tok je izredno majhen, zato ga merimo z μA -metrom. Pri fiksirani normali in merjencu premikamo fotoelement od izenačenja odčitkov iz obeh smeri.

$$E_N = E_X$$

$$I_X = I_N \cdot \frac{r_N^2}{r_X^2}$$



Pri meritvi je razdalja R med normalo in merjencem konstantna.

Rezultati meritev

merilna razdalja $R = 200 \text{ cm}$

napetost omrežja

$U_{\text{omr}} = 230 \text{ V}$

svetilnost normale $I_N = \text{_____ cd}$

št.	$r_N \text{ (cm)}$	$r_X \text{ (cm)}$	$I_X \text{ (cd)}$
1			
2			
3			
PV	-----	-----	

Rezultat objektivne meritve

$I_{\text{obj}} = \text{_____ cd}$

Rezultat meritev po subjektivni metodi (rezultat iz vaje 1a)

$I_{\text{sub}} = \text{_____ cd}$

Primerjava subjektivne z objektivno meritvijo:

$I_{\text{sub}} - I_{\text{obj}} = \text{_____ cd}$

Odstopanje subjektivne metode od objektivne:

$\frac{I_{\text{sub}} - I_{\text{obj}}}{I_{\text{obj}}} \cdot 100\% = \text{_____ \%}$

KOMENTAR:

VAJA 10

Svetlobni tok Φ (lm) in svetlobni izkoristek η (lm/W)

Vsak svetlobni vir oddaja v prostor okoli sebe energijo. Svetlobni tok je celotna oddana moč sevanja svetlobnega vira, katero človeško oko ovrednoti kot svetlobo.

Svetlobni tok merimo v luminih (lm). Lumen je izpeljana enota mednarodnih merskih enot (SI). Lumen je definiran kot svetlobni tok, ki ga v prostorski kot 1 sr (steradiana) seva točkovni vir, katerega svetilnost je v vseh smereh prostora enaka 1 cd (candela)

Svetlobni tok merimo s pomočjo Ulbrichtove krogle in fotometrijske opreme.

Ulbrichtova krogla ima notranjo steno prevlečeno s posebnim premazom. Stena krogle ima odprtino, v kateri je nameščen fotoelektrični sprejemnik. V notranjosti krogle je nameščen tudi zaslon, ki prepreči, da bi merjeni svetlobni vir neposredno seval na opazovalno okence.

Fotoelektrični sprejemnik meri osvetljenost, ki je pri določenih pogojih premo sorazmerna svetlobnemu toku vira. Na ta način lahko merimo neznani svetlobni tok, če je naprava umerjena na neko svetlobno normalo (referenčni svetlobni vir).

Fotometrijska oprema je lx-meter oz. v našem primeru fotoelement in μ A-meter

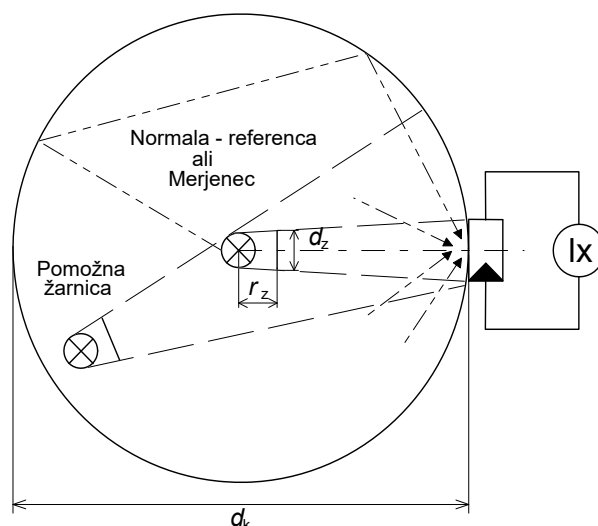
Pogoji, da je osvetljenost proporcionalna svetlobnemu toku predvidevajo, da je p (refleksivnost) konstantna po vsej notranjosti krogle in da je površina idealno difuzna. Dodatno v enačbah predvidevamo, da je krogla popolnoma prazna, in da od stene odbit svetlobni tok neovirano prihaja do fotoelementa. Prisotnost svetlobnega vira končnih dimenzij v notranjosti krogle predstavlja motnjo oz. kršitev teh pogojev. Poleg tega je motnja tudi okno za namestitev fotoelementa in tudi zaslon, ki preprečuje direkten svetlobni tok na fotoelement. Za izničenje teh motenj v kroglo dodamo še pomožno žarnico.

V razsvetljavnih napravah uporabljamo različne vire svetlobe. Viri so različni po delovanju, barvi svetlobe in po svetlobnem izkoristku. Za javno razsvetljavo se uporabljajo v glavnem viri, ki imajo visok svetlobni izkoristek. Na vaji izmerimo svetlobni izkoristek naslednjim virom: navadna žarnica, halogenska žarnica, fluorescentna sijalka, NT Na sijalki, VT Na sijalki, VT Hg sijalki, metalhalogenidni sijalki, viru za mešano svetlobo in LED. Svetlobni izkoristek je razmerje med oddanim svetlobnim tokom in prejeto električno močjo. Izračunamo pa s pomočjo spodnje enačbe:

$$\eta = \frac{\Phi}{P}$$

Pred izračunom svetlobnega izkoristka pa moramo vsem virom izračunati svetlobni tok.

Ker imamo na fotoelement vezan μ A-meter bomo operirali kar s tokom in ne z osvetljenostjo. Vemo namreč, da sta tok skozi fotoelement in osvetljenost linearno odvisni. Pri meritvi pazimo na napetost, ki je priključena na svetlobni vir, da se držimo deklariranih vrednosti.



Postopek meritve svetlobnega toka:

1. V Ulbrichtovo kroglo vstavimo **normalo** in jo vključimo. Svetlobni tok **normale** ϕ_{norm} je znan!
2. Izmerimo tok i_{norm} skozi fotoelement, nato ugasnemo **normalo** in jo odstranimo.
3. Odstranimo **normalo** in v kroglo vstavimo **merjenec**, ga vključimo (po potrebi počakamo, da se svetlobni vir stabilizira – segreje)
4. Izmerimo tok i_{mer} skozi fotoelement.

Nato se lahko lotimo izračuna svetlobnega toka merjenca:

$$\Phi_{mer} = \Phi_{norm} \cdot \frac{E_{mer}}{E_{norm}} = \Phi_{norm} \cdot \frac{i_{mer}}{i_{norm}}$$

Poleg tega merimo tudi električne veličine (napetost, tok, moč).

Rezultati meritev

ϕ_{norm} = lm svetlobni tok normale
 E_{norm} = lx osvetljenost, ko je prižgana normala

svetlobni vir	oznaka vira/moč
žarnica	
halogenska žarnica	
fluorescentna sijalka	
VT Hg sijalka	
NT Na sijalka	
VT Na sijalka	
metalhalogenidna sijalka	
vir za mešano svetlobo	
LED	

svetlobni vir	napetost	tok skozi svetlobni vir	navidezna moč	delovna moč	faktor moči	osvetljenost - merjenec	svetlobni tok	svetlobni izkoristek
	U [V]	I [A]	S [VA]	P [W]	cos φ	E_{mer} [lx]	ϕ (lm)	η [lm/W]
žarnica								
halogenska žarnica								
fluorescentna sijalka								
VT Hg sijalka								
NT Na sijalka								
VT Na sijalka								
metalhalogenidna sijalka								
vir za mešano svetlobo								
LED								

KOMENTAR:

OSNOVNE LASTNOSTI SVETLOBNIH VIROV:

ŽARNICA:

HALOGENSKA ŽARNICA:

FLUORESCENTNA SIJALKA:

VT Hg SIJALKA:

NT Na SIJALKA:

VT Na SIJALKA:

METALHALOGENIDNA SIJALKA:

VIR ZA MEŠANO SVETLOBO:

LED SIJALKA:

VAJA 11

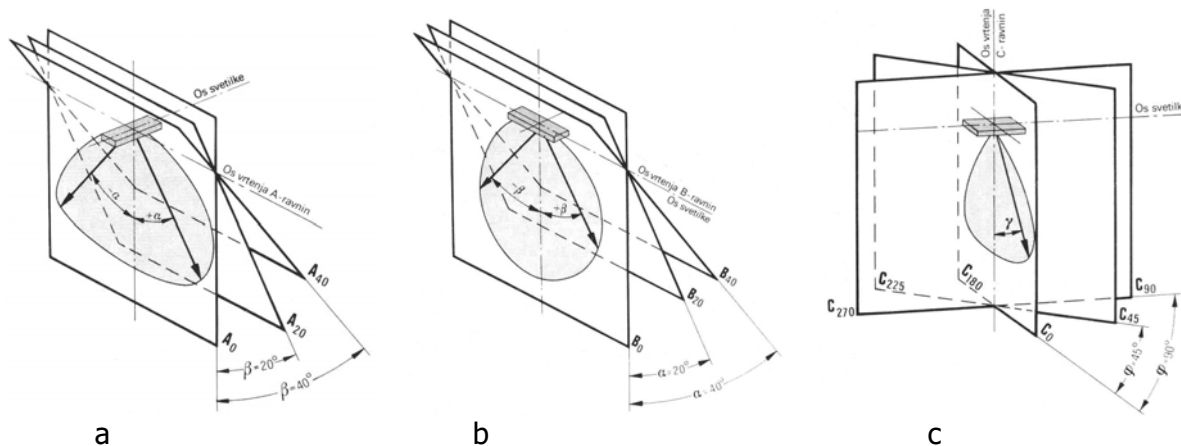
Kotna porazdelitev svetilnosti

Pri svetlobnotehničnem vrednotenju svetilk so najpomembnejše naslednje fotometrične karakteristike svetilk: porazdelitev svetlobnega toka, porazdelitev svetilnosti, porazdelitev svetlosti in svetlobni izkoristek. Za nas najbolj pomembna je prostorska porazdelitev svetilnosti.

Prostorska porazdelitev svetilnosti

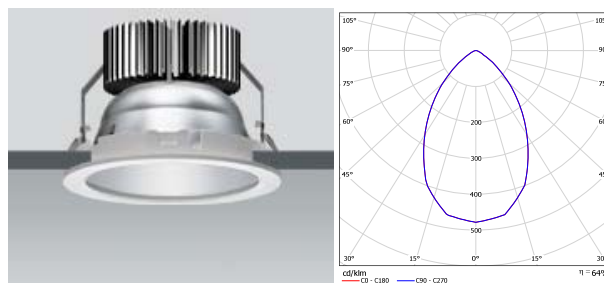
Za prikazovanje porazdelitve svetilnosti uporabljamo v svetlobnotehnični praksi naslednje vrste diagramov: polarni diagram, izokandelni diagram in Rousseau-jev diagram.

Polarni diagram predstavlja najpogostejšo obliko prikaza porazdelitve svetilnosti. V rabi so trije sistemi prikazovanja in sicer: A-sistem ravnin, B-sistem ravnin in C-sistem ravnin. Med vsemi je najbolj razširjen mednarodno dogovorjeni C-sistem ravnin. Posamezne polravnine C-sistema so označene glede na njihov kot vrtenja z 0° do 360° .



Polarni diagram A-sistema ravnin (a), B-sistema ravnin (b) in C-sistema ravnin (c)

Kotna porazdelitev svetilnosti svetilk je lahko rotacijsko simetrična ali rotacijsko asimetrična. Pri prvi vrsti svetilk je diagram porazdelitve svetilnosti ponazorjen s samo eno krivuljo (slika desno zgoraj); pri drugi vrsti svetilk pa diagram vsebuje več krivulj, pri čemer se vsaka nanaša na svojo karakteristično ravnino oz. polravnino. Pri svetilkah, pri katerih je porazdelitev svetilnosti simetrična glede na dve glavni ravnini (npr. pri fluorescenčnih svetilkah), vsebuje diagram porazdelitve svetilnosti samo dve krivulji, pri čemer se vsaka nanaša na eno glavno ravnino oz. polravnino (slika desno spodaj).

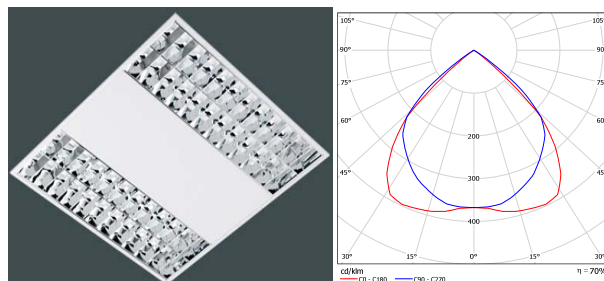


Vsi polarni diagrami porazdelitve svetilnosti so reducirani na svetlobni tok 1000 lumnov. Na ta način je mogoče uporabiti enak diagram za svetlobne vire enakih dimenzij, toda različnih vrednosti svetlobnega toka.

Rousseau-jev diagram nam služi za izračun celotnega svetlobnega toka svetilke. Osnova Rousseau-jevega diagrama je polarni diagram.

MERJENJE:

S pomočjo fotogoniometra izmerite diagrame porazdelitve svetilnosti za glavne C ravnine (C_0 , C_{30} , C_{60} in C_{90}). Za merjenje porazdelitve svetilnosti merimo osvetljenost točke v različnih vertikalnih kotih (od 0° do 90°) glede na svetilko in pri različnih pozicijah (vrtenjih) svetilke. Iz osvetljenosti izračunamo svetilnost, upoštevati pa moramo še korekcijski faktor, ker svetilka ni točkasta in faktor normiranja, ker je svetlobni tok vira v svetilki več kot 1000 lm.



Rezultati meritev

Izhodiščni podatki:

- svetlobni tok vira v svetilki: $\phi_v =$ lm
- merilna razdalja svetilke – fotoelement $r =$ m

Svetilnost I (cd) izrazimo iz enačbe:

$$E = \frac{I}{r^2},$$

Faktorja normiranja:

$$F_{\text{norm}} = \frac{1000 \text{ lm}}{\phi_v} =$$

Posebej se navaja svetilnost pravokotno pod središčem svetilke, ki pa ni normirana:

$$I_0 = r^2 \cdot E_{y=0} = \text{cd}$$

Normirana svetilnost:

$$I_{\gamma 1000}(\text{cd}) = F_{\text{norm}} \cdot r^2 \cdot E$$

Izračunamo produkt stalnih koeficientov in z njim v tabeli pomnožimo osvetljenost:

$$F_{\text{norm}} \cdot r^2 =$$

Izpolnimo drugi in tretji stolpec tabele na strani 30. Drugi stolpec izmerimo, tretjega pa preračunamo po zgornji enačbi.

Narišimo polarni diagram v graf na strani 31.

Svetlobni tok svetilke

Rousseau-jev diagram omogoča določitev svetlobnega toka svetilke. Ploskovni element na krogli v okviru pripadajočega prostorskega kota z vrhom v središču krogle (svetilke), ki ga linearizira diagram, zavzema v Rousseau-jevem diagramu površino:

$$\Delta A_k = 2 \cdot \pi \cdot r \cdot s$$

Svetlobni tok po definiciji $\Phi = I \cdot \varpi$ se lahko sestavi iz delov $\Phi = \sum I_{\Delta\varpi} \cdot \Delta\varpi$, kjer je $\Delta\varpi = \frac{\Delta A_k}{r^2}$.

Svetlobni tok je torej možno ugotoviti na osnovi oblike

$$\Phi = \sum I_{\Delta\varpi} \cdot \frac{2\pi \cdot r \cdot s}{r^2}$$

Pri tem je $I_{\Delta\varpi} = v_{sr} \cdot s$, kjer pomeni v_{sr} - povprečno višino in s - širino stolpca svetilnosti I (cd) v Rousseau-jevem diagramu.

Z upoštevanjem merila svetilnosti M_{cd} :

$$M_{cd} = \frac{cd}{mm}$$

in polmera polarnega diagrama $r=100$ mm, je svetlobni tok svetilke izračunljiv iz:

$$\Phi = \sum v_{sr} \cdot s \cdot M_{cd} \cdot \frac{2\pi}{r}$$

S podatki narišemo še Rousseau-jev diagram. Iz njega bi lahko odčitali povprečne višine in širine stolpcev. Zaradi večje natančnosti bomo povprečne višine in širine izračunali.

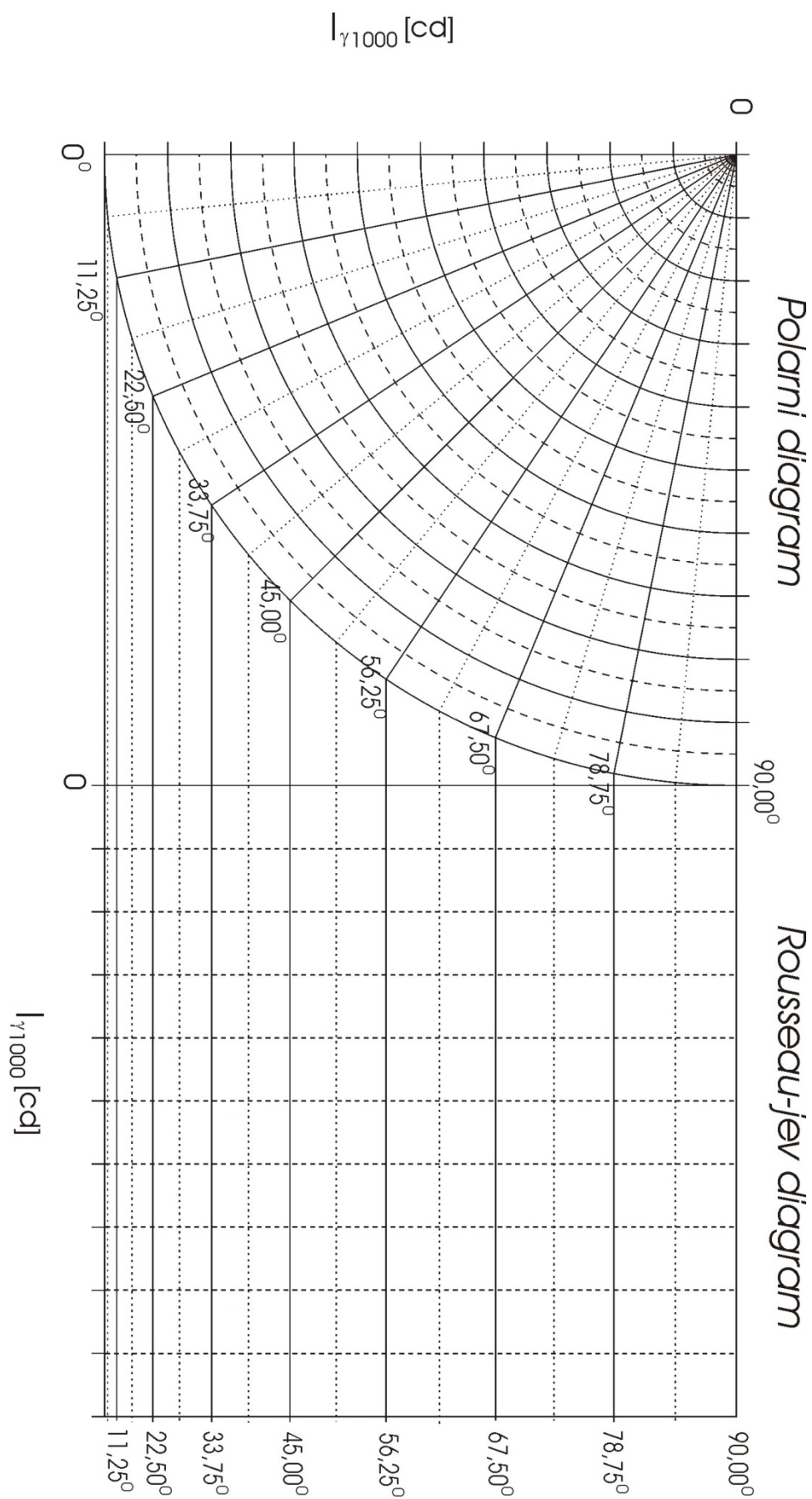
$$s_i = (\cos \gamma_{i-1} - \cos \gamma_i) \cdot 100$$

$$s_1 = (\cos 0^\circ - \cos 5,63^\circ) \cdot 100 = (1 - 0,9951) \cdot 100 = 0,48 \text{ mm}$$

$$v_{sr_i} = \frac{(I_{\gamma 1000_i} + I_{\gamma 1000_{i-1}})}{2} \cdot \frac{1}{M_{cd}}$$

γ ($^\circ$)	E (lx)	$I_{\gamma 1000}$ (cd)	v_{sr} (mm)	s (mm)	$v_{sr} \cdot s$ (mm ²)
0,00			-----	-----	-----
5,63				0,48	
11,25				1,44	
16,88				2,38	
22,50				3,31	
28,13				4,20	
33,75				5,05	
39,38				5,85	
45,00				6,59	
50,63				7,27	
56,25				7,88	
61,88				8,42	
67,50				8,87	
73,13				9,24	
78,75				9,52	
84,38				9,71	
90,00				9,80	
				$\Sigma v_{sr} \cdot s$	

Naš diagram:



$$r = 100 \text{ mm}$$

$$\phi = \sum v_{sr} \cdot s \cdot M_{cd} \cdot \frac{2\pi}{r} = \quad \text{lm}$$

S tem smo izračunali svetlobni tok svetilke v spodnjem polprostoru, če bi bila v njej nameščena žarnica s svetlobnim tokom 1000 lm. V naši svetilki je nameščena poljubna žarnica, zato moramo upoštevati še faktor normiranja. Svetlobni tok naše svetilke je torej:

$$\phi_{sv} = \frac{\phi}{F_{norm}} = \quad = \quad \text{lm}$$

Izračunajmo še izkoristek svetilke. Pri tem upoštevajmo, da smo pri izračunu svetilnosti za vnos v polarni diagram le-to normirali na svetlobni tok 1000 lm.

$$\eta_{sv} = \frac{\phi}{\phi_z} \cdot 100 \% = \frac{\quad \text{lm}}{1000,00 \text{ lm}} \cdot 100\% = \quad \%$$

Tehnične karakteristike svetilke

Karakteristika	simbol	vrednost
Imenski obratovalni izkoristek svetilke	η_{sv}	
Svetlobni tok svetilke	ϕ_{sv}	
Priključna moč svetilke	P_{sv}	
Obratovalna napetost svetilke	U_{obr}	
Tipska uvrstitev svetilke		
Zaščitna (varnostna) uvrstitev svetilke		
Druge lastnosti		

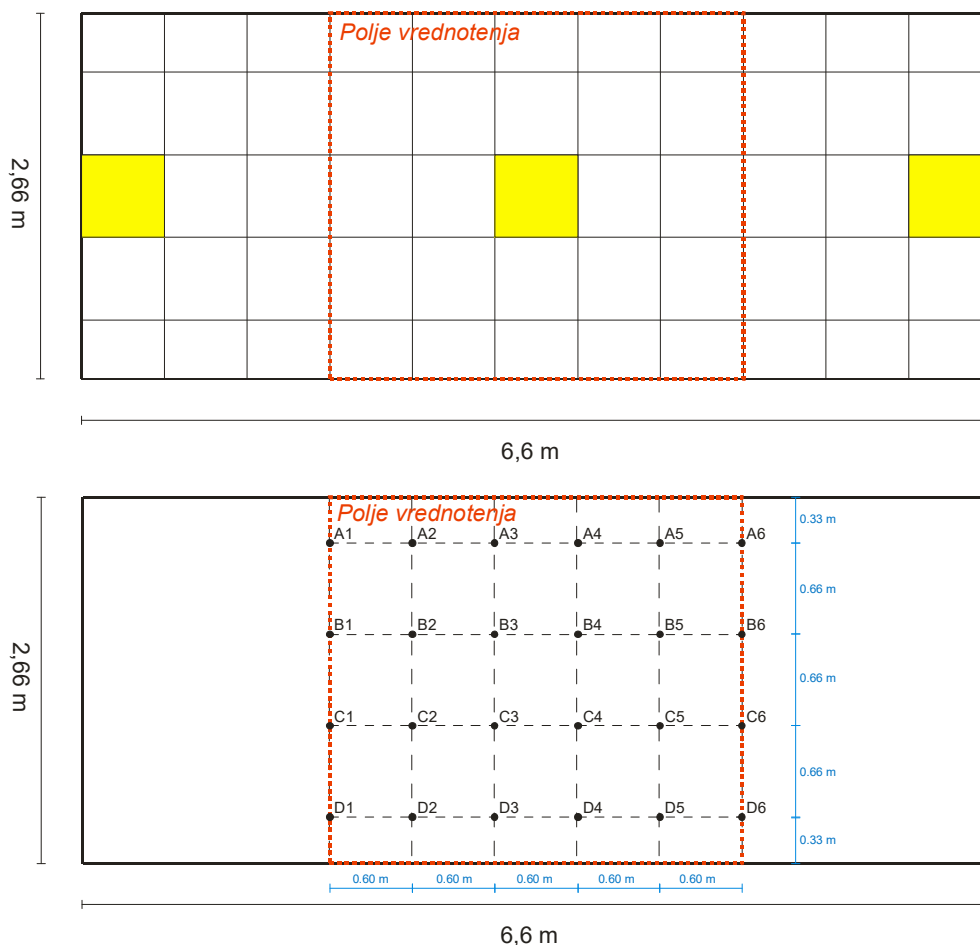
KOMENTAR:

VAJA 12

MERITEV OSVETLJENOSTI

Po izvedbi inštalacij in namestitvi svetilk v novozgrajenem ali prenovljenem objektu je potrebno izvesti meritve osvetljenosti in ugotoviti skladnost izvedenih inštalacij s potrebami uporabnikov in tudi z zakonodajo.

Na hodniku, ki je bil pred kratkim prenovljen, izmerite osvetljenost na tleh v 24 točkah. Zaradi prisotnosti dnevne svetlobe je potrebno meritve izvesti dvakrat, prvič pri prižgani razsvetljavi in drugič pri ugasnjeni razsvetljavi. Z umetno razsvetljavo moramo zagotoviti ustrezne svetlobnotehnične razmere tudi v popolni temi. Zato od vrednosti izmerjenih pri umetni razsvetljavi in dnevni svetlobi odštejemo vrednosti izmerjene pri ugasnjeni umetni razsvetljavi. Pri tem moramo paziti, da se zunanje vremenske razmere ne spreminjajo!



Za primerjavo pogledajte še kaj je zapisano v standardu *SIST EN 12464/1 Svetloba in razsvetljava – razsvetljava na delovnem mestu – 1 del: Notranji delovni prostori*:

Prostori za izobraževanje	Vzdrževana osvetljenost	Faktor bleščanja	Enakomernost	Faktor barvne reprodukcije	
Prostor, vidna naloga ali dejavnost	$\bar{E}_{vz}$ lx	GR_L -	U_0 -	R_a -	Pripombe
Učilnice osnovnih in srednjih šol	300	19	0,6	80	Razsvetljavo naj bo moč regulirati.
Učilnice za večerni pouk in izobraževanje odraslih	500	19	0,6	80	Razsvetljavo naj bo moč regulirati.
Predavalnice	500	19	0,6	80	Razsvetljavo naj bo moč regulirati za različne A/V potrebe
Šolska tabla	500	19	0,7	80	Preprečiti je treba refleksije. Učitelj/predavatelj mora biti osvetljen z ustrezno vertikalno osvetljenostjo
Demonstracijska miza	500	19	0,7	80	V predavalnicah 750 lx.
Delovni prostori na umetniških šolah	750	19	0,7	90	$T_{cp} > 5000$ K

Prostori za tehnično risanje	750	16	0,7	80	
Prostori za praktična dela in laboratoriji	500	19	0,6	80	
Skupni prostori, hodniki	100	25	0,4	80	
Študentski skupni prostori in dvorane za srečanja	200	22	0,4	80	
Učiteljske zbornice, kabineti	300	19	0,6	80	

V standardu podane vrednosti osvetljenosti so vedno **minimalne vzdrževane vrednosti** in sicer prostorske povprečne vrednosti, ker je osvetljenost v različnih koncih prostora različna. Da pa v prostoru ne pride do prevelikih razlik med svetlimi in temnimi deli, je v standardu definirana tudi enakomernost osvetljenosti. Zahtevana enakomernost osvetljenosti za delovne naloge (površine) je v četrtem stolpcu.

Merilni rezultati

Merilna točka	Umetna+dnevna svetloba [lx]	Dnevna svetloba [lx]	Izračunan delež umetne razsvetljave [lx]
A1			
B1			
C1			
D1			
A2			
B2			
C2			
D2			
A3			
B3			
C3			
D3			
A4			
B4			
C4			
D4			
A5			
B5			
C5			
D5			
A6			
B6			
C6			
D6			

Izračunajmo prostorsko povprečno vrednost osvetljenosti in faktor enakomernosti:

$$E_{pov} = \frac{\sum_{i=1}^n E_i}{n} = \quad \text{lx} \quad U_0 = \frac{E_{\min}}{E_{pov}} =$$

Izračunane vrednosti primerjajte z vrednostmi v standardu!

KOMENTAR:
