

OBRATOVALNA TRDNOST

BAHRAM FARAHMAND : FATIGUE AND FRACTURE MECHANICS
OF HIGH RISE PARTS

NORMAN E. DOWLING : MECHANICAL BEHAVIOR OF
MATERIALS

k_1

k_2

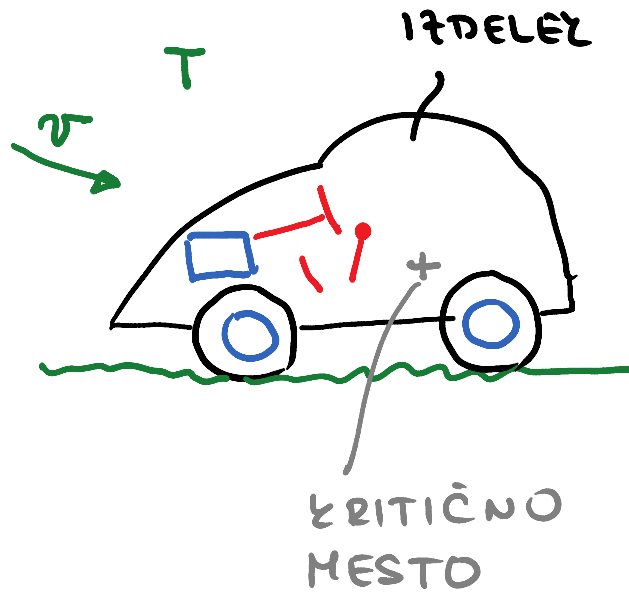
$$\frac{\epsilon_1 + \epsilon_2}{2} \geq 5,5 \quad \checkmark \quad \wedge \quad k_1 \geq 4,5 \quad \wedge \quad \epsilon_2 \geq 4,5$$

$$\epsilon_1 = 2 \quad \wedge \quad \epsilon_2 = 5,5 \quad \Rightarrow \quad k_1 \text{ NA IZPITU}$$

$$\epsilon_1 = 3 \quad \wedge \quad \epsilon_2 = 2,5 \quad \Rightarrow \quad U = P + U$$

NA IZPITU NI NA LOG

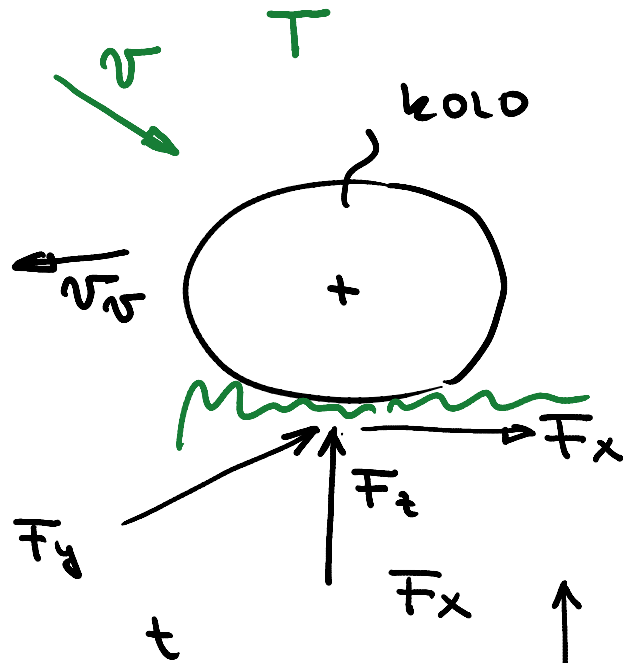
UVOD



- POGOJI UPORABE
 - POGOJI OZOLJA
 - POGOJI VDRŽEVANJA
- UPLIVAJO NA
DOBO TRAJANJA
IŽDELJA
IN POUČROČAJU
OBREHENITVE

CILJ : ISEANJE POUČRAVE MED OBREHENITVAMI
IN DOBO TRAJANJA

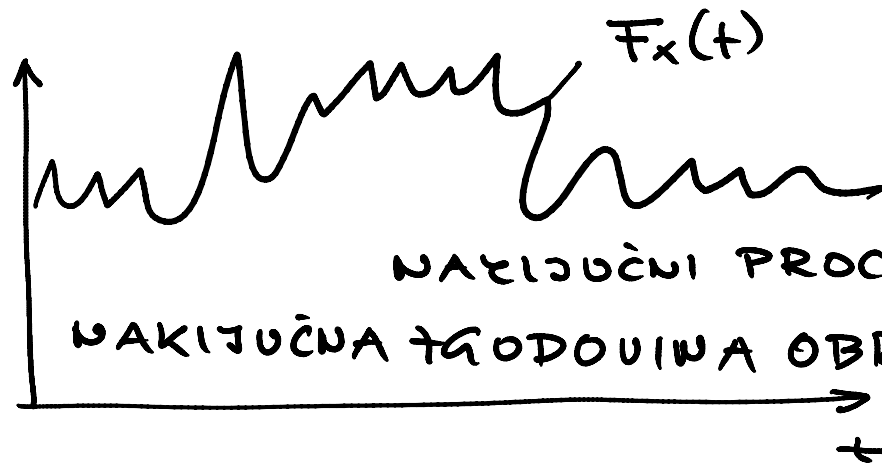
OBREHENITVE



$$F_x, F_y, F_z, T, \nu, \nu_r, \dots$$

SO NAKLJUČNE SPREHENTIJE,
KI SO ODUISNE OD ČASA t

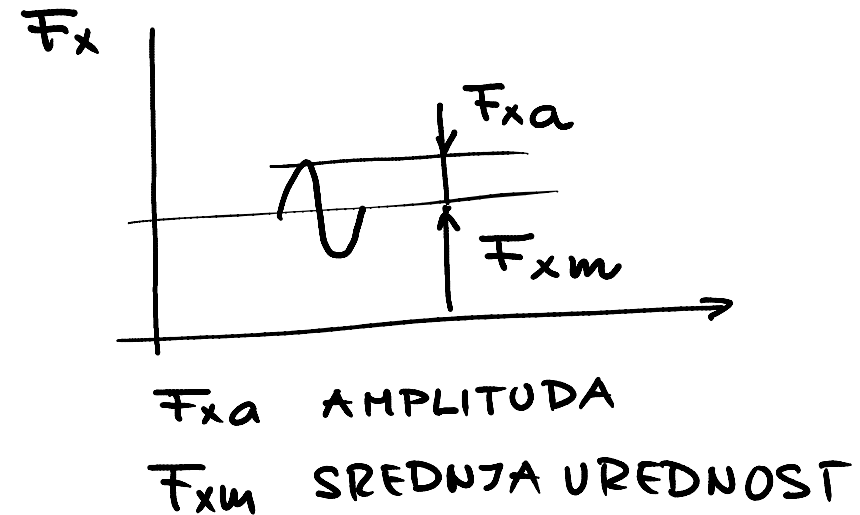
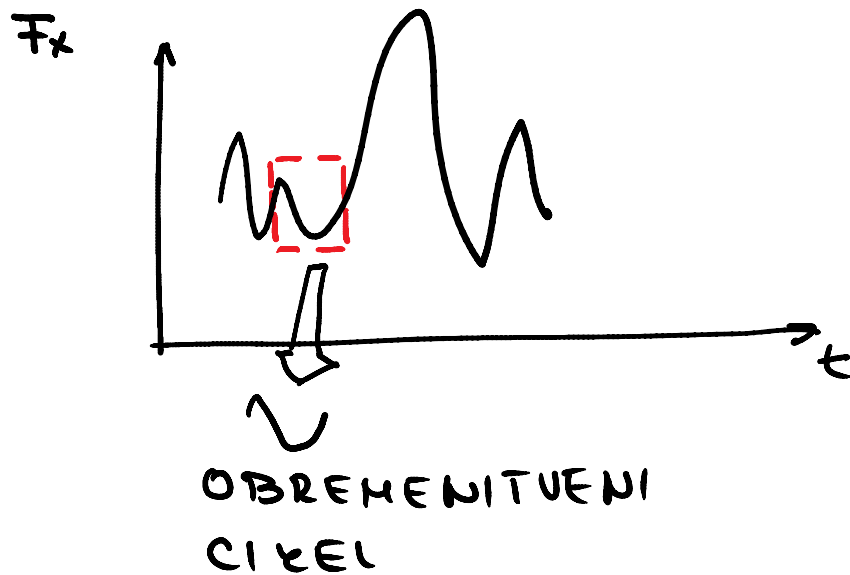
$$F_x = F_x(t)$$



NAKLJUČNI PROCES \equiv
NAKLJUČNA TRODOVNA OBREHENITVE

DOBA TRAJANJA

DOBA TRAJANJA JE ODVISNA OD OBREHNI TEU, MATERIALA, OBLIKE, TEHNOLOGIJE, ...



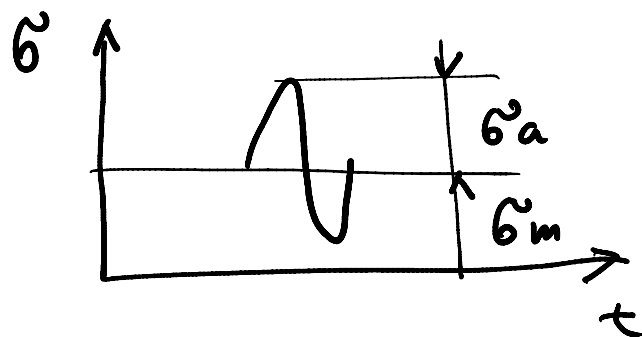
KRITIČNO MESTO JE TISTA TOČKA NA IZDELKU, KI JI USTREŽA NAJKRAJŠA DOBA TRAJANJA

V TEŠ TOČKI NAS TANIMA PRIHODJALNA NAPETOST σ

σ JE NAKLJUČNA SPREMENLJIVKA



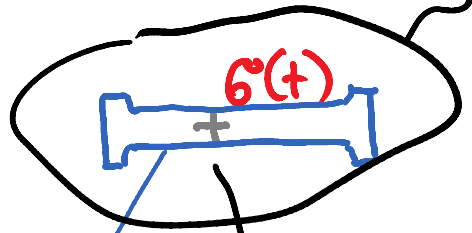
NAKLJUČNA ŽGODOVINA
NAPETOSTI



σ_a AMPLITUDA

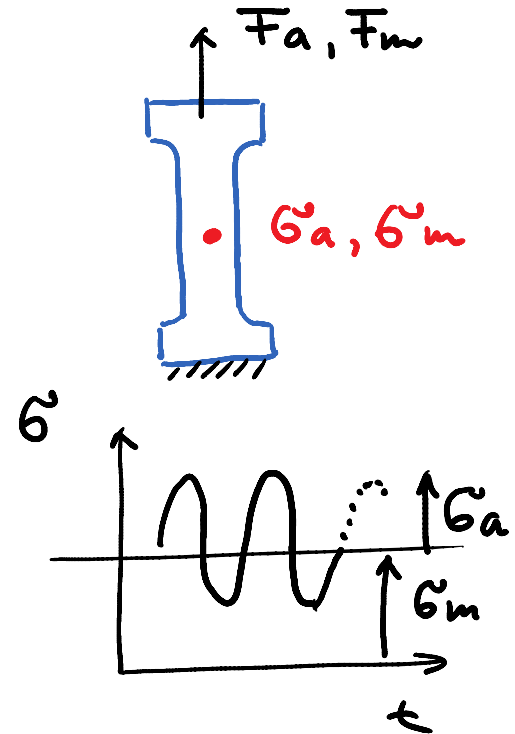
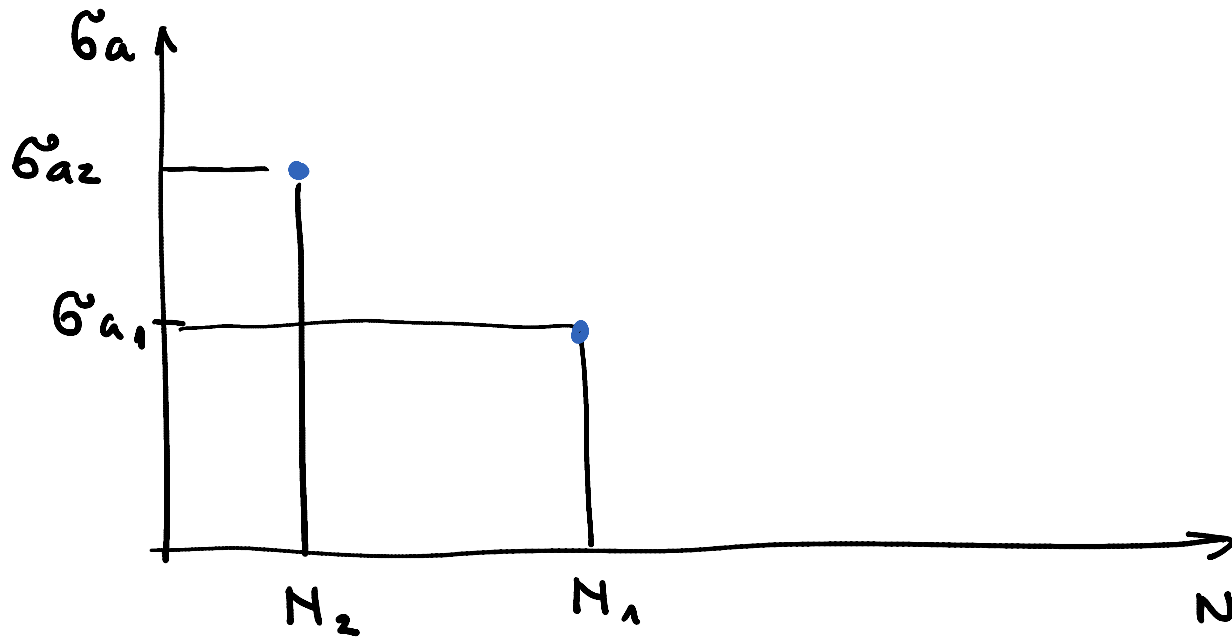
σ_m SREDNJA UREDNOST

DEL KAROSERITE VOZILA (PLOČEVINA)

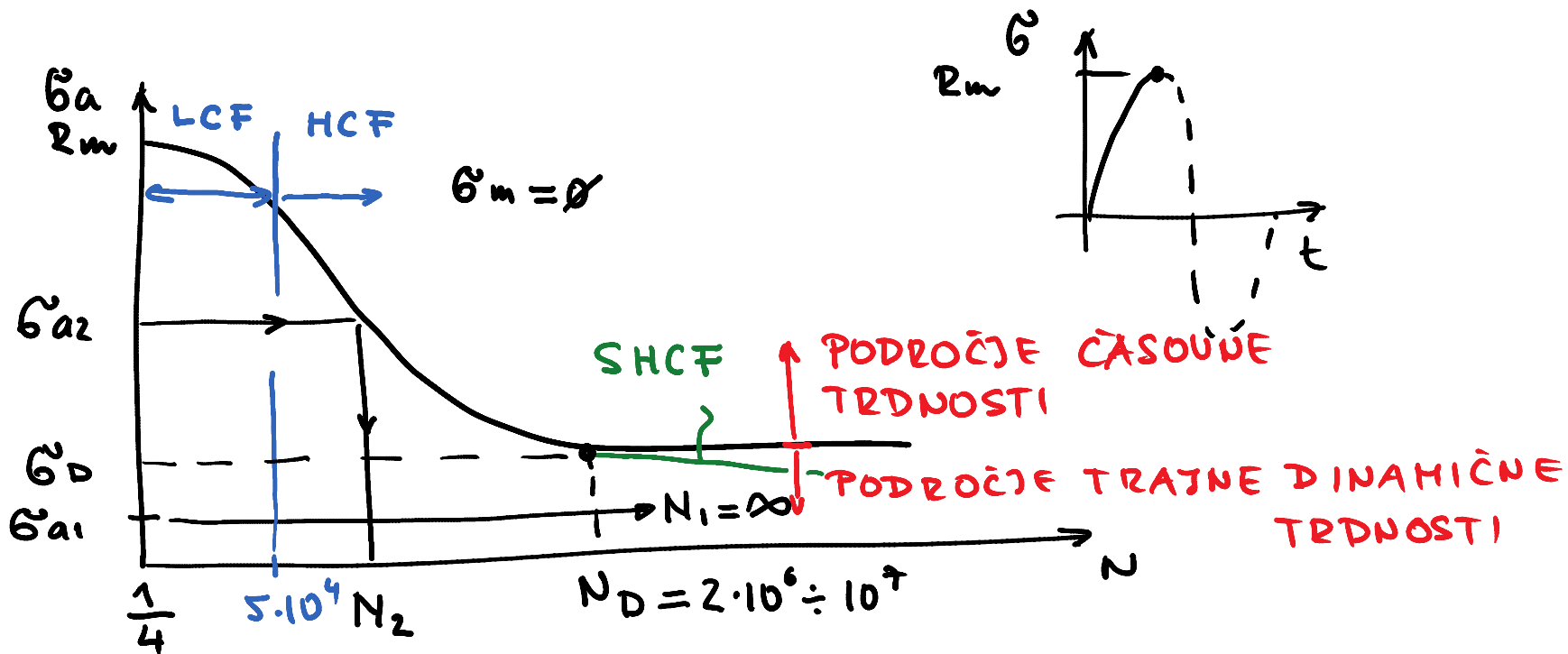


PRESVOŠANEC KRITIČNO MESTO

IZREŽEM O PRESVOŠANEC OZOLI
KRITIČNEGA MESTA



N JE ŠTEVILO CYKLOV DO KRITIČNE POŠKODBE



σ_D TRAJNA DINAMIČNA TRDNOST

LCF NÍZKOCYKLIČNÁ TRDNOST

HCF VEĽKOCYKLIČNÁ TRDNOST

SHCF - SUPER VELEOCIKLIČNA TRDNOST

HCF - NAPETOSTNO STANJE JE PRETEŽNO ELASTIČNO

$$\sigma < R_{p0.2}$$

$$N > 5 \cdot 10^4$$

PREDPOSTAVIMO VELJAVNOST $\sigma = E \varepsilon$

ŠASICE, TRANSMISIJE IN KAROSERIJE VOZIL

LCF - NAPETOSTNO STANJE JE ELASTO-PLASTIČNO
 $\sigma > R_{p0.2}$ LOKALNO ALI ELASTO-VISKO-PLASTIČNO

$$N \leq 5 \cdot 10^4$$

$$\sigma \neq E \varepsilon$$

KOTORJI Ž NOTRANJIM ŽGOREVANJEM, IZPUŠNI SISTEMI,
PRENOSNIKI TOPLOTE, TURBINE, CELOVODI, ...

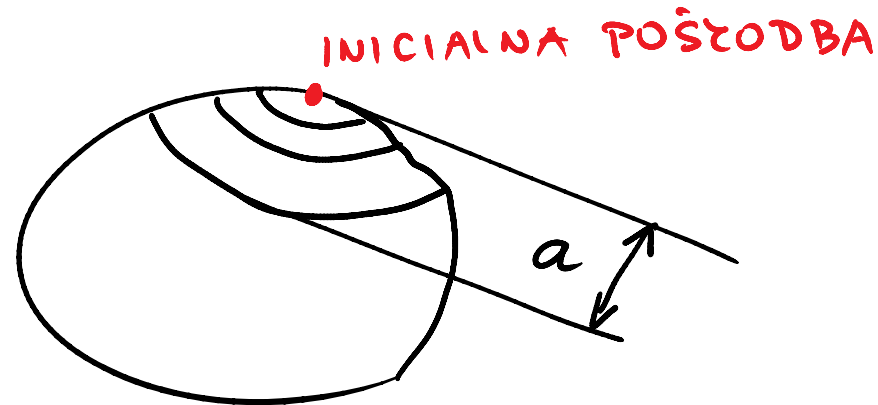
RAST UTRUJENOSTNIH RAZPOK

$$a \leq a_{dop}$$

VELIČOST RAZPOKE V mm

CRACK GROWTH

FRACTURE MECHANICS



LETALA, VESOLISKA TEHNIKA, LADJE, ...

DIMENZIONIRANJE ZOMPONENTE NA SE RAJNO METO
NJENE ŽDRŽLJIVOSTI.

POŠZODBE KRISTALNE REŠETJE

TOČYOVNE NEPRAVILNOSTI - VRINJEN ATOM ISTEGA ELEMENTA

- VRINJEN ATOM DRUGEGA ELEMENTA

- PRAZNA

- NADOMESTNI ATOM DRUGEGA ELEMENTA

LINIJSKE NEPRAVILNOSTI - ROBNA NEPRAVILNOST

- VIJAČNA NEPRAVILNOST

VO LUMSKE NEPRAVILNOSTI - ROBNE NEPRAVILNOSTI
NA MEJAH KRISTALNIH
ŽRN

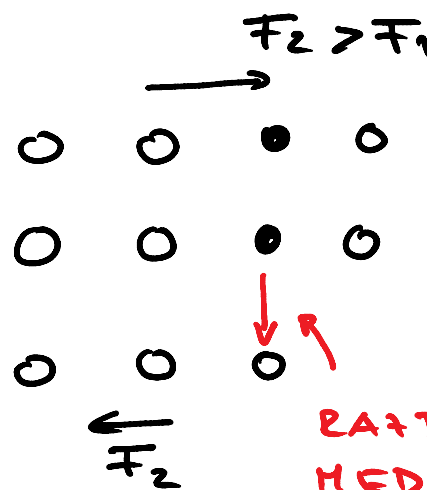
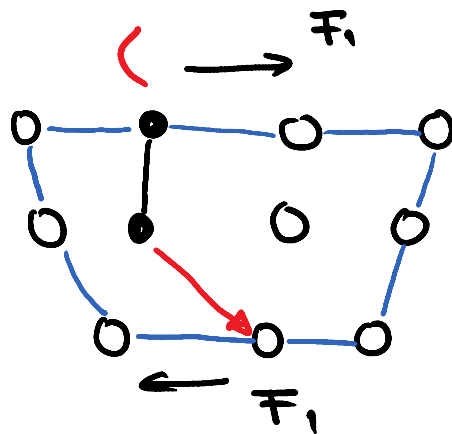
NEPRAVILNOSTI PREDSTAVLJAJO ŠIBEA MESTA (NUCLEUSE)

KJER SE ZAČNE UTRUJEVOSTNA POŠZODBA ALI
TRENUTNI LOM

PLASTIČNE DEFORMACIJE IN GIBANJE DISLOKACIJ

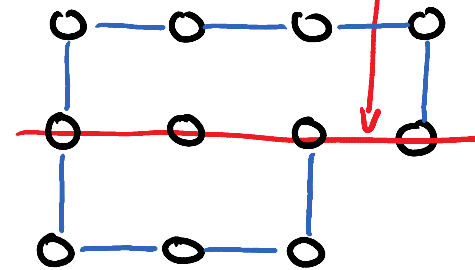
NI POŠČODBE BREZ PLASTIČNE DEFORMACIJE (LOZALVE)

ROBNA
DISLOKACIJA



RAZDALJA
MED ATOMOMA
SE TUD OBREMENITUIJO
 F_2 ŽMANJŠA

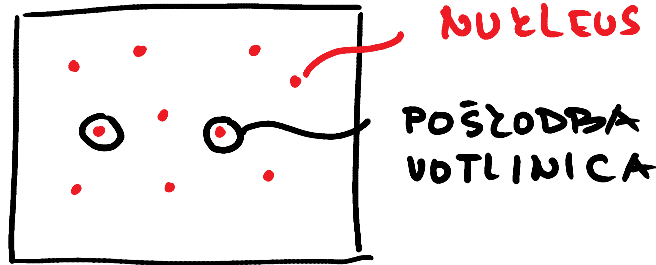
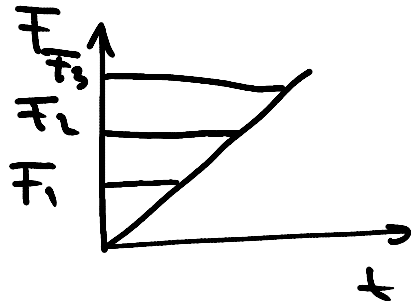
DESNA
RAVNINA



DESNE RAVNINE NASTAJAJO VEDNO TAM KJER
JE KRISTALNA REŠETJA NAJGOSTEJE PASEDENA
Z ATOMI

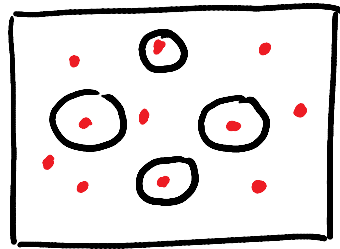
NEPRAVILNOST \equiv DISLOKACIJA

POŠZODBE TAZADI MONOTONE OBREHENITVE

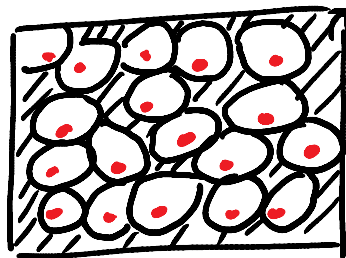


F_1

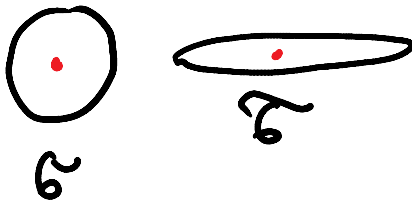
$A \downarrow \Rightarrow \sigma = R_m \rightarrow$ TRENUTNI LOM



F_2

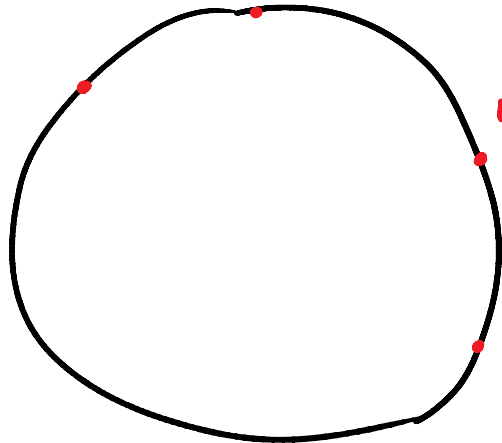


ŠTEVILO VOTLINIC \equiv ŠTEVILO NUKLEUSOV
 VELIKOST VOTLINIC JE ODUISNA OD
 ŠTEVILA NUKLEUSOV
 OBLIKA VOTLINIC JE ODUISNA OD
 VRSTE OBREHENITVE



POŠKODBE ZARADI CIKLIČNE OBREHINITVE

PRELET PRESUŠANCA



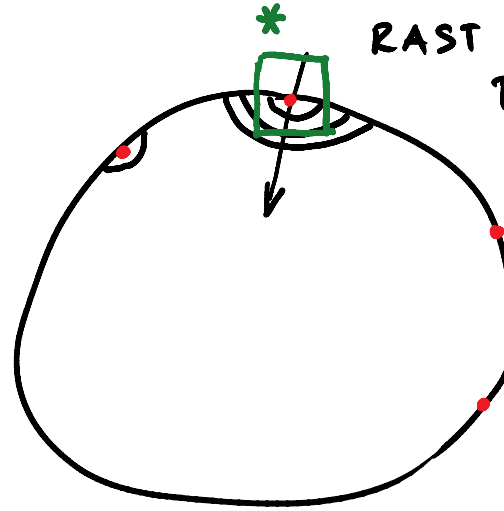
$m_1 = \emptyset$

NUCLEUS
INICIALNA
POŠKODBA I

POSLEDICA
H RAPAUF
POURŠINE,
TEHNOLOGIŠE
IŽDELAWE, ...

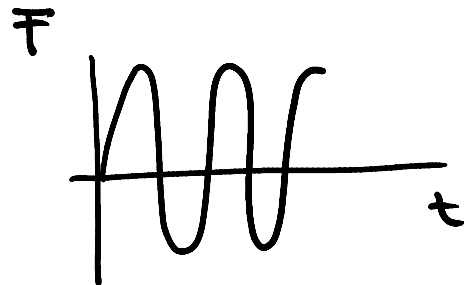
RAST UTRUJENOSTNE
POŠKODBE

II



$m_2 \gg m_1$

CONA
RASTI
UTR.
POŠKODBE



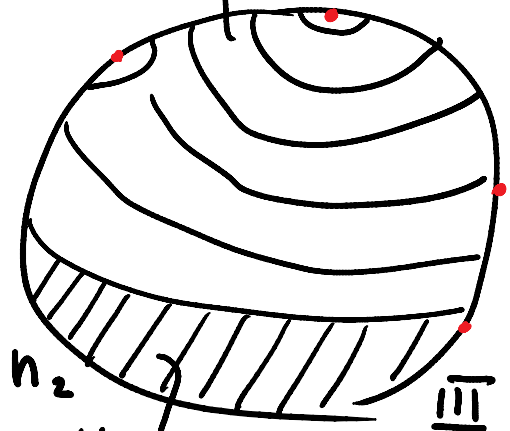
OBREHENITVENI
CIKEL

$$A \downarrow \Rightarrow \sigma = R_m \rightarrow$$

TRENUTNI LOM

$m_3 > n_2$

m - ŠT. OBREHENITVENIH
CIKLOV



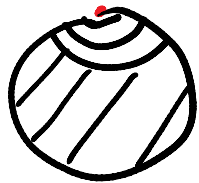
III

CONA
TR. LOMA

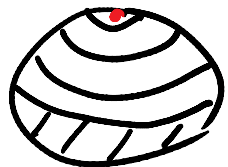
I INICIALNA POŠKODBA

II STABILNA RAST POŠKODBE

III NESTABILNA RAST POŠKODBE IN UTRUJENOSTNI LOM



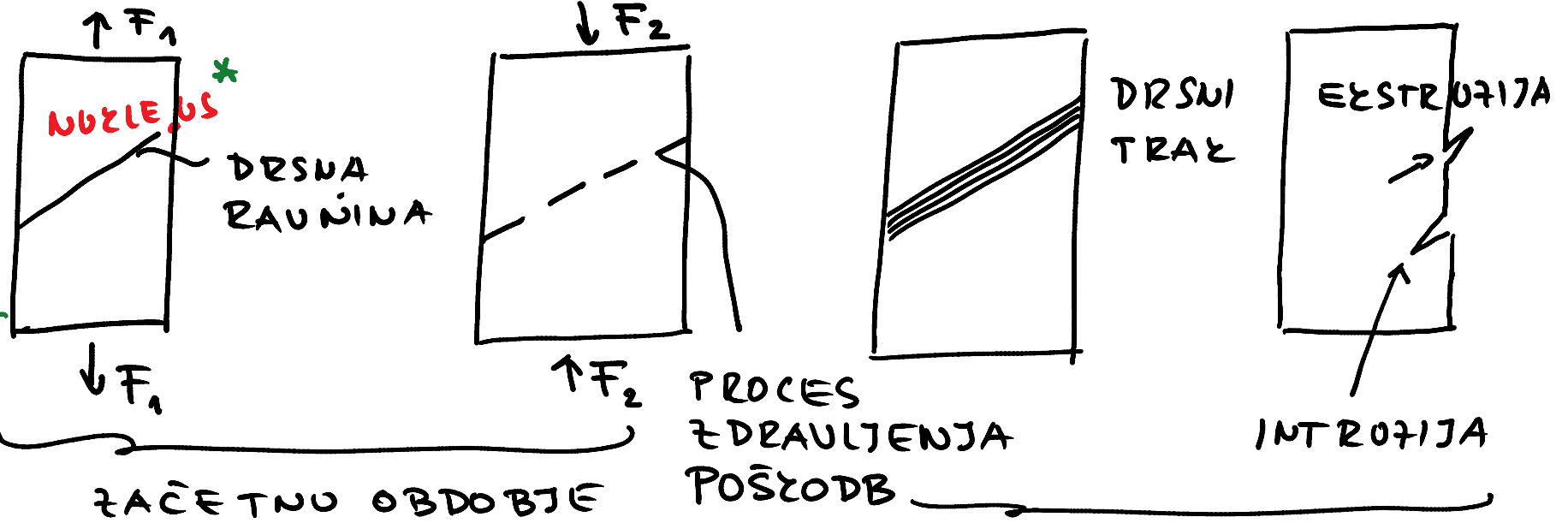
VELIKA
AMPLITUDA SILE



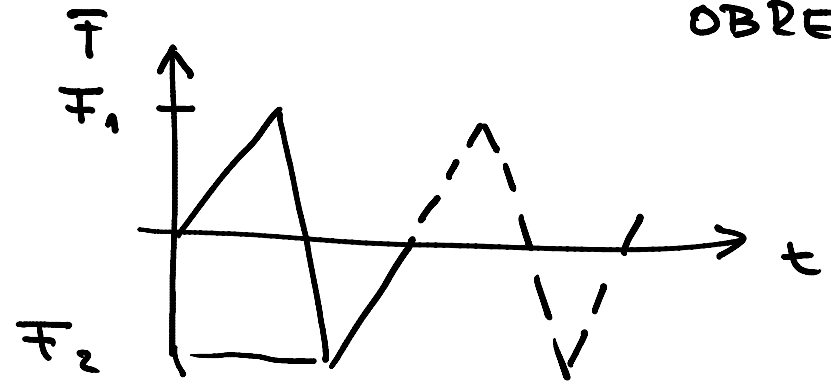
MAJHNA
AMPLITUDA SILE

POŠLEDIČNO ŠMO DO SEDAJ OPAZUJALI NA MAKRO NIVOJU
PREHAJAMO NA MEZO OŽIROHA MIKRO SVALO
MAKRO - VIDNO S PROSTIM OČESOM
MEZO - KRISTALNA ŹRNA
MIKRO - ATOMI

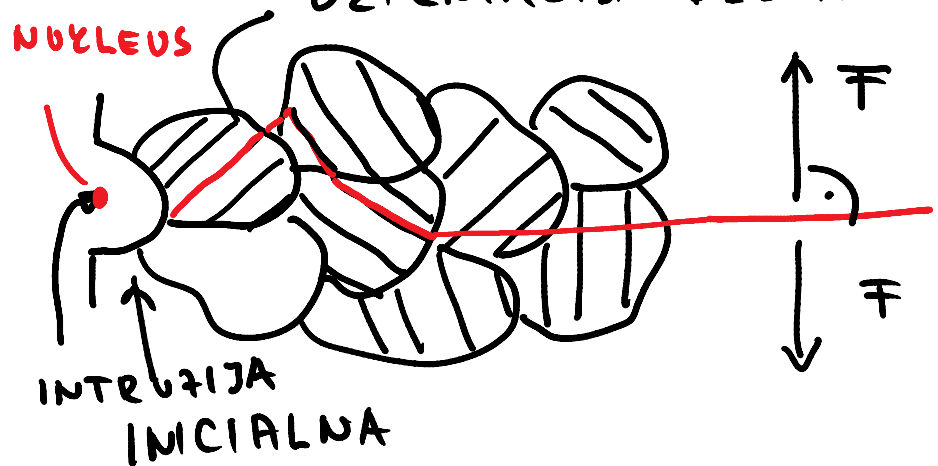
PROCES RASTI UTRUJENOSTNE POŠKODBE



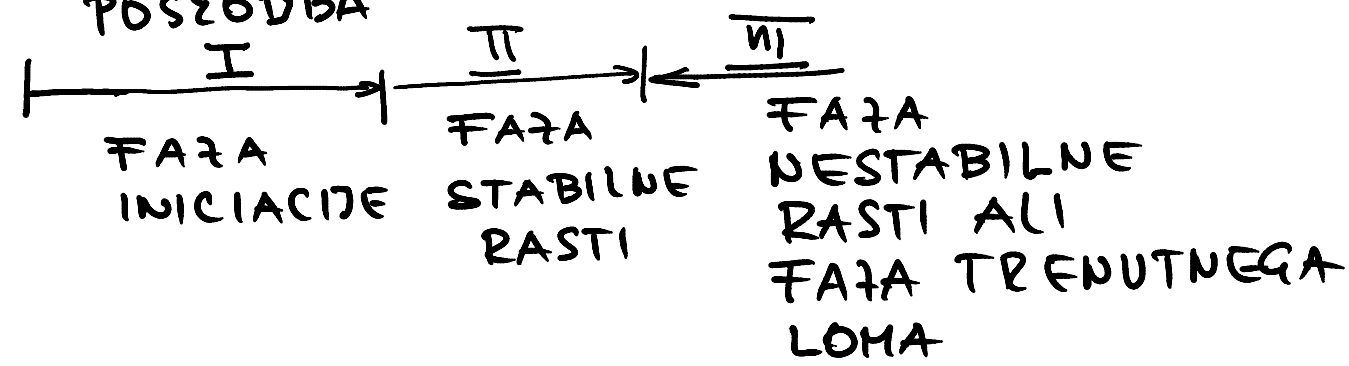
OZOLICA
 NUZLEUSA
 NA STRANI 13



ORIENTACIJA DRUŽNIH RAVNIN



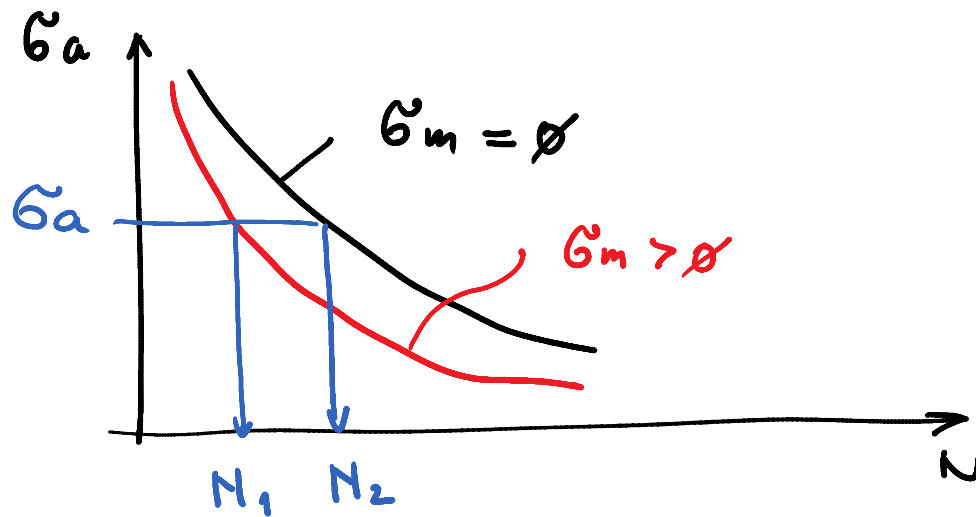
$t_I \gg t_{II} > t_{III}$
 95% 5% 0% NIŽJA F
 90% 10% 0% VIŠJA F
 t_i TRAJANJE i-TE FAZE



KRITIČNA POŠZODBA = INICIALNA POŠZODBA ALI TRENUTNI LOM

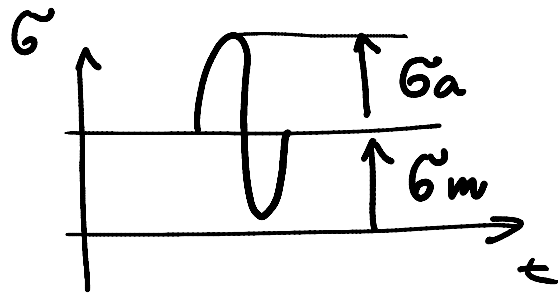
UPLIV POGOJEV UPORABE IN OKOLJA NA UTRUJENOSTNE POŠKODBE

UPLIV SREDNJEGA NIVOJA NAPETOSTI σ_m



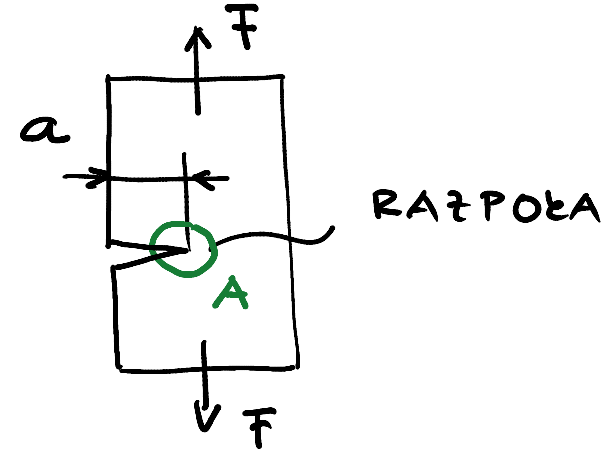
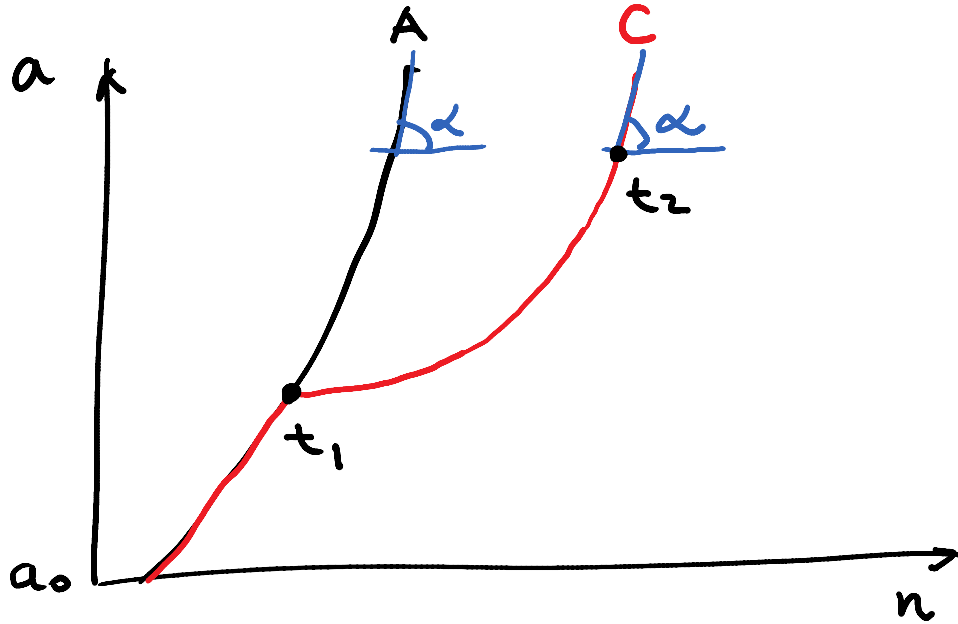
σ_a PRIMARNI UPLIVNI
PARAMETER, KI
UPLIVA NA
UTRUJENOSTNO
POŠKODBO

N ŠTEVILO OBREME-
NITVENIH CÍKLOV
DO KRITIČNE
POŠKODBE

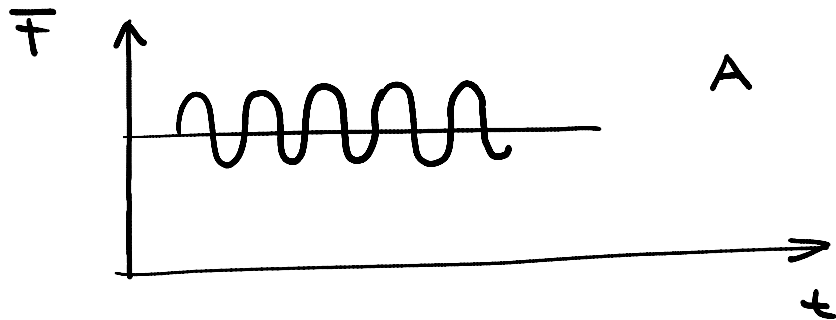


WÖHLERJEVA KRIVULJA
S-N KRIVULJA
KRIVULJA ŽDRŽELJIVOSTI

VPLIV ZAPOVEDJA OBREMENITVENIH CIKLOV



a_0 - ZAČETNA VELIKOST
RAZPORE

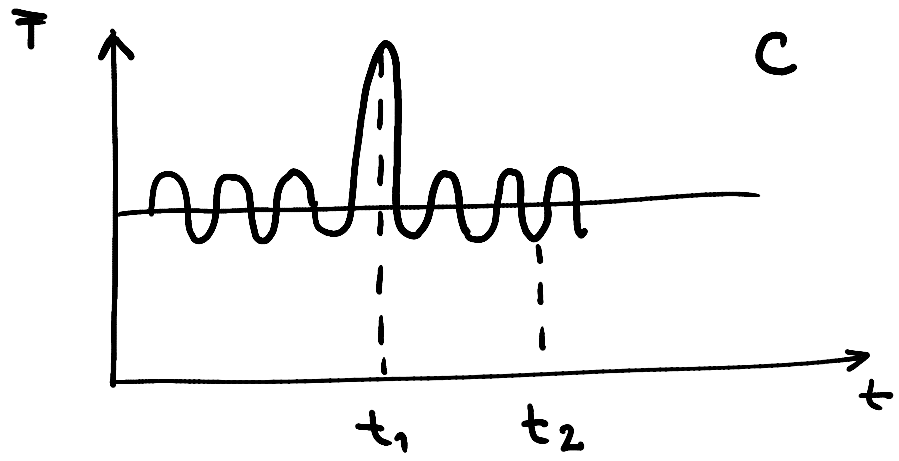


DETAIL A

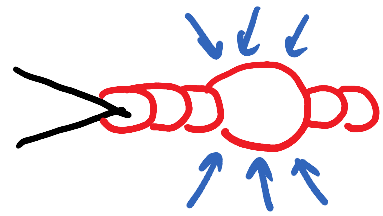


PLASTIČNA CONA

n - ŠTEVILO OBREMENITVENIH CIKLOV

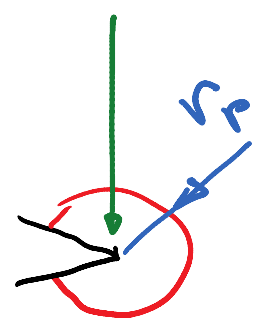


DETAJL A



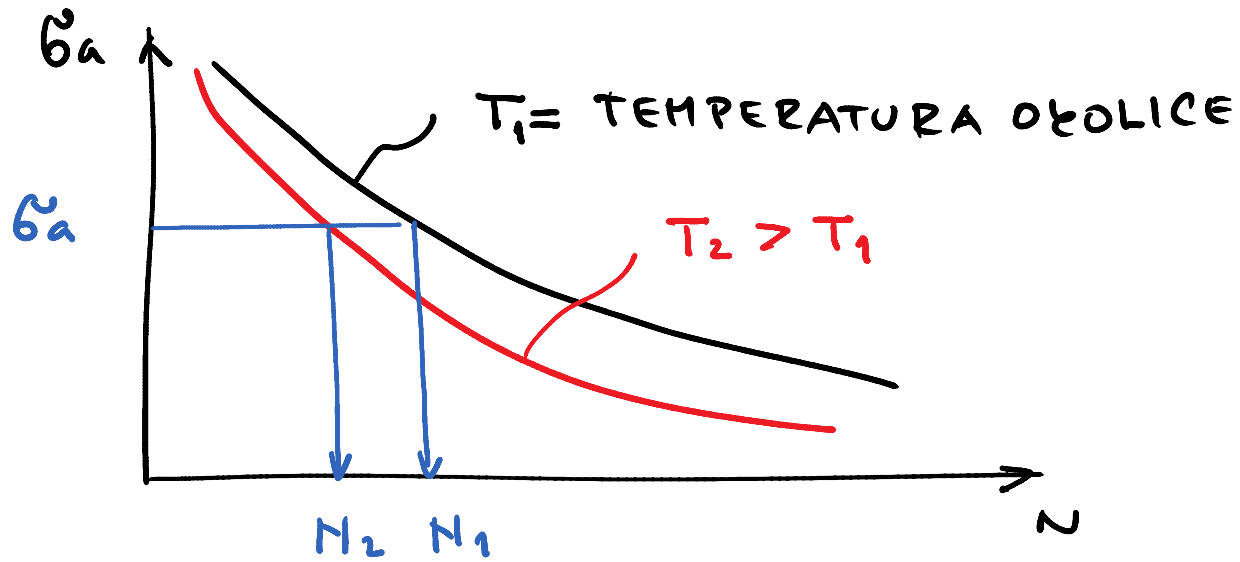
TLAK, KI GA
 POUŽROČA ELASTIČNO
 DEFORMIRAN MATERIAL
 OČOLI RAŽPOKE

VRH RAŽPOKE



PO USAŽEM OBREMENI-
 TUENEM CIKLU
 RAŽPOKA NAPREDU-
 JE DO SREDINE
 PLASTIČNE CONE
 POLMERA Γ_p

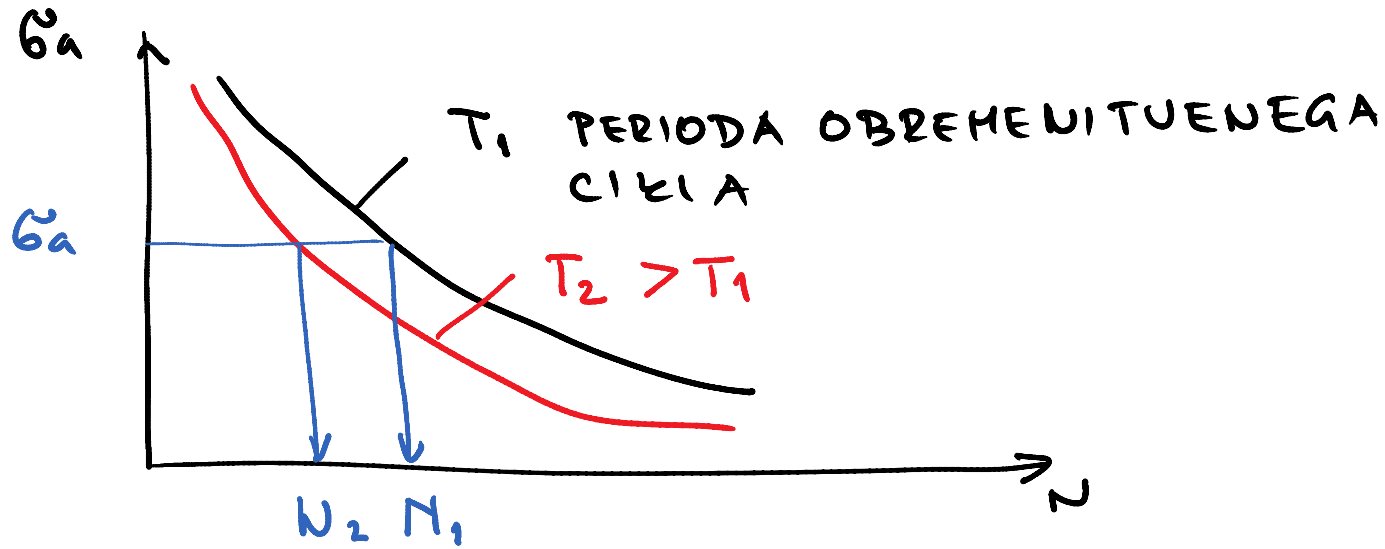
VPLIV TEMPERATURE



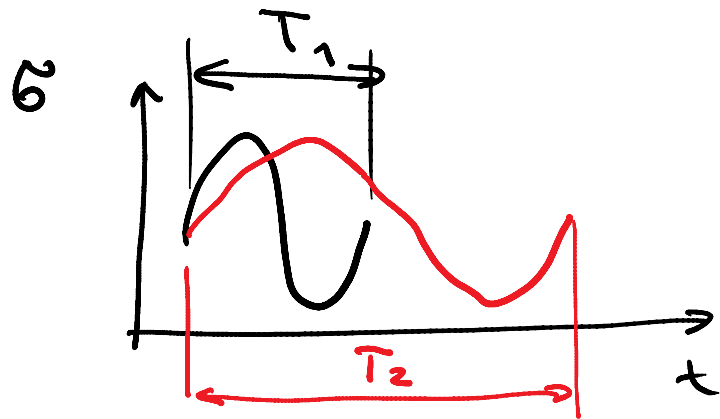
VRH RAČPOKE

ŽARADI OŠIDACIJE SE RAST RAČPOKE
POSPEŠI ŠE POSEBEJ PRI VIŠJIH TEMPERATURAH

UPLIU PERIODE

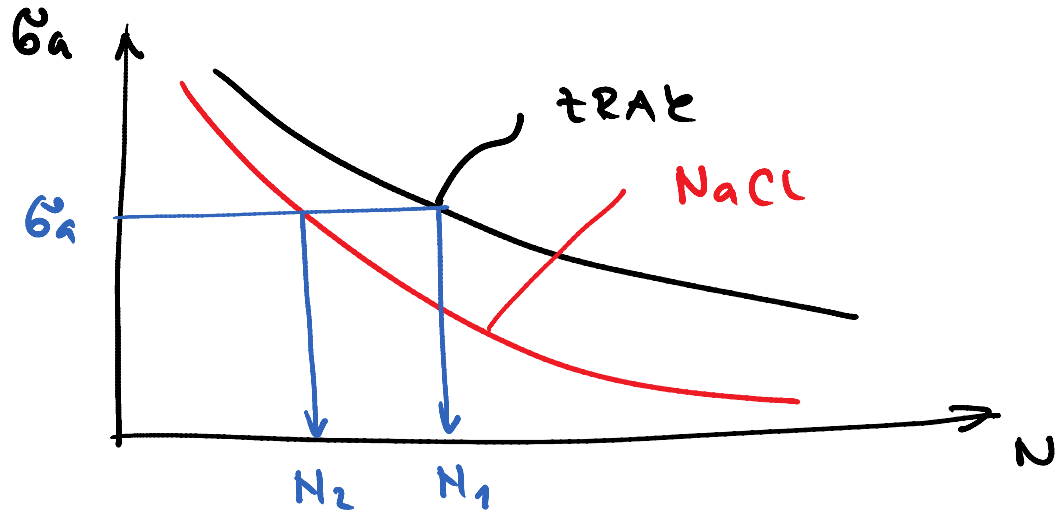


VRH RAŽPOKĒ



ČAS OΞSIDACIJE ĶE
PRI T_2 VEĶĶI ĶOT PRI T_1

UPLIV MEDIJA



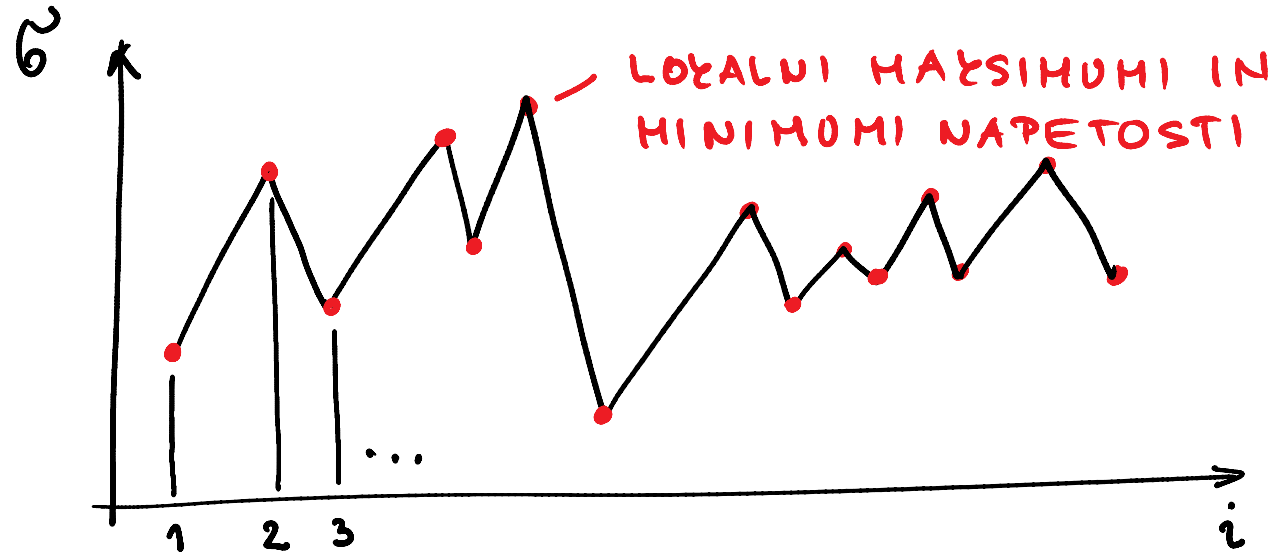
ŽRODOVINE OBRHENITEV



6 ŽRODOVINO NAPETOSTI V KRITIČNEM MESTU

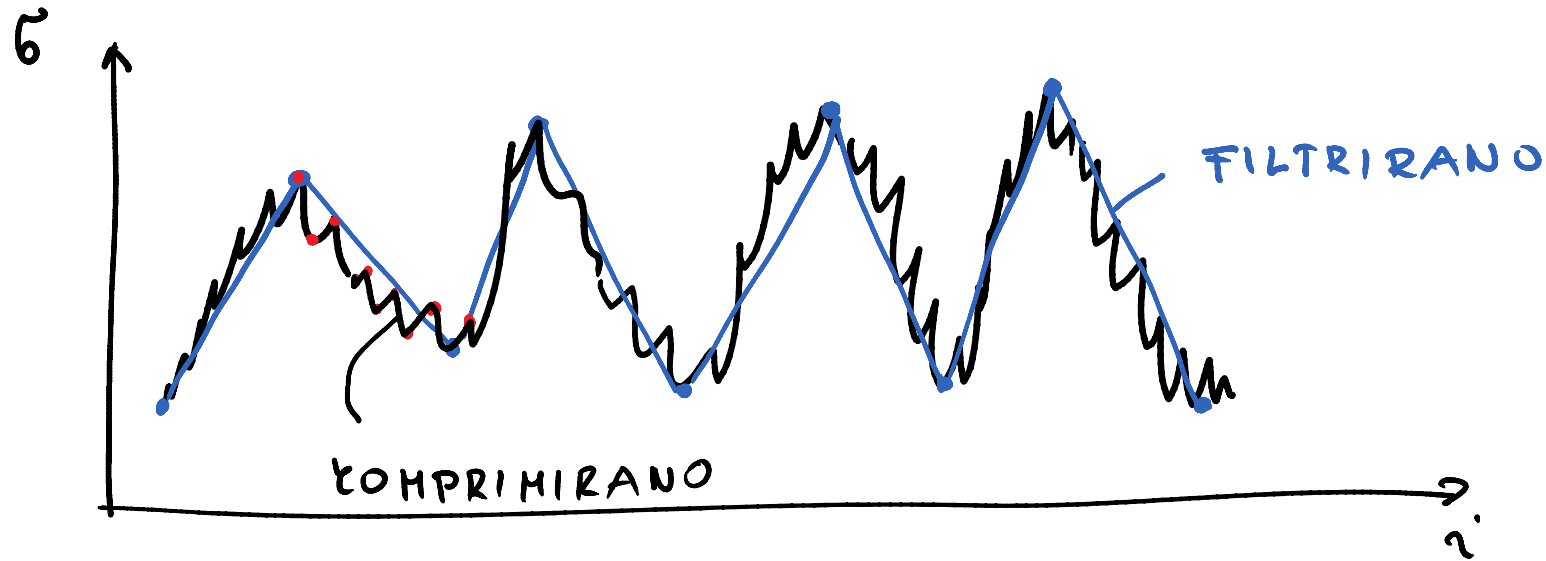
Δt PERIODA UTORČENJA JE PRAVILOMA KONSTANTNA

ΣΟΜΠΡΙΗΡΑΝΤΕ ΤΓΟΔΟΥΙΝ ΟΒΡΕΜΗΝΙΤΕΥ



i ΖΑΡΟΒΕΔΝΑ ΤΟΪΖΑ

FILTRIRANJE KOMPRIMIRANIH 7GODOVIN OBREMENITEV



CILJ JE IZLOČITI USE TISTE OBREMENITVENE CIKLE,
KI NE PRISPEVAJO K POŠKODBI TARADI UTRUJANJA.

IZLOČANJE OBREMENITVENIH CIKLUSU IZ
FILTRIRANIH ŽGODOVIN OBREMENITEV

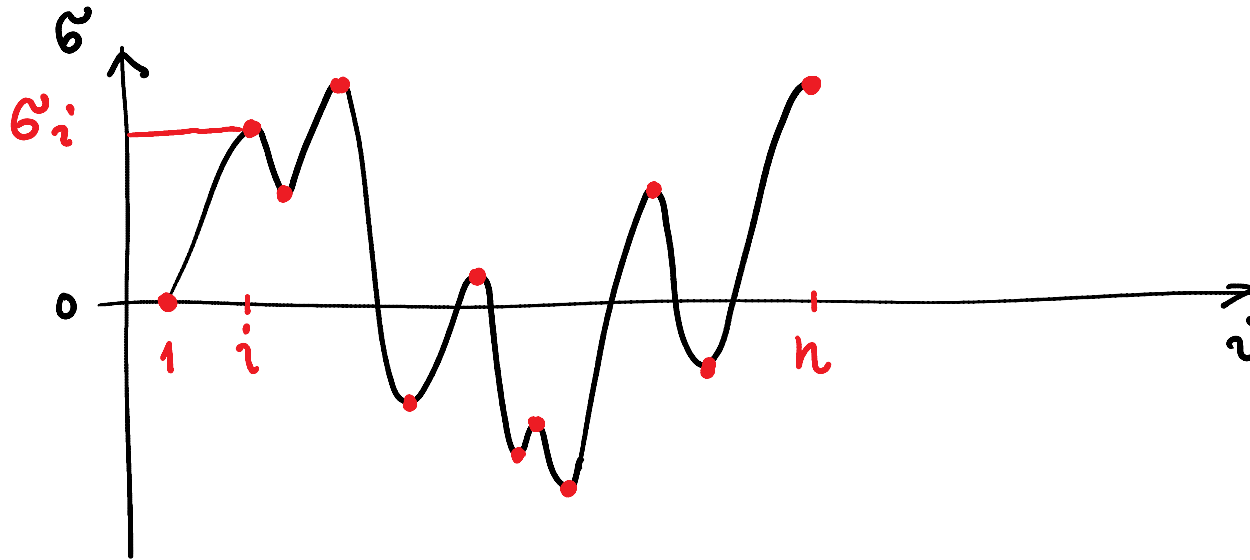
ŠTEVNE METODE UPORABIHO U TA NAMEN.

OBSTAJAJO :- METODA ŠTETJA PREHODOU PREZ
NIVOJEV

- METODA ŠTETJA KONIC

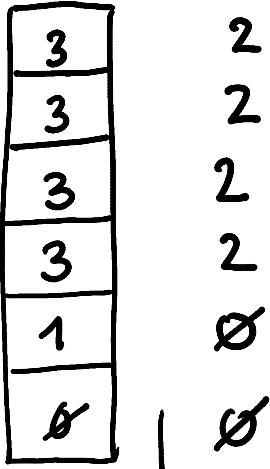
- PADAUINSELA METODA (RAINFLOW)

METODA ŠTETJA PREHODOU PREČO NIVOJEV



DOLOČIMO REFERENČNI NIVO

$$G_m = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n G_i$$



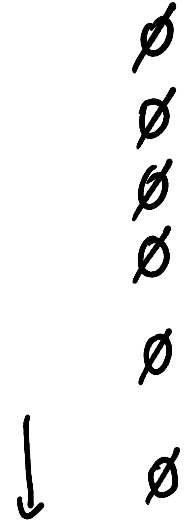
MAX = 6
MIN = 2

$$G_r = (6-2)\Delta + \Delta = 5\Delta$$



MAX = 6
MIN = 3

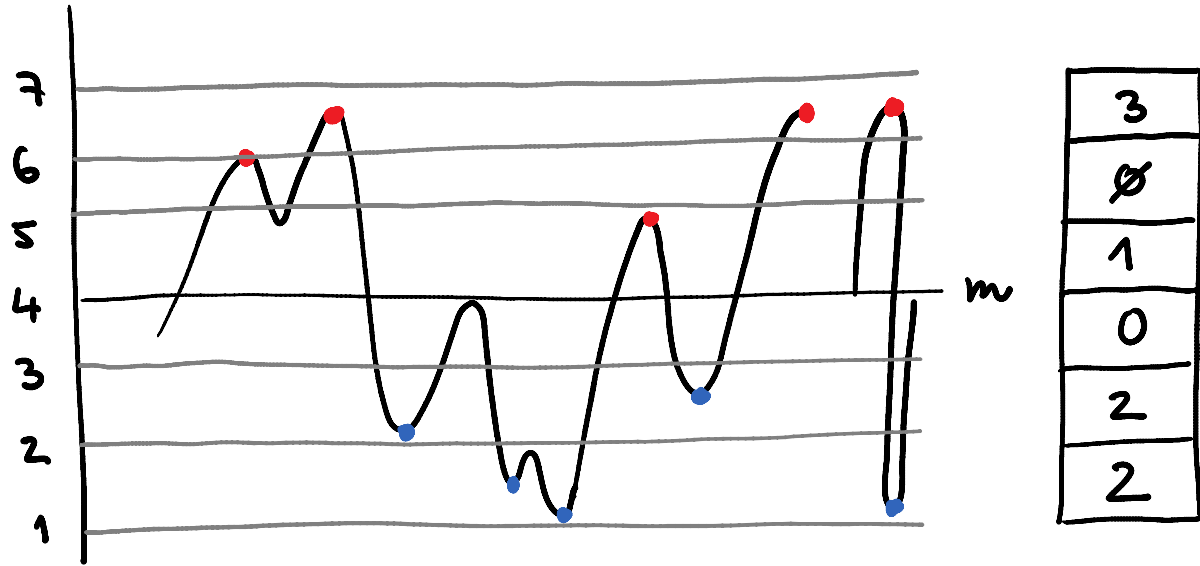
$$G_r = (6-3)\Delta + \Delta = 4\Delta$$



MAX = 6
MIN = 3

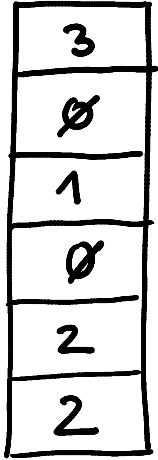
$$G_r = (6-3)\Delta + \Delta = 4\Delta$$

METODA ŠTETJA KONIC



DOLOČIMO REFERENČNI NIVO

$$N_r = 4\Delta + \Delta = (6-2)\Delta + \Delta$$



$$G_r = (6-2)\Delta + \Delta$$

$$= 5\Delta$$



$$G_r = 5\Delta$$



$$G_r = (6-3)\Delta + \Delta$$

$$= 4\Delta$$



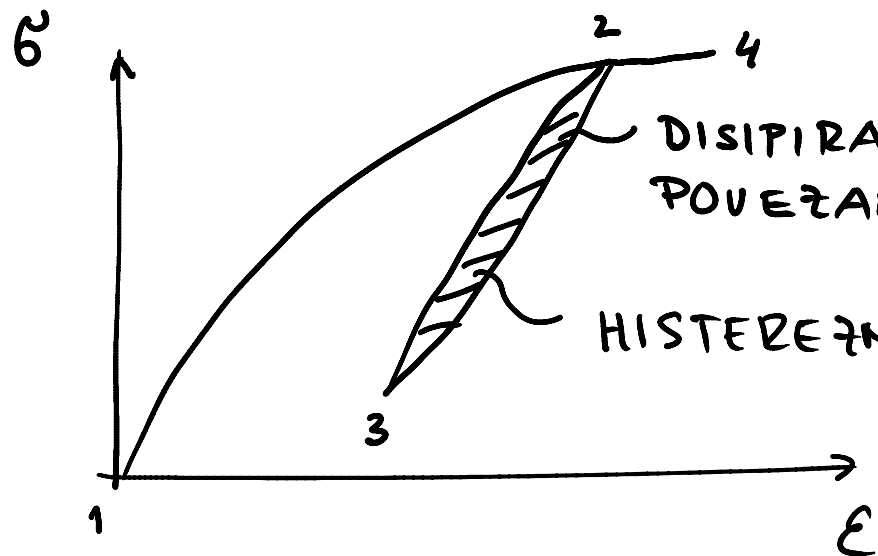
$$G_r = (4-3)\Delta$$

$$+ \Delta$$

$$= 2\Delta$$

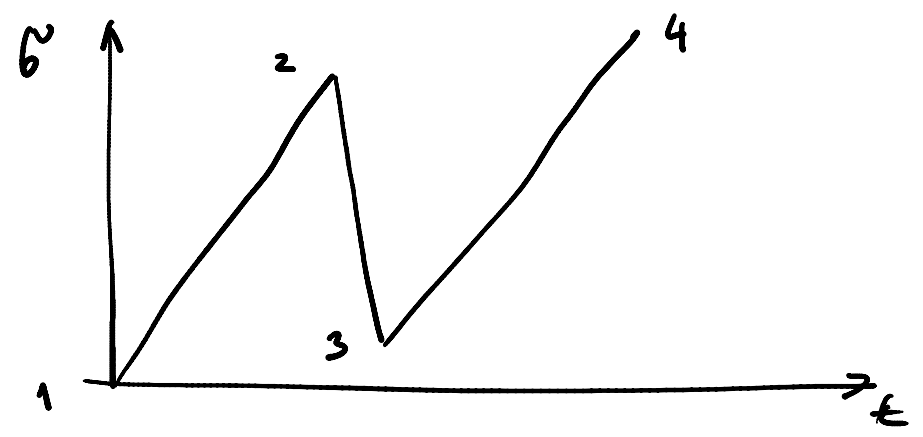


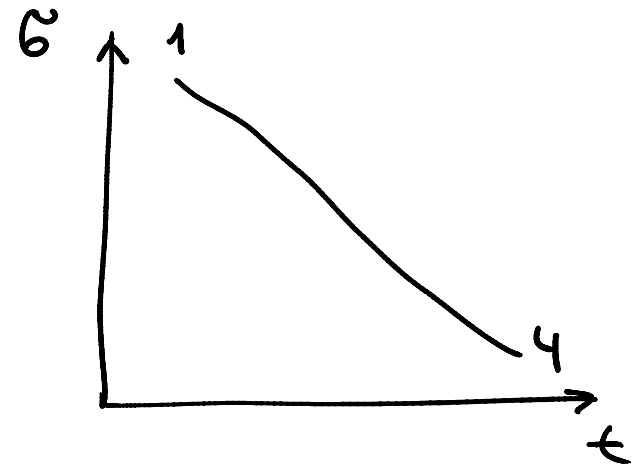
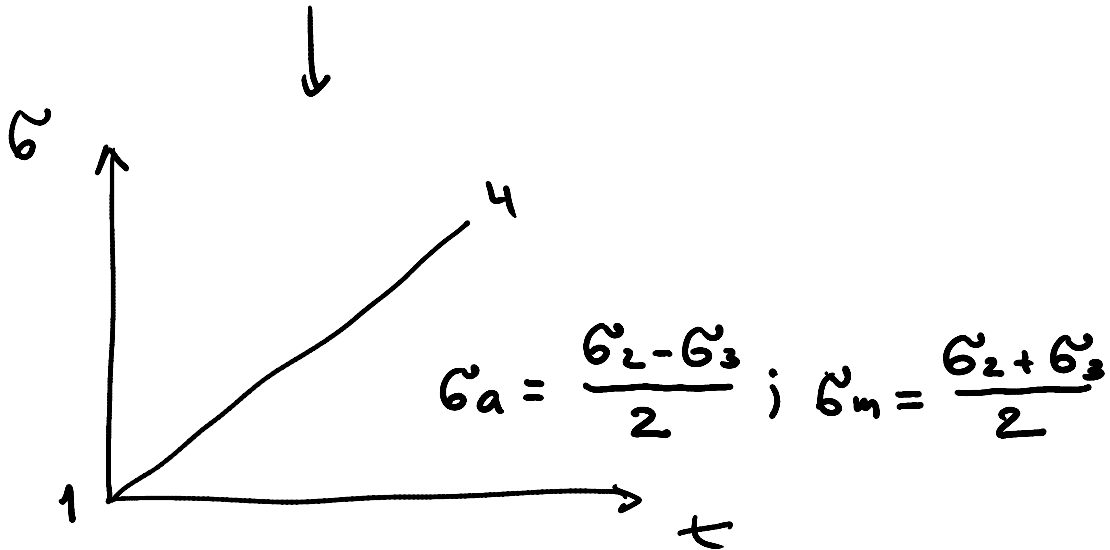
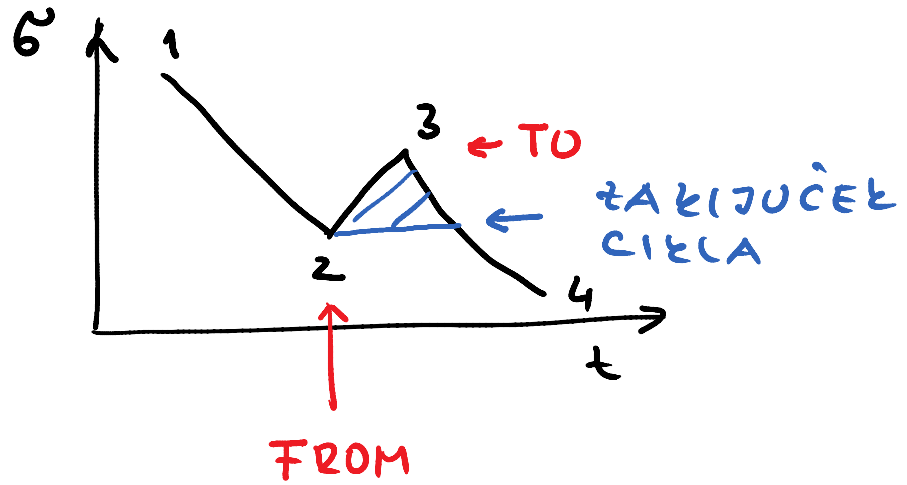
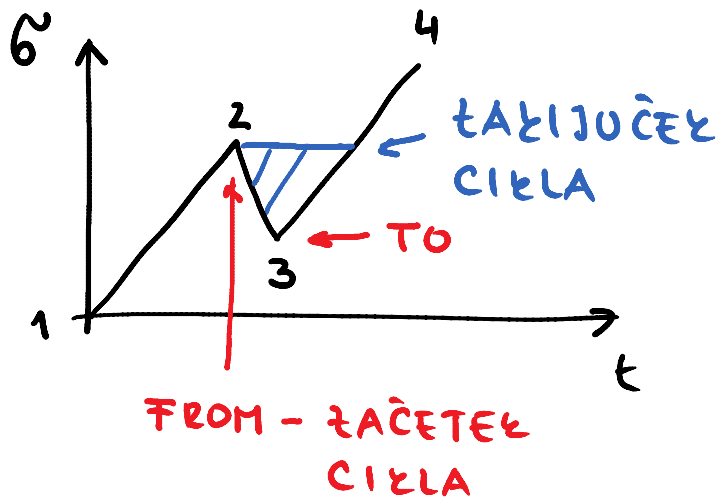
PADAVINSKA METODA

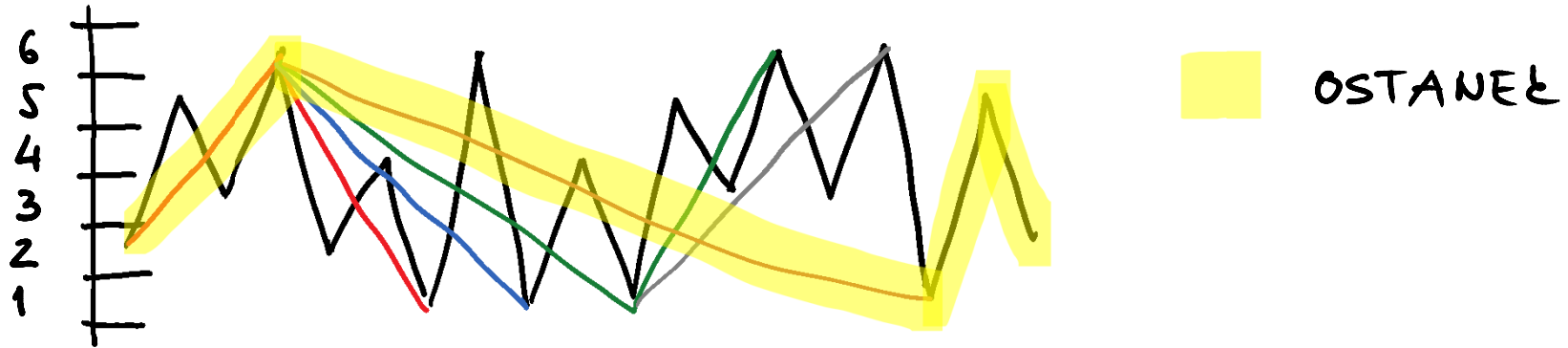


DISIPIRANA ENERGIJA JE
POVEZANA + DOBO TRAJANJA

HISTEREZNA ZANKA







OSTANEK

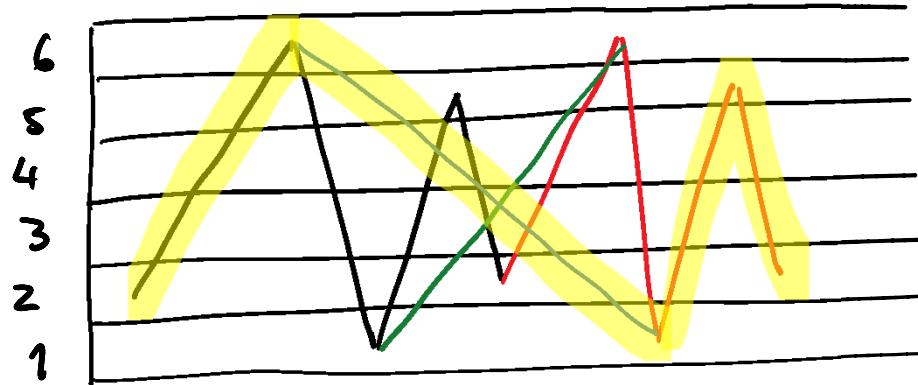
TO

	1	2	3	4	5	6
FROM				1		2+1
				1		
		1	2			
			1			

MAKSIMALNA DOLŽINA
 OSTANEA JE $2 \times 6 - 1 = 11$
 ↑
 ŠTEVILO
 RAZREDOV

1710ČANJE CÍZLOU 17 OSTANEA

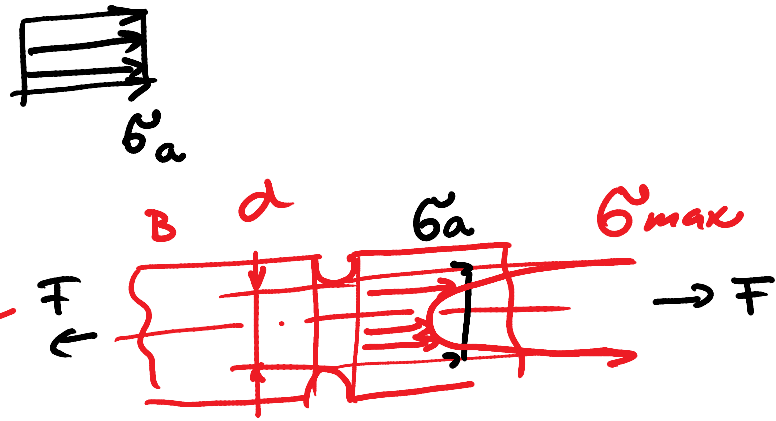
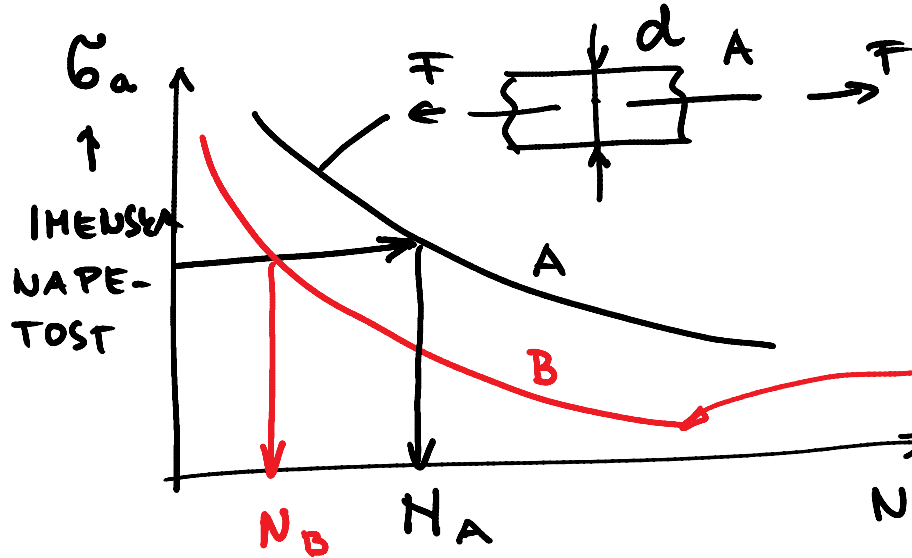
$$\text{OSTANEK} + \text{OSTANEZ} = \text{CÍZLI} + \text{OSTANEZ}$$



$\underbrace{\hspace{10em}}_{\text{OSTANEK}} + \underbrace{\hspace{10em}}_{\text{OSTANEZ}} = 2 \text{ CÍZLA} + \text{OSTANEZ}$

VPLIV OBLIKE

NA UTRUJENOSTNE POŠEODBE



STANDARDNI PRESUŠANEC
KOMPONENTA

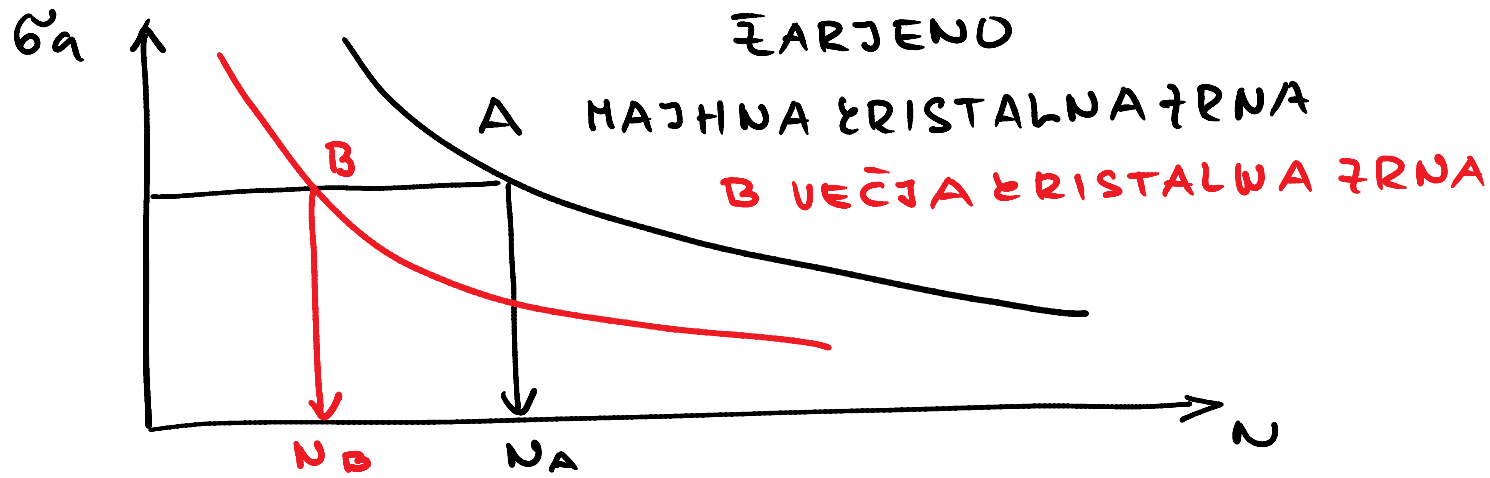
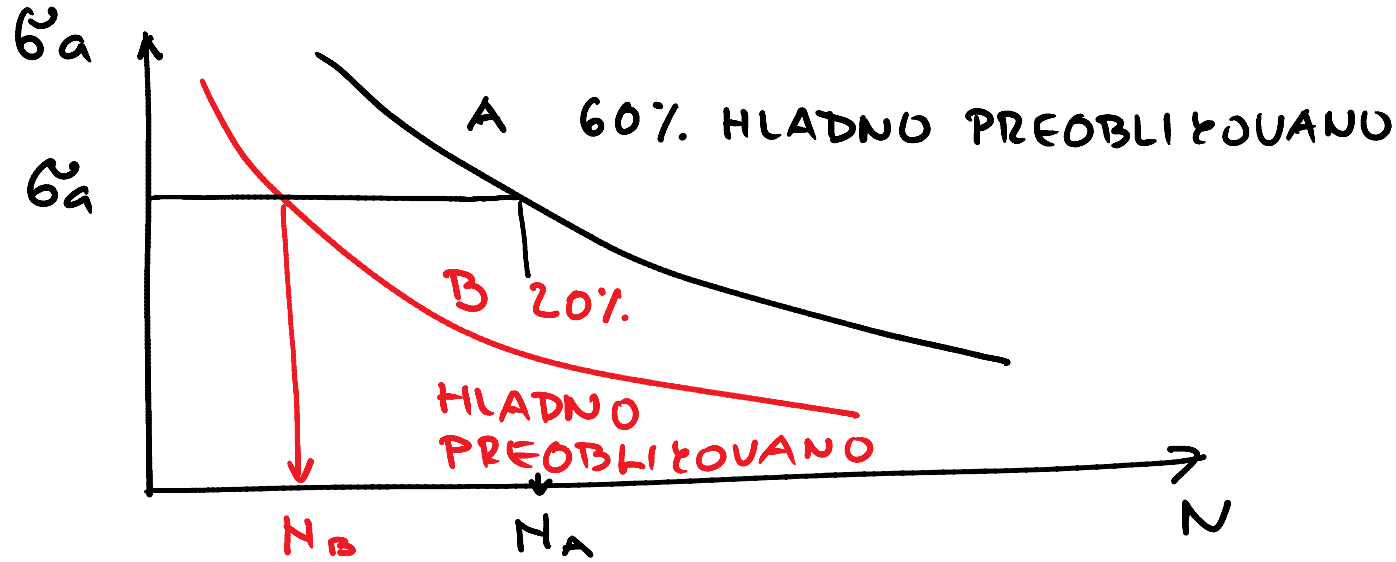
$$\sigma_{max} > \sigma_a$$

$K_t \equiv \alpha_\xi$ PO STROJNIH
ELEMENTIH

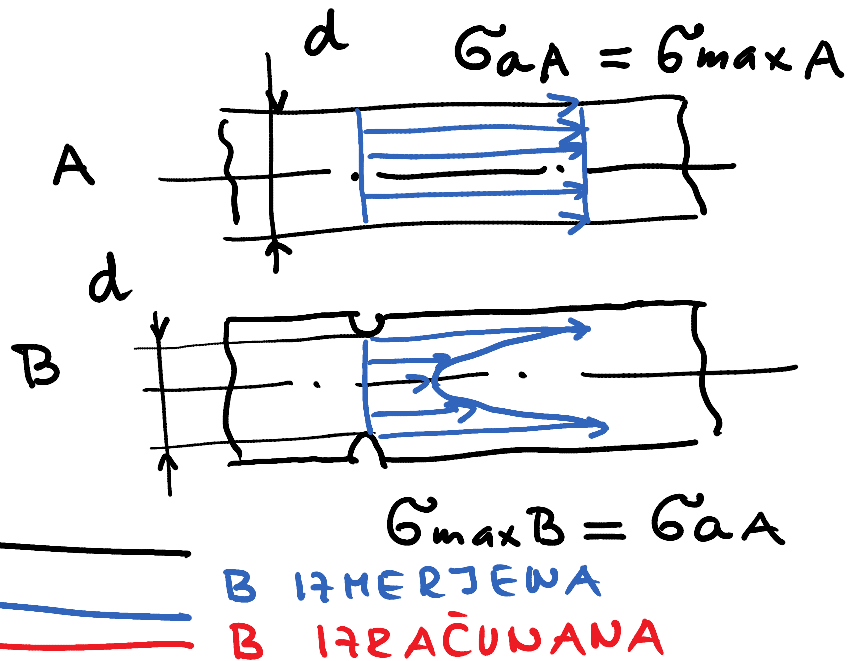
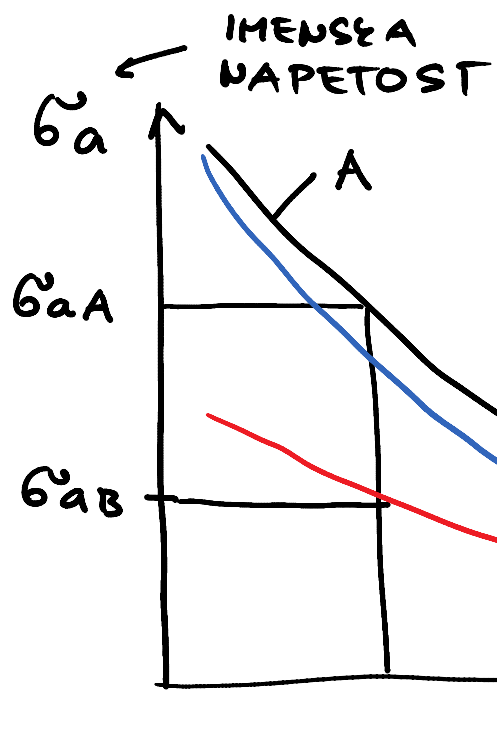
$$K_t = \frac{\sigma_{max}}{\sigma_a} \geq 1$$

↑
OBLIČNO ŠTEVILO
VEČJA, ČE JE $\sigma_{max} < R_{p0.2}$

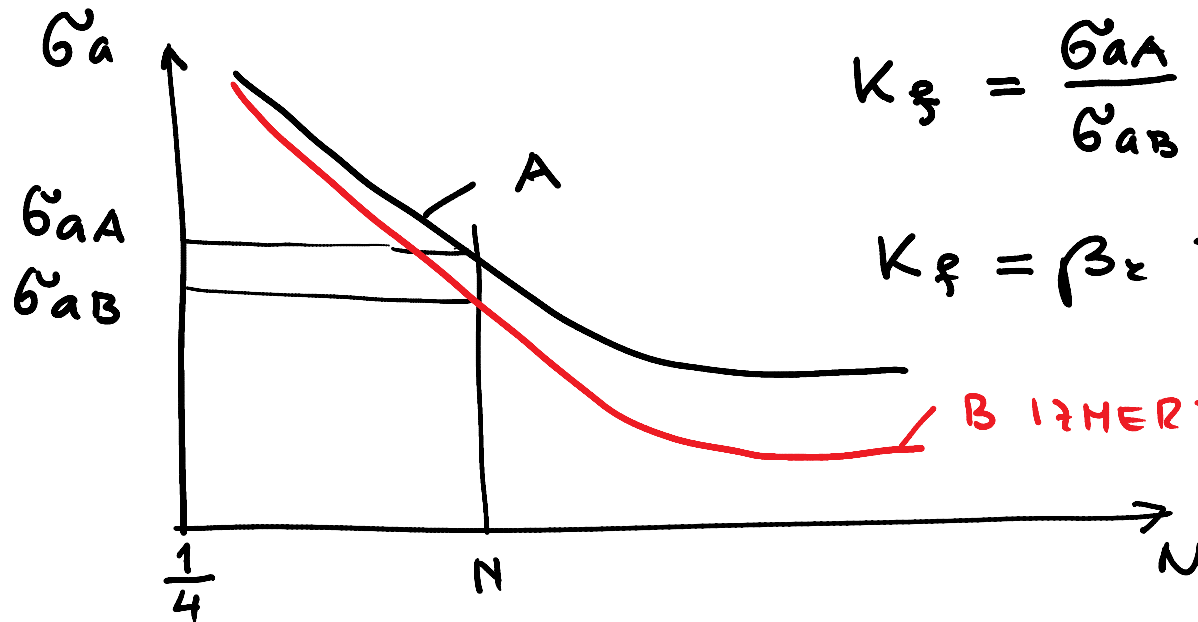
VPLIV TEHNOLOGIJE NA UTROJENOSTNE POŠKODBE



UPLIV KONCENTRACIJE NAPETOSTI NA UTRUJENOSTNE POŠZODBE



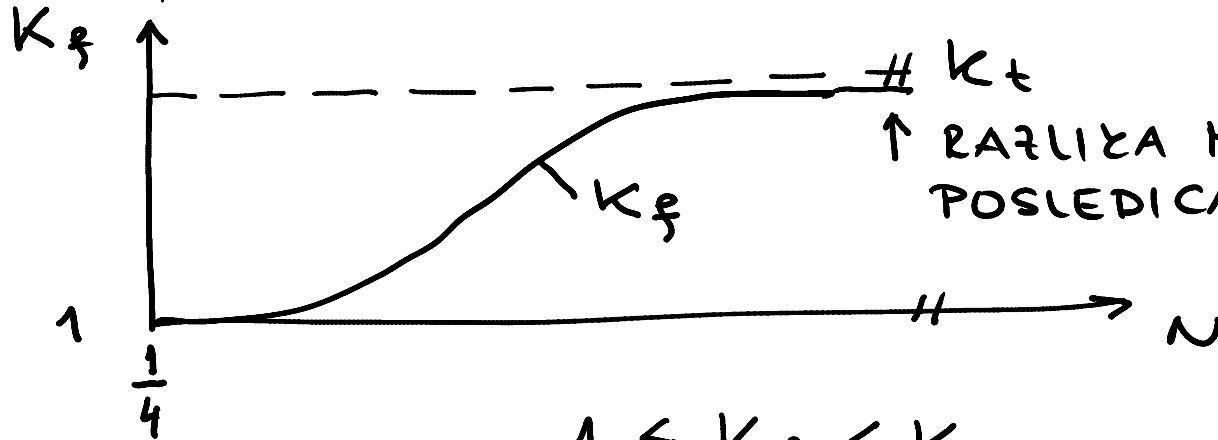
$$\sigma_{aB} = \frac{\sigma_{\max B}}{K_t} = \frac{\sigma_{aA}}{K_t} - \text{POZNAMO}$$



$$K_f = \frac{G_{aA}}{G_{aB}} \quad \text{FAKTOR ŽARJEŽNEGA UČINJA}$$

$$K_f = \beta_z \quad \text{PRI STROJNIH ELEMENTIH}$$

B IZMERJENA

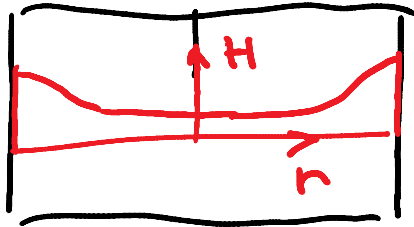


K_t
 ↑ RAZLIKA MED 2 RIVNINAMA JE
 POSLEDICA MEŽO TEČENJA

$$1 \leq K_f < K_t$$

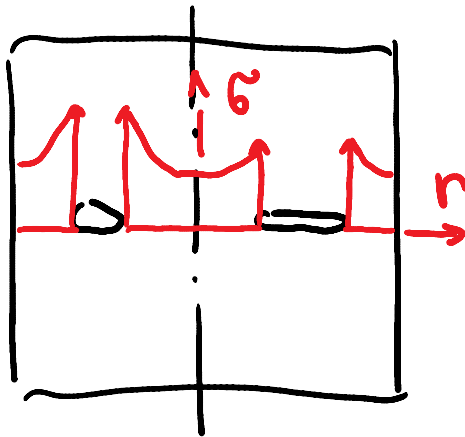
ΥΠΟΒΙ ΤΑ ΠΟΤΑΙ ΕΝΚΕΝΤΡΑΚΙ ΤΑΠΕΤΟΤΙ

ΥΠΛΙΥ ΠΡΟΦΙΛΑ ΤΡΔΟΤΕ



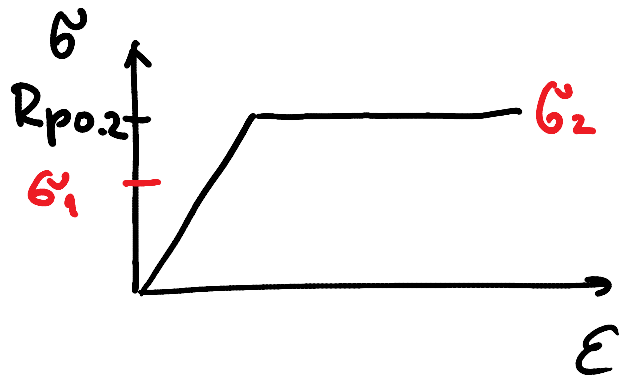
ΝΑ ΠΡΟΦΙΛ ΤΡΔΟΤΕ ΛΑ ΗΥΟ ΥΠΛΙΥΑΜΟ Τ!
ΗΛΑΔΝΙΜ ΠΡΕΟΒΛΙΕΟΥΑΝΤΕΜ, ΤΑΡΤΕΝΤΕΜ, ...
ΥΝΕΣΕΗΟ ΤΑΟΤΑΛΕ ΝΑΠΕΤΟΤΙ

ΥΠΛΙΥ ΥΕΛΤΙΥΕΥΟ ΑΗ ΠΟΡΟΤΝΟΤΙ

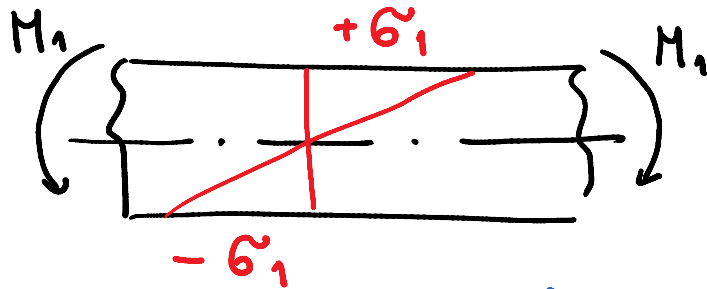


ΕΝΚΕΝΤΡΑΚΙΤΕ ΝΑΠΕΤΟΤΙ ΕΟΤ
ΠΟΤΕΔΙΕΑ ΥΕΛΤΙΥΕΥΟ

VPLIV PLASTIČNEGA PREOBLIKOVANJA

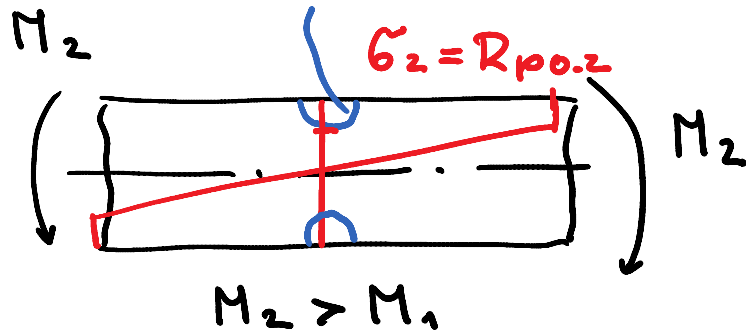


ELASTIČEN IDEALNO PLASTIČEN MATERIALNI MODEL



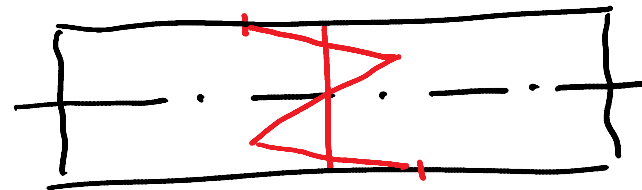
ELASTIČNO NAPETOSTNO STANJE

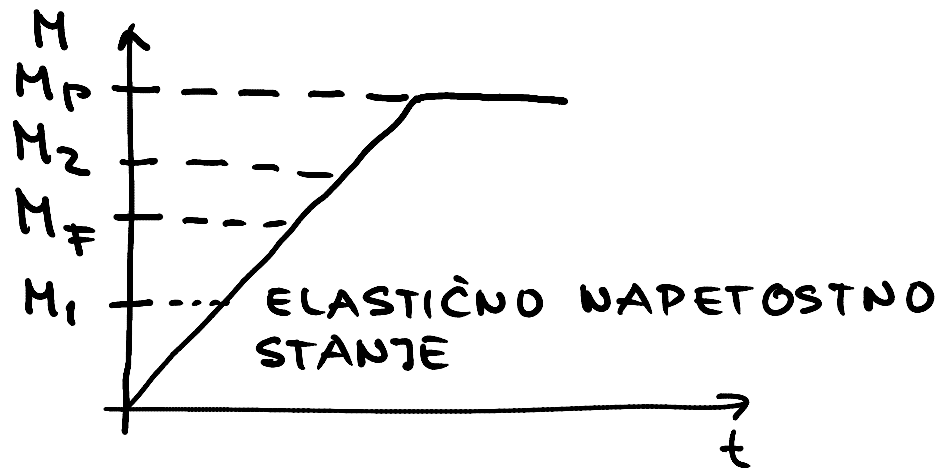
PLASTIČNA CONA



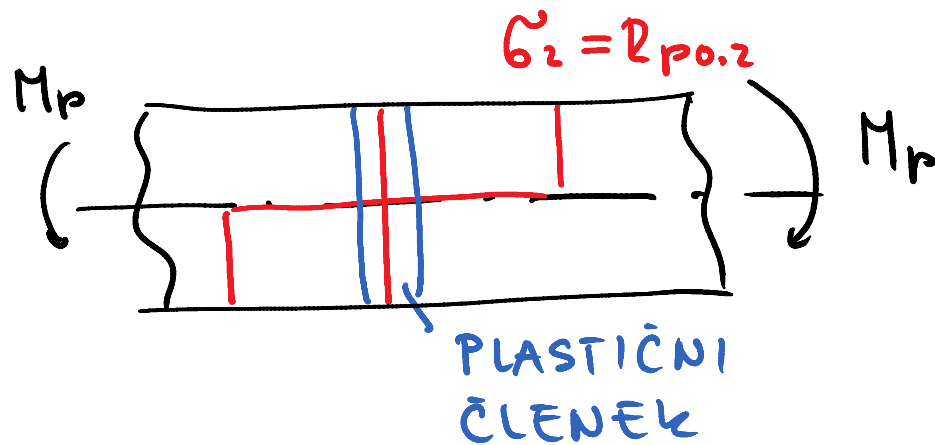
PO RAŽBREMENITVI

ZAOSTALE NAPETOSTI





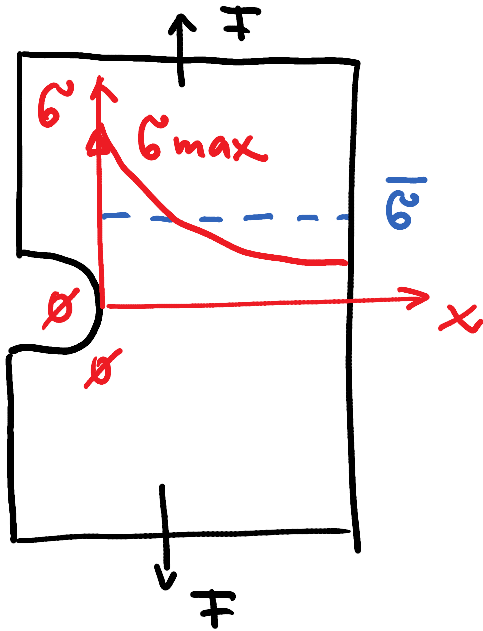
$$M_{\#} = R_{p0.2} \cdot W - \text{ODPORNOSTNI MOMENT}$$



PO RAZBREMENITVI
 NI ZAOSTALIH NAPETOSTI
 METODA ODPRALJANJA
 ZAOSTALIH NAPETOSTI

UPLIV NAPETOSTNIH GRADIENTOV

IZVEDEMO ANALIZO NAPETOSTI PO METODI KONČNIH ELEMENTOV (MKE) IN PREDPOSTAVIMO ELASTIČNI MATERIALNI MODEL.



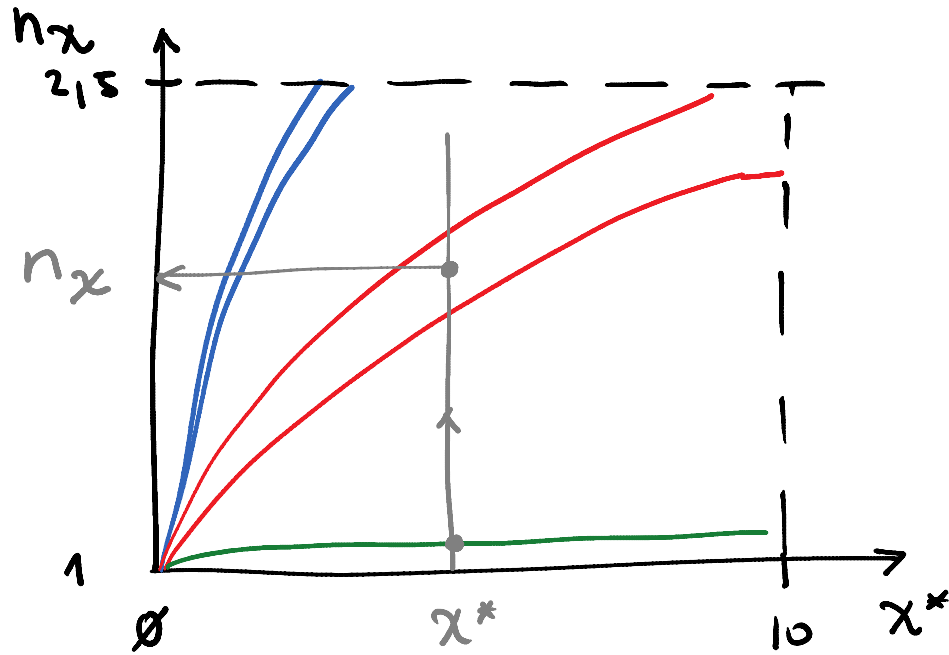
$$\chi^* = \frac{1}{\bar{\sigma}_{\max}} \left| \frac{d\sigma(x)}{dx} \right|_{x=\phi}$$

$$\bar{\sigma} = \frac{F}{A} \quad \text{JO LAHKO IZRAČUNAMO NATANČNO}$$

$$\bar{\sigma}_{\max}^o = K_t \bar{\sigma} \quad \text{OCENJENA NAPETOST}$$

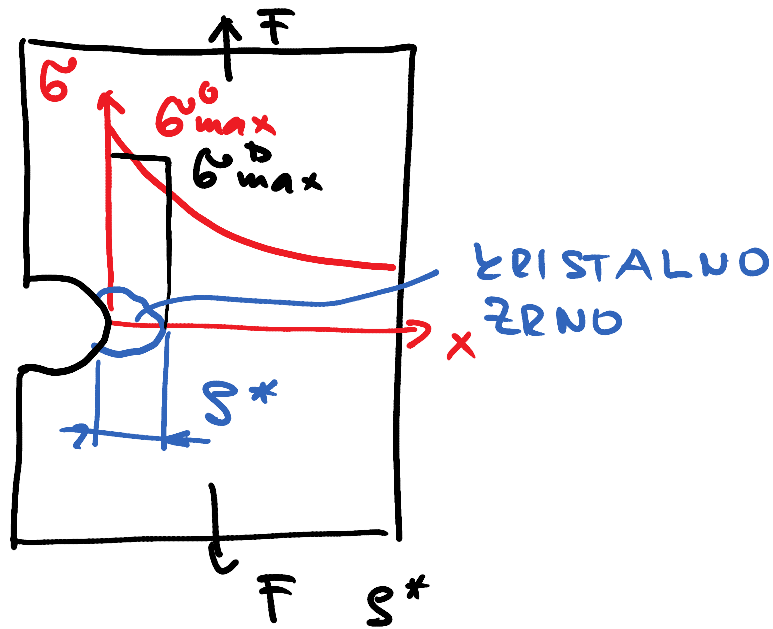
$$\bar{\sigma}_{\max}^D = K_f \bar{\sigma} \quad \text{DEJANSKA NAPETOST}$$

- SIVA LITINA
- VARNETNO ŽEŽLO
- ŽEŽIENA LITINA

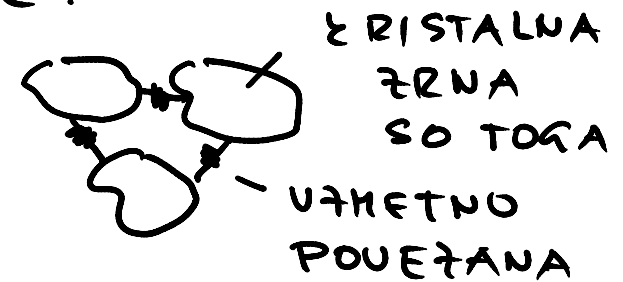


$$n_{\chi} = \frac{k_t}{k_f} = \frac{\sigma_{\max}^0 \chi}{\sigma_{\max}^D} = \frac{\sigma_{\max}^0}{\sigma_{\max}^D}$$

VPLIV MEZO TEČENJA



PREDPOSTAVIMO ELASTIČNI MATERIALNI MODEL V MZE.



$$\sigma_{max}^D = \frac{1}{s^*} \int_0^s \sigma(x) dx$$

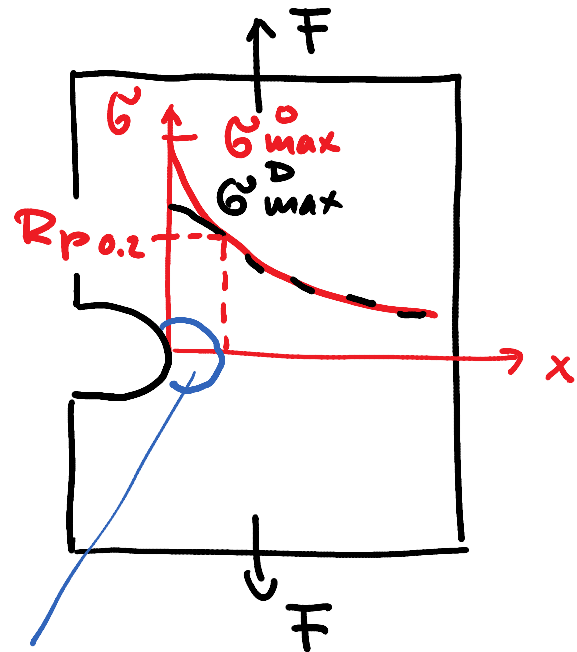
σ_{max}^D DEJANSKA NAPETOST

σ_{max}^0 OCENJENA NAPETOST

DO TU JĚ SNOU ŽA YI V LETU 2019!

VPLIV MAKRO TEČENJA

PREDPOSTAVIMO ELASTIČNI
MATERIALNI MODEL V MĚ.



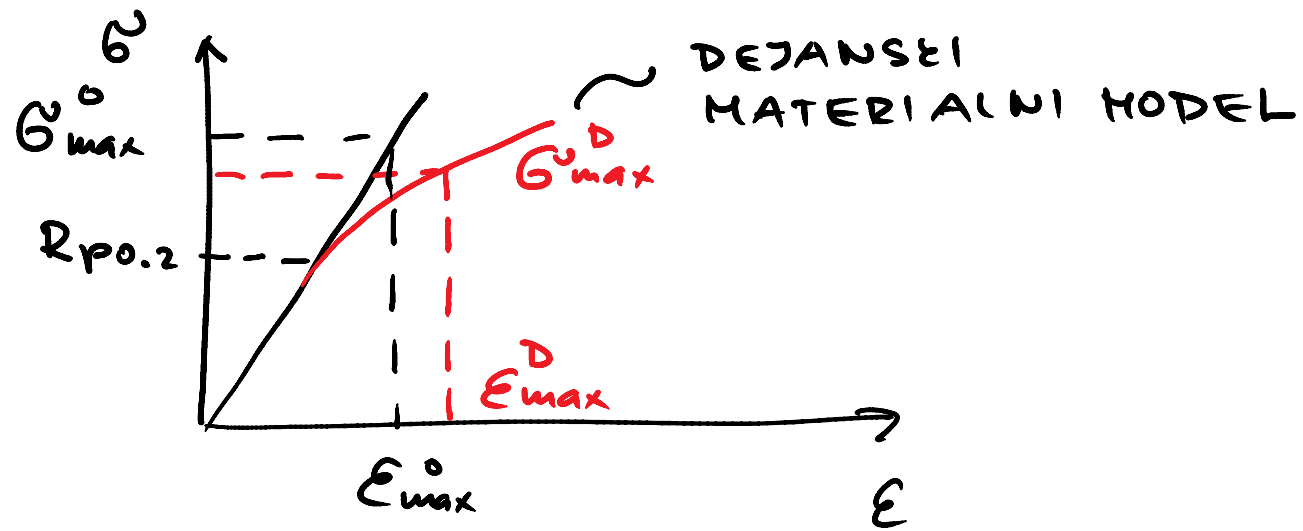
PLASTIČNA
ZONA

$$\sigma_{max}^0 = \epsilon_{max}^D \cdot E$$

NEUBERJEVA HIPOTEZA

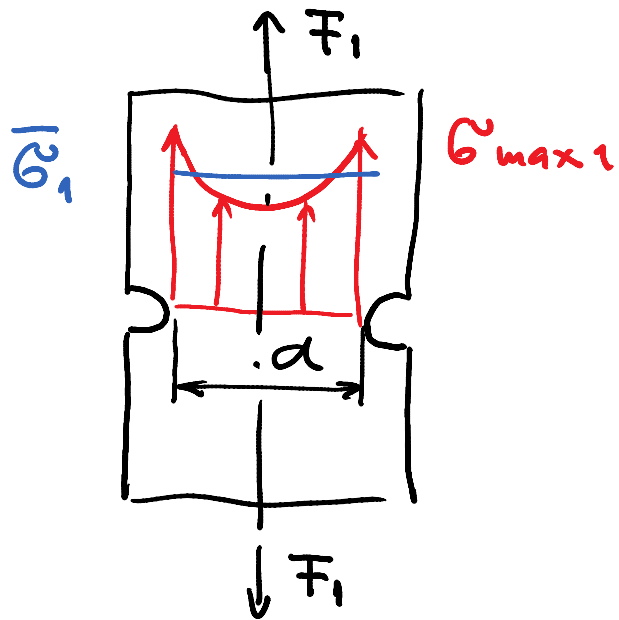
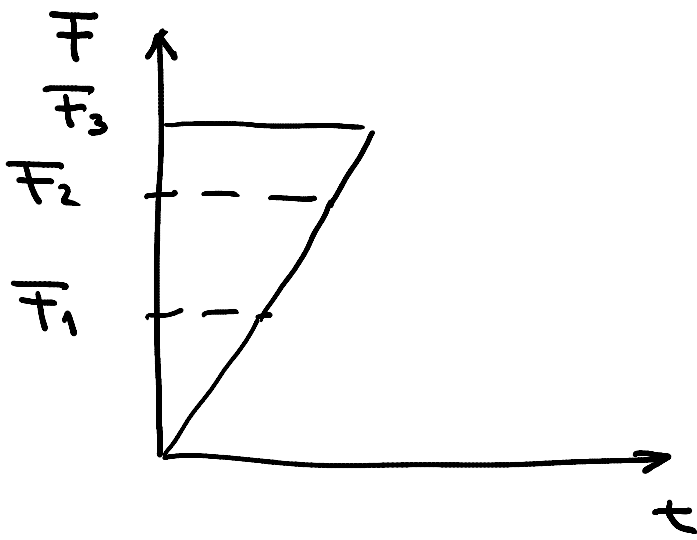
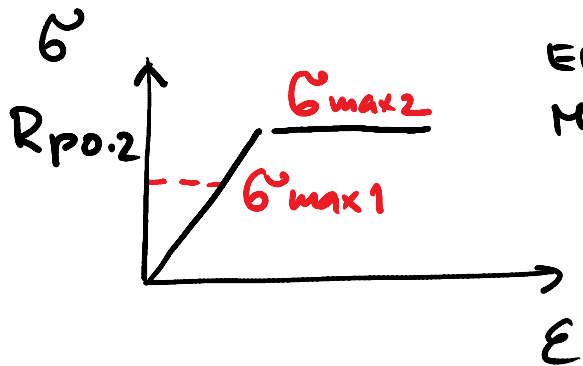
$$\sigma_{max}^0 \cdot \epsilon_{max}^0 = \sigma_{max}^D \cdot \epsilon_{max}^D$$

$$\frac{\sigma_{max}^{0.2}}{E} = \sigma_{max}^D \cdot \epsilon_{max}^D$$



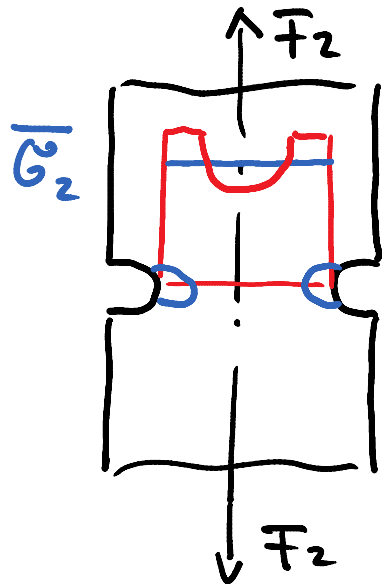
UPLIV VELIČOSTI OBREMNITVE

ELASTIČNI IDEALNO PLASTIČNI MATERIALNI MODEL



$$\sigma_{max1} = K_t \bar{\sigma}_1$$

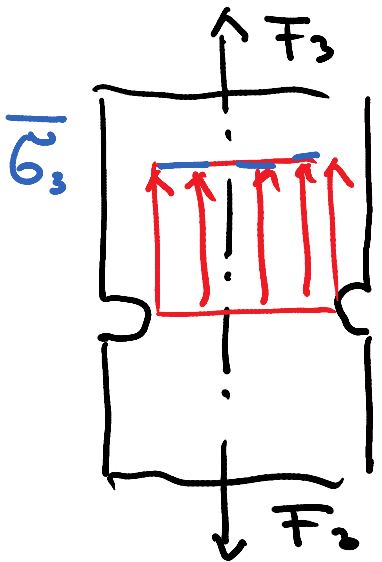
IZNATNA KONCENTRACIJA NAPETOSTI



$$\sigma_{\max 2} = R_{p0.2} \quad \bar{\sigma}_2 > \bar{\sigma}_1$$

$$\sigma_{\max 2} < K_t \bar{\sigma}_2$$

$$1 \leq K_f < K_t$$



$$\sigma_{\max 3} = R_{p0.2} = \bar{\sigma}_3$$

$$\sigma_{\max 3} = \frac{K_t}{1} \bar{\sigma}_2$$

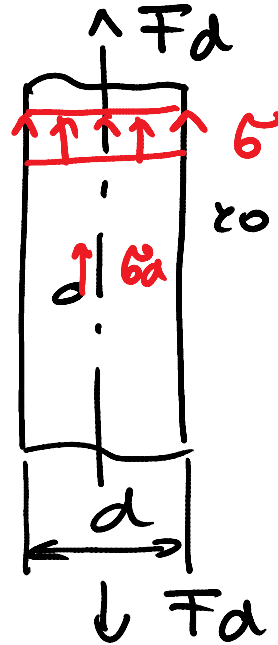
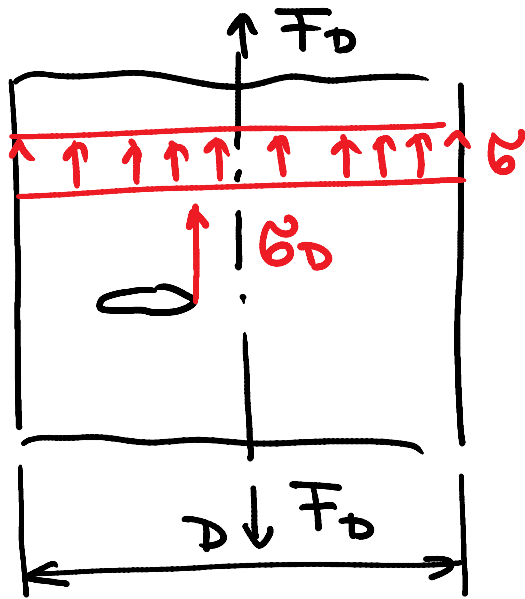
UPLIV NAPETOSTNIH GRADIENTOV
UPLIV MEYO TEČENJA
UPLIV MAKRO TEČENJA ✓



TRIBE RAZLIČNI
PRISTOPI KATERIH
SEUPNICILJ JE
ŽNIŽATI NAPETOSTI
OB SPREMEMBAH
GEOMETRIJE


TEM VEČJE SO ODBREHENTVE,
TEM VEČJA JE NA PAZA OCENE
NAPETOSTI OB SPREMEMBAH
GEOMETRIJE, ČE PREDPOSTAVIMO
ELASTIČNI MATERIALNI MODEL

UPLIV VELIKOSTI PREREZA



$$\sigma = \frac{F_D 4}{\pi D^2} = \frac{F_d 4}{\pi d^2}$$

KONCENTRACIJA NAPETOSTI

VELIKOST IZ OBLIKA
VELJUČKA STA
POHETIBNI 

VEĆI PREREZ JE BOLJ NEUGODEN

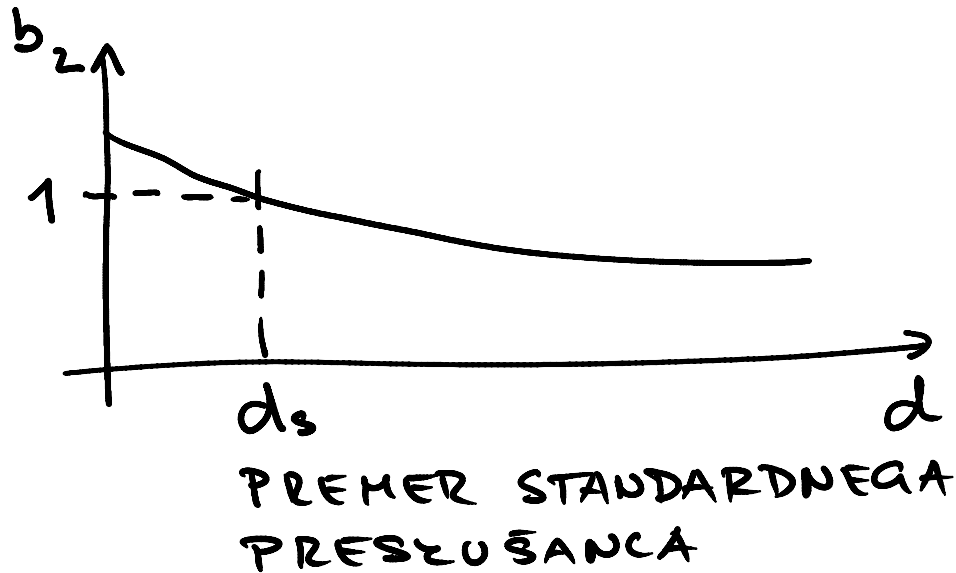
VEĆI PREREZ → VEĆJA VERJETNOST POJAVLJANJA
VEĆJEGA VELJUČKA → $\sigma_D > \sigma_d$

VEĆI PREREZ → MANJŠEJ STOPNJA PEOBLIKOVANJA →
VEĆI VELJUČKI → $\sigma_D > \sigma_d$

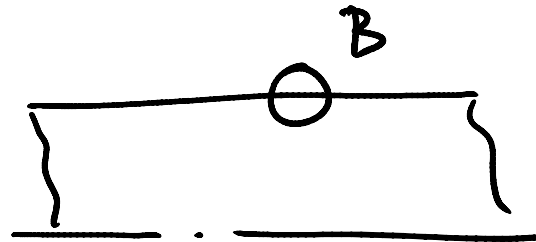
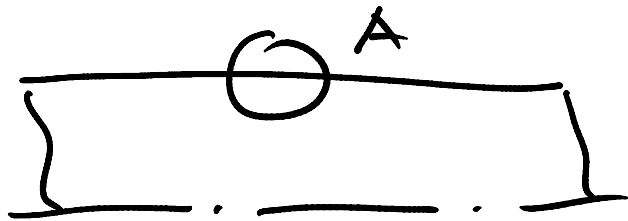
$$\sigma_{obl}^R = \frac{\sigma_D^R \cdot b_1 \cdot b_2}{\beta_2 = K_f}$$

R - RAŽMERJE NAPETOSTI

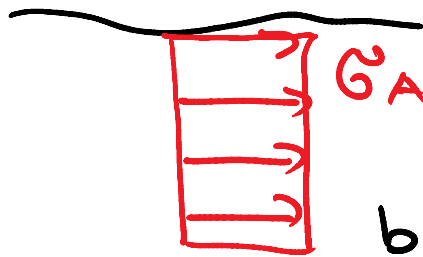
b_2 - VRIJU VELIKOSTI PREBETA



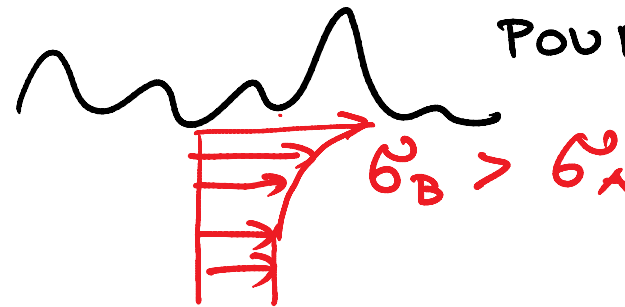
UPLIV HRAPAVOSTI POUŠINE



A



B



b_1 - UPLIV HRAPAVOSTI POUŠINE

