

3. Dimenzioniranje in kontrola zaščitnih naprav

- V skladu z zahtevami elektrotehniških standardov za el. Instalacije NN (do 1 kV) morajo biti vsi el. stroji in naprave zaščiteni pred el. udarom.
- Poznamo dve vrsti zaščite:
 - Zaščita pred neposrednim dotikom
 - Zaščita pred posrednim dotikom

3. Dimenzioniranje in kontrola zaščitnih naprav

- Z vidika dimenzioniranja zaščitnih naprav je zahtevnejša zaščita pred posrednim dotikom.
- Osnovni namen je preprečiti, da bi se v primeru okvare na izolaciji el. naprave med deli pod napetostjo in izpostavljenimi prevodnimi deli naprave pojavila napetost dotika tolikšne vrednosti in s takim trajanjem, da bi lahko pomenila nevarnost v smislu škodljivega fiziološkega delovanja.

3. Dimenzioniranje in kontrola zaščitnih naprav

- Osnovni zaščitni ukrep pred posrednim dotikom je izveden kot zaščitni avtomatski odklop napajanja, ki ga opisujeta osnovna standarda:
 - N.B2.741 – standard definira pogoj zaščite z avtomatskim odklopom napajanja v prostorih, ki niso eksplozijsko ogroženi.
 - N.S8.090 – standard definira pogoje zaščite z avtomatskim odklopom napajanja v eksplozijsko ogroženih prostorih.

3. Dimenzioniranje in kontrola zaščitnih naprav

- Med zaščitne naprave za avtomatski odklop napajanja uvrščamo:
 - Naprave za pretokovno (nadtokovno) zaščito (talilne varovalke, instalacijski odklopniki, MZS, odklopniki z elmag. sprožilniki, ...)
 - Naprave za diferenčni tok (tokovna zaščitna stikala – FI stikala)

3.1 Pogoji zaščite z odklopom napajanja v sistemih TN

- Zahteve standardov:
 - Karakteristike zaščitnih naprav za nadtokovno zaščito in dimenzije vodnikov oz. impedanca morajo biti izbrani tako, da se v primeru okvare med faznim in zaščitnim vodnikom ali izpostavljenimi prevodnimi deli naprav, kjerkoli v instalaciji, avtomatsko odklopi napajanje (delovanje zaščitne naprave) tistega dela instalacije, ki je v okvari.
- Ta zahteva je v TN sistemu izpolnjena s pogojem: $Z_s \cdot I_a \leq U_0$, kjer je:
 - Z_s – impedanca okvarna zanke
 - I_a – izklopilni tok zaščitne naprave za avtomatski odklop napajanja v času, ki je določen s pogoji standardov
 - U_0 – nazivna napetost proti zemlji

3.1 Pogoji zaščite z odklopom napajanja v sistemih TN

- Izklopilni časi naprav za nadtokovno zaščito prd el. udarom so odvisni od značaja prostora, za katerega je instalacija predvidena, od velikosti napajalne napetosti in od vrste porabnika, ki je na instalacijo priključen.
- V praksi velja pravilo, da mora zaščitna naprava avtomatsko odklopiti napajanje stalno priključenega porabnika v 5s, prenosnega pa v 0,4s!

3.1 Pogoji zaščite z odklopom napajanja v sistemih TN

- Najdaljši odklopni časi v TN sistemu:

U_0 (V)	t_{izk} (s)	Uporaba
230	5	Napajalni tokokrog, fiksno priključeni porabniki, Ex neogroženi prostor
120	0,8	Ex neogroženi prostor
230	0,4	Tokokrogi vtičnic, prenosni porabniki, Ex neogroženi prostor
400	0,2	Tokokrogi vtičnic, prenosni porabniki, Ex neogroženi prostor
	0,1	Ekspluzijsko ogroženi prostor, $U_0 > 400V$

3.2 Kontrola odklopa napajanja

- Pri načrtovanju el. instalacij je v skladu z zahtevami standardov **obvezno** potrebno izvesti kontrolo odklopa napajanja.
- S kontrolo moramo dokazati, da so karakteristike izbrane zaščitne naprave za nadtokovno zaščito (varovalke, odklopniki) in izbrani preseki vodnikov dimenzionirani tako, da je vrednost celotne impedance okvarne zanke takšna, da zaščitna naprava zanesljivo odklopi napajanje mesta okvare v predvidenem izklpilnem času t_{izk} . Impedanca okvarne zanke zajema energetskega vir (transformatorsko navitje), fazni vodnik do mesta okvare in zaščitni vodnik med mestom okvare do energetskega vira nazaj (dovod, kabel)

3.2 Kontrola odklopa napajanja

- Kontrola zaščite pred električnim udarom z avtomatskim odklopom napajanja zajema naslednje:
 - 1. Definiranje izklopnega časa t_{izk} zaščitne naprave za avtomatski odklop napajanja (določimo v odvisnosti od vrste priključenih porabnikov, lastnosti prostora – npr. Ex)
 - 2. Preverjanje I/t karakteristike izbrane zaščitne naprave za nadtokovno zaščito in definiranje njenega izklopnega toka I_a (A) v odvisnosti od predvidenega izklopnega časa t_{izk} (s). Vrednost izklopnega toka I_a ugotovimo iz diagrama (karakteristik) predvidene zaščitne naprave. V diagramu je podana vrednost I_a od časa izklopa t_{izk} in kratkostičnih tokov. Iz diagrama dobljeni I_a je potrebno korigirati (povečati) za 10% (karakteristika stresanja znaša $\pm 10\%$)

3.2 Kontrola odklopa napajanja

- Kontrola zaščite pred električnim udarom z avtomatskim odklopom napajanja zajema naslednje:
 - 3. Izračun enopolnega (min) toka kratkega stika I_{k1} (A) celotne okvarne zanke
 - 4. Izvedba kontrole osnovnega pogoja zaščite z avtomatskim odklopom: $I_a < I_{k1}$, kar pomeni, da mora biti izračunana vrednost toka enopolnega kratkega stika I_{k1} celotne okvarne zanke večja od izklopnega toka I_a zaščitne naprave za odklop napajanja.

3.2 Kontrola odklopa napajanja

- Izračun kratkostičnih tokov je namenjen za pravilno dimenzioniranje el. naprav in postrojev glede na električno, termično in mehansko obremenitev in za pravilno izbiro zaščitnih naprav, ki zagotavljajo zanesljivo zaščito pred električnim udarom.
- Tok tripolnega kratkega stika – največji kratkostični tok I_{k3} – je osnova za dimenzioniranje el. naprav in napeljav glede na termično in mehansko trdnost in za dimenzioniranje moči električnih naprav.
- Tok enopolnega kratkega stika – minimalni kratkostični tok I_{k1} – pa je bistvenega pomena pri izbiri zaščitnih naprav za odklop napajanja in dimenzioniranja preseka vodnikov.

3.3 Izračun toka enopolnega in tripolnega kratkega stika

- Zaščitne naprave za odklop napajanja in preseki vodnikov napajalnih in razvodnih kablov morajo biti dimenzionirani na minimalni kratkostični tok, ki ga označuje tok enopolnega kratkega stika I_{k1} :

$$I_{k1} = \frac{k_u \cdot \sqrt{3} \cdot U}{2 \cdot Z + Z_0} = \frac{k_u \cdot \sqrt{3} \cdot U}{Z_e}; I_{k3} = \frac{U}{\sqrt{3} \cdot Z}$$

3.3 Izračun toka enopolnega in tripolnega kratkega stika

$$I_{k1} = \frac{k_u \cdot \sqrt{3} \cdot U}{2 \cdot Z + Z_0} = \frac{k_u \cdot \sqrt{3} \cdot U}{Z_e}; I_{k3} = \frac{U}{\sqrt{3} \cdot Z}$$

- Pri čemer je:
 - k_u – faktor zaščite; $k_u=0,8$ za eksplozijsko ogrožene prostore; $k_u=0,95$ za ostale prostore
 - U – nazivna linijska (medfazna) napetost
 - Z – vektorska vsota direktnih impedanc kratkostične okvarne zanke
 - Z_0 – vektorska vsota ničelnih impedanc kratkostične okvarne zanke
 - Z_e – ekvivalentna impedanca zanke enopolnega kratkega stika
- Na vektorsko vsoto impedanc Z in Z_0 vplivajo posamezne impedance visoko in srednje napetostnega omrežja, transformatorja, kablov in vodov ter impedance kontaktnih mest.

3.3 Izračun toka enopolnega in tripolnega kratkega stika

- Direktna impedanca
 - Direktno impedanco okvarne zanke Z sestavlja vektorska vsota delovnih in induktivnih upornosti:
 - $Z=R + jX= (R_M + R_T + R_K + R_{km}) + j(X_M + X_T + X_K)$
 - R – vsota direktnih delovnih upornosti
 - X – vsota direktnih induktivnih upornosti
 - $R_M X_M$ – delovna in induktivna upornost SN in VN mreže
 - $R_T X_T$ – delovna in induktivna upornost transformatorja
 - $R_K X_K$ – delovna in induktivna upornost kabla oz. vseh kablov v zanki
 - R_{km} – delovna upornost kontaktnih mest

3.3 Izračun toka enopolnega in tripolnega kratkega stika

- Ničelna impedanca
 - Ničelno impedanco okvarne zanke Z_0 sestavlja vektorska vsota delovnih in induktivnih upornosti:
 - $Z_0 = R_0 + jX_0 = (R_{0T} + R_{0K}) + j(X_{0T} + X_{0K})$
 - R_0 – vsota ničelnih delovnih upornosti
 - X_0 – vsota ničelnih induktivnih upornosti
 - R_{0T} X_{0T} – delovna in induktivna ničelna upornost transformatorja
 - R_{0K} X_{0K} – delovna in induktivna ničelna upornost kabla oz. vseh kablov v zanki

3.3 Izračun toka enopolnega in tripolnega kratkega stika

- Ničelna impedanca
 - Z vstavitvijo dobljenih izrazov v osnovno enačbo enopolnega kratkega stika, dobimo končno enačbo za izračun vrednosti toka enopolnega kratkega stika:

$$I_{k1} = \frac{k_u \sqrt{3} U}{\sqrt{(2R+R_0)^2 + (2X+X_0)^2}}; Z_e = \sqrt{(2R+R_0)^2 + (2X+X_0)^2}; Z = \sqrt{R^2 + X^2}$$

3.4 Izračun direktnih impedanc enopolnega kratkega stika

- Visoko napetostna (VN) ali srednje napetostna (SN) mreža:
 - $R_M = 0,1 \cdot X_M$ (Ω / fazo)
 - U – nazivna linijska napetost NN mreže (pri izračunih upoštevamo vrednost $U=0,4\text{kV}$)
 - $X_M = 1,1 \cdot U^2 / P_M$ (Ω / fazo)
 - P_M – začetna kratkostična moč SN ali VN mreže (MVA)

3.4 Izračun direktnih impedanc enopolnega kratkega stika

- Transformator
 - Impedanca transformatorja

$$Z_T = \frac{u_k \cdot U_T^2}{100 \cdot P_T} (\Omega / fazo)$$

- u_k – kratkostična napetost transformatorja (%)
- U_T – nazivna sekundarna linijska napetost transformatorja (kV) (običajno 0,4kV)
- P_T – nazivna moč transformatorja (MVA)

3.4 Izračun direktnih impedanc enopolnega kratkega stika

- Transformator
 - Delovna upornost transformatorja

$$R_T = \frac{P_{Cu} \cdot U_T^2}{P_T^2} (\Omega / \text{fazo})$$

- P_{Cu} – izgube transformatorja v bakru (MW)
- U_T – nazivna sekundarna linijska napetost transformatorja (kV) (običajno 0,4kV)
- P_T – nazivna moč transformatorja (MVA)

3.4 Izračun direktnih impedanc enopolnega kratkega stika

- Transformator
 - Induktivna upornost transformatorja

$$X_T = \sqrt{Z_T^2 - R_T^2}$$

$$Z_T = \frac{u_k \cdot U_T^2}{100 \cdot P_T} \text{ (\Omega / fazo)}$$

$$R_T = \frac{P_{Cu} \cdot U_T^2}{P_T^2} \text{ (\Omega / fazo)}$$

3.4 Izračun direktnih impedanc enopolnega kratkega stika

- Kabel:
 - Delovna upornost kabla:
 - $R_K = l \cdot R_k \cdot k_{80}$ (Ω / fazo)
 - l – dolžina kabla
 - R_k – reducirana delovna upornost kabla na 1 km dolžine pri temperaturi $T = 20^\circ\text{C}$ (standard N.C0.015)
 - k_{80} – redukcijski faktor povečanja temperature kabla od 20°C na 80°C ($k_{80} = 1,24$); pri izračunu toka I_{k1} je potrebno upoštevati $T = 80^\circ\text{C}$.

3.4 Izračun direktnih impedanc enopolnega kratkega stika

- Kabel:
 - Delovna upornost kabla:
 - $R_k = I \cdot R_k \cdot k_{80}$ (Ω / fazo)
 - Približni izračun R_k :

$$R_k \approx \frac{1}{\lambda \cdot s} \approx \frac{1000}{\lambda \cdot s} (\Omega/\text{km})$$

- λ – specifična prevodnost vodnika ($\lambda_{\text{Cu}} = 56$, $\lambda_{\text{Al}} = 35$)
- s – presek vodnika (mm^2)

3.4 Izračun direktnih impedanc enopolnega kratkega stika

- Kabel:
 - Induktivna upornost kabla:
 - $X_K = l \cdot X_k$ (Ω / fazo)
 - l – dolžina vodnika – kabla (km)
 - $X_k = 0,08$ do $0,1$ (Ω / km)

3.4 Izračun direktnih impedanc enopolnega kratkega stika

- Kontaktna mesta:
 - Delovna upornost kontaktnih mest:
 - $R_{km} = n_{km} \cdot R_{km} \text{ (m}\Omega \text{ / fazo)}$
 - n_{km} – število kontaktnih mest
 - R_{km} – 0,5 m Ω / kontaktno mesto

3.5 Izračun ničelnih impedanc

- Transformator:
 - Ničelna impedanca transformatorja je odvisna od stika transformatorja:

Stik transformatorja	Ničelna delovna upornost R_{0T} (Ω / fazo)	Ničelna induktivna upornost X_{0T} (Ω / fazo)
Dy	$R_{0T} = R_T$	$X_{0T} = 0,95 \cdot X_T$
Dz, Yz	$R_{0T} = 0,4 \cdot R_T$	$X_{0T} = 0,1 \cdot X_T$
Yy	$R_{0T} = R_T$	$X_{0T} = 100 \cdot X_T$

3.5 Izračun ničelnih impedanc

- Kabel:
 - Delovna ničelna upornost kabla:
 - $R_{0K} = 4 \cdot R_K$ (Ω / fazo); pri pogoju preseka vodnikov
 $S_{PEN} = S_{faze}$
 - $R_{0K} = 7 \cdot R_K$ (Ω / fazo); pri pogoju preseka vodnikov
 $S_{PEN} = \frac{1}{2} S_{faze}$
 - Induktivna ničelna upornost kabla:
 - $X_{0K} = 3 \cdot X_K$ (Ω / fazo);

3.6 Primer izračuna kontrole odklopa napajanja

- Primer kontrole odklopa napajanja je viden v tabeli.
- Kontrola je izdelana za dva simetrična trifazna porabnika, ki sta locirana v eksplozijsko ogroženem prostoru – cona 2 (standard N.S8.007).
- Oba porabnika se napajata iz NN razdelilca, ki je lociran v neogroženem prostoru.

3.6 Primer izračuna kontrole odklopa napajanja

- Tehnične karakteristike napajanja obeh porabnikov:
 - Porabnik A: napajalni kabel PP00/Y – 4x120 mm² Cu; l=130m; varovalka 200A
 - Porabnik B: napajalni kabel PP00/Y – 4x6 mm² Cu; l=130m; varovalka 20A
 - Izklopilni čas varovalk: $t_{izk}=100\text{ms}$ (zahteva za Ex prostor)

3.6 Primer izračuna kontrole odklopa napajanja

- Tehnične karakteristike napajanja obeh porabnikov:
 - Karakteristični parametri za izračun kratkostične zanke:
 - 1. Mreža: $U = 10\text{kV}$, $P_M = 350\text{ MVA}$
 - 2. Transformator: $P_T = 1000\text{kVA}$, Dy , $u_k = 6\%$, $P_{Cu} = 11,75\text{ kW}$
 - 3. Kontaktna mesta: $n_{km} = 22$
 - Sistem mreže: TN

3.6 Primer izračuna kontrole odklopa napajanja

- Kontrola odklopa napajanja – tabela parametrov:

1. Tehnične karakteristike porabnika	Porabnik A	Porabnik B
Presek kabla	$S = 4 \times 120 \text{ mm, Cu}$	$S = 4 \times 6 \text{ mm}^2, \text{ Cu}$
Varovalka	NV 100 gl – 200A	NV 100 gl – 20A
Izklopni čas varovalke	$t_{\text{izk}} = 100\text{ms}$	$t_{\text{izk}} = 100\text{ms}$

3.6 Primer izračuna kontrole odklopa napajanja

- Kontrola odklopa napajanja – tabela parametrov:

2.Direktne impedance	Porabnik A (mΩ)		Porabnik B (mΩ)	
Mreža	$R_M = 0,05$	$X_M = 0,50$	$R_M = 0,05$	$X_M = 0,50$
Transformator 1000kVA	$R_T = 1,88$	$X_T = 9,40$	$R_T = 1,88$	$X_T = 9,40$
Kabel PP00/Y	$R_K = 24,66$	$X_K = 10,43$	$R_K = 501,33$	$X_K = 10,43$
Kontaktne mesta n_{km} = 22	$R_{KM} = 11,00$		$R_{KM} = 11,00$	
Vsota dir. del. in ind. upornosti: R+X	$R = 37,59$	$X = 20,33$	$R = 514,26$	$X = 20,33$

3.6 Primer izračuna kontrole odklopa napajanja

- Kontrola odklopa napajanja – tabela parametrov:

3.Ničelne impedance	Porabnik A (mΩ)		Porabnik B (mΩ)	
Transformator 1000kVA	$R_{0T} = 1,88$	$X_{0T} = 8,9$	$R_{0T} = 1,88$	$X_{0T} = 8,9$
Kabel PP00/Y	$R_{0K} = 98,66$	$X_{0K} = 31,3$	$R_{0K} = 2005,32$	$X_{0K} = 31,3$
Vsota nič. del. in ind. upornosti: $R_0 + X_0$	$R_0 = 100,58$	$X_0 = 40,2$	$R_0 = 2007,20$	$X_0 = 40,2$

3.6 Primer izračuna kontrole odklopa napajanja

- Kontrola odklopa napajanja – tabela parametrov:

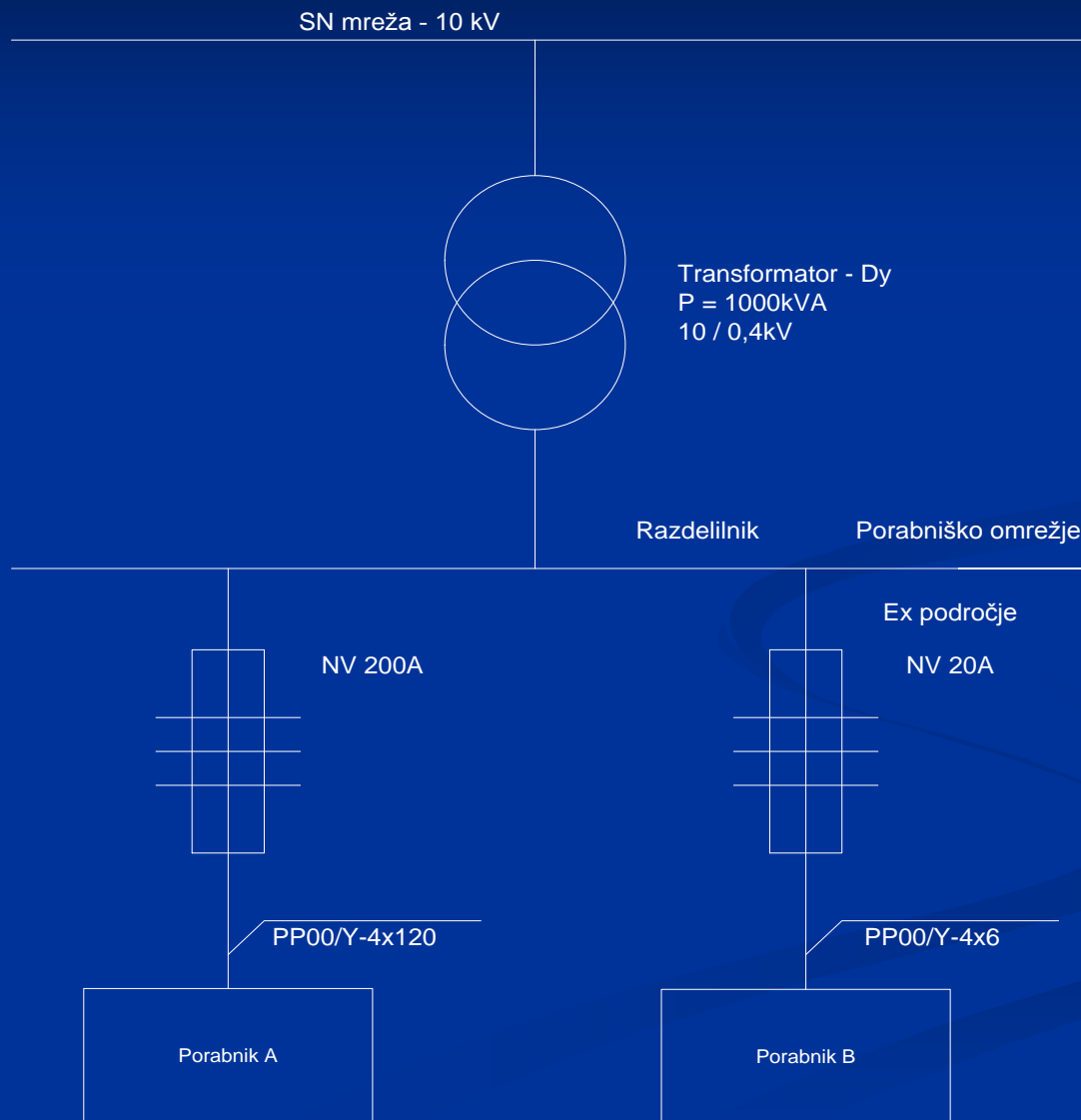
	Porabnik A (mΩ)	Porabnik B (mΩ)
4. Vsota delovnih upornosti	$2R + R_0 = 175,76 \text{ m}\Omega$	$2R + R_0 = 3035,72 \text{ m}\Omega$
5. Vsota induktivnih upornosti	$2X + X_0 = 80,86 \text{ m}\Omega$	$2X + X_0 = 80,86 \text{ m}\Omega$
6. Ekvivalentna impedanca Z_e	$Z_{eA} = 193,47 \text{ m}\Omega$	$Z_{eB} = 3036,8 \text{ m}\Omega$
7. Tok enopolnega kratkega stika I_{k1}	$I_{k1A} = 2865 \text{ A}$	$I_{k1B} = 182,5 \text{ A}$

3.6 Primer izračuna kontrole odklopa napajanja

- Kontrola odklopa napajanja – tabela parametrov:

	Porabnik A ($m\Omega$)	Porabnik B ($m\Omega$)
8. Izklop. tok varovalke pri $t_{izk} = 0,1s$	$I_{aA} = 2750 A$	$I_{aB} = 192,5 A$
9. Pogoji izklopa napajanja $I_a < I_{k1}$	Pogoj izpolnjen	Pogoj ni izpolnjen (povečati presek kabla!)
10. Impedanca 3-pol. kratkega stika	$Z = 42,74 m\Omega$	$Z = 514,66 m\Omega$
11. Tok 3-pol. kratkega stika	$I_{k3} = 5410 A$	$I_{k3} = 450 A$

3.6 Primer izračuna kontrole odklopa napajanja – vezalna shema



4. Dimenzioniranje porabniških tokokrogov

- Dimenzioniranje porabniških tokokrogov pomeni:
 - Določanje bremenskega toka porabnika
 - Določitev ustreznega preseka napajalnega vodnika porabnika s pripadajočo varovalno napravo (talilna varovalka, instal. odklopnik, motorsko zaščitno stikalo ...)
 - Kontrolo padcev napetosti na vodnikih, pri čemer izberemo najneugodnejše variante
- Običajno kot temeljno zaščito pri posrednem dotiku izberemo zaščito z avtomatskim odklopom napajanja.
 - Tako izvedemo kontrolo učinkovitosti zaščite pred električnim udarom v sistemu (npr. TN), tako da najprej izračunamo impedanco (upornost) okvarne zanke in na osnovi te določimo odklopni tok zaščitne naprave in ga primerjamo z vrednostjo, določeno po predpisih.