

# **ZAŠTITNE MJERE ZA ELEKTROENERGETSKE MREŽE I OSTALE ELEKTRIČNE POJAVE U RUDNICIMA**

**osnovne grupe zaštita od**

**preopterećenja  
podnapona ili nestanka napona  
kratkog spoja  
previsokoga dodirnog napona  
nekontroliranih i spontanijh pojava  
atmosfersko pražnjenje na površini  
elektrostatski naboj  
lutajuće struje**

**posebne mjere zaštite**

**protueksplozijska zaštita električnih uređaja  
naročite mjere zaštite (specijalni kontrolnici)**

## Strujno opterećenje

### Zagrijavanje strujnim opterećenjem

$$\vartheta_n = \vartheta - \vartheta_0 = \vartheta_{nmax} \left( 1 - e^{-\frac{t}{\tau}} \right) \quad (K)$$

$$\vartheta_{nmax} = \vartheta_{max} - \vartheta_0 = \frac{P}{A \cdot \alpha} \quad P = \rho \cdot j^2 \cdot S \quad (W) \quad \tau = \frac{m \cdot c}{A \cdot \alpha},$$

**S** - površina presjeka vodiča

**A** - površina zagrijavanog vodiča preko koje se toplina odvodi

$\vartheta$  - temperatura zagrijanog vodiča (°C)

$\vartheta_0$  - temperatura okoline (°C)

$\vartheta_n$  - nadtemperatura vodiča (°C)

$\vartheta_{nmax}$  - maksimalna nadtemperatura vodiča (°C)

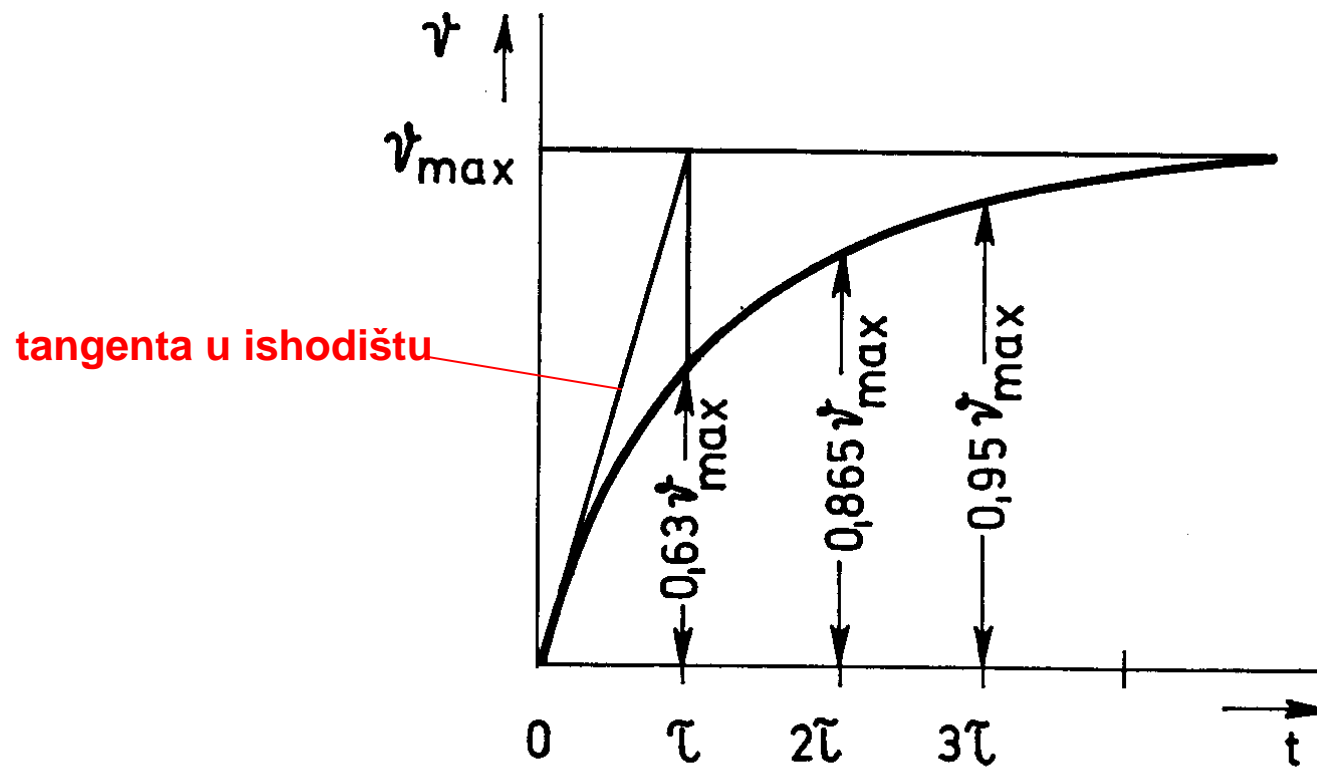
$\alpha$  - temperaturni koeficijenti odvođenja topline po jedinici površine za 1 °K

**m** - masa zagrijavanog vodiča

**c** - specifična toplina vodiča

Zagrijavanje - > utjecaj na izolaciju

Visoka vjerojatnost ispravnosti izolacije za vrijeme amortizacije uređaja



Zagrijavanje električnog uređaja

t	$\tau$	$2 \cdot \tau$	$3 \cdot \tau$	$4 \cdot \tau$	$5 \cdot \tau$
$\vartheta/\vartheta_{nmax}$	0,632	0,865	0,950	0,981	0,993

Stacionarno stanje  $\uparrow$  temperature  $< 2\%$ sat

## Hlađenje nakon postignute $\vartheta_{max}$

$$\vartheta_n = \vartheta_{nmax} \cdot e^{-\frac{t}{\tau}} \quad (K)$$

$$\vartheta_{nmax} = \frac{P}{A \cdot \alpha} = \frac{I^2 \cdot R}{A \cdot \alpha} \quad (K)$$

$$\tau = \frac{m \cdot c}{A \cdot \alpha},$$

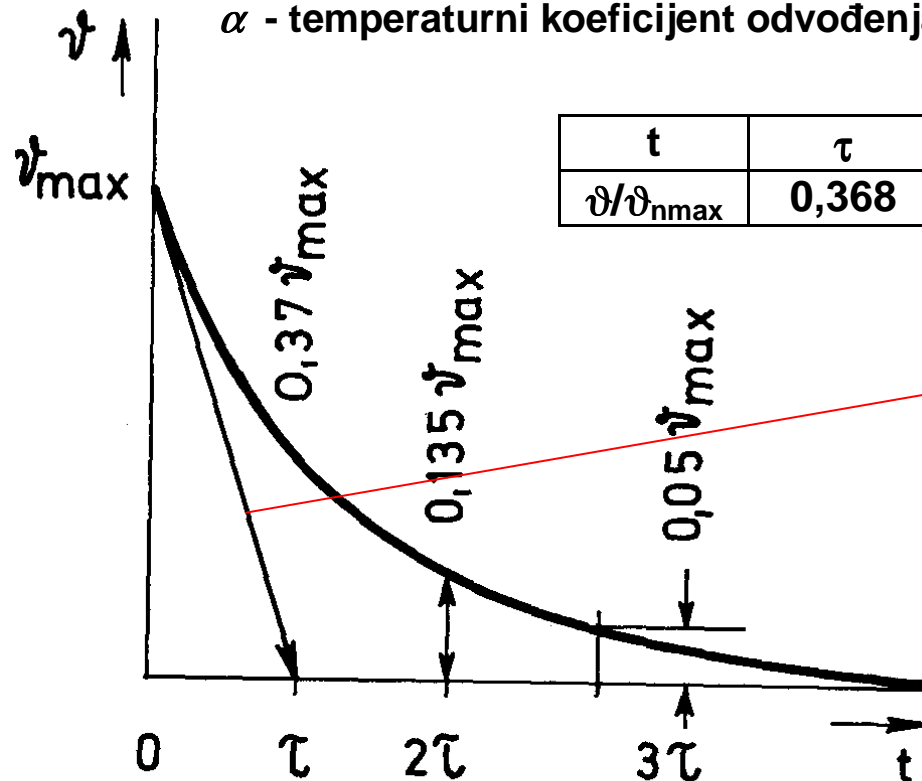
$P$  - snaga razvijena u otporniku otpora  $R$  (W)

$I$  - struja (A)

$R$  - električki otpor zagrijanog tijela ( $\Omega$ )

$A$  - površina zagrijanog vodiča preko koje se odvodi toplina

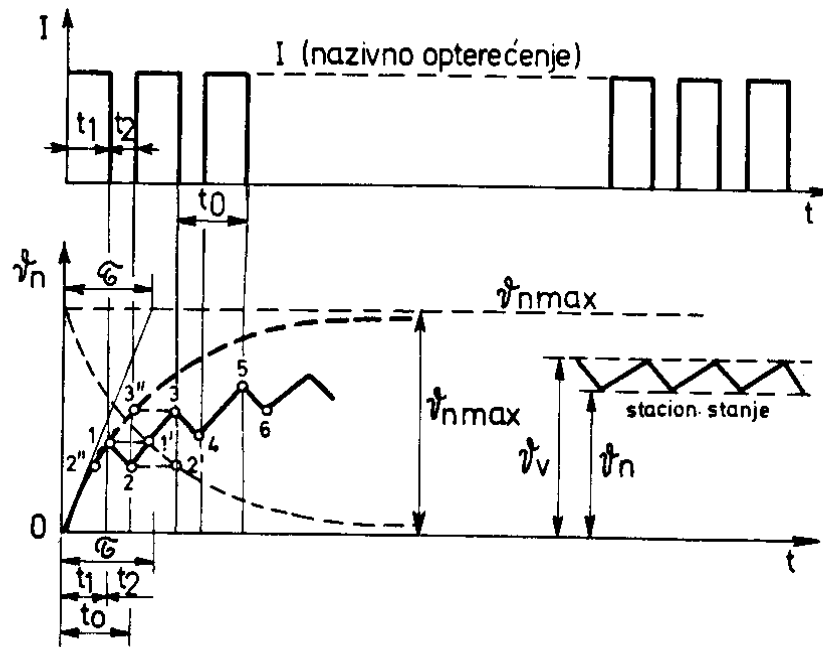
$\alpha$  - temperaturni koeficijent odvođenja topline po jedinici površine za 1 $^{\circ}$ K



t	$\tau$	$2 \cdot \tau$	$3 \cdot \tau$	$4 \cdot \tau$	$5 \cdot \tau$
$\vartheta/\vartheta_{nmax}$	0,368	0,135	0,050	0,019	0,007

tangenta u ishodištu

Hlađenje električnog uređaja



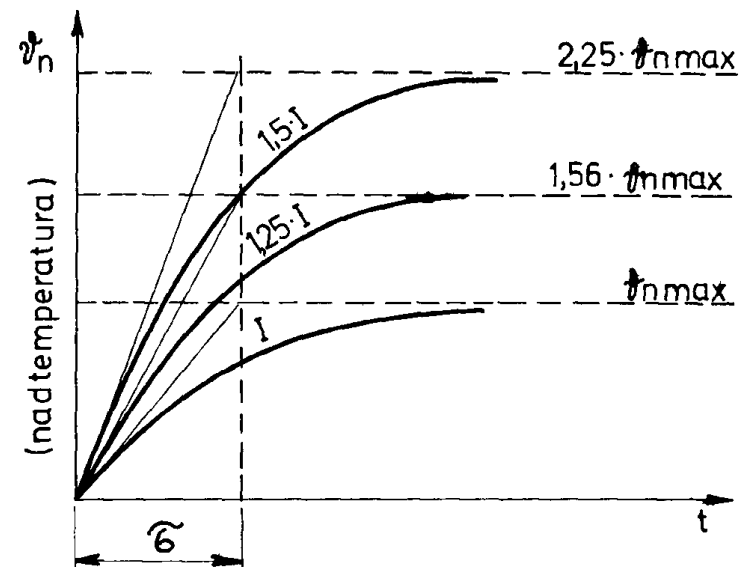
dozvoljeno kontrolirano preopterećenje

Zagrijavanje električnog uređaja intermitirajućim opterećenjem

za  $t$  preopterećenja

$t < \tau$  20% **dozvoljeno preopterećenje 25%**

$t < \tau/2$  50% **dozvoljeno preopterećenje 50%**



Nadtemperatura kod preopterećenja

## Neizolirani vodiči (vodovi)

$$j = \frac{I}{S} = \sqrt{\frac{\vartheta_{nmax}}{k} \cdot S^{\frac{1}{2}}} \quad \left( \frac{A}{mm^2} \right) \quad \text{uz} \quad k = \frac{\rho}{2 \cdot \sqrt{\pi \cdot \alpha}}$$

*I* - struja (A)

*S* - presjek vodiča u mm<sup>2</sup>

*ρ* - specifični otpor vodiča

*ϑ*<sub>nmax</sub> - dopuštena nadtemperatura

*α* - koeficijent odvođenja topline po jedinici površine za 1K

### STRUJNO OPTEREĆENJE U A ZA NEIZOLIRANE VODIČE

Presjek mm <sup>2</sup>	6	10	16	25	35	50	70	95	120	150	185
Cu-vodiči	60	85	115	150	175	230	280	360	410	480	545
Al-vodiči (Alučel uže)	—	—	90	125	145	170	235	290	345	400	455

## Kabeli

$I$  - struja (A)

$S$  - presjek vodiča u  $\text{mm}^2$

$\rho$  - specifični otpor vodiča

$\alpha$  - koeficijent odvođenja topline po jedinici površine za 1K

$\vartheta_{nmax}$  - maksimalno dopuštena nadtemperatura izolacije

$$j = \frac{I}{S} = \sqrt{\frac{\vartheta_{nmax}}{k} \cdot S^{\frac{1}{2}}}$$

$$\left( \frac{\text{A}}{\text{mm}^2} \right)$$

$$\text{uz } k = \frac{\rho}{2 \cdot \sqrt{\pi \cdot \alpha}}$$

### DOPUŠTENO OPTEREĆENJE RUDARSKIH KABELA

	Nazivni pre- sjek vodiča ( $\text{mm}^2$ )	Gibljivi kabeli			Armirani kabeli			
		(GN) 1 kV (A)	(EpN) 1 kV (A)	(EpN) 6 kV (A)	(PP) 1 kV (A)	(PHP) 6 kV (A)	(XP), (EpP) 1 kV (A)	(XHP), (EpHP) 6 kV (A)
P polivinilklorid								
G prirodna guma								
Ep sintetska guma na bazi etilen – propilena	1,5	21	28	—	18	—	—	—
	2,5	28	39	—	25	—	—	—
X umreženi polietilen	4	38	52	—	34	—	—	—
	6	51	66	—	44	—	—	—
B sintetska butil guma	10	66	91	88	60	—	—	—
	16	88	120	121	80	81	105	120
E Polietilen (nije pogodan zbog lakog gorenja)	25	125	165	154	105	110	134	154
	35	145	200	187	130	135	160	186
	50	182	251	233	160	165	198	223
	70	228	308	282	200	205	247	280
	95	273	369	340	245	250	306	345
	120	317	433	392	285	285	360	398
	150	378	496	445	325	325	420	453
185	411	565	510	370	370	478	530	
	240	—	—	—	430	430	550	620

P polivinil klorid

N sintetska guma na bazi poliklorproprena (neopren)

**PROMJENE DOPUŠTENOG OPTEREĆENJA KABELA I VODOVA  
ZAVISNO OD TEMPERATURE PROSTORIJE**

Temperatura prostorije do °C	Dopušteno opterećenje u postocima trajnoga dopuštenog opterećenja	
	do 1 kV	1 do 6 kV
20	106	106
25	100	100
30	92	93
35	85	87
40	75	79
45	65	71
50	53	61

**kabel do kabela → 80% dopuštenog opterećenja**

**DOPUŠTENO OPTEREĆENJE KABELA NAMOTANIH NA BUBANJ**

Broj slojeva kabela	Dopušteno opterećenje u postocima trajnoga dopuštenog opterećenja
1	60
2	45
3	35
4	28
vjše od 4	25



## Električni strojevi i transformatori

trafo 1,8 do 2,2 A/mm<sup>2</sup> motori 4 do 6 A/mm<sup>2</sup>

$$\vartheta_{\max} = \vartheta_{\text{O}} + \vartheta_{\text{np}} + \vartheta_{\text{no}} \leq \vartheta_{\text{kl}} \quad \text{dopuštena temperatura}$$

$\vartheta_{\text{O}}$  temperatura okoline

$\vartheta_{\text{np}}$  nadtemperatura u praznom hodu

$\vartheta_{\text{no}}$  nadtemperatura opterećenog stroja

$$\vartheta_{\text{n}} = \vartheta_{\text{np}} + \vartheta_{\text{no}} \quad \text{nadtemperatura stroja}$$

### DOPUŠTENE TEMPERATURE NAMOTA

IZOLACIJSKA KLASA		Y	A	E	B	F	H	C
Maksimalno dopuštena temperatura (°C)		90	105	120	130	155	180	180
ELEKTRIČNI STROJEVI	mjereno termometrom	—	90	105	110	125	145	—
	mjereno otpornom metodom	—	100	115	120	140	165	—
APARATI (maksimalno dopuštena temperatura)		90	100	—	130	155	—	—

$$\vartheta_{\text{nmax}} = \vartheta_{\text{kl}} - \vartheta_{\text{O}} = \vartheta_{\text{kl}} - 40 \quad (\text{K})$$

nadtemperatura uređaja

## KLASE IZOLACIJSKIH MATERIJALA

KLASA	IZOLACIJSKI MATERIJALI
Y	<p>Pamuk, papir, prešpan, prirodna svila. Vlakna viskozna, na bazi celuloznog acetata i poliamidna (najlon, perlon).</p> <p>Formaldehidna smola, vulkanfiber, polistirol, polietilen i polivinilklorid, prirodna guma (vulkanizirana).</p> <p>— Sve neimpregnirano</p>
A	<p>Pamuk, papir, prešpan, svila prirodna. Vlakna viskozna i na bazi celuloznog acetata i poliamida (sve impregnirano lakovima klase A).</p> <p>Žica lakirana uljnim ili poliamidnim lakovima.</p> <p>Platno, svila i papir impregnirani uljnim lakom.</p> <p>Poliesterne smole poprečno ulančane.</p>
E	<p>Žica lakirana sintetskim lakovima na bazi polimerizativnih smola.</p> <p>Prešani materijali na bazi umjetnih smola kao fenol, melamin-formaldehid.</p> <p>Poliesterne smole, folije od celuloznog triacetata, folije ili vlakna od terilena.</p> <p>— Sve impregnirano umjetnim smolnim lakovima ili epoksidnim ili poliesternim smolama.</p>
B	<p>Anorganski materijali:</p> <p>Staklena vlakna i azbest bez naziva ili lakirani uljno modificiranim lakom sintetskih smola.</p> <p>Materijali na bazi tinjca, impregnirani odgovarajućim (poliesterskim ili epoksidnim) umjetnim smolama.</p> <p>Prešani materijali na bazi umjetnih smola, fenol, melamin-formaldehid s anorganskim punilom.</p> <p>Prešani materijali na bazi poliesterskih smola s anorganskim punilom.</p> <p>— Sve impregnirano uljnim modificiranim asfaltom ili sintetskim lakovima na bazi epoksidnih ili poliesterskih smola.</p>
F	<p>Staklena vlakna, azbest, tinjac, vezani alkidnim, epoksidnim, poliesterskim smolama ili silikon-alkidnim smolama.</p>
H	<p>Staklena azbestna vlakna bez veziva ili lakirana silikonskom smolom ili silikonskim elastomerom.</p> <p>Tinjac sa i bez nosioca sa silikonskom smolom.</p> <p>Silikon elastomer bez impregnacije.</p>
C	<p>Tinjac, porculan, keramički materijal, staklo, kvarc s anorganskim vezivom ili na bazi politetrofluoretilena (teflona).</p>

## **Električni aparati i ostali električni strojevi**

uvodnice za kabele do 70 °C

temperaturna otpornost kabela bar 20 °C > od temperature uvodnice

temperaturna površine do 200 °C kod ugljenokopa (prašina)

## **Proračun strujnog opterećenja u mreži**

$k_o$  - koeficijent prosječnog opterećenja pojedinog trošila

$k_i$  - koeficijent istodobnosti rada trošila

$k_{io}$  - koeficijent istodobnosti opterećenja

$k_g$  - koeficijent opterećenja grupe trošila

## OPTEREĆENJE I ISTODOBNOST OPTEREĆENJA

TROŠILA	$k_o$	$k_i$	$k_{io}$
Pojedinačni motori	0,8—0,9	—	—
Ostala trošila	0,9—1	—	—
Trošila na radilištima	0,8	1	0,8—0,85
Transportni niz	0,85	1	0,7—0,8
Odvodnjavanja	0,8—0,9	ovisi o broju agregata	
Kompresori	0,9	„	0,9
Ventilatori	0,70	„	0,95

**stvarna struja pojedinog trošila**

$$I_s = I_N \cdot k_o$$

$$I_s = k_i \cdot \sum I_s = k_i \cdot \sum I_N \cdot k_o \quad \text{za grupu trošila trajno jednako opterećena}$$

$$I_s = k_{io} \cdot k_i \cdot \sum (I_N \cdot k_o) \quad \text{za grupu trošila vremenski nejednoliko opterećena}$$

$$\sum I_s = k_g \cdot [\sum k_{io} \cdot k_i \cdot \sum (I_N \cdot k_o)] \quad \text{za grupe trošila vremenski nejednoliko opterećene}$$

$$k_u = \frac{\sum I_s}{\sum I_N} = 0,5 \div 0,6$$

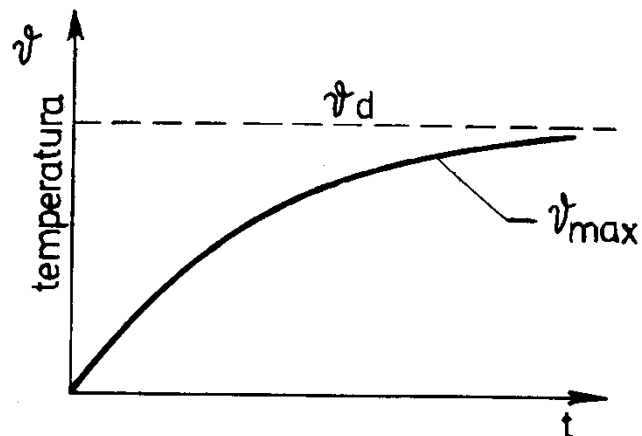
$\sum I_s$  - stvarno strujno opterećenje revira

$\sum I_N$  - suma svih nazivnih struja trošila u reviru, odnosno eksploatacijskom polju

$k_u$  - ukupni koeficijent opterećenja

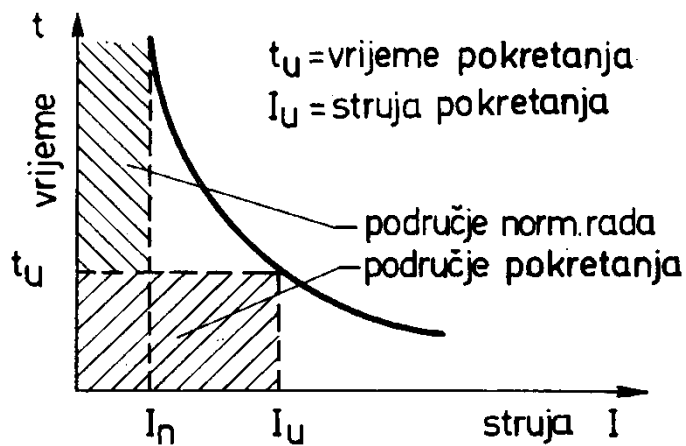
## Zaštita od preopterećenja

### Uređaji za zaštitu



Zagrijavanje i dopuštena nadtemperatura

za osiguravanje  $\vartheta_{max} \leq \vartheta_d$  zaštita



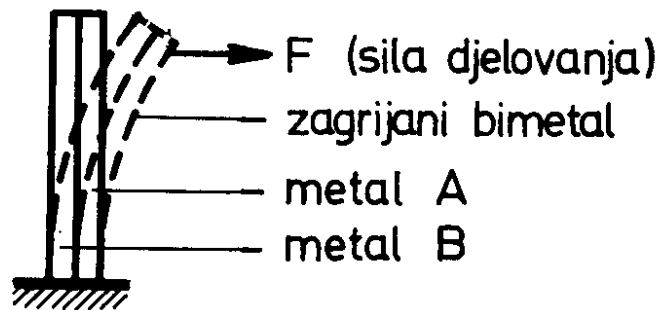
$I_n = \text{nazivna struja}$

Područje djelovanja zaštite od preopterećenja

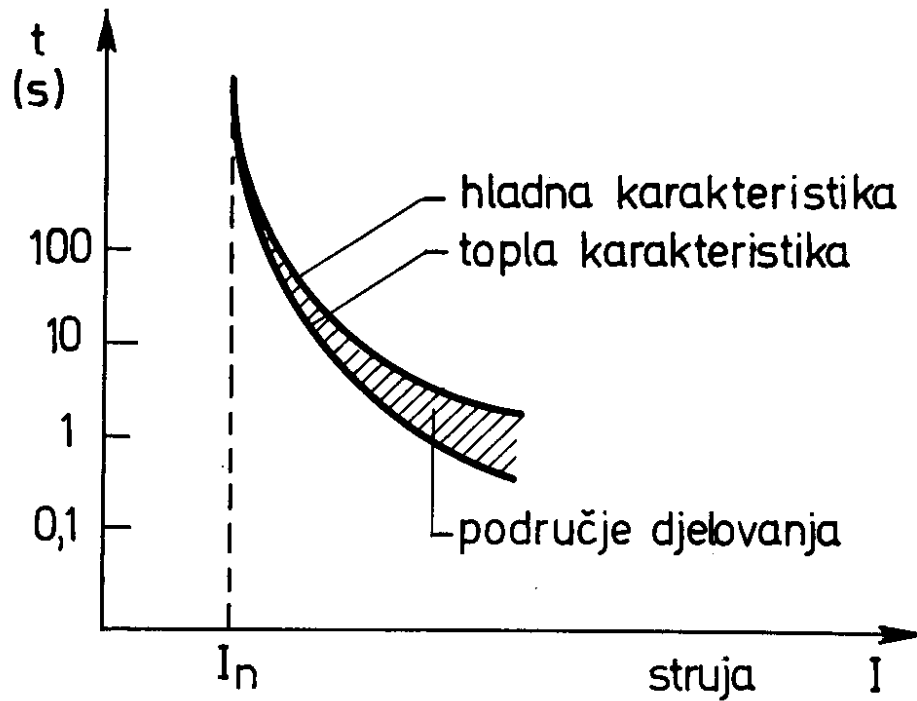
### zaštita od preopterećenja

- bimetalni releji ili okidači
- rastalni osigurači
- specijalni zaštitni uređaji temeljeni na termoslici uređaja

### bimetali

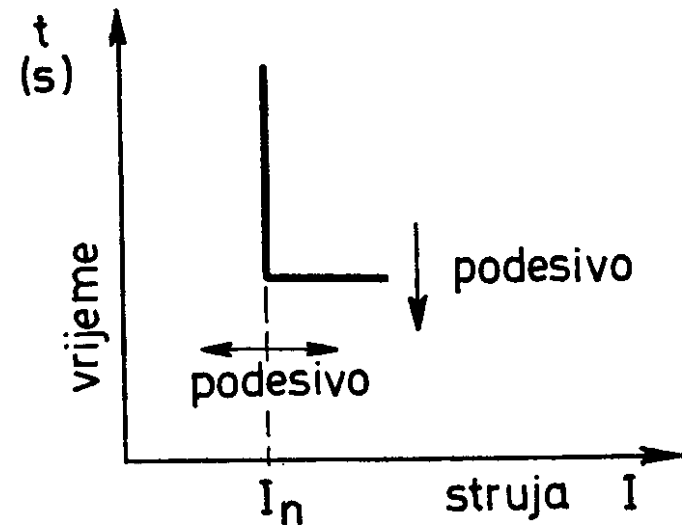


Bimetali u hladnom i zagrijanom stanju



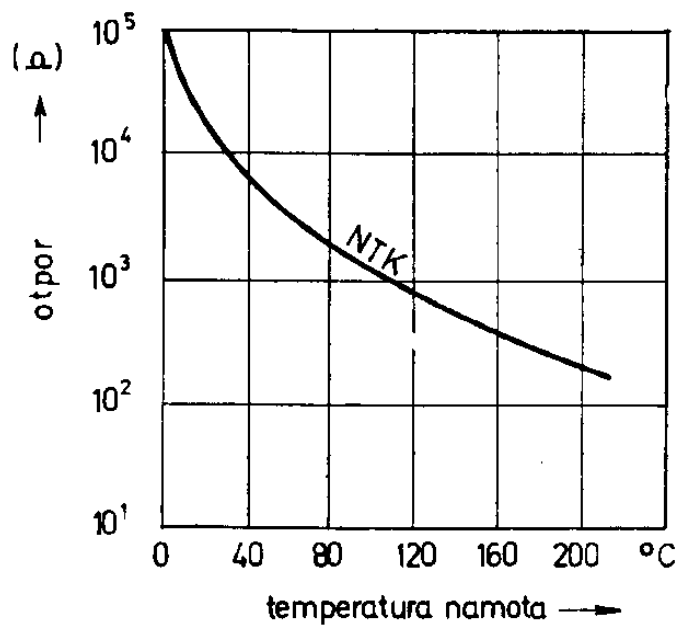
Karakteristika bimetalala

### vremenski strujni releji

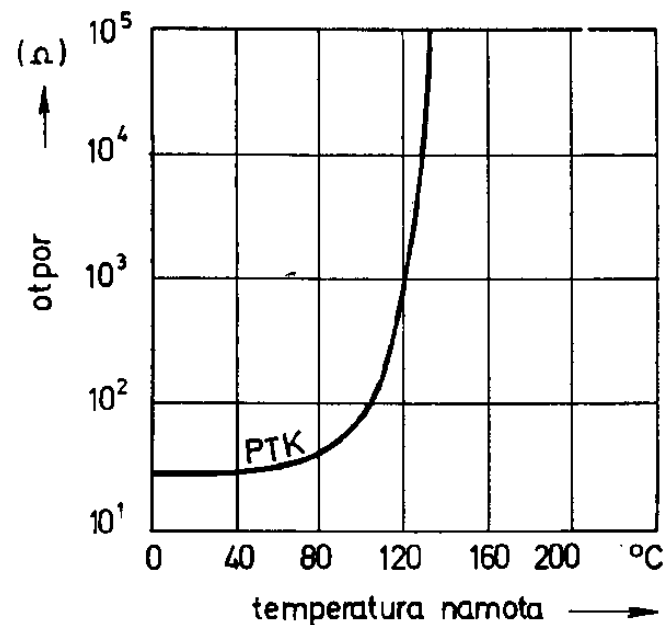


Strujno i vremenski podesiva relejna zaštita

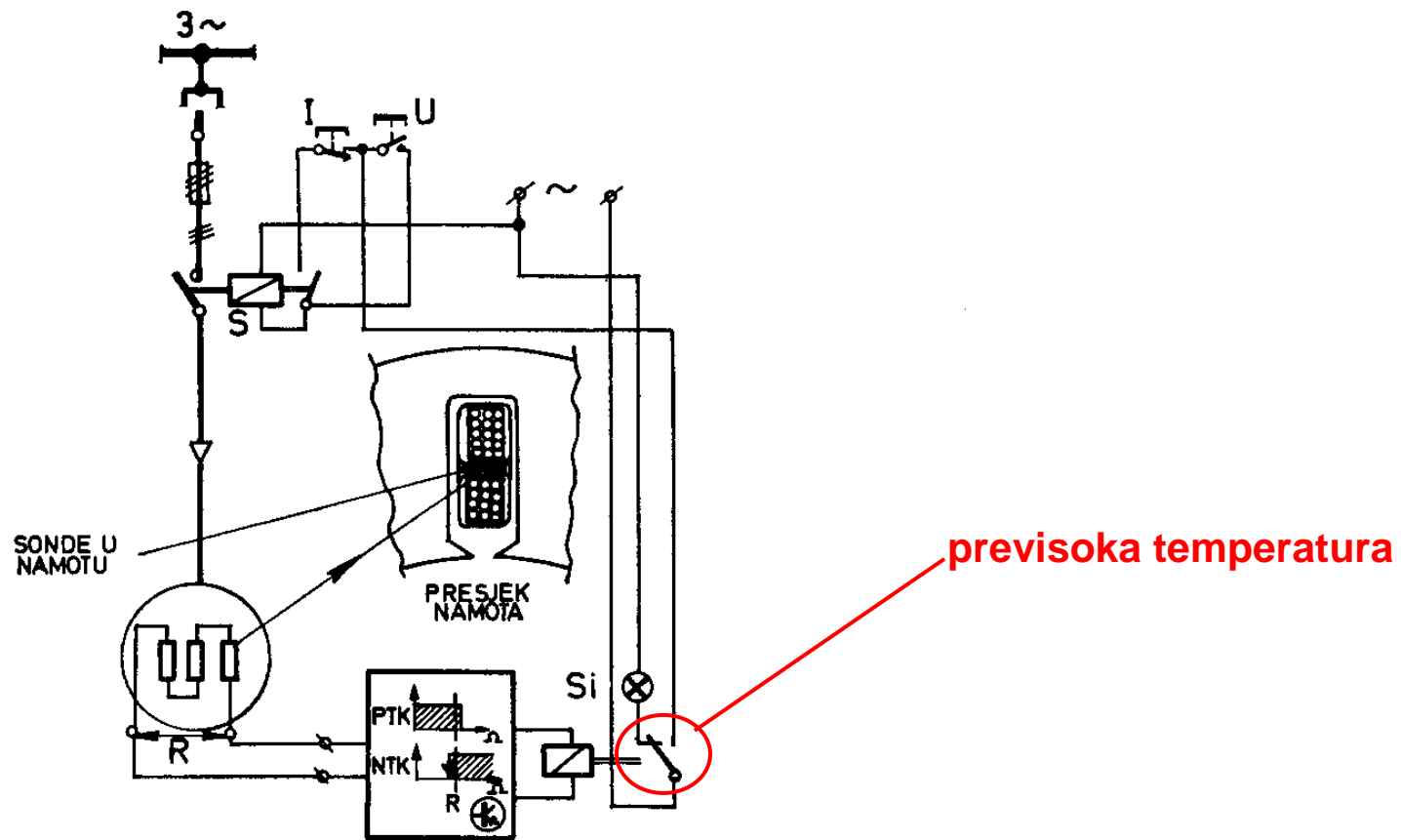
## termoslika štićenog uređaja - termosonde



**Otporna karakteristika termosondi  
s negativnim temperaturnim  
koeficijentom »NTK«**



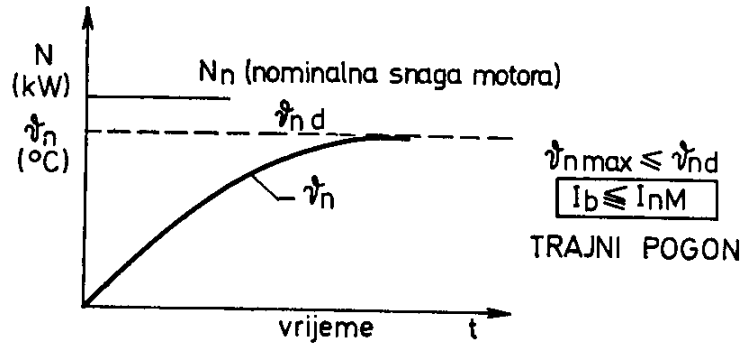
**Otporna karakteristika termosondi  
s pozitivnim temperaturnim  
koeficijentom »PTK«**



**Zaštita od preopterećenja termosondama u namotu motora**

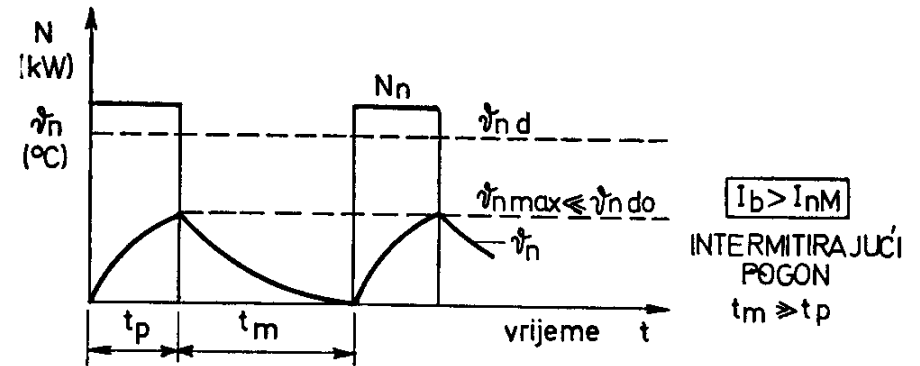


## Prilagođavanje zaštite od preopterećenja karakteristici pogona

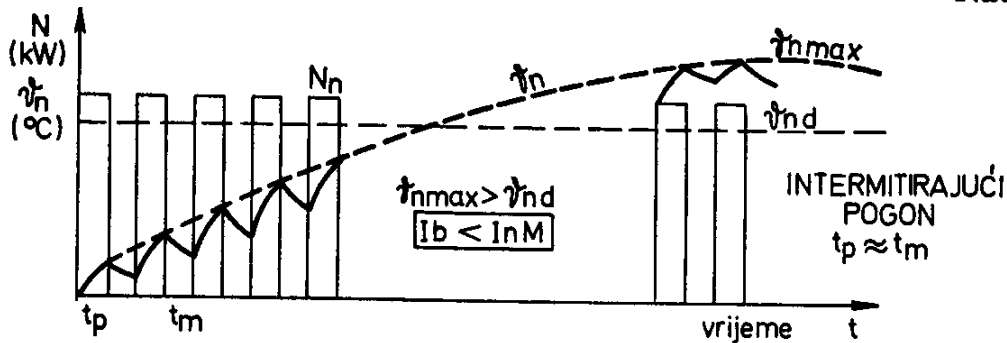


Nadtemperatura namota motora kod trajnog opterećenja

tri karakteristike pogona



Nadtemperatura namota motora kod intermitirajućeg pogona s dugim pauzama



Nadtemperatura namota motora kod intermitirajućeg pogona s kratkim pauzama