

**LIJEPLJENI LAMELIRANI NOSAČI
SLOŽENE GEOMETRIJE**

**LLN ZAKRIVLJENOG INTRADOSA I/ILI
EKSTRADOSA**

LIJEPLJENI LAM. NOSAČI SLOŽENE GEOMETRIJE

➤ Podjela zakrivljenih LLN

- prema geometrijskom obliku sljemene zone
- prema poprečnom presjeku ravne zone nosača
- prema uvjetima proizvodnje (lijepljenja) zone u sljemenu (puna ili reducirana statička visina nosača)

Teorijske podloge proračuna uvjetovanog geom. oblikom

◆ Utjecaj geometrije na posebnosti naponskog stanja u karakterističnim presjecima nosača

- Raspodjela naprezanja / distribucija napona po visini presjeka

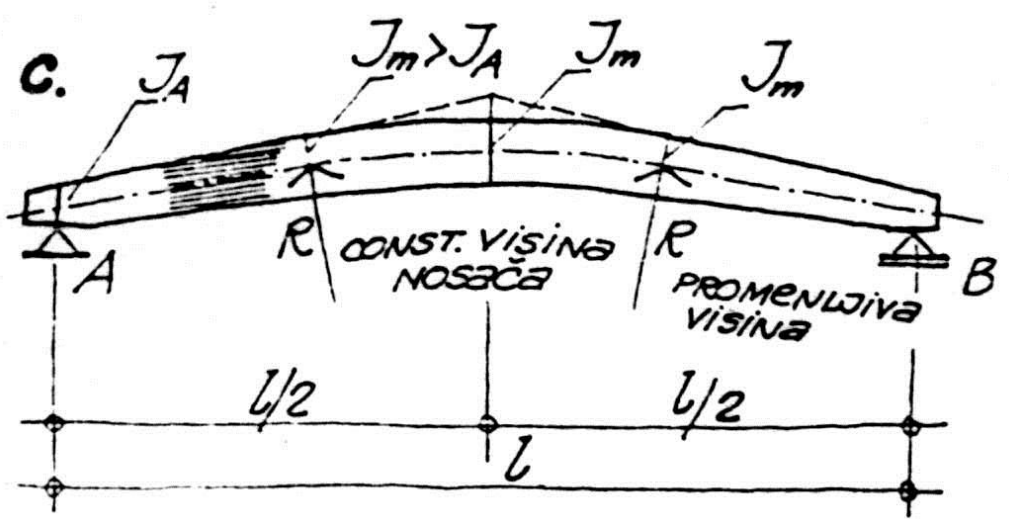
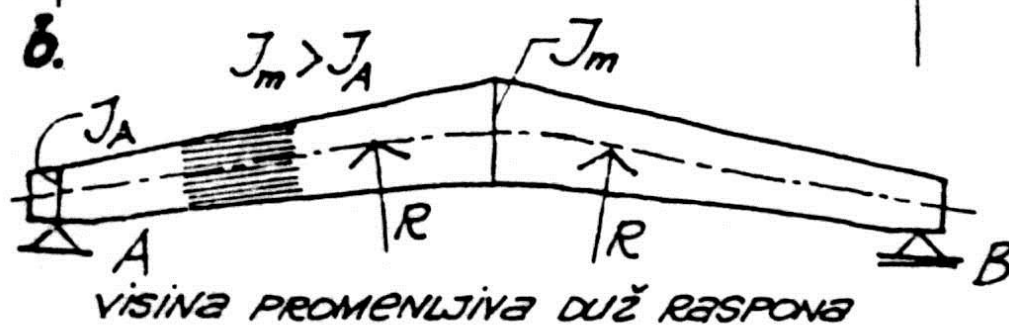
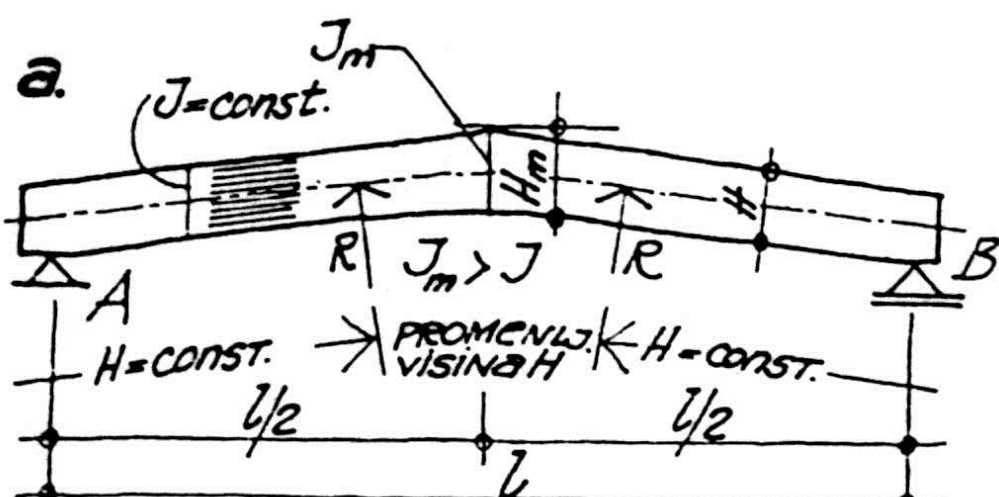
◆ Kontrola nosivosti, uporabivosti i stabilnosti

- Temeljne postavke proračuna postupkom dopuštenih napona i postupkom graničnih stanja

UTJECAJ GEOMETRIJE I UVJETA PROIZVODNJE

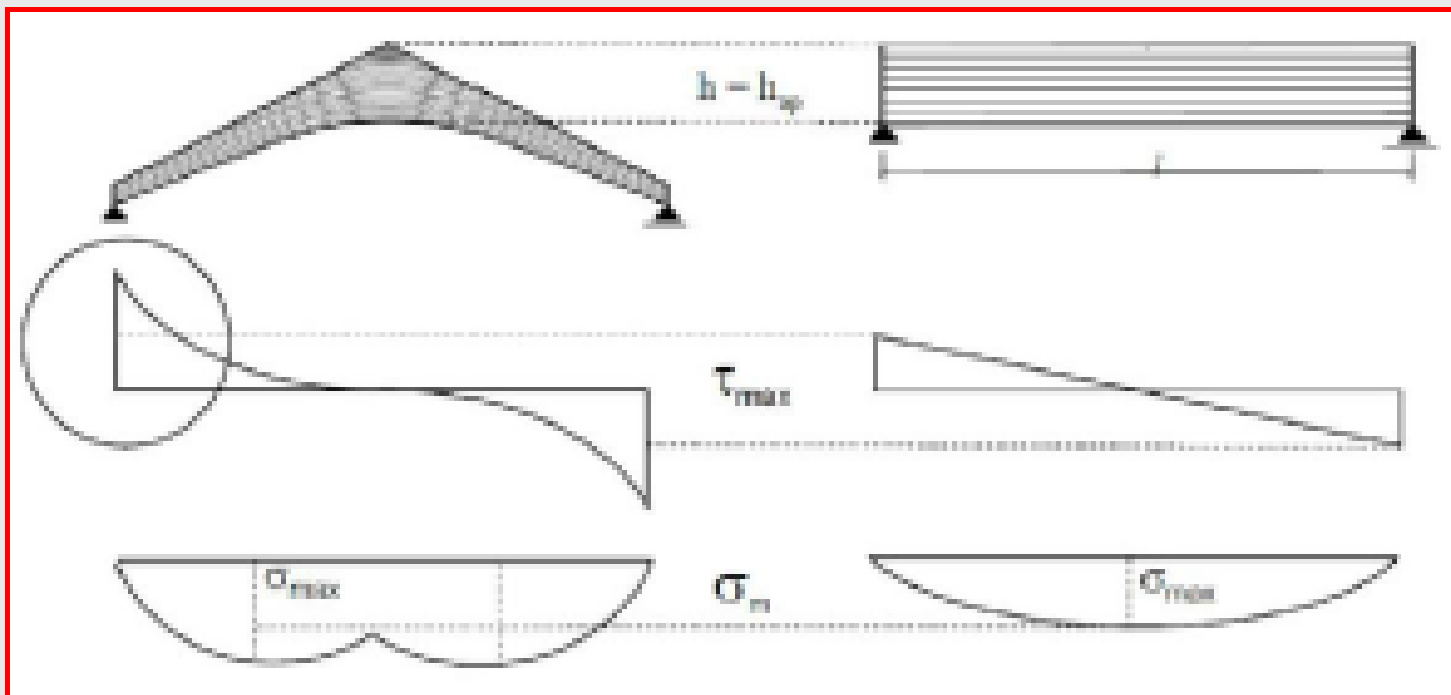
- ◆ **Podjela tipskih zakrivljenih LLN prema geometrijskom obliku**
 - prema broju kosih izvodnica u području sljemena nosača
 - zakrivljen intrados (u praksi redovito korišten oblik nosača) ili
ekstrados nosača
 - bez kosih izvodnica u području sljemena → zakrivljen intrados i ekstrados nosača
 - LLN promjenjivog ili konstantnog poprečnog presjeka ravne zone nosača

- ◆ **Podjela zakrivljenih LLN trapezne forme u sljemenu prema tehnološkim uvjetima proizvodnje (lijepljenja) zone u sljemenu**
 - puna ili reducirana statička visina presjeka u sljemenu nosača → statički tretman naprezane zone

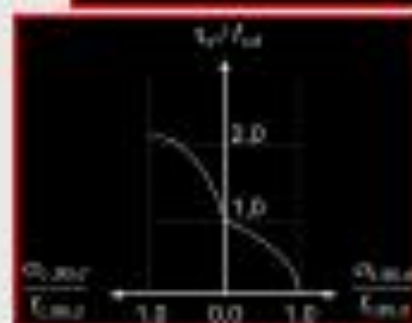


**ZAKRIVLJENI NOSAČI
 SLOŽENE GEOMETRIJE**
 (uzdužna os nosača sa
 umetnutom krivuljom)

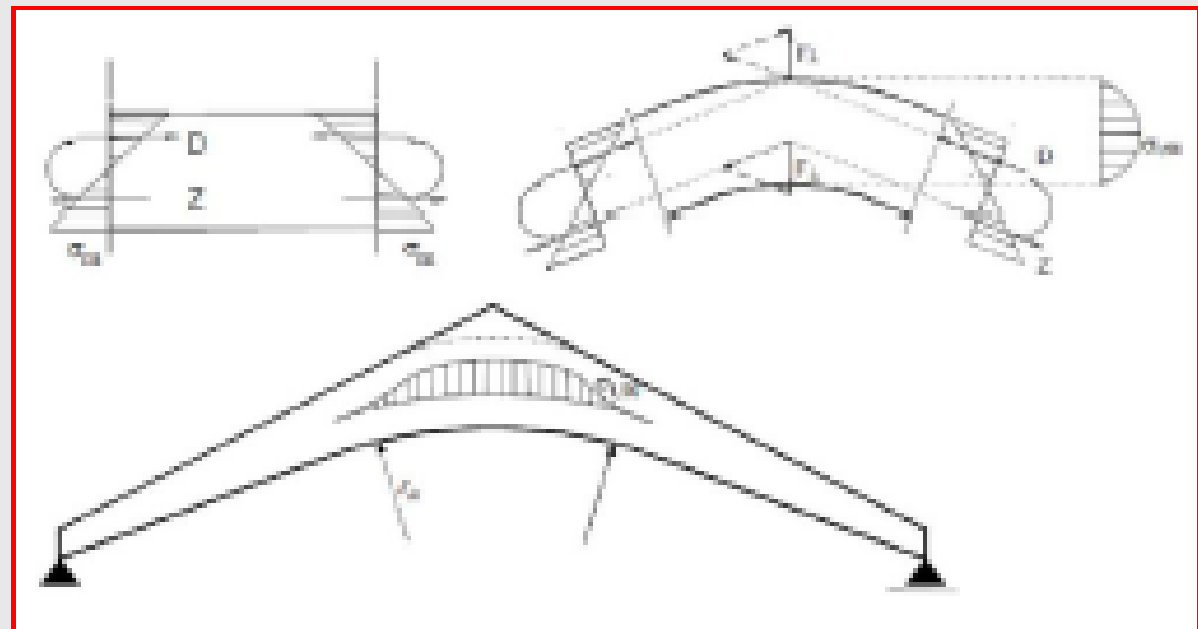
- Proračun presjeka elemenata promjenjivog presjeka ili zakrivljenog oblika:
- Dvostrane trapezne grede, zakrivljene i sedlaste grede



- Proračun presjeka elemenata promjenjivog presjeka ili zakrivljenog oblika:
- Dvostrane trapezne grede, zakrivljene i sedlaste grede
- Zone karakteristične za provjere posmika i vlaka okomito na vlakanca

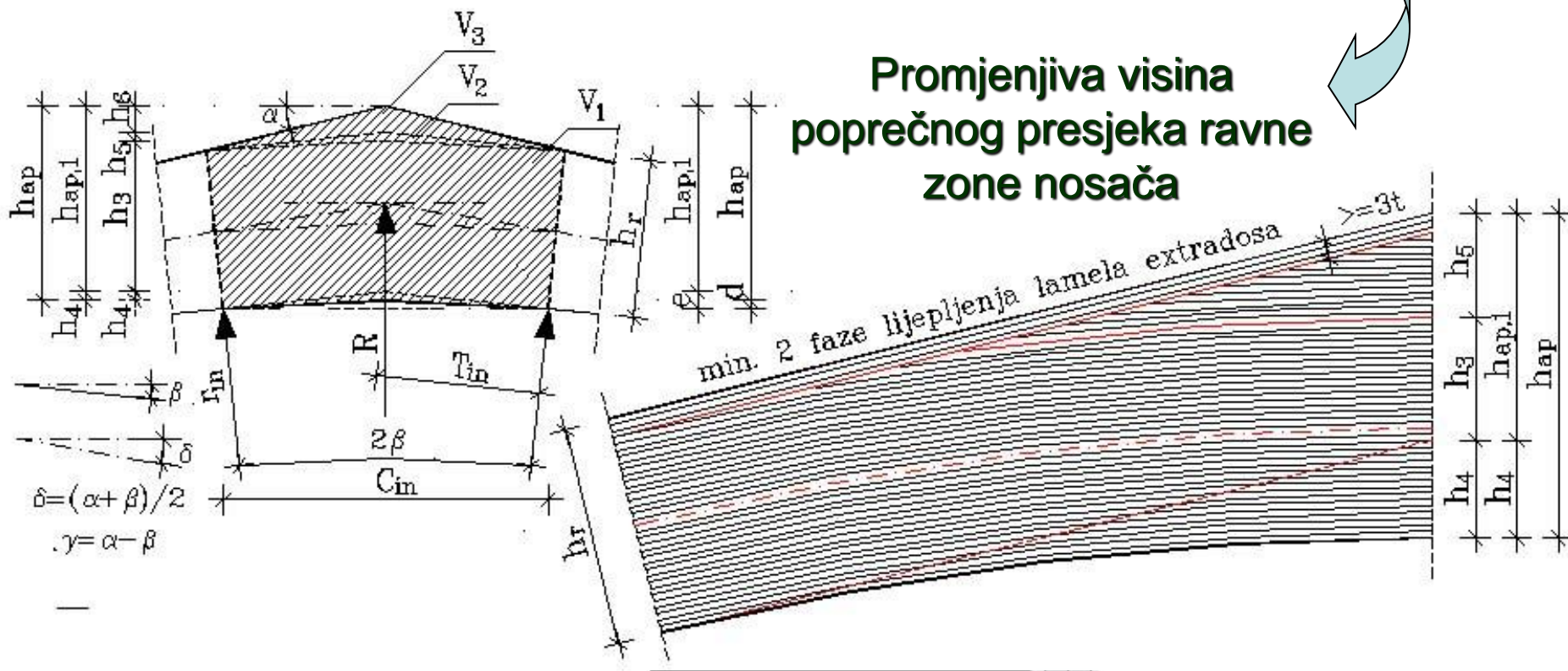


- Proračun presjeka elemenata promjenjivog presjeka ili zakrivljenog oblika:
- Dvostrane trapezne grede, zakrivljene i sedlaste grede – područje sljemena
- Raspodjela vlačnih okomitih napreznja zbog savijanja u sedlastim gredama



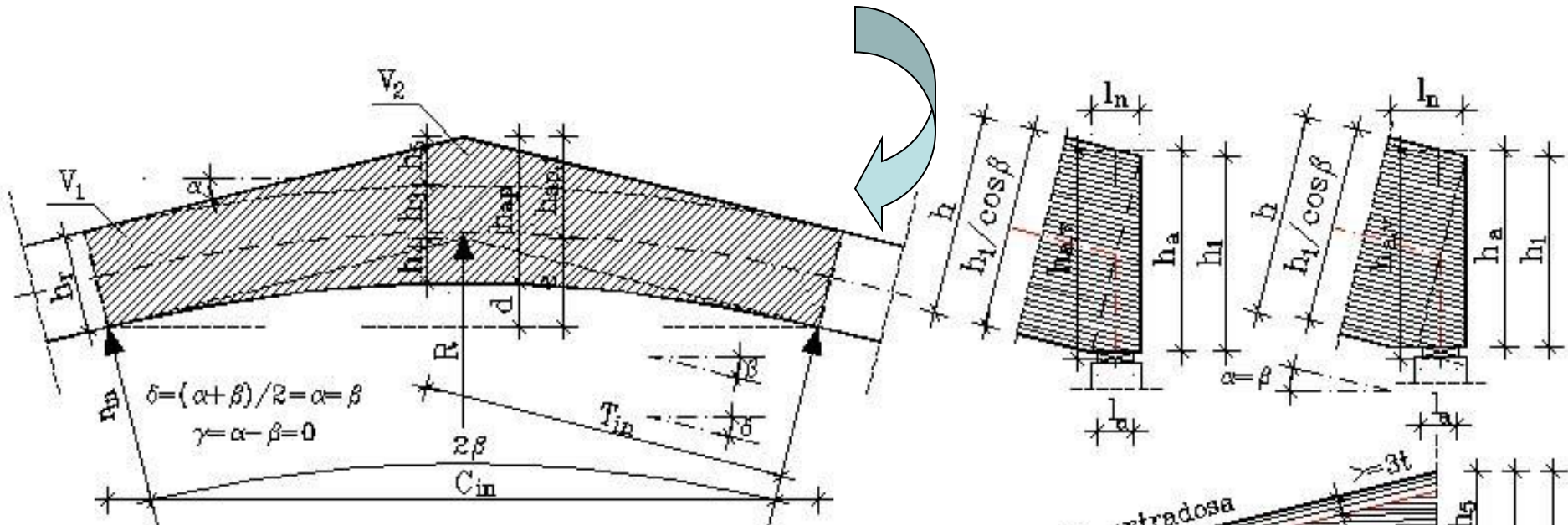
◆ LLN zakrivljenog intradosa (ili ekstradosa) u zoni sljemena

- ▣ trapezne forme → sedlasti ili koljenasti nosači pune statičke visine u sljemenu nosača



◆ LLN zakrivljenog intradosa (ili ekstradosa) u zoni sljemena

- ▣ trapezne forme → sedlasti ili koljenasti nosači pune statičke visine u sljemenu nosača



Konstantna visina poprečnog presjeka ravne zone



◆ LLN zakrivljenog intradosa i ekstradosa u zoni sljemena

□ LLN zakrivljenog intradosa i ekstradosa (zona sljemena)

- **koncentrična zakrivljenost** (ravna zona nosača sa jednakim nagibom intradosa i ekstradosa - konstantan poprečni presjek ravne i zakrivljene zona nosača)

→ u praksi često korištena forma LLN

✓ zakrivljeni nosači jednostavne geometrije

✓ sedlasti nosači konstantnog presjeka
(reducirana visine nosača u sljemenu)

- **nekoncentrična zakrivljenost** (ravna zona nosača ima različite nagibe intradosa i ekstradosa - promjenjiv poprečni presjek ravne i zakrivljene zone nosača)

→ u praksi rjeđe korištena forma LLN

✓ zakrivljeni nosači složene geometrije

✓ sedlasti nosači promjenjivog presjeka
(reducirana visine nosača u sljemenu)

LLN ZAKRIVLJENOG INTRADOSA - KONST. VISINA PRESJEKA

- ◆ Uzdužna os nosača djelomično (ili u cjelini) izvedena po krivulji
- ◆ Radijus zakrivljenosti u osi nosača ($R > 0$; $R = R_{in} + 0.5H_{ap}$)
- ◆ Uvjet za proračun LLN kao nosača zakrivljene osi

□ $R < 200 a \rightarrow$ prema HRN.U.C9.200

□ $R < 240 a \rightarrow$ prema EC5 (DIN 1052)

ZAKRIVLJENI NOSAČI KONST. PRESJEKA

(uzdužna os nosača sa
umetnutom krivuljom)

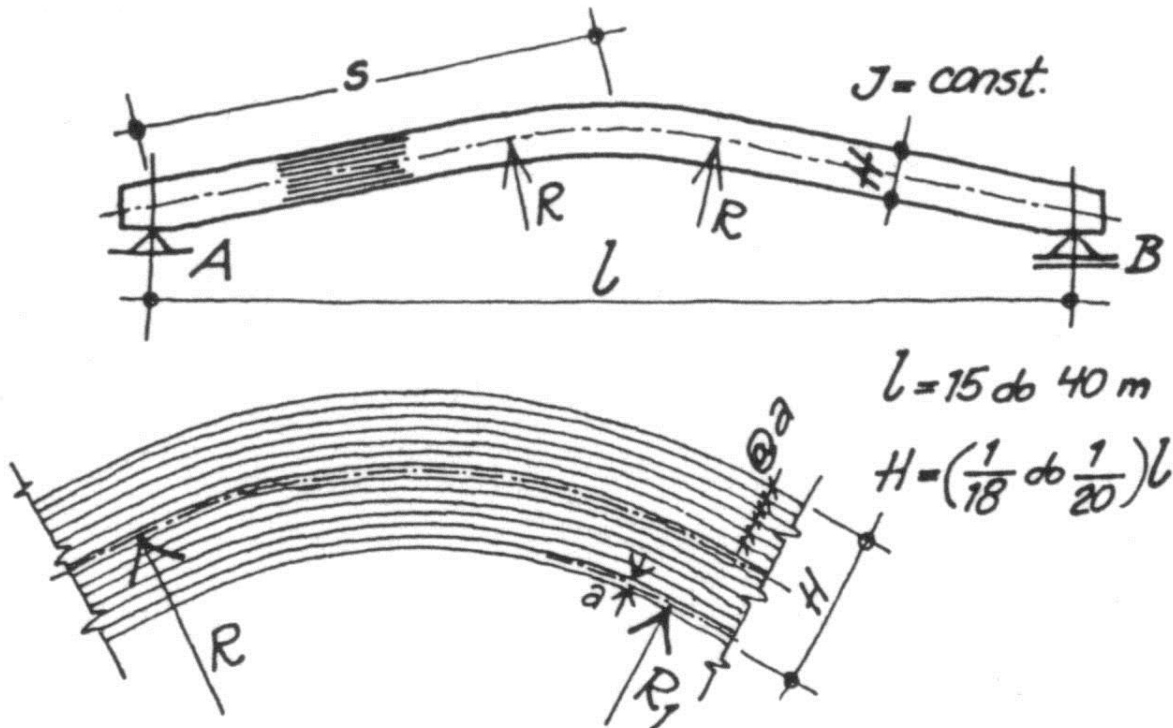
UVJET: $2 < R/H_m \leq 10$

NOSAČE SA ODNOSOM

$R/H_m > 10$

PRORAČUNAVATI KAO

NOSAČE RAVNE OSI



PRORAČUN DEFORMACIJA - POSTUPAK GRANIČNIH STANJA

◆ Proračun deformacija uzima u obzir trajanje opterećenja

▣ EFEKT TEČENJA (PUZANJA) → koef. k_{def}

Računski progib - sveukupno djelovanje:

$$u_{fin} = \sum u_{ins,i} \cdot (1 + k_{def,i}) - u_0 \leq u_{net}$$

Uvjet uporabivosti - sveukupno djelovanje:

$$u_{fin} \leq u_{net} = l/200$$

Uvjet uporabivosti - korisno djelovanje:

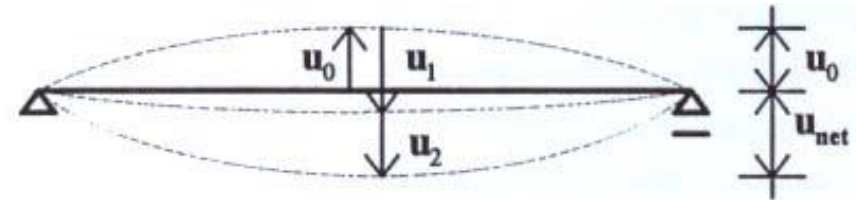
$$u_{fin,p} \leq u_{net,p} = l/300$$

Računski progib - pojedinačni utjecaji:

$$u_{fin,g(p)} = u_{fin,1(2)} = u_{ins,g(p)} \cdot (1 + k_{def,g(p)})$$

k_{def}

faktor koji uzima u obzir povećanje deformacija tijekom vremena od kombiniranih djelovanja, efekta puzanja i vlažnosti.



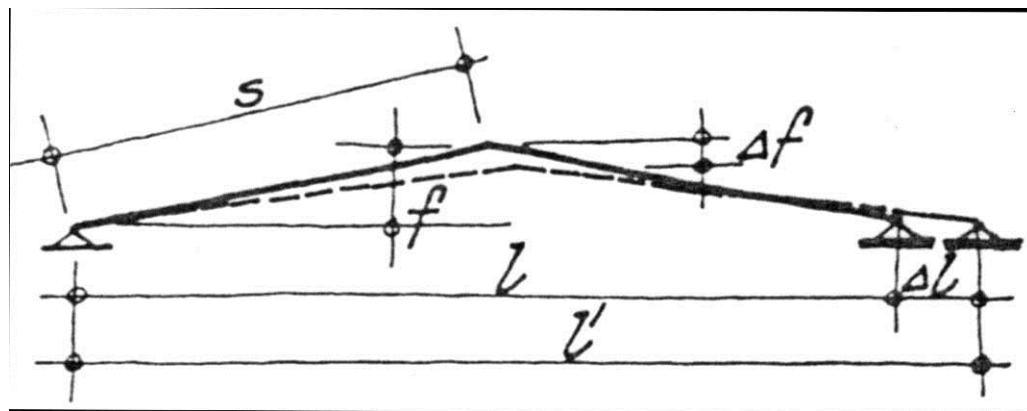
u_0 = nadvišenje u neopterećenom stanju,

u_1 = progib od stalnog opterećenja (G)

u_2 = progib od promjenljivog opterećenja (Q)

UTJECAJ PROGIBA NOSAČA NA HORIZ. POMAK LEŽAJA

Pokretni ležaj nosača - potrebni horizontalni pomak



Max. vertikalni pomak zakrivljenog LLN

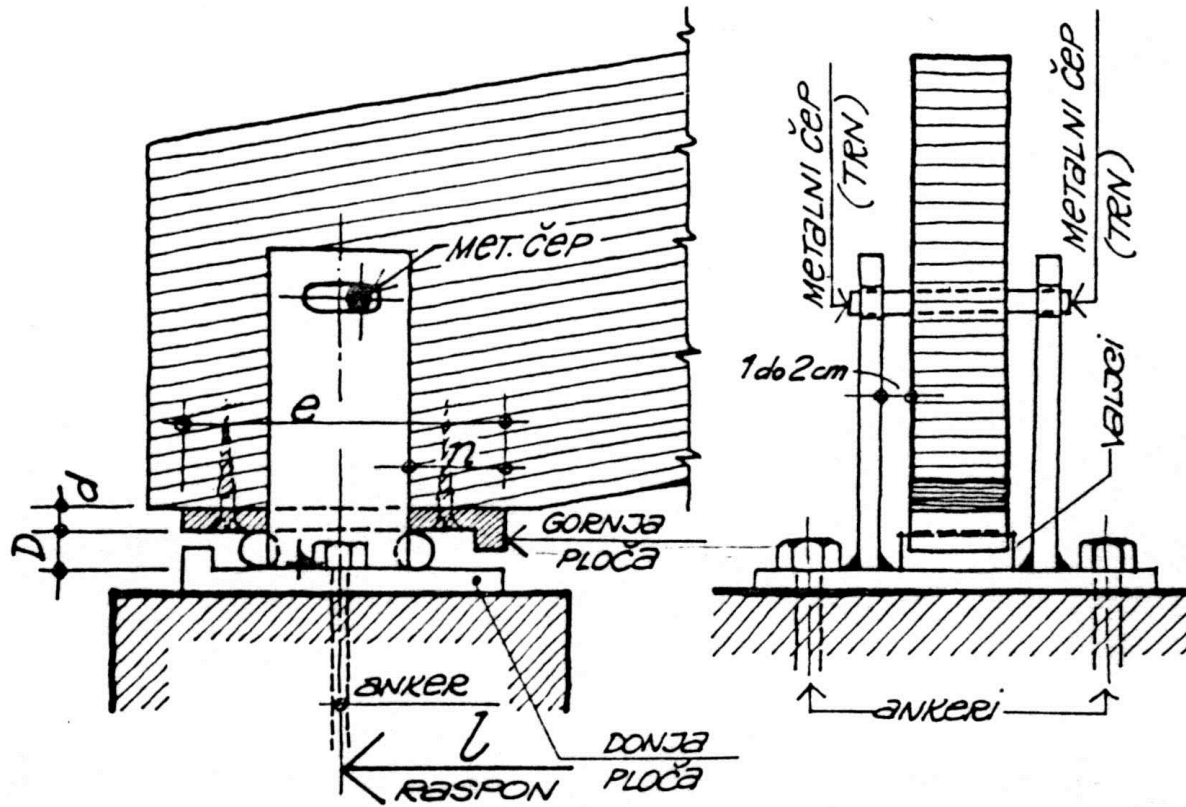
$$f_{\max} = f_{(\sigma)} + f_{(\tau)} = \Delta f$$

Duljina nosača $L = 2s$ nepromjenjiva

Mijenja se veličina “strijele” nosača f i povećava se raspon LLN L'

$$\left(\frac{L'}{2}\right)^2 = s^2 - (f - \Delta f)^2 \quad \longrightarrow \quad L' = 2 \cdot \sqrt{s^2 - (f - \Delta f)^2}$$

KONSTRUKCIJA POKRETNOG LEŽAJA NOSAČA



Potrebna površina i duljina gornje čelične ploče ležaja

$$A_{\max} = e \cdot b \cdot f_{c,\alpha,d}$$

$$e = \frac{A_{\max}}{b \cdot f_{c,\alpha,d}}$$

Opterećenje gornje ploče

$$q_{\max} = \frac{A_{\max}}{e}$$

Potreban promjer valjka

$$D = \frac{10.5 \cdot A_{\max}}{1000 \cdot 2 \cdot b}$$

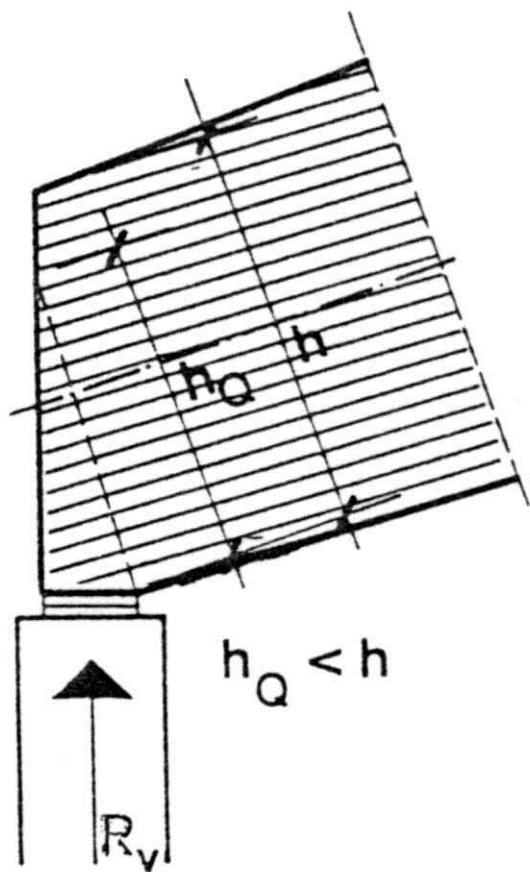
Moment savijanja gornje ploče

$$M_{\max} = \frac{q_{\max} \cdot n^2}{2}$$

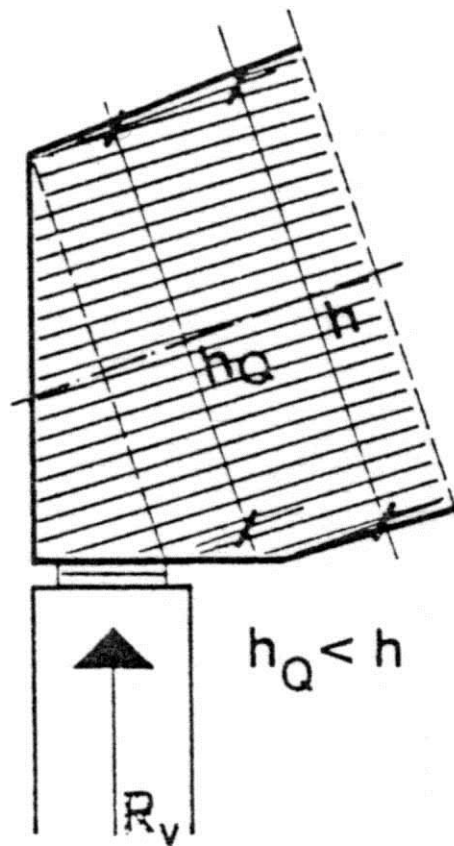
Napon u čeličnoj ploči za usvojenu debljinu ($W = bd^2/6$)

$$\sigma = \frac{M \cdot 6}{b \cdot d^2} = \frac{M}{W}$$

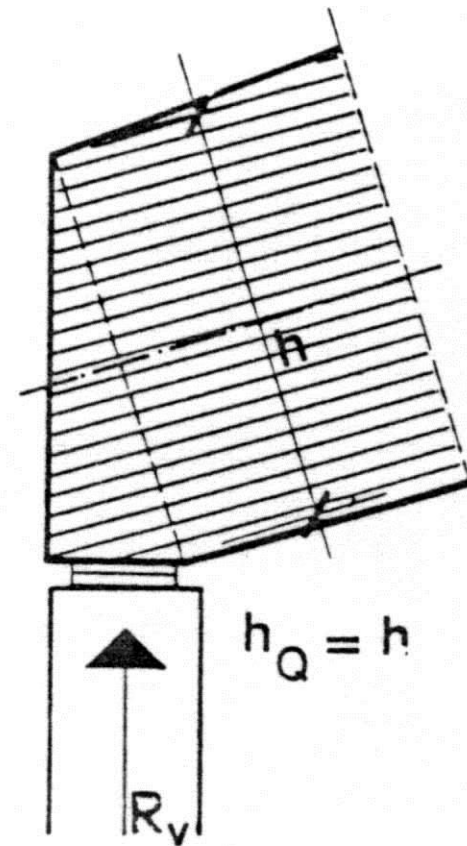
OBLIKOVANJE LLN ZAKRIVLJENOG INTRADOSA U PODRUČJU LEŽAJA

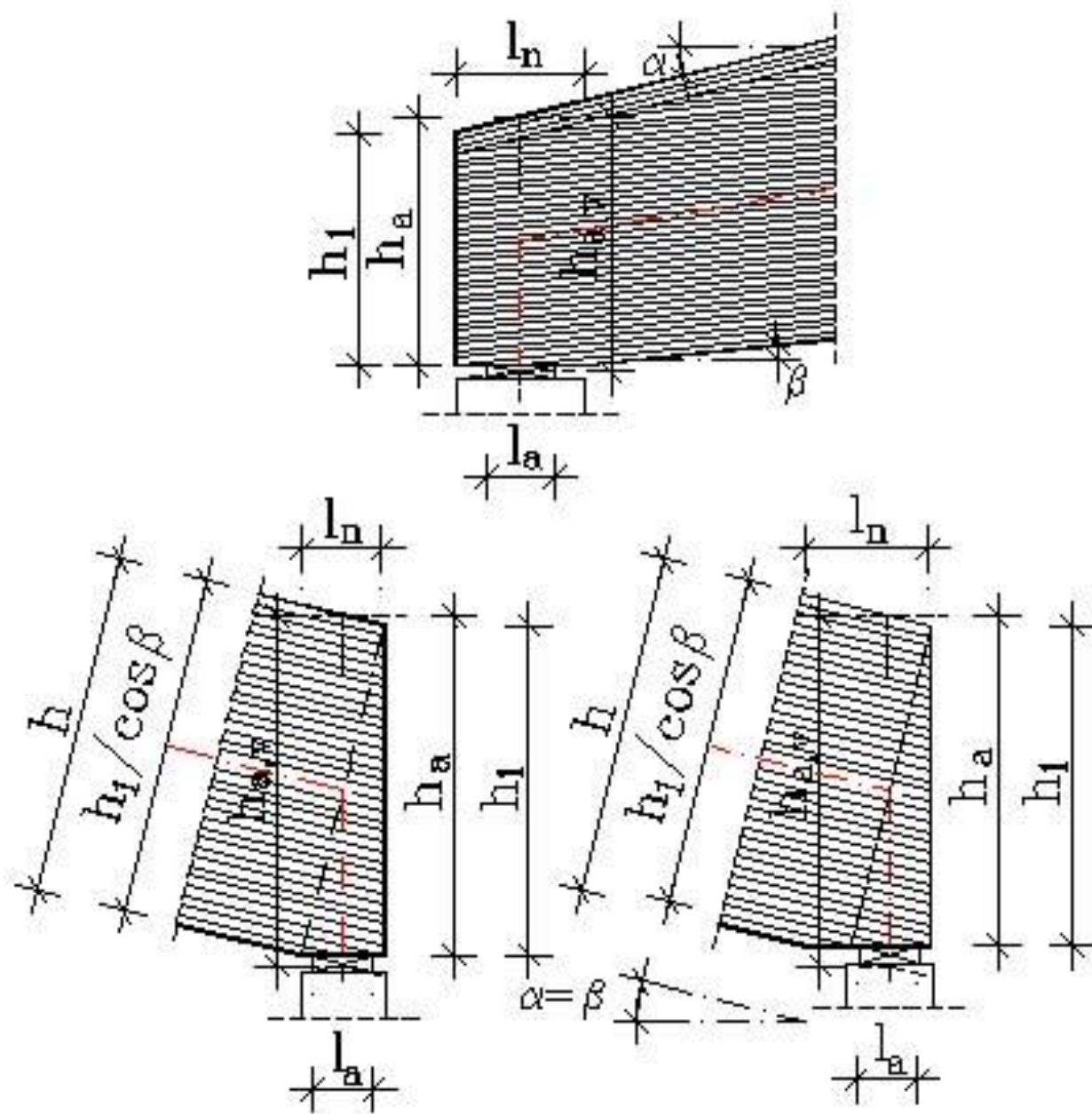


NEPRAVILNO

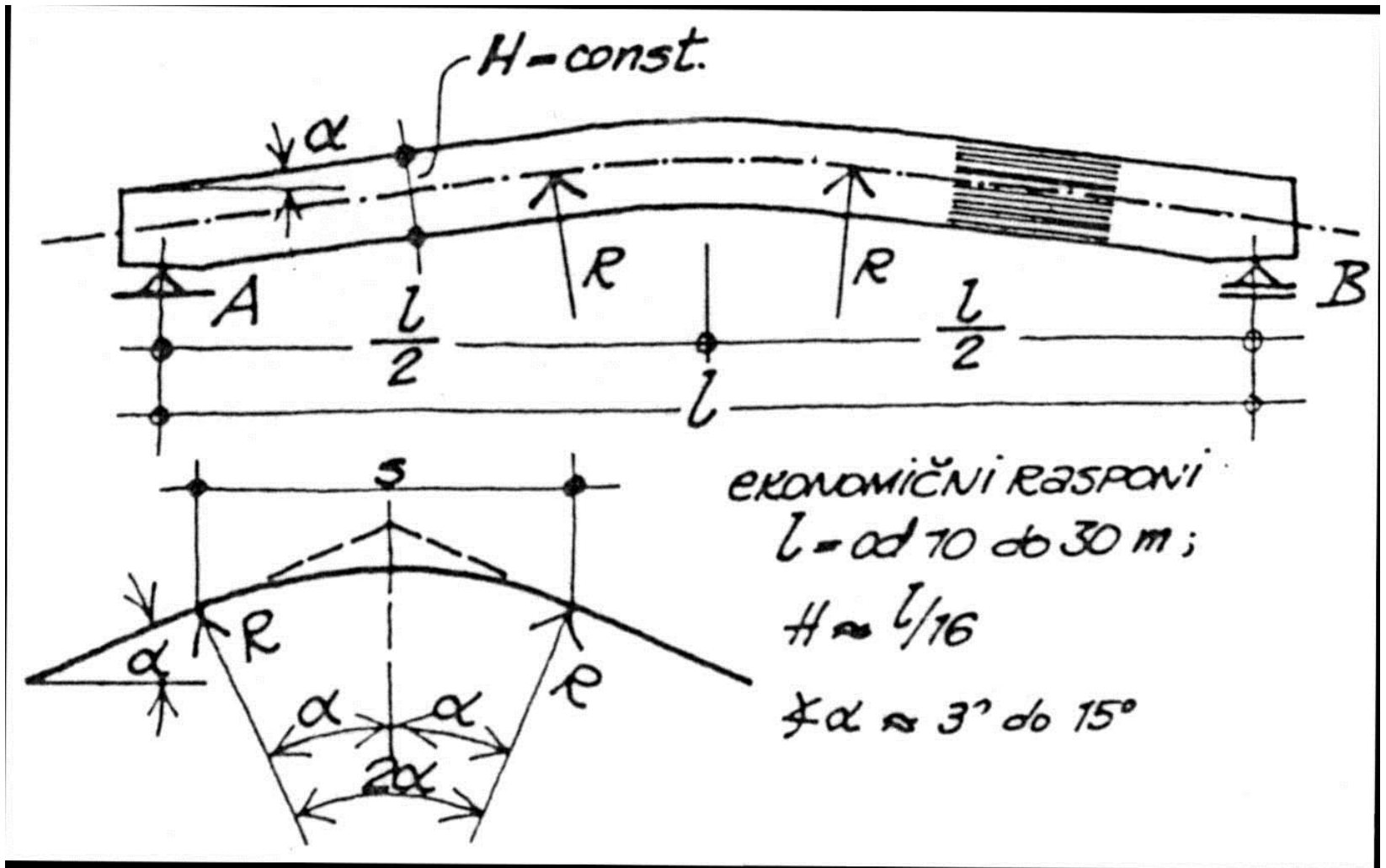


PRAVILNO





LLN ZAKRIVLJENOG INTRADOSA - KONST. VISINA PRESJEKA



TEORIJA SAVIJANJA ZAKRIVLJENIH NOSAČA

◆ Proračun napona i deformacija s dopunama postupka proračuna nosača ravne osi

▣ posmični naponi od savijanja

$$\tau_{v,d} = \frac{V_{d,max} \cdot S_{max}}{I \cdot b} \leq k_v \cdot f_{v,d}$$

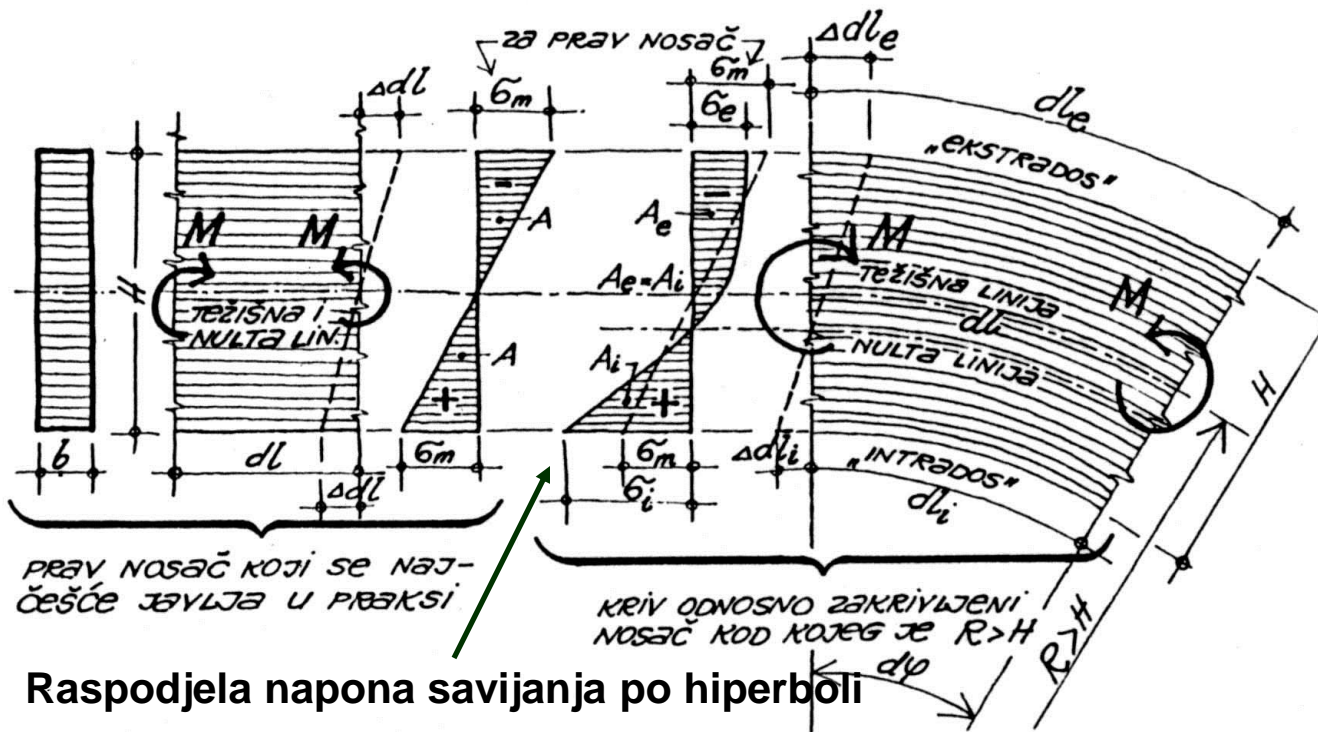
▣ tlačni naponi paralelno vlaknima (od uzdužne sile)

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{N_d}{A} \leq f_{c,0,d}$$

- ### ▣ normalni naponi od savijanja
- računaju se prema hipotezama o presjecima koji ostaju ravni i okomiti na os nosača i nakon deformacija (međusobno relativno zakretanje presjeka)

UTJECAJ ZAKRIVLJENOSTI NA NAPONE SAVIJANJA

- ◆ Linearna raspodjela → LLN velikog radijusa zakrivljenosti; $R/a > 200$
- ◆ Nelinearna raspodjela → LLN male zakrivljenosti; $R/a \leq 200$; $R \gg H$



Različite dilatacije rubnih vlakana (izduženja → ekstrados - konveksni dio; skraćjenja na intradosu - konkavni dio)

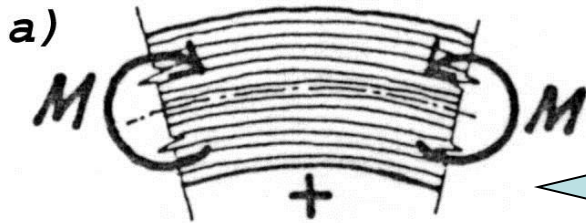
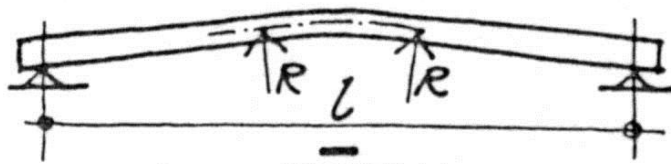
$$\varepsilon_i = \frac{\Delta dl_i}{dl_i} > \frac{\Delta dl_e}{dl_e} = \varepsilon_e$$

$$\sigma = E_{||} \cdot \varepsilon \quad \sigma_i > \sigma_e$$

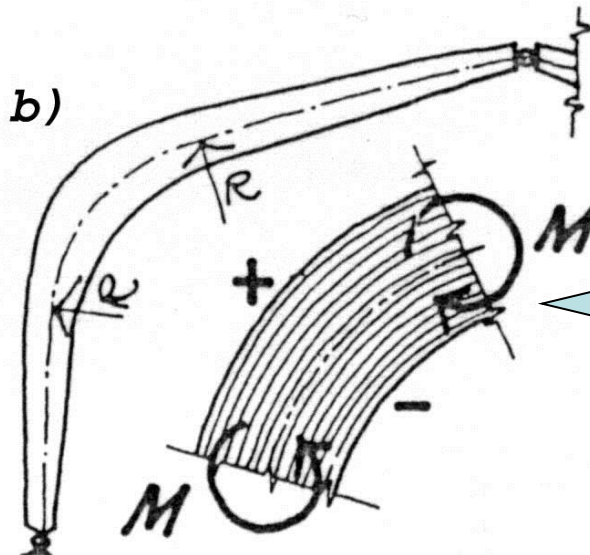
Jednake površine $A_i = A_e$ → spuštanje neutralne osi ispod težišne osi
 Normalni naponi od savijanja nisu proporcionalni visini presjeka
 Ovisnost napona od savijanja o zakrivljenosti nosača

NORMALNI POPREČNI NAPONI U ZAKRIVLJENIM LLN

- Normalni poprečni naponi nastali od savijanja
 - naponi poprečnog vlakna ili tlaka → prema predznaku momenta savijanja
 - ovisnost o stupnju zakrivljenosti nosača

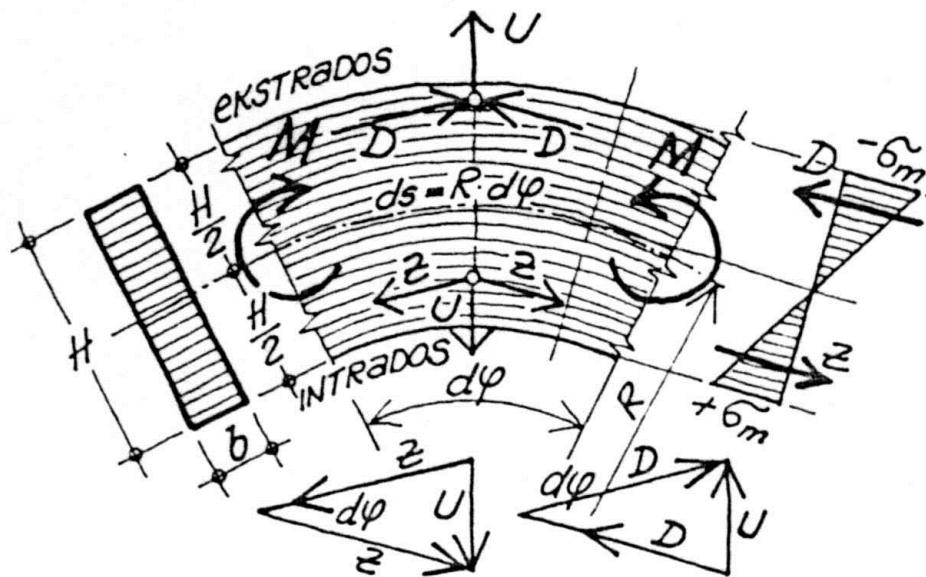


Zategnuta vlakna na intradosu
(naponi vlaka okomito na vlakanca)



Zategnuta vlakna na ekstradosu
(naponi tlaka okomito na vlakanca)

◆ Normalni vlačni naponi okomito na vlakanca nastali od savijanja



Element zakrivljenog LLN opterećen pozitivnim momentom savijanja (zateže vlakanca) - linearna raspodjela napona savijanja

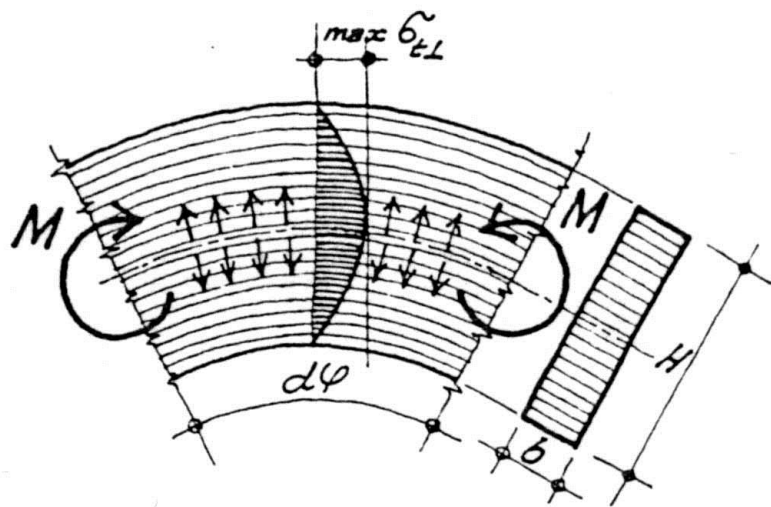
Presjek opterećen resultantnim silama **D** i **Z** (nisu u pravcu - odgovaraju volumenu naponskih prizmi)

$$D = Z = \frac{1}{2} \cdot b \cdot \frac{h}{2} \cdot \sigma_m = \frac{1}{4} \cdot b \cdot h \cdot \sigma_m$$

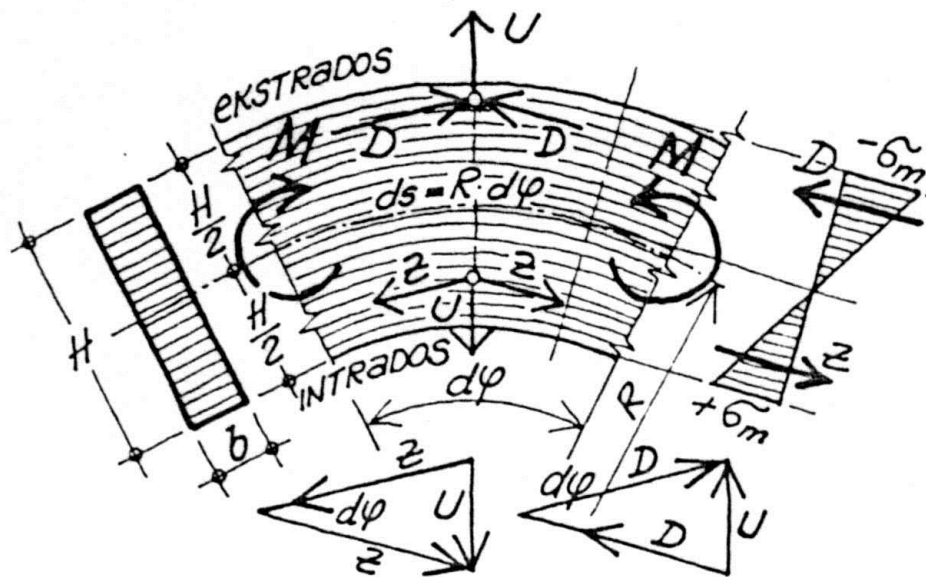
Rezultantna sila **U** (za dvije tlačne sile **D** ili vlačne sile **Z**)

$$U \equiv U_D = D \cdot d\varphi = \left(\frac{1}{4} \cdot b \cdot h \cdot \sigma_m\right) \cdot d\varphi$$

$$U \equiv U_Z = Z \cdot d\varphi = \left(\frac{1}{4} \cdot b \cdot h \cdot \sigma_m\right) \cdot d\varphi$$



Normalni vlačni naponi okomito na vlakanca nastali od savijanja



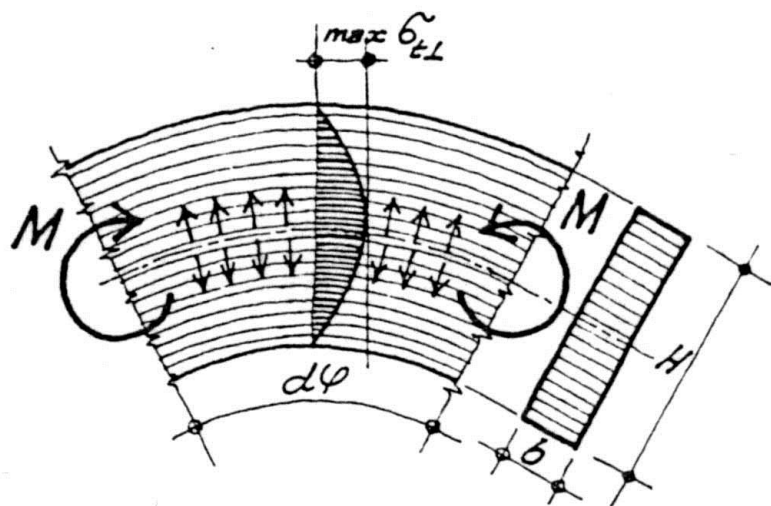
Sile U_D i U_Z paralelne i različita smjera

Ovisno od smjera zatežu (vlačni naponi okomito na vlakanca) ili prištiću (tlačni poprečni naponi) uzdužni presjek

Površina djelovanja sila U_D i U_Z

$$A = b \cdot ds = b \cdot (R \cdot d\varphi)$$

Napon vlaka okomito na uzdužnu os



$$\sigma_{t,\perp} = \frac{U}{A} = \frac{\frac{b \cdot H}{4} \cdot \sigma_m \cdot d\varphi}{b \cdot (R \cdot d\varphi)}$$

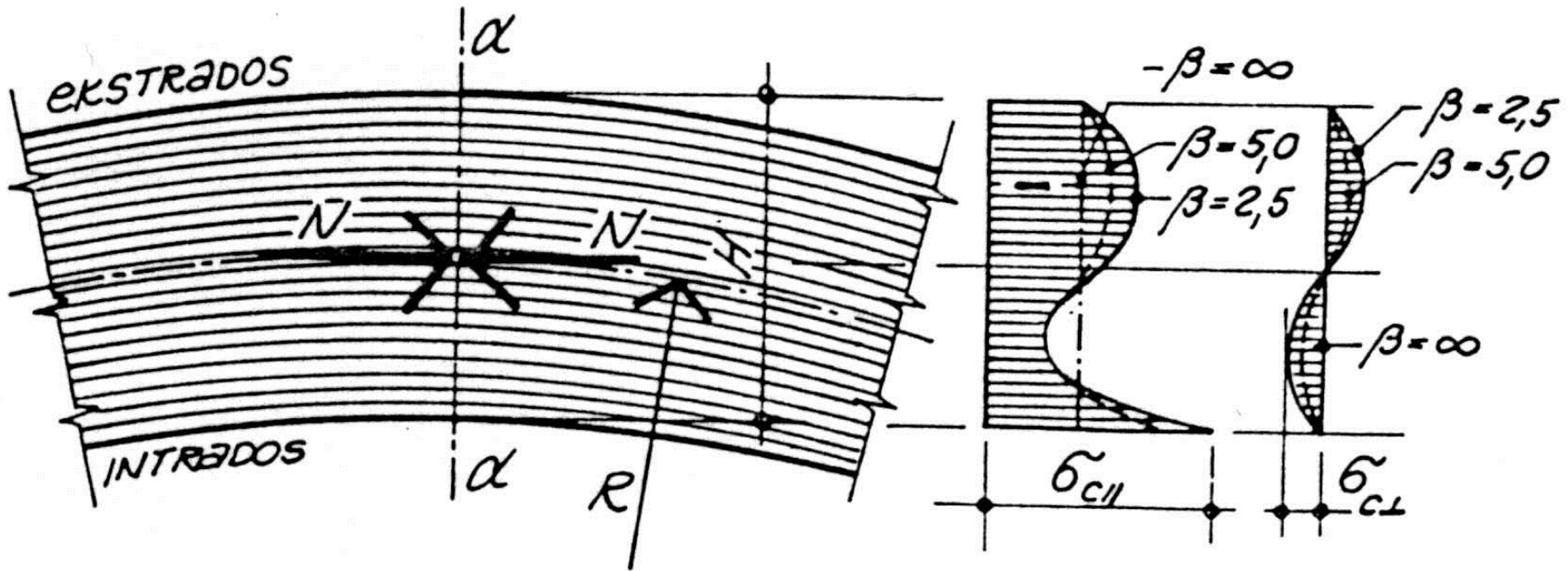
$$\sigma_{t,\perp} = \frac{H}{4 \cdot R} \cdot \sigma_m = \frac{H}{4 \cdot R} \cdot \frac{M}{W} = k_{\perp}^m \cdot \frac{M}{W}$$

$$k_{\perp}^m = \frac{H}{4 \cdot R} = \frac{1}{4 \cdot \beta}$$

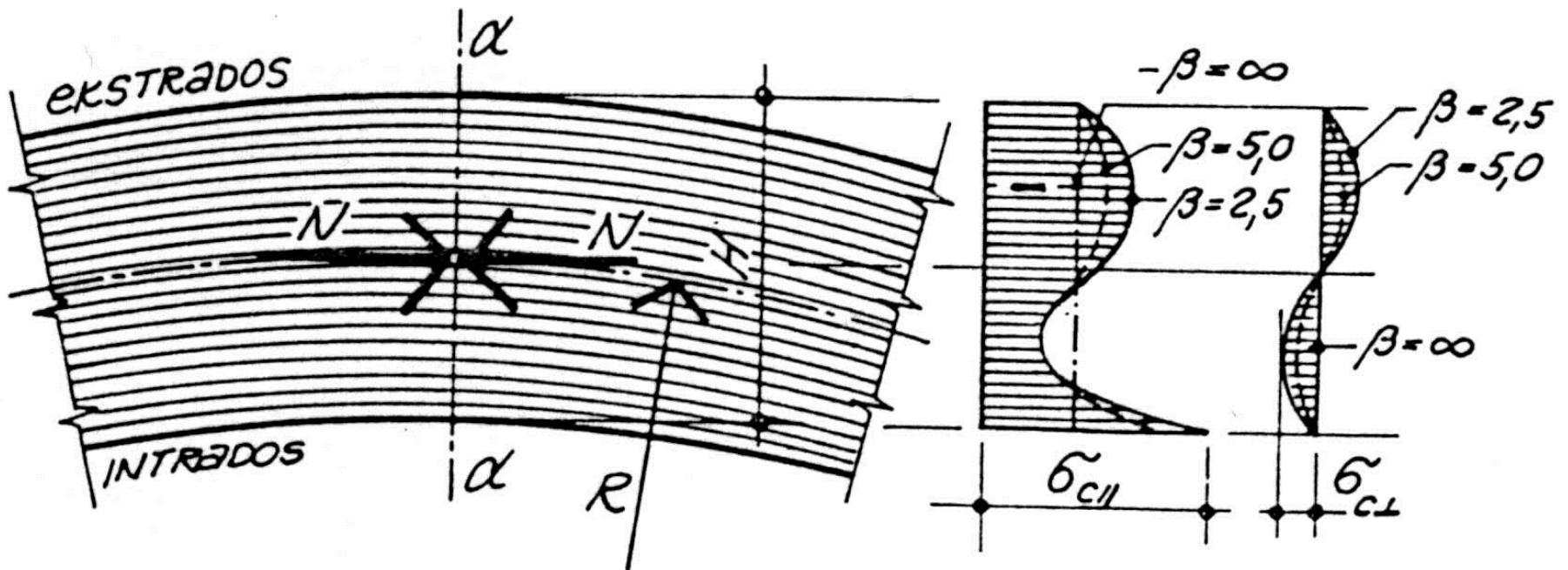
NORMALNI NAPONI NASTALI OD UTJECAJA UZDUŽNE SILE

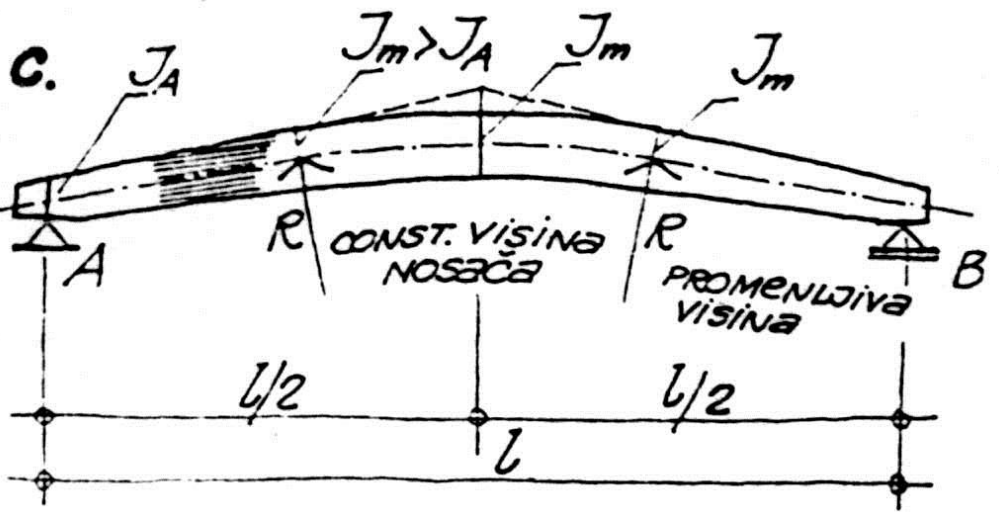
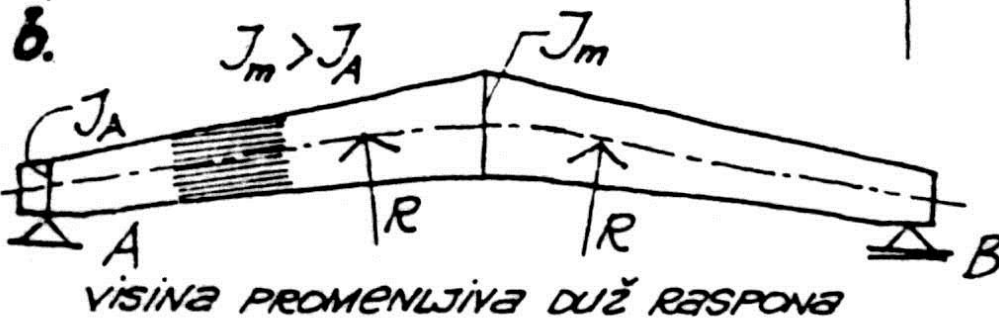
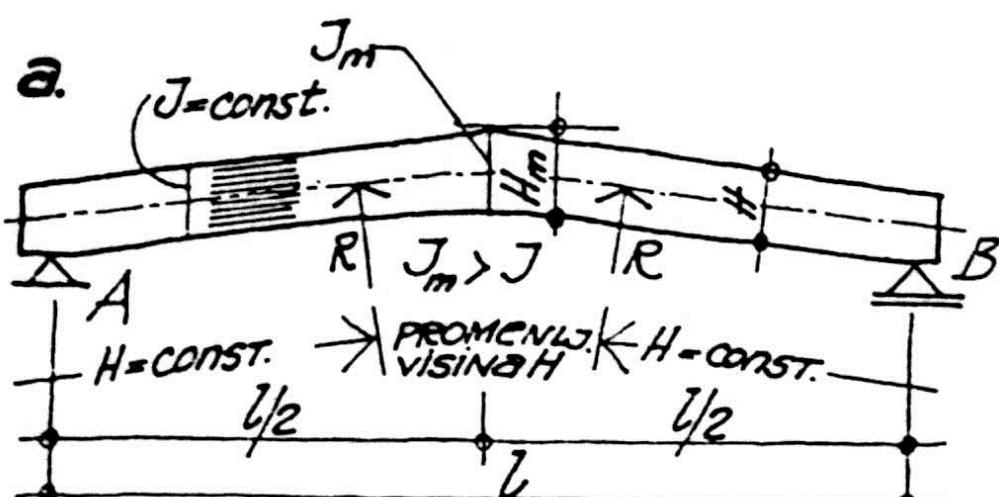
◆ Normalni naponi u smjeru vlakanca nastali od uzdužne sile

- neravnomjernost raspodjele raste sa zakrivljenošću LLN $\rightarrow \beta \downarrow$



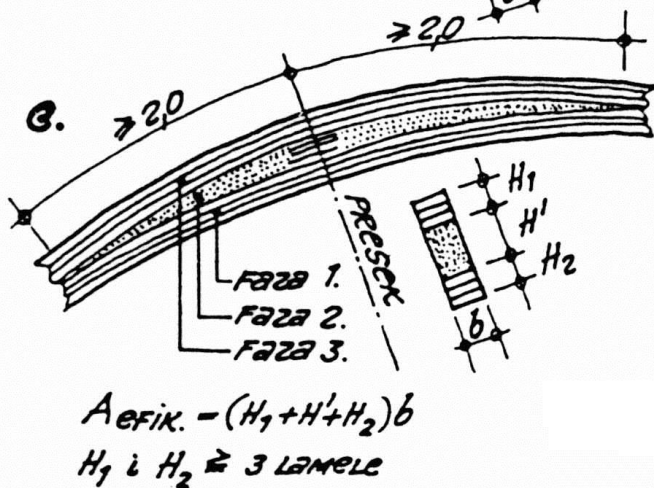
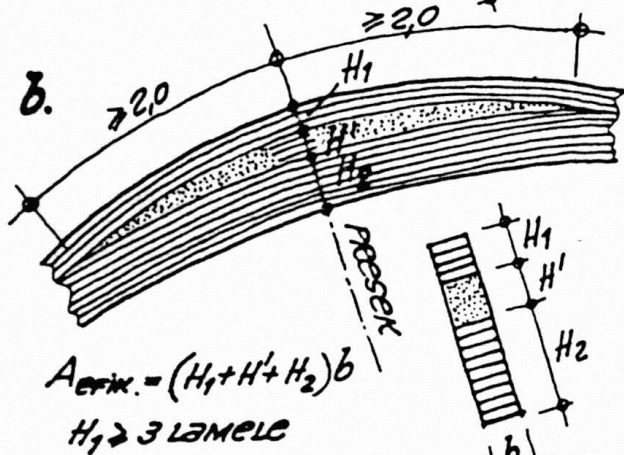
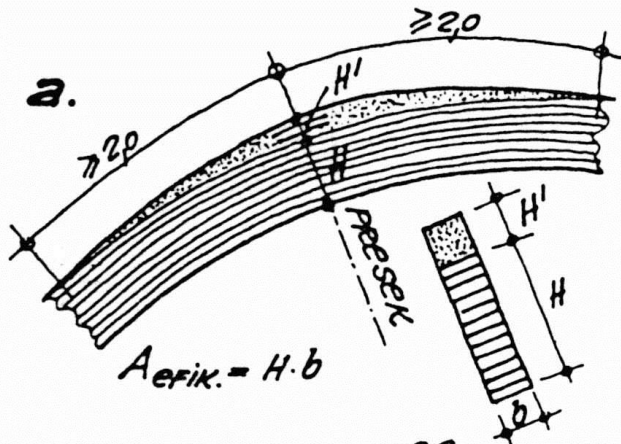
- ◆ Normalni naponi okomiti na smjer vlakanca nastali od uzdužne sile
 - neravnomjernost raspodjele raste sa zakrivljenošću LLN $\rightarrow \beta \downarrow$





ZAKRIVLJENI NOSAČI SLOŽENE GEOMETRIJE

(uzdužna os nosača sa umetnutom krivuljom)

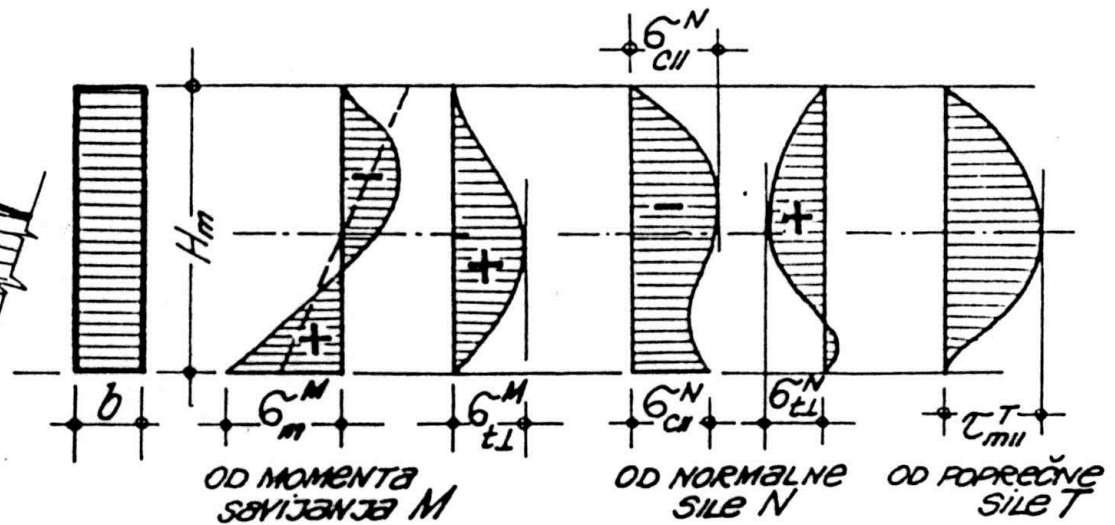
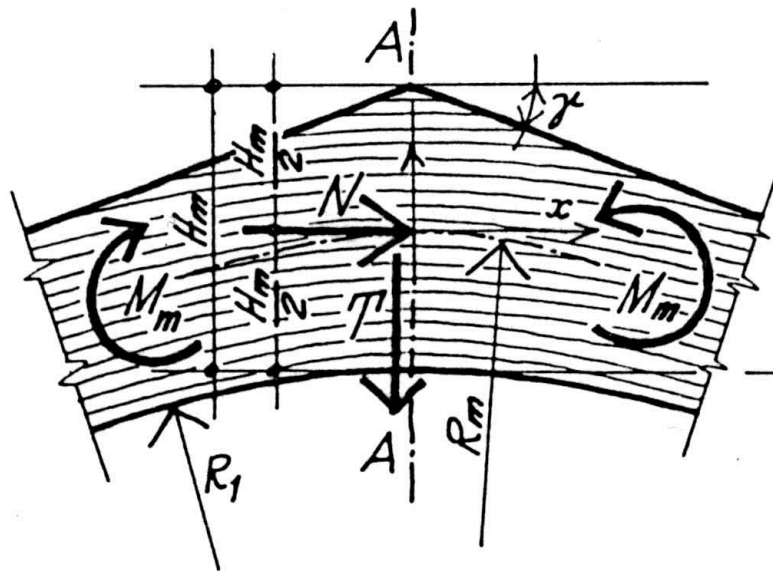
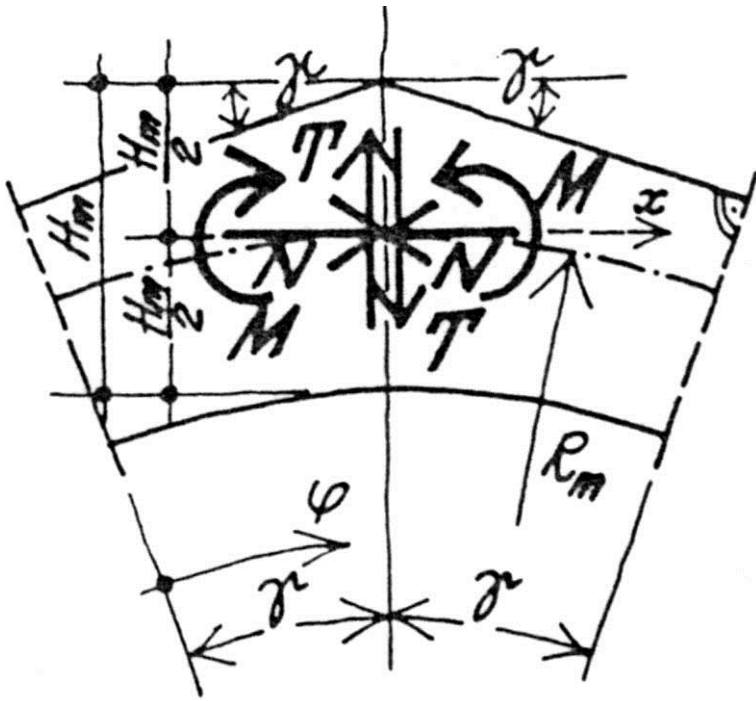


DJELOTVORNOST POPREČNOG PRESJEKA U SLJEMENU - PUNA I REDUCIRANA VISINA LLN

UTJECAJ TEHNOLOŠKE OBRAD
 NOSAČA TIJEKOM PROIZVODNJE
 (FAZE LIJEPLJENJA - RASPORED LAMELA)

DIJAGRAMI NAPONA U SLJEMENU TRAPEZNIH NOSAČA ZAKRIVLJENOG INTRADOSA

Prema ortotropnoj teoriji ploča i
rezultatima ispitivanja



KOREKCIJA PROJEKTNE ČVRSTOĆE SAVIJANJA (UTJECAJ ZAKRIVLJENOSTI LAMELA I VISINE PRESJEKA)

Utjecaj savijanja lamela tijekom tehnološke obrade

$$k_r = \begin{cases} 1 & \text{za } r_{in}/t \geq 240 \\ 0.76 + 0.001 \cdot r_{in}/t & \text{za } r_{in}/t < 240 \end{cases}$$

t Visina lamele; [mm]

r_{in} Radius zakrivljenosti intradosa; [mm]

Utjecaj visine presjeka (“size effect”) u odnosu na usporedni uzorak visine $H = 600\text{mm}$
(Korekcija projektne čvrstoće vlaka i savijanja)

$$k_h = \min = \begin{cases} (600/H)^{0.2} \\ 1.15 \end{cases}$$

NAPOMENA:

Utjecaj vlažnosti (razred vlažnosti), trajanja opterećenja u kombinaciji, kao i svojstva gradiva uzeta prethodno u obzir pri izračunu vrijednosti projektne čvrstoće na savijanje.

RAČUNSKE VRIJEDNOSTI UZDUŽNIH NORM. NAPONA (UTJECAJ MOMENTA SAVIJANJA - PRESJEK U SLJEMENU)

◆ POSTUPAK GRANIČNIH STANJA

$$\sigma_{m,d} = k_1 \cdot \frac{M_{ap,d}}{W_{ap}} \leq k_r \cdot f_{m,d}$$

$$k_1 = k_1 + k_2 \cdot \frac{H_{ap}}{R} + k_3 \cdot \left(\frac{H_{ap}}{R}\right)^2 + k_4 \cdot \left(\frac{H_{ap}}{R}\right)^3 + E_{||}^M \cdot \left(\frac{H_m}{R_m}\right)^4$$

$$k_1 = 1.0 + 1.4 \cdot \operatorname{tg} \alpha + 5.4 \cdot \operatorname{tg}^2 \alpha$$

$$k_2 = 0.35 - 8.0 \cdot \operatorname{tg} \alpha$$

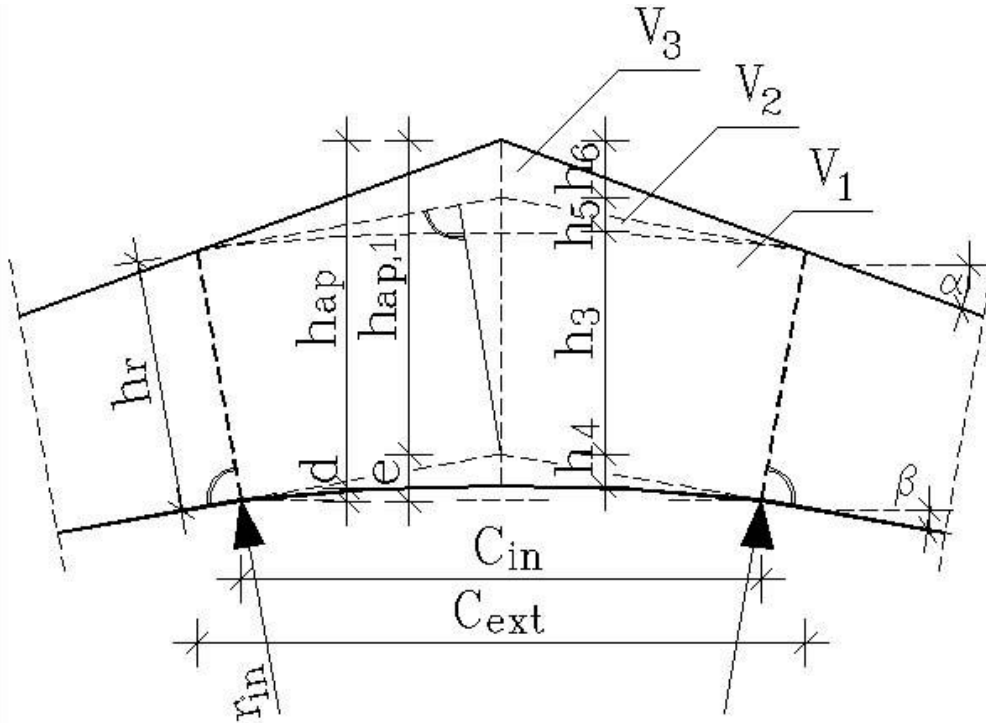
$$k_3 = 0.6 + 8.3 \cdot \operatorname{tg} \alpha - 7.8 \cdot \operatorname{tg}^2 \alpha$$

$$k_4 = 6.0 \cdot \operatorname{tg} \alpha$$

$$\alpha \geq \beta; \quad \delta = (\alpha + \beta) / 2$$

$$\gamma = \alpha - \beta$$

GEOMETRIJA PRESJEKA U SLJEMENU LLN SLOŽENE FORME



“Strijela” krivulje zakrivljenosti intradosa

$$e = 0.5 \cdot C_{in} \cdot \operatorname{tg}\beta$$

Položaj poprečnog presjeka na početku krivulje intradosa (donji rub) LLN

$$x_r = (1 - C_{in}) / 2 = 0.5 \cdot 1 - r_{in} \cdot \sin\beta$$

PARAMETRI ZAKRIVLJENOSTI

Duljina tetive na intradosu LLN

$$C_{in} = 2 \cdot r_{in} \cdot \sin\beta$$

Duljina tetive na ekstradosu LLN

$$C_{ext} = 2(r_{in} + h_r) \cdot \sin\beta$$

Visina krivulje intradosa (od početka do tjemena krivulje)

$$d = r_{in} \cdot (1 - \cos\beta)$$

Radius zakrivljenosti u osi LLN

$$R = r_{in} + 0.5 \cdot h_{ap}$$

Visina u apeksu naprezanog volumena $V = V_1 \rightarrow h_{ap} = (h_3+h_4)$

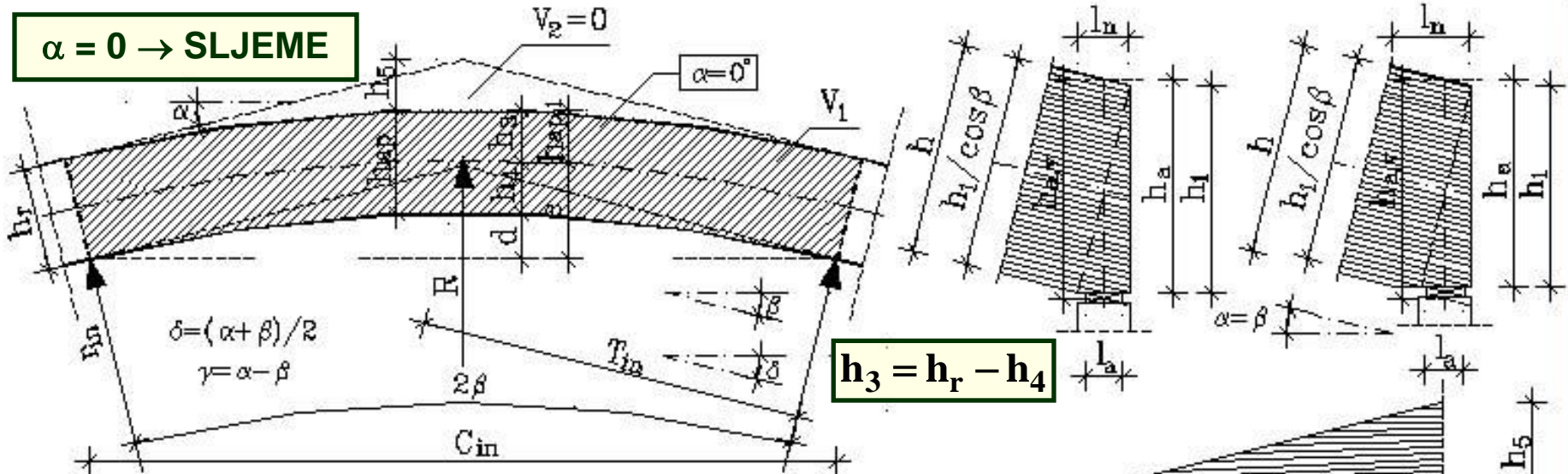
Zakrivljeni nosač
konst. presjeka
(koncentrična
zakrivljenost)

$$h_{r,v} = h_{a,v} + (1/2 - r_{in} \cdot \sin\beta) \cdot (\operatorname{tg}\alpha - \operatorname{tg}\beta)$$

$$h_r = h_{r,v} \cdot \frac{\cos\alpha + \sin\beta \cdot \sin(\alpha - \beta)}{\cos\alpha \cdot \cos\beta} \approx h_{r,v} \cdot \cos\delta$$

Visina naprezanog volumena V_1 - visina na početku zakrivljenosti intradosa $\rightarrow h_r$

$\alpha = 0 \rightarrow$ SLJEME



$\gamma = \alpha - \beta > 0$

$$h_4 = r_{in} \cdot (1 / \cos\beta - 1) = e - d$$

$$V_1 = b \cdot h_r^2 \cdot (0.5 + r_{in} / h_r) \cdot 2\beta\pi / 180$$

$\alpha = \beta; \delta = (\alpha + \beta) / 2$

Sedlasti nosač reducirane statičke visine u sljemenu - konstantan presjek LLN $\rightarrow \alpha = \beta$

**Zakrivljeni nosač konst. presjeka
(koncentrična zakrivljenost)**

**Sedlasti nosač reducirane statičke visine u
sljemenu - konstantan presjek LLN $\rightarrow \alpha = \beta$**

Visina nosača u ravnoj zoni $\rightarrow h = n_t t = \text{const.}$

$h_r = h$ Visina nosača na početku krivulje intradosa

$h_{a,v} = h / \cos\beta$ Vertikalna projekcija pune visine presjeka na ležaju LLN

$h_a = h_{a,v} - (n_{t,n} - 1) \cdot t / \cos\beta$ Vert. projekcija reducirane visine presjeka na ležaju LLN

$n_{t,n}$ Broj lamela reduciranih kosim zasijecanjem donjeg ruba na ležaju LLN

$h_1 = h_{a,v} - n_{t,n} \cdot t / \cos\beta$ Vertikalna visina krajnjeg presjeka LLN

$h_{ap} = h_r \approx h_{a,v} \cdot \cos\delta$ Računska visine u sljemenu (apeks) LLN

$h_{ap,1} = h_{ap} - h_4 = h_3$ Računska visine "strijele" LLN u sljemenu (apeks)

$h_r \approx h_{a,v} \cdot \cos\delta$ Visina zakrivljene zone LLN

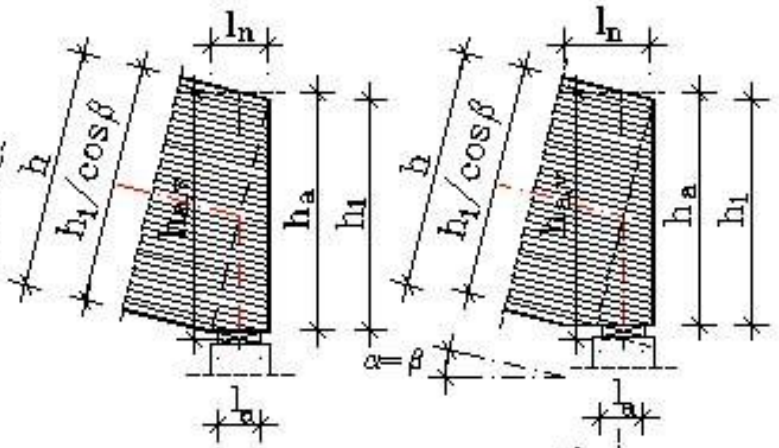
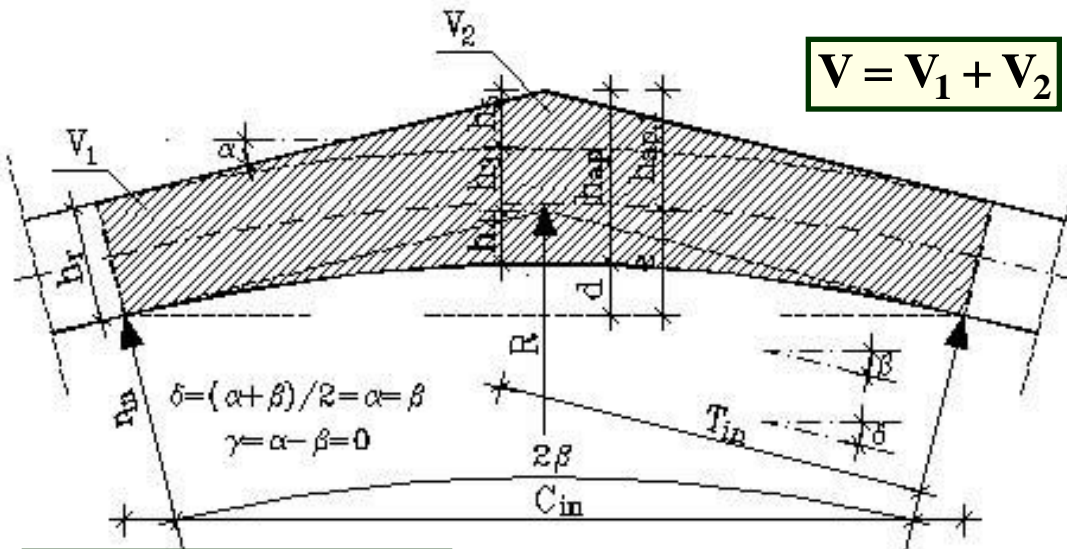
$k_{dis} = 1.4$ Faktor raspodjele vlačnih napona okomito na vlakanca

Visina u apeksu naprezanog volumena $V_2 \rightarrow h_5$

Sedlasti nosač pune visine u sljemenu i konstantnog poprečnog presjeka izvan zone zakrivljenosti $\rightarrow \alpha = \beta$

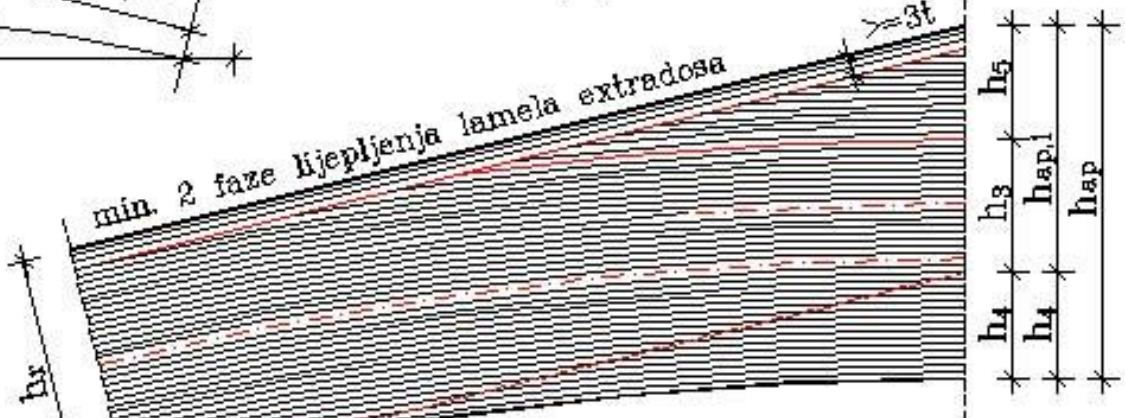
$$V_2 = b \cdot h_r^2 \cdot (1 + r_{in}/h_r)^2 \cdot (\sin^2 \beta \cdot \text{tg}\beta + \sin\beta \cdot \cos\beta - \pi\beta/180)$$

$$h_5 = h_4 \cdot (1 + h_r/r_{in}) = 0.5 \cdot C_{ext} \cdot \text{tg}\beta - (r_{in} + h_r) \cdot (1 - \cos\beta) = (r_{in} + h_r) \cdot (1/\cos\beta - 1)$$



$\alpha = \beta; \delta = (\alpha + \beta)/2$

$\gamma = \alpha - \beta = 0$



$h_5 = h_r / \cos\beta - h_3$

Sedlasti nosač pune visine u sljemenu i konstantnog poprečnog presjeka izvan zone zakrivljenosti $\rightarrow \alpha = \beta$

$h_r = h$ Visina nosača na početku krivulje intradosa

$h = n_t \cdot t = \text{konst.}$ Visina nosača izvan zakrivljene zone

$h_{a,v} = h / \cos\beta$ Vertikalna projekcija pune visine presjeka na ležaju LLN

$h_a = h_{a,v} - (n_{t,n} - 1) \cdot t / \cos\beta$ Vert. projekcija reducirane visine presjeka na ležaju LLN

$h_1 = h_{a,v} - n_{t,n} \cdot t / \cos\beta$ Vertikalna visina krajnjeg presjeka LLN

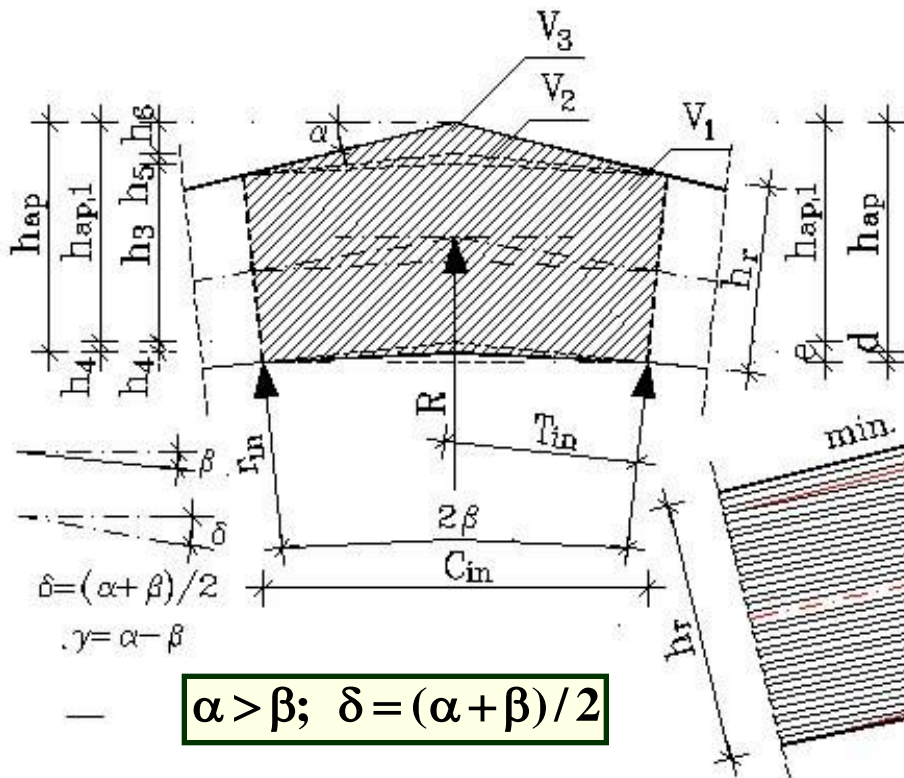
$h_{ap} = h_{a,v} + r_{in} \cdot (\sin\beta \cdot \tan\beta + \cos\beta - 1)$ Računska visine u sljemenu (apeks) LLN

$h_{ap,1} = h_{ap} - h_4 = h_3 + h_5$ Računska visine “strijele” LLN u sljemenu (apeks)

$k_{dis} = 1.7$

Faktor raspodjele vlačnih napona okomito na vlakanca

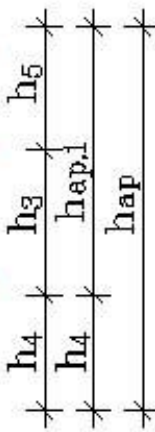
Visina nosača u ravnoj zoni $\rightarrow h = n_t t = \text{const.}$



$$V_3 = b \cdot h_r^2 \cdot (1 + r_{in}/h_r)^2 \cdot \sin^2 \beta \cdot (tg\alpha - tg\beta)$$

$$V = V_1 + V_2 + V_3$$

min. 2 faze lijepljenja lamela extradosa $\geq 3t$



$$\alpha > \beta; \delta = (\alpha + \beta) / 2$$

$$\gamma = \alpha - \beta > 0$$

Sedlasti nosač pune statičke visine u sljemenu i promjenjivog presjeka izvan zone zakrivljenosti $\rightarrow \alpha > \beta$

Visina u apeksu napreznog volumena $V_3 \rightarrow h_6$

$$h_6 = 0.5 \cdot C_{ext} \cdot tg\alpha - (r_{in} + h_r) \cdot (1 - \cos\beta) - h_5 = (r_{in} + h_r) \cdot \sin\beta (tg\alpha - tg\beta)$$

RAČUNSKE VRIJEDNOSTI POPREČNIH NORM. NAPONA (UTJECAJ MOMENTA SAVIJANJA - PRESJEK U SLJEMENU)

◆ POSTUPAK GRANIČNIH STANJA

$$\sigma_{t,90,d} = k_{\rho} \cdot \frac{M_{ap,d}}{W_{ap}} \leq k_{dis} \cdot (V_0/V)^{0.2} \cdot f_{t,90,d}$$

$$k_{\rho} = k_5 + k_6 \cdot \frac{H_{ap}}{R} + k_7 \cdot \left(\frac{H_{ap}}{R}\right)^2$$

$$k_5 = 0.20 \cdot \operatorname{tg} \alpha$$

$$k_6 = 0.25 - 1.5 \cdot \operatorname{tg} \alpha + 2.6 \cdot \operatorname{tg}^2 \alpha$$

$$k_7 = 2.10 \cdot \operatorname{tg} \alpha - 4.0 \cdot \operatorname{tg}^2 \alpha$$



k_{dis}

Faktor kojim se uzima u obzir učinak raspodjele naprezanja u sljemenoj zoni, sa slijedećim vrijednostima:

$k_{dis} = 1.40$ - zakrivljeni i sedlasti LLN reducirane visine u sljemenu

$k_{dis} = 1.70$ - sedlasti LLN pune visine u sljemenu

$V_0 = 0.01\text{m}^3$

Mjerodavni (usporedni) volumen naprezane zone u sljemenu

$V \leq (2/3) \cdot V_b$

Računski volumen naprezane zone

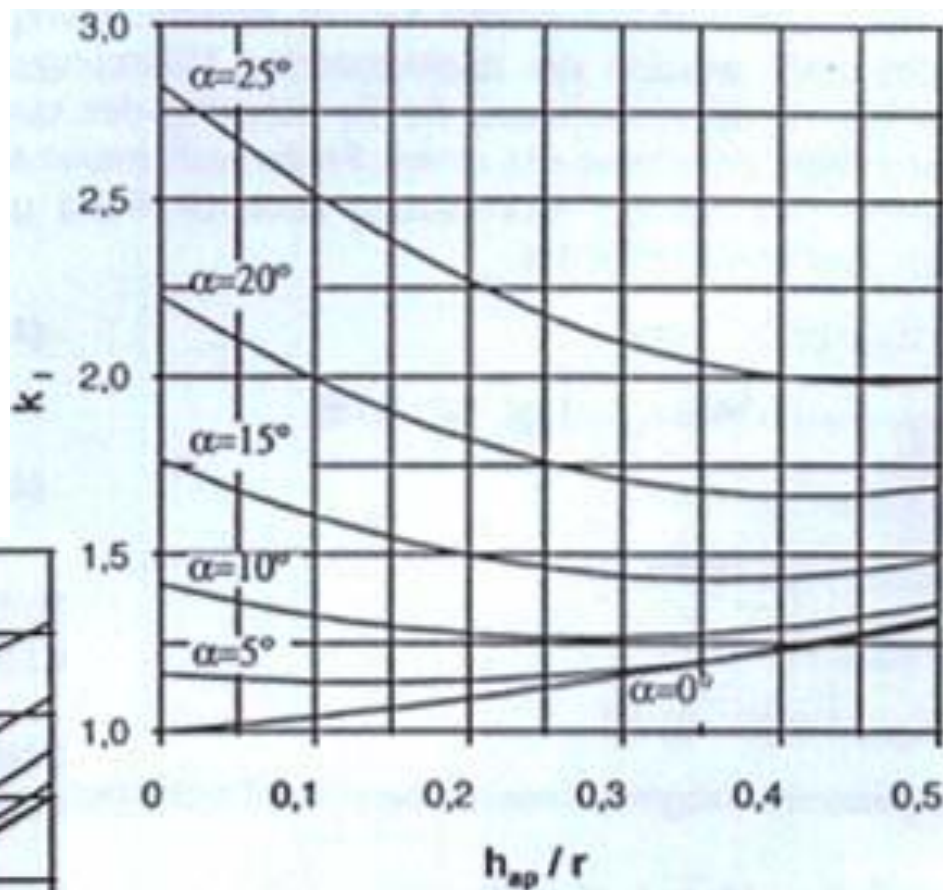
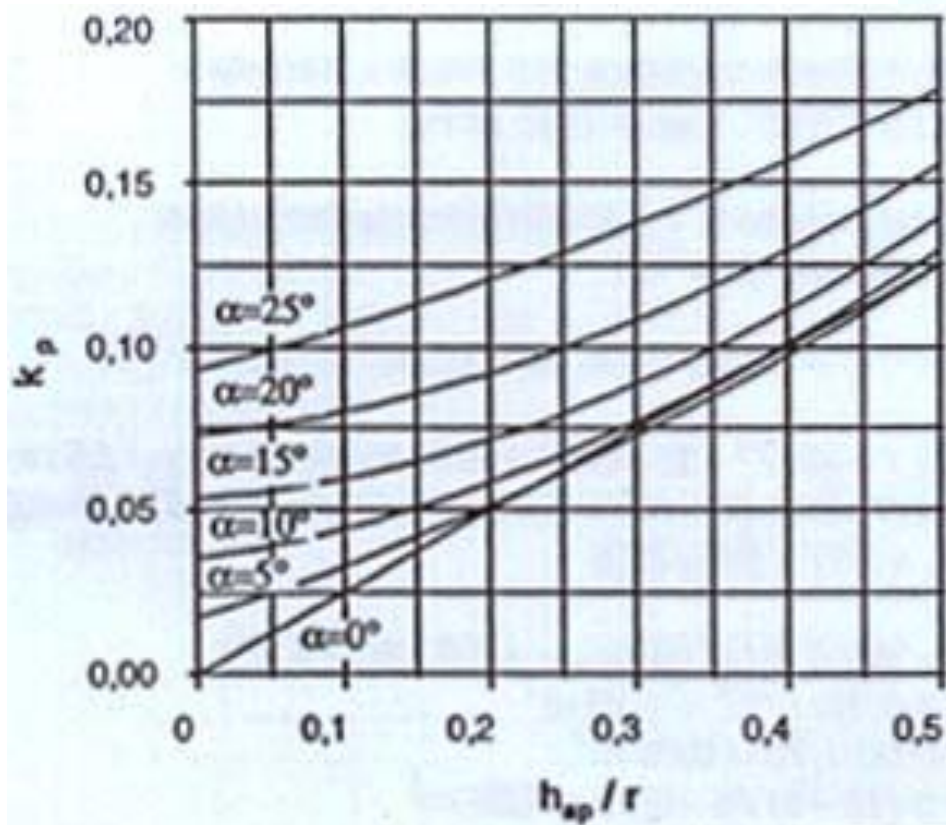
V_b

Računski volumen nosača u cjelini

$f_{t,\perp 90,d}$

Projektna čvrstoća vlakna okomito na vlakanca

**DIJAGRAMI KOEF. KOREKCIJE
RAČUNSKIH NAPONA SAVIJANJA I
VLAKA OKOMITO NA VLAKANCA U
SLJEMENU NOSAČA
ZAKRIVLJENOG INTRADOSA**



◆ **POSTUPAK GRANIČNIH STANJA**

KONSTRUKTIVNE MJERE OJAČANJA NAPREZANE ZONE U SLJEMENU NOSAČA KOD PREKORAČENJA NOSIVOSTI PRESJEKA NA VLAK OKOMITO NA VLAKANCA

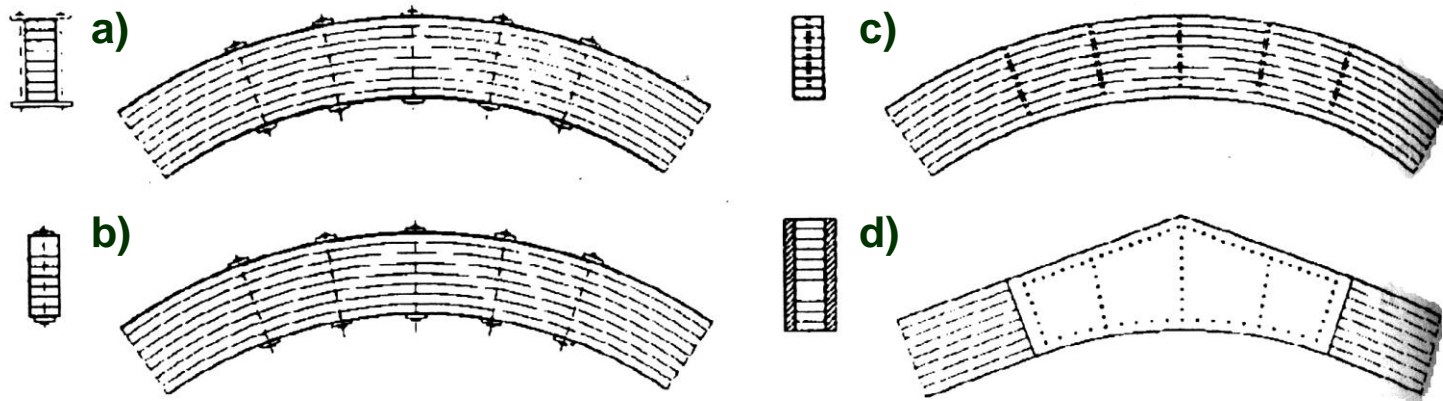
Čvrstoća na vlak okomito na vlakanca se smanjuje sa porastom volumena naprezane zone nosača zakrivljenog intradosa

Kod nosača velikih dimenzija i kod mogućeg stvaranja pukotina uslijed naknadne promjene vlažnosti (sušenje) preporučuju se neke od slijedećih mjera:

- koristiti $f_{t,\perp,d} \leq 15 \text{ N/cm}^2$
- povećati radius zakrivljenosti (r_{in})
- koristiti alternativne konstruktivne mjere ojačanja naprezane zone

Čvrstoća na tlak okomito na vlakanca (poprečni naponi su naponi pritiska) zanimjivi su samo u slučajevima kad je $H_m/r_{in} > 0.80$

KONSTRUKTIVNE MJERE OJAČANJA NAPREZANE ZONE U SLJEMENU NOSAČA

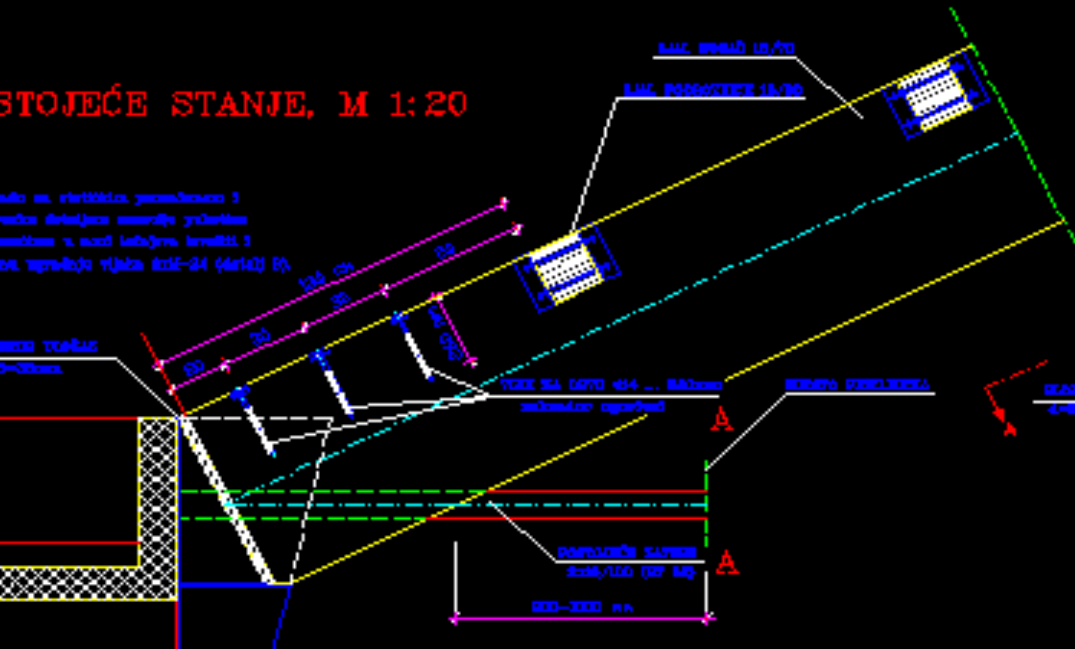


- a) ojačanje naprezane zone obujmnim vilicama
- b) ojačanja naprezane zone vijcima okomitim na os nosača (ili vijci za drvo)
- c) ojačanja ulijepljenim čeličnim šipkama (glatka ili bolje rebrasta armatura)
- d) ojačanja nalijepljenim furnirskim vezicama

U novije vrijeme koriste se nalijepljene folije od ugljikovih vlakana (CFRP), ulijepljene šipke od stakloplastike (GRP) i rebrastih polimera (FRP) → ARMIRANI POLIMERI

PRIMJER SANACIJA PUKOTINA IZAZVANIH PREKORAČENJEM OKOMITIH NORMALNIH NAPONA NA LEŽAJU

STOJEĆE STANJE, M 1:20

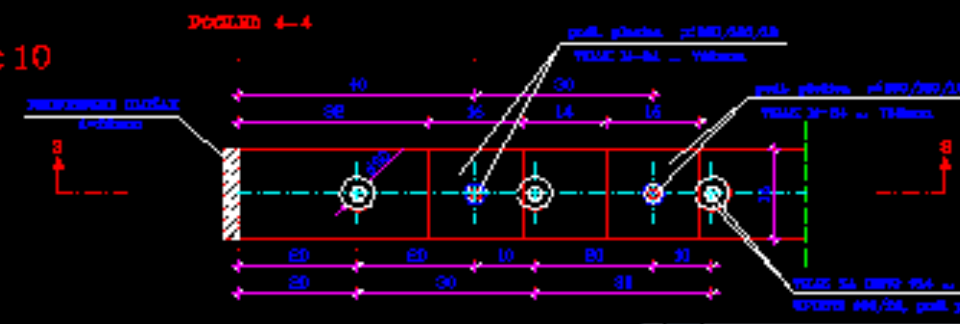
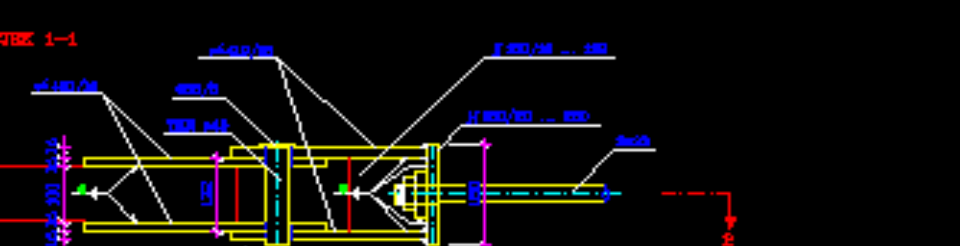


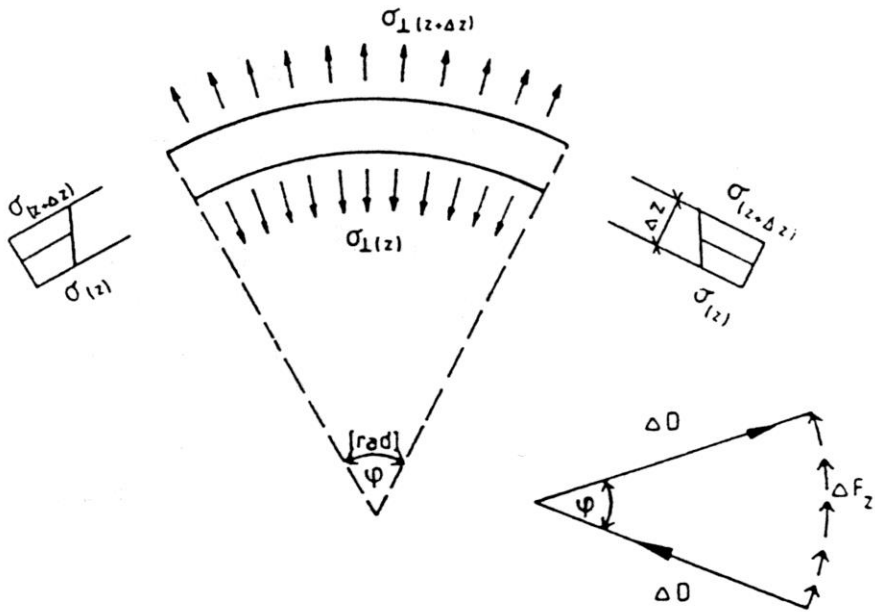
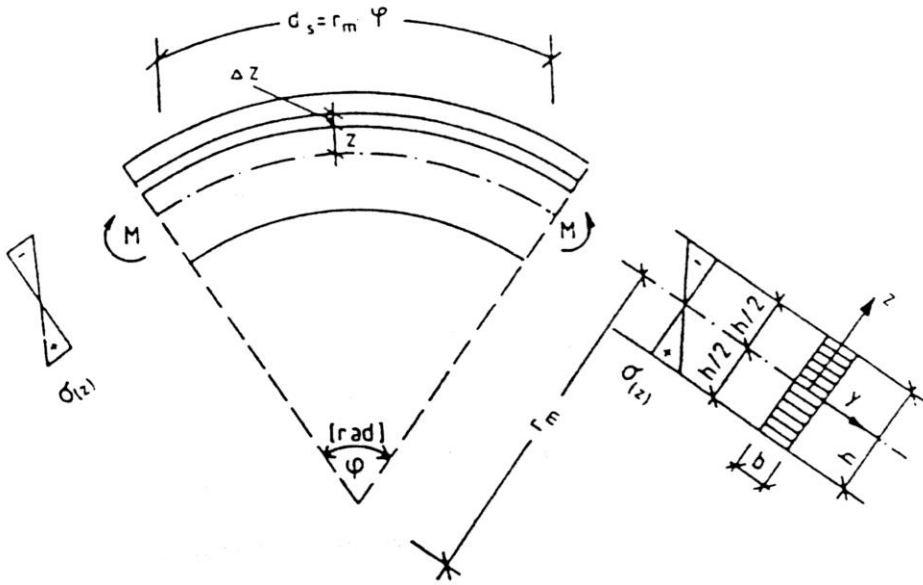
DETALJ B, M 1:10
SANACIJA PUKOTINA NA NOSAČIMA U ZONI LEŽAJA



Prekoračenje nosivosti manifestira se uzdužnim pukotinama u nosaču !!!

DETALJ A - PRIKLJUČAK ZATEGE UZ LEŽAJ, M 1:10

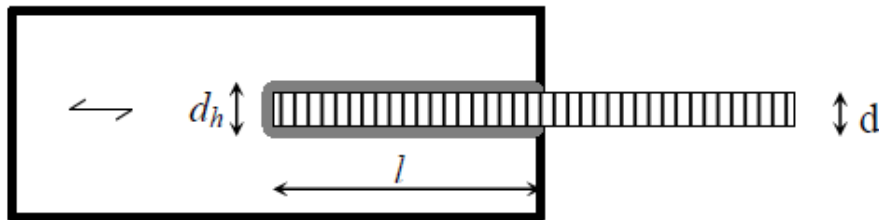




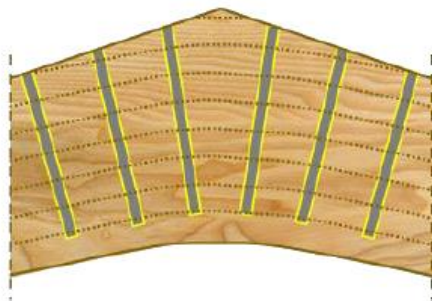
OJAČANJA S UGRAĐENIM ČELIČNIM PROFILIMA

Pojednostavljena formula nosivosti može se napisati kao:

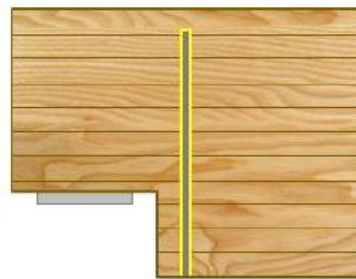
$$R_{ax,k} = \pi \cdot d \cdot l \cdot f_{v,k}$$



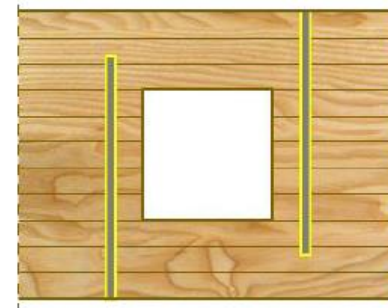
d = promjer šipke
 l = dubina sidrenja
 d_h = promjer rupe
 e = debljina ljepila



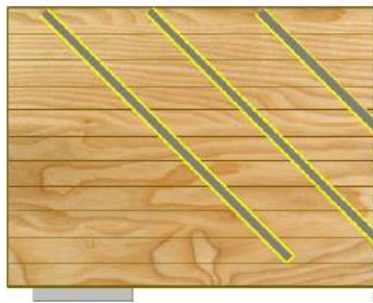
a) sljeme sedlastih nosača



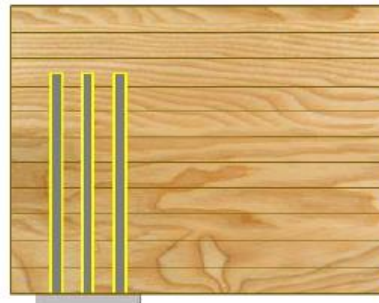
b) nagla promjena visine



c) nosači s rupama



d)



e)

OJAČANJA OBOSTRANIM DRVENIM VEZICAMA

