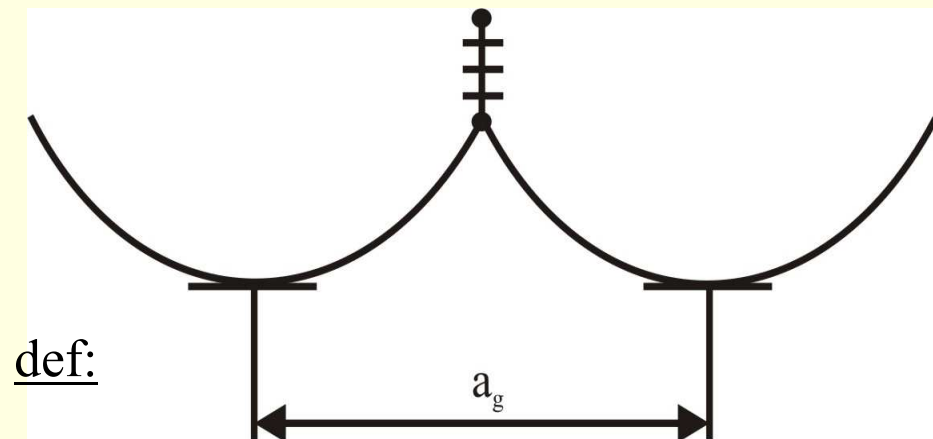


Elementi elektroenergetskih sistema

- Gravitacioni raspon
- Ekonomski raspon
- Raspored provodnika i zaštitne užadi u glavi stuba
 - Zaštitna zona zaštitne užadi
 - Izolatori
- Mehaničko i električno dimenzionisanje izolatora

2.1.11 Gravitacioni raspon

- Gravitacioni raspon je rastojanje izmedju temena dva susedna raspona.
- Kod pravih raspona: $a_g = \frac{a_1}{2} + \frac{a_2}{2}$
- Služi za izračunavanje vertikalnih sila koje deluju na stub.



2.1.12 Ekonomski raspon

- Ekonomski raspon je onaj raspon pri kome su troškovi izgradnje voda najmanji. Cena izgradnje voda po jedinici dužine (C_V) je:

$$C_V = C_P + C_i + C_S + C_Z$$

C_P = cena provodnika

C_i = cena izolatora

C_S = cena stuba

C_Z = cena zemljišta

C_P, C_i, C_S = cene provodnika, izolatora, stuba po jedinici dužine

2.1.12 Ekonomski raspon

- Vod se može graditi sa višim ili nižim stubovima.
- Ako su viši stubovi ima ih manje, ali su skuplji:
- Cena stuba zavisi od visine: $C_s = k \cdot H^{\frac{5}{3}}$ (empirijska formula)

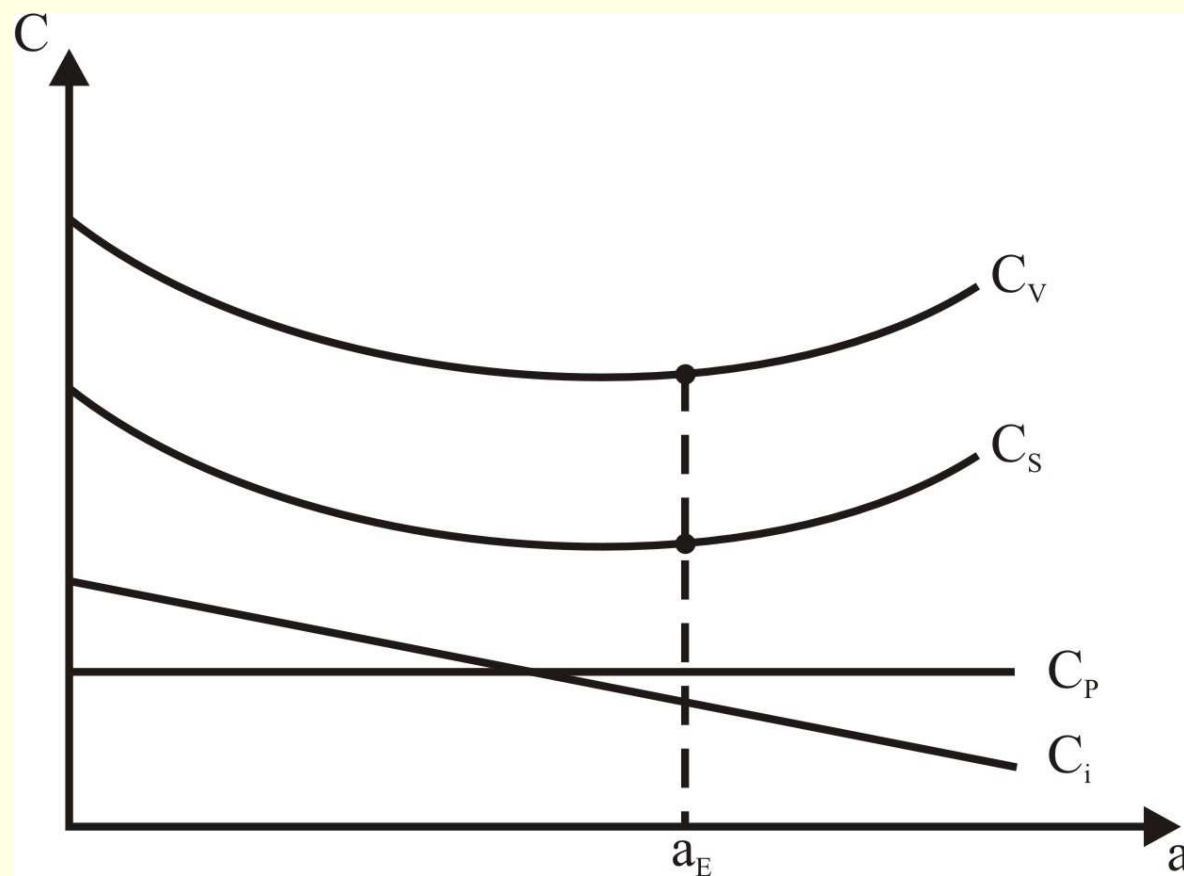
H = visina stuba

k = zavisi od materijala

C_p = cena provodnika za dalekovod ne zavisi od raspona

C_i = cena izolatora opada sa povećanjem dužine raspona, jer ima manje stubnih mesta

2.1.12 Ekonomski raspon



Zavisnost C_p, C_i, C_s i cene celog voda od raspona

2.1.12 Ekonomski raspon

- Ukupna cena dalekovoda (C_V) , pri nekom rasponu a_E ima minimalnu vrednost. Taj raspon se naziva ekonomski.
- Stubovi za nadzemne vodove se uglavnom izradjuju od čelika, armiranog betona i drveta. Za ove materijale važe sledeći odnosi ekonomskog raspona.

$$a_{E \text{ za čelik}} > a_{E \text{ za beton}} > a_{E \text{ za drvo}}$$

2.1.13 Raspored provodnika i zaštitne užadi u glavi stuba

- Sigurnosni razmak je najmanji dozvoljeni razmak između delova pod naponom, odnosno delova pod naponom i uzemljenog dela voda, za odgovarajući nazivni napon.
- Udaljenost između delova pod naponom, kao i udaljenost od delova pod naponom do uzemljenih delova i delova stuba, uzimajući u obzir dejstvo vetra ili dodatnog opterećenja, mora biti najmanje jednaka sigurnosnom razmaku (Propis, član 28).

2.1.13 Raspored provodnika i zaštitne užadi u glavi stuba

Vrsta naponskog naprezanja izolacije		Sigurnosni razmak za nazivni napon [kV] S_R [cm]					
		10	20	35	110	220	400
1. Atmosferski prenaponi	S_{R1}	15	25	35	90	175	280
2. Komutacioni prenaponi	S_{R2}	10	20	30	80	155	270
3. Pogonski naponi (50Hz)	S_{R3}	-	7	10	30	55	90

2.1.13 Raspored provodnika i zaštitne užadi u glavi stuba

- Sigurnosni razmaci računaju se za sledeće uslove:

- Atmosferski prenaponi – pri neotklonjenom izolatorskom lancu

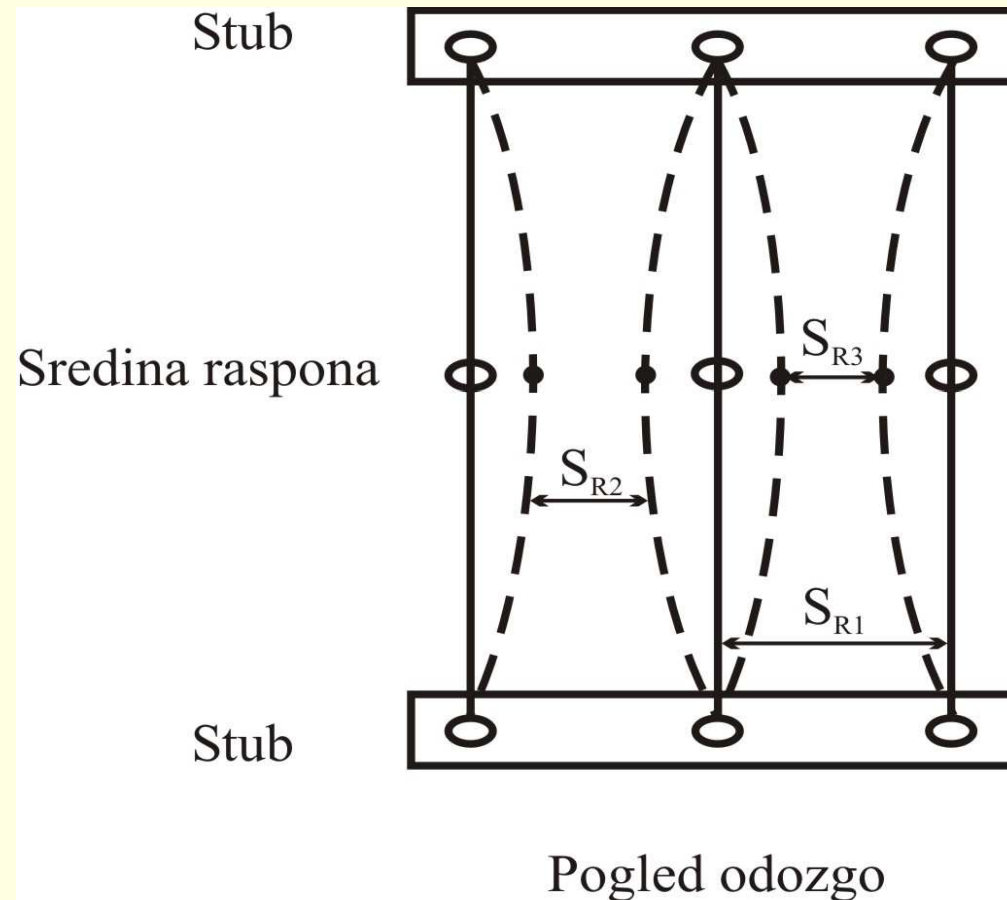
- Komutacioni prenaponi – otklonjeni provodnici usled dejstva vetra pritiska

$$p_V = 0.15 \cdot p_{v \max} \quad (\text{uzima se } 15\% \text{ maksimalnog pritiska vetra})$$

- Pogonski naponi – otklonjeni provodnici usled dejstva vetra pritiska

$$p_{v \max}$$

2.1.13 Raspored provodnika i zaštitne užadi u glavi stuba



$$S_{R3} < S_{R2} \quad (\text{jači je vetar})$$

2.1.13 Raspored provodnika i zaštitne užadi u glavi stuba

- Otklon provodnika nastaje usled asinhronog ljuljanja provodnika usled vetra i opadanja dodatnog tereta.
- Propis smatra da će sigurnosni razmak za ove tri vrste napona (prenapona), 1, 2 i 3 biti ispunjen ako udaljenost **D** na sredini raspona u uslovima bez vetra iznosi najmanje:
$$D = k \cdot \sqrt{f_{40^\circ} + l_I} + S_{R1}$$
- $D[\text{cm}]$ = rastojanje izmedju faznih provodnika ili izmedju faznih provodnika i zaštitnog užeta.

2.1.13 Raspored provodnika i zaštitne užadi u glavi stuba

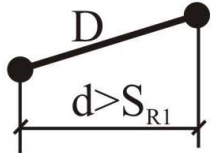
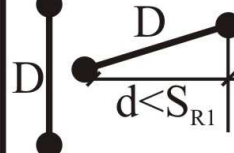
$f_{40^\circ} [cm]$ = ugib na $40^\circ C$

$l_I = 0$ – za potporne izolatore, zaštitnu užad i zatezne izolatorske lance

$S_{R1} [cm]$ = sigurnosni razmak za neotklonjene provodnike

k = koeficijent koji zavisi od rasporeda dva posmatrana provodnika, odnosno provodnika i zaštitnog užeta.

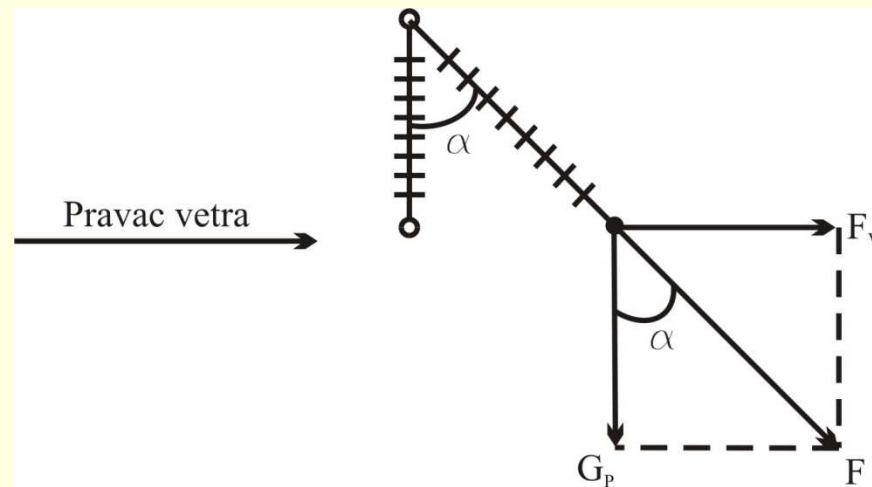
2.1.13 Raspored provodnika i zaštitne užadi u glavi stuba

Medjusobni položaj posmatranih provodnika			
k	$4+(\alpha/25)$	$2+(\alpha/10)$	$4+(\alpha/5)$
$k_{\min}$	6	7	14
$D_{\min}[\text{cm}]$, ako je $D_{\text{rac}} < D_{\min}$	60	70	140

α = ugao otklona provodnika usled dejstva vetra [$^{\circ}$]

d = horizontalna projekcija

2.1.13 Raspored provodnika i zaštitne užadi u glavi stuba



$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{F_v}{G_p}$$

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{K_v \cdot d \cdot L \cdot p_v \cdot \sin 90^\circ}{\gamma \cdot S \cdot L}$$

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{d[\text{mm}] \cdot p_v \left[\frac{\text{daN}}{\text{m}} \right]}{\gamma \left[\frac{\text{daN}}{\text{m} \cdot \text{mm}^2} \right] \cdot S[\text{mm}^2]} \cdot 10^{-3}$$

2.1.13 Raspored provodnika i zaštitne užadi u glavi stuba

- Usvaja se:

$p_V = 0.7 \cdot p_{v \max}$ - za fazne provodnike izvedene sa jednim užetom

$p_V = 0.5 \cdot p_{v \max}$ - za fazne provodnike u obliku snopa

$$\alpha = \arctg(\tg \alpha) [^\circ]$$

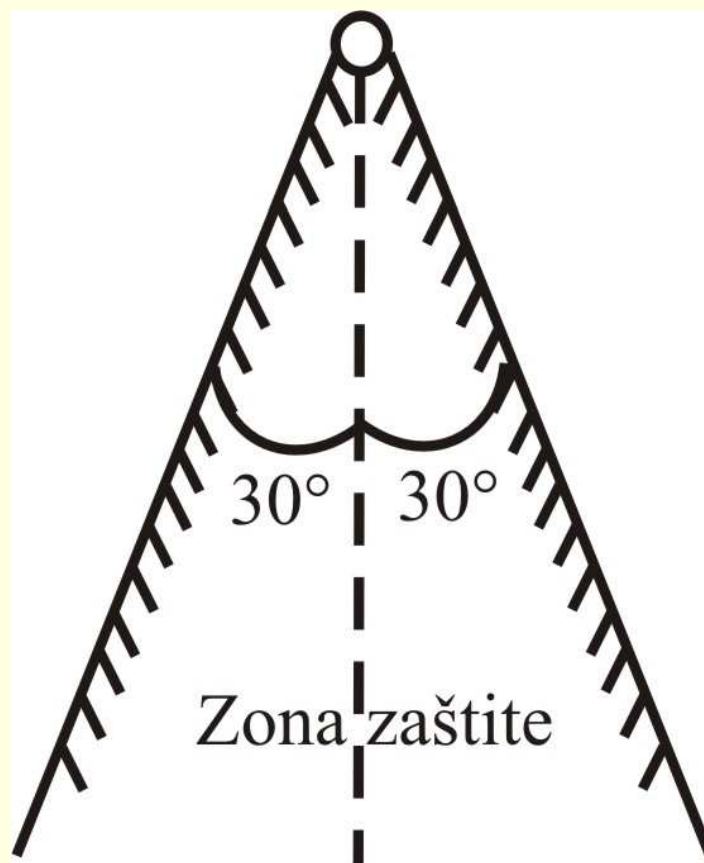
- Za niskonaponske vodove razmak između faznih provodnika je: $D = 3 \cdot \sqrt{f_{40^\circ}}$ [cm].

2.1.14 Zaštitna zona zaštitne užadi

- Pri izboru rasporeda provodnika i zaštitne užadi u glavi stuba, propis traži da fazni provodnici budu u zaštitnoj zoni zaštitne užadi. (ako se smeste tu, mala je verovatnoća od udara groma).
- Zaštitna zona, zaštitne užadi definisana je propisom i prikazana je na sledećem slajdu.
- Broj zaštitnih užadi se kreće od 1 do 2.

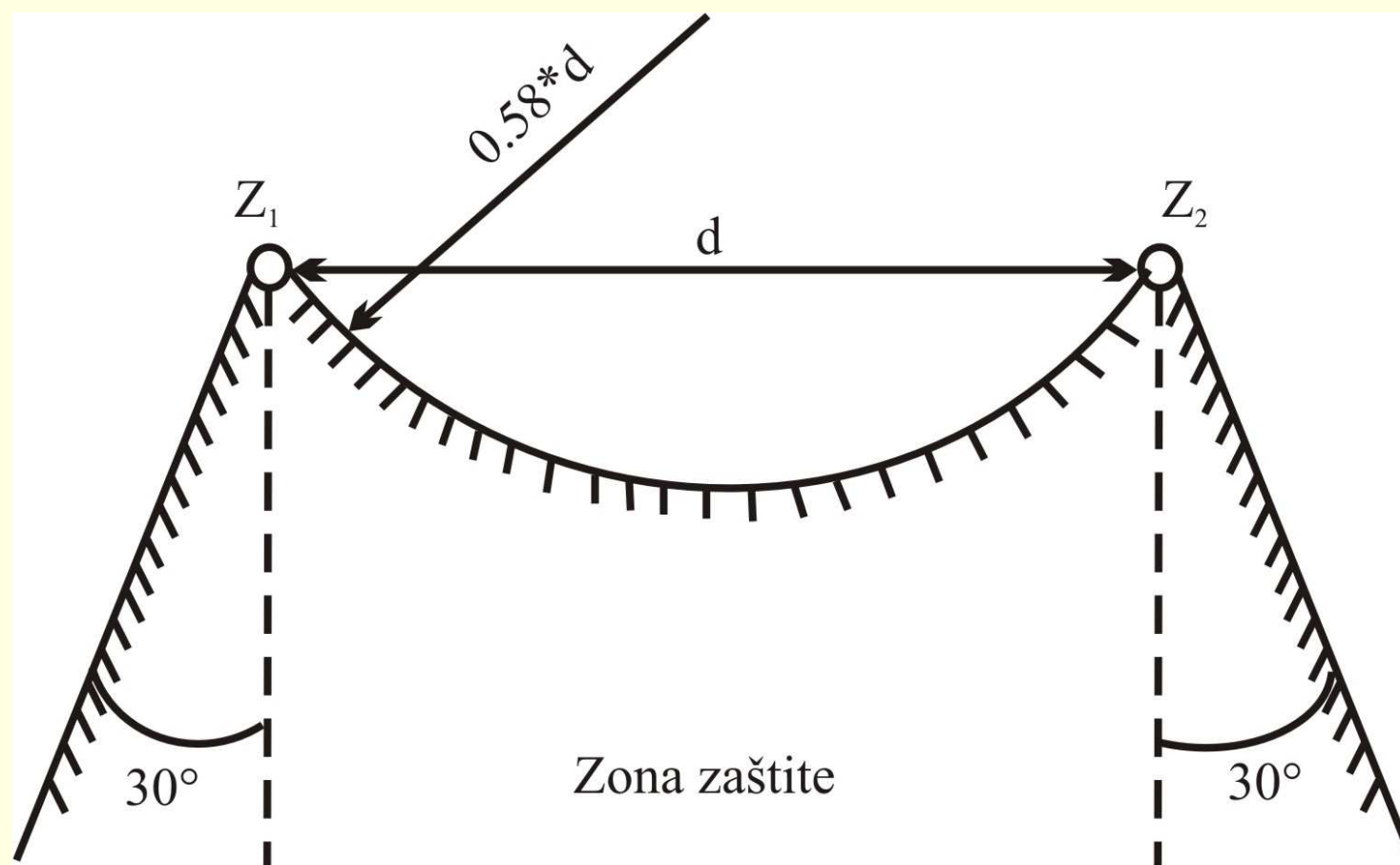
2.1.14 Zaštitna zona zaštitne užadi

Ako se ima jedno zaštitno uže:



2.1.14 Zaštitna zona zaštitne užadi

Ako su dva zaštitna užeta:



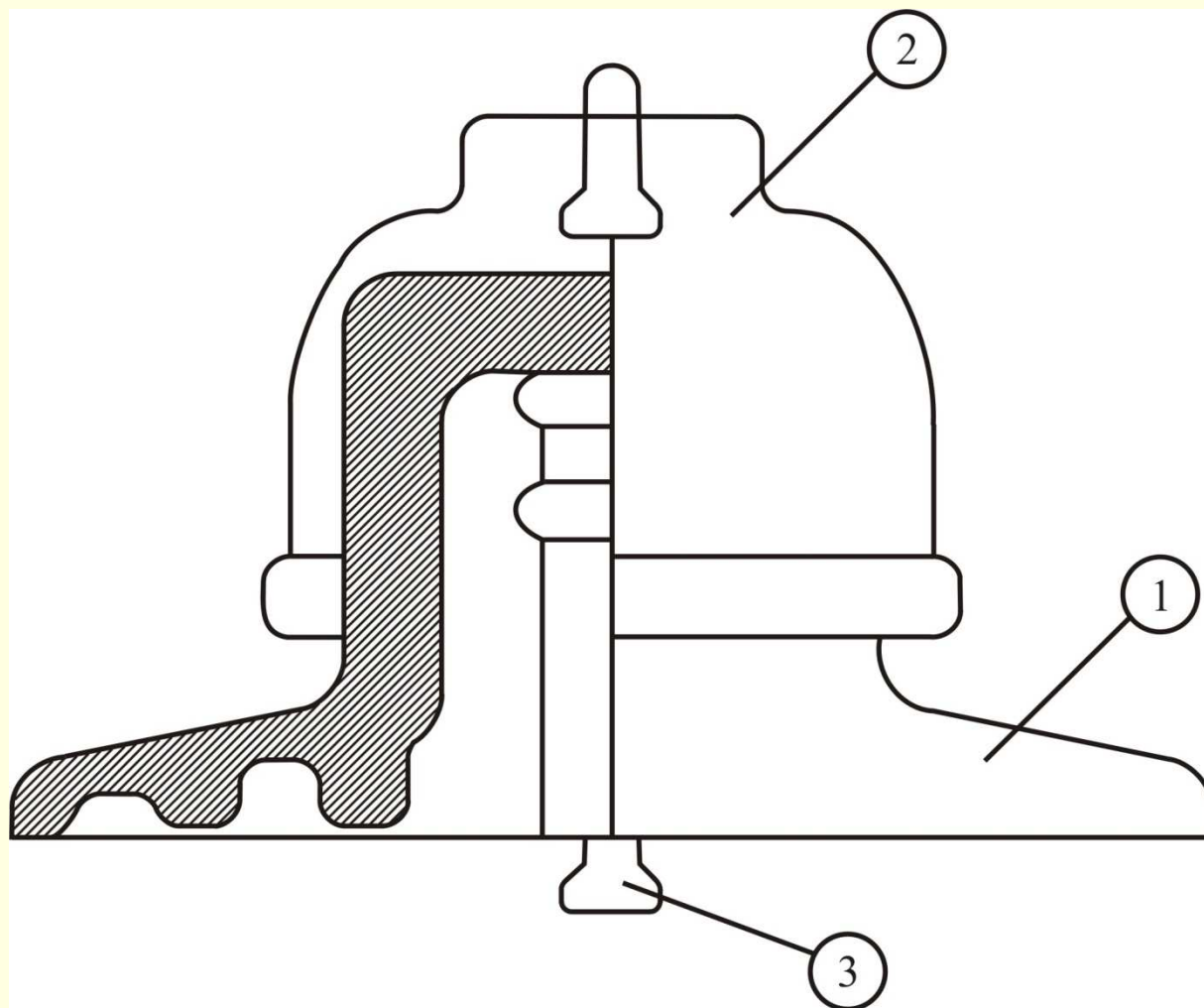
2.2 Izolatori

- Izolatori služe da odvoje delove bez napona od delova sa visokim naponom na stubu.
- Postoje tri podele izolatora:
- (1) Podela izolatora prema položaju užeta:
- Za nadzemne vodove koriste se sledeće tri vrste izolatora:
 - potporni
 - viseći (ili kapasti)
 - štapni (ne proizvode se u SR)

2.2 Izolatori

- Potporni: za napone do 35kV, za više napone bili bi suviše teški i glomazni
- Viseći (kapasti): sastoje se od članaka čijim fleksibilnim spajanjem se formira izolatorski lanac. Sastoji se od keramičkog ili staklenog tela (1), metalne pocinkovane kape (2) i čeličnog pocinkovanog batića ili tučka (3).

2.2 Izolatori



2.2 Izolatori

- Štapni (iz jednog komada). Po funkciji su isti kao i kapasti izolatori. Zahtevaju dobru tehnologiju. Pre su se proizvodili od keramike, a u novije vreme od organskih materijala na bazi sintetičkih smola.
- Prednosti: Ne dolazi do preskoka između metalnih delova, pri čemu stradaju pojedini lanci (keramika) i ne zahteva metalne delove.
- Nedostaci: Teški su za izradu, zahtevaju prvoklasnu tehnologiju, izrađuju se za naponske nivoe 110 kV i više.

2.2 Izolatori

- (2) Podela izolatora prema vrsti materijala:
- Materijal za izradu potpornih, kapastih i štapnih izolatora:
 - keramika
 - staklo
 - sintetičke smole

2.2 Izolatori

- (3) Podela izolatora prema funkciji:
- Zavisi od toga da li izolator stoji na nosećem ili zateznom stubu:
 - noseći izolatorski lanci
 - zatezni izolatorski lanci

2.2.1 Mehaničko dimenzionisanje izolatora

F_{Pr} = mehanička prekidna sila, je bitna za mehaničko dimenzionisanje i izbor potpornih i štapnih izolatora.

- Izolatori iz jednog komada:
- Potporni i štapni izolatori na nosećim stubovima moraju imati prelomno opterećenje najmanje k puta veće od težine provodnika sa dodatnim opterećenjem, a potporni i štapni izolatori na zateznim stubovima najmanje k puta veće od sile zatezanja provodnika.

2.2.1 Mehaničko dimenzionisanje izolatora

- Za noseće stubove:

$$F_{Pr} \geq k \cdot G_{P+L} = k \cdot S \cdot \gamma_r \cdot a_g$$

$k = 2.5$ (za potporne izolatore)

$k = 3$ (za štapne izolatore)

a_g = gravitacioni raspon (izolator nosi uže u gravitacionom rasponu)

F_{Pr} = konstruktivna karakteristika izolatora

S = poprečni presek provodnika

2.2.1 Mehaničko dimenzionisanje izolatora

- Za zatezne stubove:

$$F_{\text{Pr}} \geq k \cdot \delta_{nd} \cdot S$$

$k = 2.5$ (za potporne izolatore)

$k = 3$ (za štapne izolatore)

- Izolatori iz više članaka:

$F_{e\text{Pr}}$ = elektromehanička prekidna sila, je bitna za mehaničko dimenzionisanje i izbor kapastih, tj. visećih izolatora.

2.2.1 Mehaničko dimenzionisanje izolatora

- Kapasti izolatori u lancima na nosećim stubovima moraju imati elektromehaničko opterećenje najmanje tri puta veće od težine provodnika sa dodatnim opterećenjem, a oni na zateznim stubovima najmanje tri puta veće od sile zatezanja provodnika.
 - na nosećim stubovima: $F_{epr} \geq 3 \cdot G_{P+L} = 3 \cdot \gamma_r \cdot S \cdot a_g$
 - na zateznim stubovima: $F_{epr} \geq 3 \cdot \delta_{nd} \cdot S$

2.2.1 Mehaničko dimenzionisanje izolatora

- Zašto elektromehaničko opterećenje?
- Zato što je metalna kapa i metalni batić na svega nekoliko centimetara, pa se između njih stvara jako električno polje, koje smanjuje mehaničku izdržljivost materijala, od koga je izgrađen izolator.

2.2.2 Električno dimenzionisanje izolatora

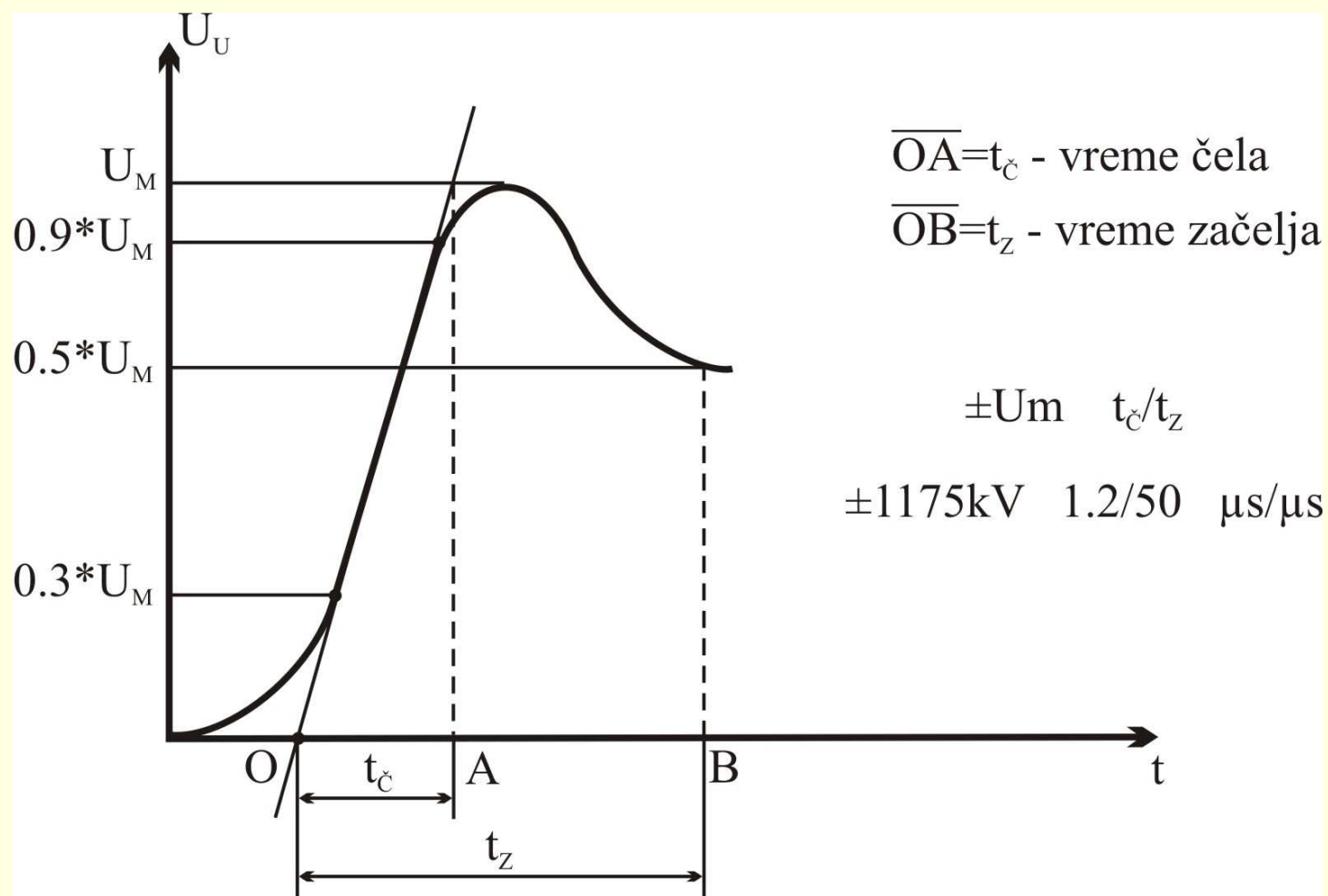
- Izolator ili izolatorski lanac sa armaturom (znači onakav kakav se montira na stub), mora da izdrži napone navedene u tabeli:

$U_{1\text{min},50\text{Hz}}$ = jednominutni podnosivi napon, učestanosti 50 Hz, koji izolator mora da izdrži 1 minut.

U_u = standardni udarni naponski talas (1,2/50 μ s), koji izolator mora da izdrži bez obzira na polaritet naponskog talasa.

U_s = nazivni podnosivi sklopni prenapon (250/2500 μ s)

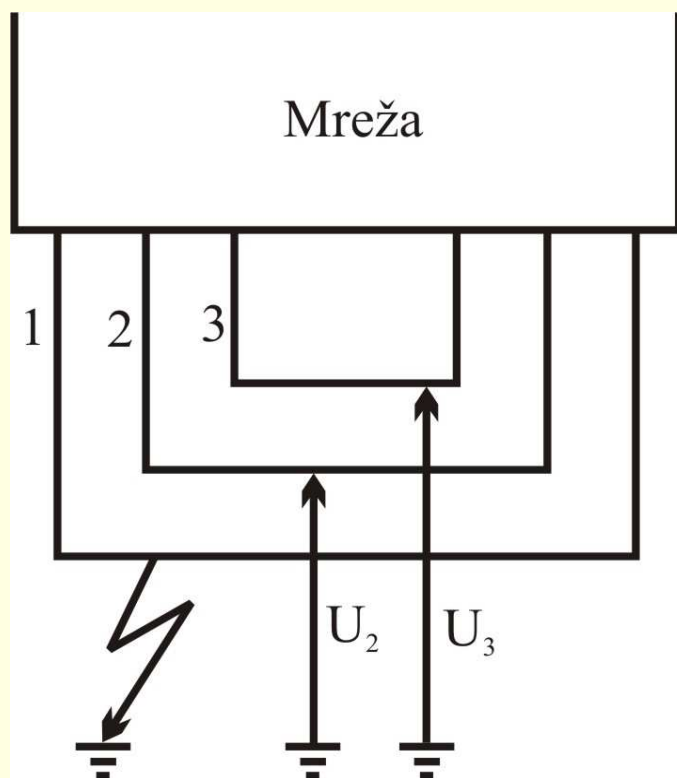
2.2.2 Električno dimenzionisanje izolatora



2.2.2 Električno dimenzionisanje izolatora

- Pun stepen izolacije važi za mreže koje nisu efikasno uzemljene, a snižen stepen izolacije važi za efikasno uzemljene mreže.
- Propis: Mreža je efikasno uzemljena, ako u slučaju zemljospoja, naponi ispravnih faza ne prelaze $0.8 \cdot U_{mr}$ (U_{mr} = maksimalni dodatni napon).

2.2.2 Električno dimenzionisanje izolatora



$$U_2 < 0.8 \cdot U_{mr}$$

$$U_3 < 0.8 \cdot U_{mr}$$

> Linijski
napon

2.2.2 Električno dimenzionisanje izolatora

- Direktnim uzemljenjem neutralne tačke transformatora postiže se efikasno uzemljenje mreže.
- Mreža je efikasno uzemljena, ako odnos $U_{\text{zdrave faze}} < U_{\text{mr}}$, važi u svim tačkama mreže.
- Direktno se uzemljuju mreže 110 kV i viših napona (kod nas), dok se u mrežama 35 kV i niže, radi sa izolovanim zvezdištem ili sa uzemljenjem preko neke impedanse.

2.2.2 Električno dimenzionisanje izolatora

- Stepen izolacije bira se sa obzirom na izloženost atmosferskim i sklopnim prenaponima, način uzemljenja neutralne tačke i vrstu prenaponske zaštite (ako je primenjena), (ovo je za $U_n = 3 \div 35kV$)

2.2.2 Električno dimenzionisanje izolatora

- Data tabela važi za: $p = 1013.25 \text{ mbar}$, $t = 20^\circ \text{C}$,
vlažnost vazduha 11 grama vode po m^3
- Za veće nadmorske visine, napone iz date tabele
treba pomnožiti sa koeficijentom k iz tabele:

H[km]	1 – 1.5	1.5 – 2	2 – 2.5
k	1.075	1.15	1.225

2.2.2 Električno dimenzionisanje izolatora

- Pri električno dimenzionisanju treba voditi računa o stepenu zagadjenosti atmosfere. Što je atmosfera zagadjenija, treba duža strujna staza.
- Strujna staza: to je put kojim, preko (mokrog) izolatora može proteći struja između metalnih krajeva izolatora (najkraće rastojanje mereno po površini izolatora od kape do tučka).
- Specifična nazivna strujna staza=(dužina strujne staze)/(najviši nazivni napon opreme) $\left[\frac{mm}{kV} \right]$

2.2.2 Električno dimenzionisanje izolatora

Stepen zagadjenosti	Specifična nazivna strujna staza [mm/kV]
I mala zagadjenost	16
II srednja zagadjenost	20
III velika zagadjenost	25
IV vrlo velika zagadjenost	31

2.2.2 Električno dimenzionisanje izolatora

- Izolacija se pojačava mehanički i električno ili i mehanički i električno. Mehaničko pojačanje – ako se postave paralelno dva izolatora. Električno pojačanje – ako se izaberu izolatori za viši naponski nivo ili sa dužom strujnom stazom.
- Mehanički – paralelno više izolatora, električno – redno više izolatora (ili članaka kod kapastih izolatorskih lanaca).