

SASTAVLJENI TLAČNI I SAVIJANI ELEMENTI

LIJEPLJENI SASTAVLJENI ELEMENTI

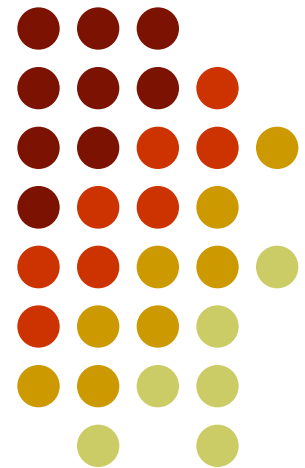
Lijepljene grede s tankim pojasnicama

Lijepljene grede s tankim hrptom

PODATLJIVO SASTAVLJENI ELEMENTI – ELEMENTI SASTAVLJENI MEHANIČKIM SPAJALIMA

Savijane grede

Tlačni stupovi



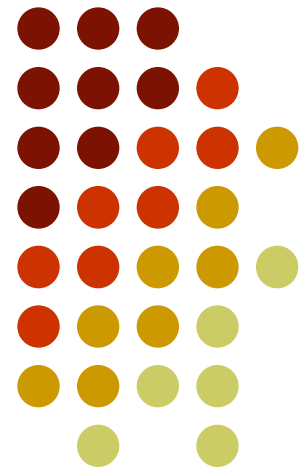


– SASTAVLJENI ELEMENTI –

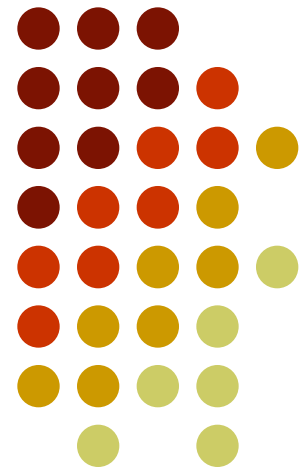
LIJEPLJENI SASTAVLJENI ELEMENTI

Lijepljene grede s tankim hrptom

Lijepljene grede s tankim pojasnicama



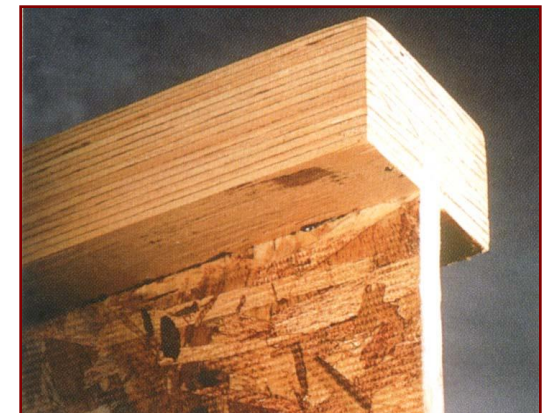
Lijepljene grede s tankim hrptom





LIJEPLJENE GREDE S TANKIM HRPTOM

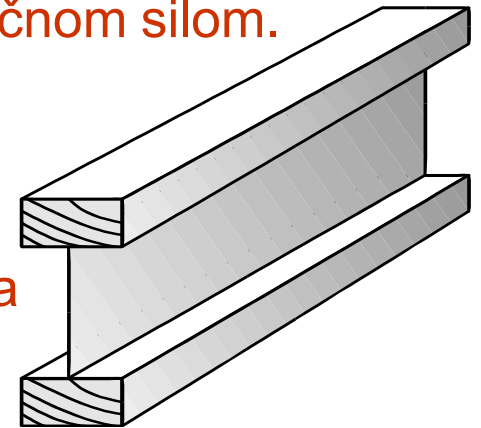
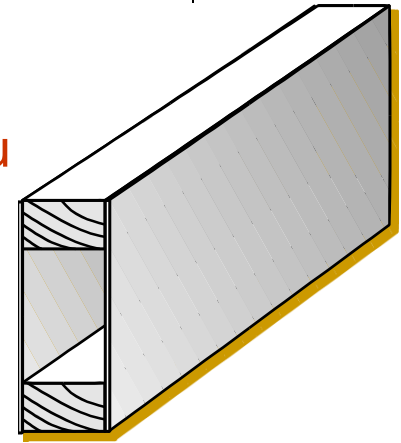
- Glavni sastavni dijelovi:
 - Pojasnice – napregnute savijanjem i osnim silama
 - Hrbat – posmično napregnut
 - Lijepljeni spoj pojasnica i hrpta
- Materijal:
 - Pojasnice
 - Cjelovito (puno/masivno) drvo
 - Lijepljeno lamelirano drvo
 - LVL – lamelirana furnirska građa
 - Hrbat / Hrptovi
 - Različiti materijali na osnovi drva – križno uslojene furnirske ploče (Plywood), OSB ploče, ploče iverice, ploče vlaknatice i sl.





LIJEPLJENE GREDE S TANKIM HRPTOM

- Zahtjevi na glavne sastavne dijelove:
 - Pojasnice – malih dimenzija
 - Pojavu grešaka (učestalost i veličina) u materijalu treba svesti na minimum.
 - Hrpat / Hrptovi – zahtjevi na ojačanja (duge grede)
 - Spojevi na hrptu
 - Sučeonu spojevi – područja s malom posmičnom silom.
 - Ojačanja spojeva – za veće poprečne sile.
 - Ojačanja hrpta
 - Za hrptove grede s većim poprečnim silama
 - Ojačanja hrpta vezicama od materijala na osnovi drva – čavlane vezice ili lijepljene vezice.
 - Ojačanja treba dimenzionirati na vrijednost posmične sile.





LIJEPLJENE GREDE S TANKIM HRPTOM

- **Proizvodnja – predgotovljeni lijepljeni elementi:**
 - **Zahtjevi na ljepilo i postupak lijepljenja**
 - Odgovarajuća temperatura ljepila.
 - Postupak pripreme i rukovanja ljepilom prema uputama proizvođača ljepila.
 - **Zahtjevi na dijelove sastavljenog lijepljenog elementa**
 - Površine pojasnica treba netom prije nanošenja ljepila blanžati i očistiti.
 - Vlažnost pojasnica i hrpta treba odgovarati vrsti ljepila i propisanom postupku lijepljenja.





LIJEPLJENE GREDE S TANKIM HRPTOM

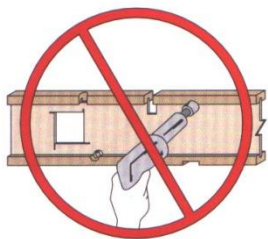
- Primjena – u stropnim, krovnim i zidnim konstrukcijama:
 - Pretpostavke primjene:
 - Lagani elementi.
 - Velika nosivost i krutost u odnosu na vlastitu težinu.
 - Lako rukovanje pri ugradnji
 - Nema velike mehanizacije.
 - Grede se (po potrebi) mogu i ručno doradivati na izvedbenu mjeru.





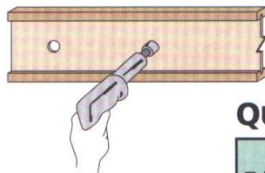
Hrbat – OSB
ploča

Pojas – LVL



NICHT ERLAUBT

Einschnitte oder Bohrungen in
die Gurte



ERLAUBT

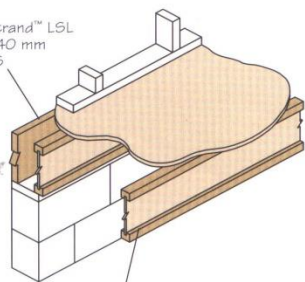
Pravila ugradnje i proizvodne mjere – definira proizvođač

QUERSCHNITTSWERTE

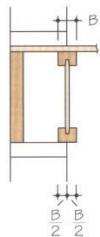
Trägertyp TJI®/Pro™	Trägerhöhe (mm)	Eigengewicht (kg/m)	Querschnittfläche der Gurte A_G (mm ²)	Querschnittfläche des Steges A_s (mm ²)	Modifizierte Querschnittfläche des Trägers A_{MOD} (mm ²)	Flächenmoment 2. Ordnung I_y (mm ⁴ × 10 ⁶)
250	241	3,6	3387	1573	4092	36,97
	302	4,0	3387	2148	4350	63,29
	356	4,3	3387	2663	4580	93,53
	406	4,9	3387	3147	4797	128,08
350	241	4,3	4476	1573	5217	48,43
	302	4,9	4476	2148	5487	82,53
	356	5,2	4476	2663	5729	121,49
	406	5,7	4476	3147	5957	165,78
550	241	6,4	6774	1834	7572	72,56
	302	7,0	6774	2505	7863	123,04
	356	7,4	6774	3104	8124	180,32
	406	7,9	6774	3669	8370	245,04

RANDBOHRLE PARALLEL ZUM DECKENBALKEN

32 mm TimberStrand™ L5L
Randbohrle oder 40 mm
TimberStrand™ S



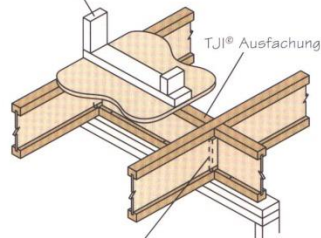
TJI® Träger



A10

MITTELAUFLAGER MIT TRAGENDER ZWISCHENWAND

Tragende Wände müssen auf tragende
Wände darunter ausgerichtet werden



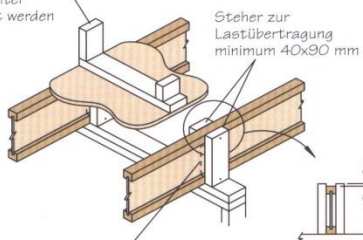
Stegverstärker

B1

B1
W

MITTELAUFLAGER MIT TRAGENDER ZWISCHENWAND

Tragende Wände
müssen auf tragende
Wände darunter
ausgerichtet werden



Stegverstärker

Steher zur
Lastübertragung
minimum 40x90 mm

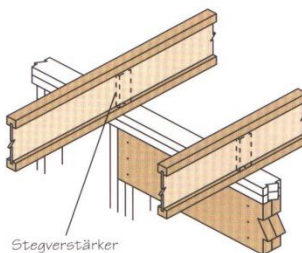


B2

B2
W

Bei aussteifenden Wänden über oder unter
der Decke können Ausfachungen nötig sein.
Siehe Detail B1.

MITTELAUFLAGER OHNE TRAGENDER ZWISCHENWAND



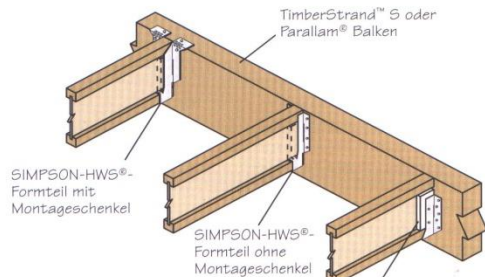
Stegverstärker

B3

B3
W

Bei aussteifenden Wänden über oder unter
der Decke können Ausfachungen nötig sein.
Siehe Detail B1.

ANSCHLUSSDETAIL MIT SIMPSON-HWS®-FORMTEIL



SIMPSON-HWS®-
Formteil mit
Montageschenkel

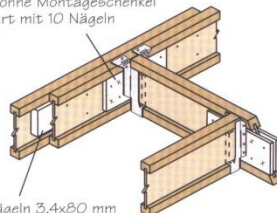
SIMPSON-HWS®-
Formteil ohne
Montageschenkel

Stegverstärkungen sind einzubauen, wenn der Obergurt
nicht durch das SIMPSON-HWS®-Formteil seitlich
gehalten wird oder wenn es in den Bemessungstabellen
vorgeschrieben wird. Siehe Detail W auf Seite 7.

H1

ANSCHLUSSDETAIL MIT AUSWECHSELUNG

Bei einfach geführten TJI® Trägern sind seitliche Füllhölzer
beidseitig anzubringen. Diese sind bei SIMPSON-HWS®-Formteilen
mit Montageschenkel mit Paßsitz unter dem Obergurt, bei
SIMPSON-HWS®-Formteilen ohne Montageschenkel
mit Paßsitz auf dem Untergurt mit 10 Nägeln
3,4x80 mm zu befestigen.



Füllholz mit 10 Nägeln 3,4x80 mm
befestigen (10 Nägel 4,2x100 mm
für TJI®/Pro™ 550)

H2



FOLGENTE DETAILAUSBILDUNGEN SIND NICHT ERLAUBT

Verwenden Sie kein Vollholz
als Füllholz, wenn es
keine Ausfuchung
hat.



Keine schrägen Anschnitte, bei
denen das Holz über
das Projektion über der Schwellen liegt.



Keine Durchbrüche
zu nahe am Auflager.



Siehe Tabelle auf Seite 6 für
minimale Abstände vom Auflager.

Vollholz kann schwinden und seine
Funktion ggf. nicht mehr erfüllen.



LIJEPLJENE GREDE S TANKIM HRPTOM

- Primjena:
 - Područje primjene – stropne, krovne i zidne konstrukcije
 - Ugrađuju se umjesto greda od masivnog/cjelovitog drva
 - U odsječcima stropnih i krovnih konstrukcija gdje elementi trebaju biti veće duljine (5 – 8m, npr.) su:
 - Konstrukcijski bolje rješenje od greda od cjelovitog drva.
 - Ekonomičnije rješenje od lijepljenih lameliranih greda.
 - Visina lijepljenih greda tankog hrpta na većim rasponima / rasterima može dostići 300 – 500mm.
 - Spojni pribor i način ugradnje prilagođen je rasponu i veličini elemenata.
 - Oblik dopušta više slobodnog prostora za ugradnju izolacije.
 - Primjena u razredu uporabe 3 najčešće nije uopće dopustiva.



LIJEPLJENE GREDE S TANKIM HRPTOM

- Posebnosti sa stajališta proizvodnje i transporta:
 - Krutost oko slabije osi z-z (materijalna os) je puno manja od krutosti oko jače osi y-y (nematerijalna os) – $EI_z \ll EI_y$.
 - Tijekom proizvodnje, svih fazi transporta (unutar proizvodnog pogona i do gradilišta) i ugradnje treba spriječiti nepoželjna bočna deformiranja.
- Materijal hrpta je osjetljiv na:
 - Oštećenja tijekom transporta i rukovanja elementima.
 - Promjene vlažnosti – elementi trebaju biti skladišteni u suhim uvjetima.
 - Veći sadržaj vlage može prouzročiti rizik povećanja neelastičnih deformiranja u završenoj konstrukciji.



LIJEPLJENE GREDE S TANKIM HRPTOM

- Bočna stabilnost:
 - Tlačne pojasnice treba osloniti tako da se spriječi bočno progibanje i izvijanje.
 - Kad su u stropnim konstrukcijama grede slobodno oslonjene jedino na krajevima, najčešće je bočnu nestabilnost pojasnica greda dovoljno spriječiti samo spojevima greda i stropne obloge.
 - Kad su grede kontinuirane izvedbe, na unutrašnjim se osloncima, npr. ne smije zanemariti promjena predznaka naprezanja u pojasnicama.



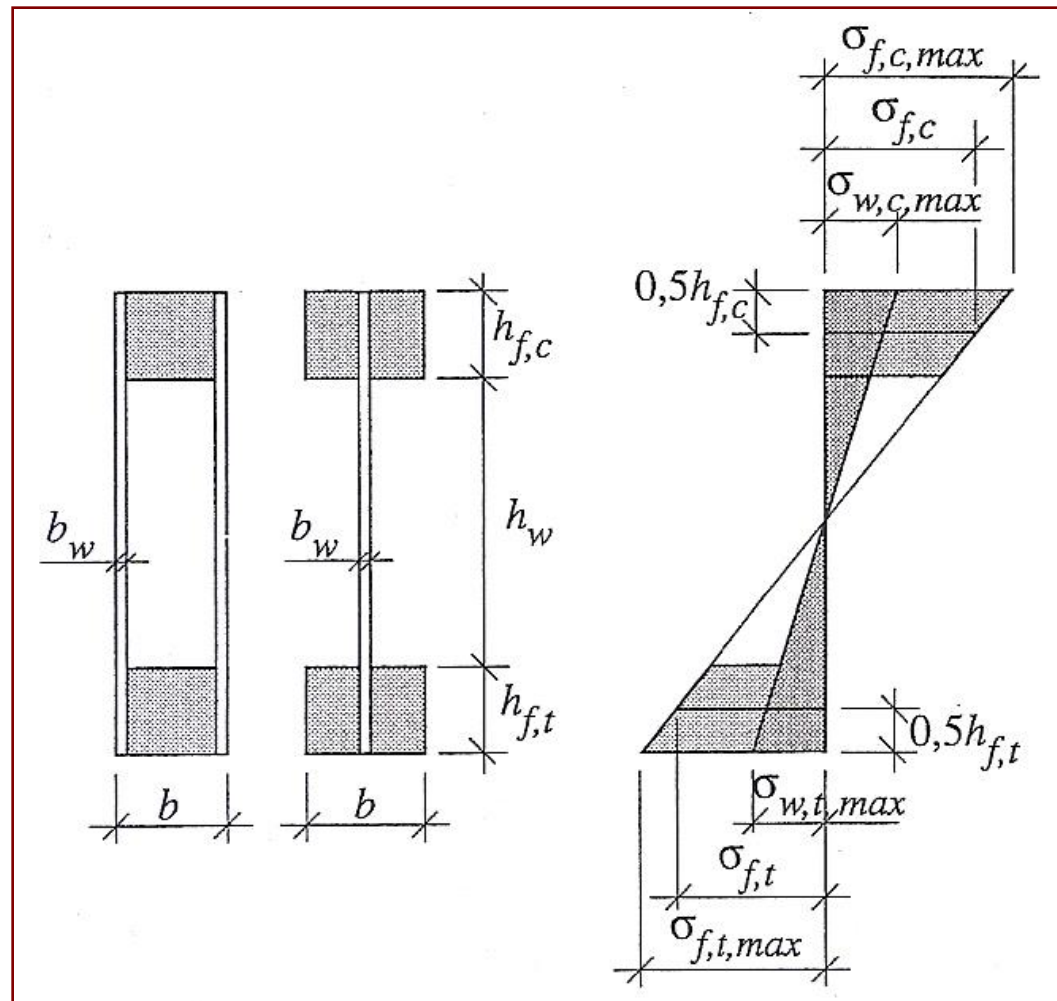
LIJEPLJENE GREDE S TANKIM HRPTOM

- Djelotvorne vrijednosti za presjek:
 - Pretpostavke proračuna:
 - Hrbat i pojasnice su lijepljeni i zajedno čine konstrukcijsku cjelinu – sastavljenu gredu.
 - Promjena deformacije po visini sastavljene grede je linearna.
 - Primjenjuje se Hooke-ov zakon – naprezanje u bilo kojem vlakancu je umnožak modula elastičnosti i deformacije.
 - Posebnosti – različiti moduli elastičnosti pojasnica i hrpta.
 - Posljedice – naprezanje varira.
 - Rješenje – proračun s djelotvornim statičkim veličinama presjeka pri svođenju različitih modula elastičnosti na jedan.



LIJEPLJENE GREDE S TANKIM HRPTOM

- Djelotvorne vrijednosti za presjek:

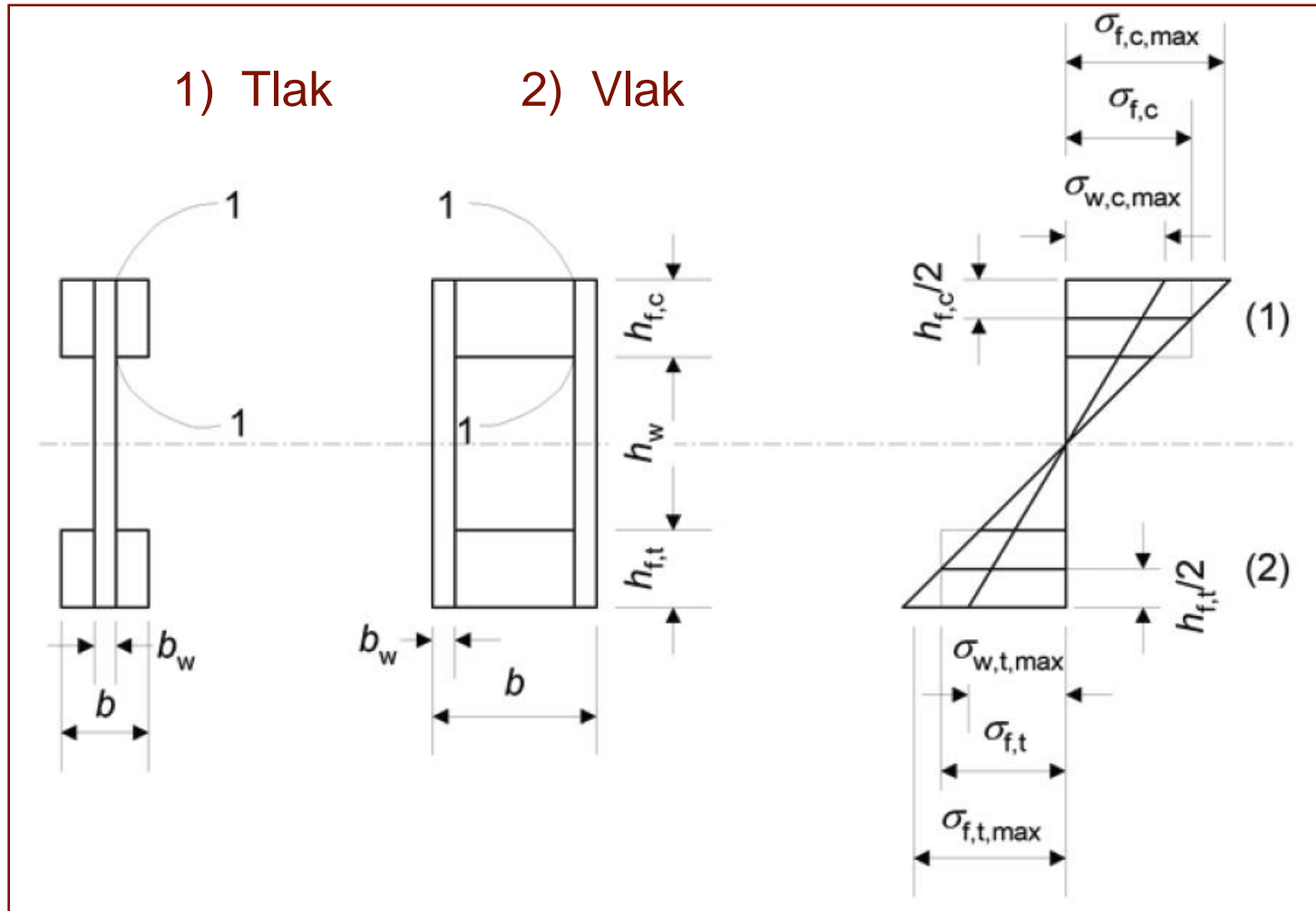


Primjer
naprezanja u
lijepljenoj
sandučastoj i
I-gredi



LIJEPLJENE GREDE S TANKIM HRPTOM

- Djelotvorne vrijednosti za presjek:





LIJEPLJENE GREDE S TANKIM HRPTOM

- Djelotvorne vrijednosti za presjek:
 - Sastavljeni presjek se u proračunu tretira kao homogen, s modulima krutosti pojasnica.
 - Stvarne vrijednosti za presjek hrpta se prevode u djelotvorne.
 - Redukcija stvarnih vrijednosti je proporcionalna razmjeru modula elastičnosti.

- Djelotvorna površina:

$$A_{ef} = A_f + \left(\frac{E_w}{E_f} \right) \left(\frac{1 + k_{def_f}}{1 + k_{def_w}} \right) A_w$$

- Djelotvorni moment tromosti:

$$I_{ef} = I_f + \left(\frac{E_w}{E_f} \right) \left(\frac{1 + k_{def_f}}{1 + k_{def_w}} \right) I_w$$

- Raspodjela naprezanja u kompozitnom presjeku je promjenjiva – materijali s različitim karakteristikama puzanja.
- Deformiranju treba proračunati konačnu i trenutnu vrijednost.



LIJEPLJENE GREDE S TANKIM HRPTOM

- Provjera naprezanja u pojasnicama:
 - Grede opterećene momentom savijanja:
 - Prevladavaju naprezanja pojasnica prouzročena osnim vlakom ili tlakom – mali doprinos čistog savijanja.
 - Simetrični profili – jednake apsolutne vrijednosti naprezanja u tlačnim i vlačnim pojasnicama.



LIJEPLJENE GREDE S TANKIM HRPTOM

- Provjera naprezanja u pojasnicama:
 - Grede opterećene momentom savijanja i osnim silama (tlak ili vlak):
 - Naprezanja u pojasnicama – suma naprezanja prouzročenih savijanjem i osnim silama:
 - Najveće proračunsko naprezanje rubnog vlakanca tlačne pojasnice

$$\sigma_{f,c,max,d} = \left(\frac{M_d}{I_{ef}} y_0 \right) + \left(\frac{F_d}{A_{ef}} \right)$$

- Najveće proračunsko naprezanje u težištu tlačne pojasnice

$$\sigma_{f,c,d} = \left(\frac{M_d}{I_{ef}} y_c \right) + \left(\frac{F_d}{A_{ef}} \right)$$



LIJEPLJENE GREDE S TANKIM HRPTOM

- Provjera naprezanja u pojasnicama:
- Oznake i simboli

M_d proračunski moment savijanja

y_0 udaljenost rubnog vlakanca pojasnice od neutralne osi grede
($y_0 = h/2$, za simetrične poprečne presjeke)

F_d osna vlačna ili tlačna sila

y_c udaljenost težišta tlačne pojasnice od neutralne osi

- Provjere nosivosti tlačne pojasnice:

- U rubnom vlakancu

$$\sigma_{f,c,max,d} \leq f_{m,d}$$

- U težištu

$$\sigma_{f,c,max,d} \leq k_c f_{c,0,d}$$



LIJEPLJENE GREDE S TANKIM HRPTOM

- Provjera naprezanja u pojasnicama:
- Faktor izvijanja k_c kojim se u provjeri osnovnog tlaka uvažava utjecaj bočne nestabilnosti na otpornost presjeka treba odrediti za sljedeću vitkost:

$$\lambda = \sqrt{12} \frac{l_c}{b}$$

- Oznake i simboli:

l_c udaljenost presjeka sa spriječenim bočnim izvijanjem pojasnice

b debljina tlačne pojasnice

- Proračunske vrijednosti naprezanja i provjeru nosivosti **vlačne pojasnice** treba odrediti na sličan način:

$$\sigma_{f,t,max,d} \leq f_{m,d}$$

$$\sigma_{f,t,max,d} \leq f_{t,0,d}$$



LIJEPLJENE GREDE S TANKIM HRPTOM

- Provjera osnih naprezanja u hrptu:
- U hrptu prevladavaju posmična naprezanja, ali mu se nosivost mora provjeriti i na normalna naprezanja prouzročena momentom savijanja i osnim opterećenjem.
- Uz pretpostavku linearne promjene deformacije (ε) po visini lijepljene grede, proračunska naprezanja u hrptu treba odrediti kao:

$$\sigma_w = \sigma_f \left(\frac{E_w}{E_f} \right)$$

- Korekcija izraza za utjecaj trajanja opterećenja i razreda uporabe na module elastičnosti (puzanje – reološke vrijednosti modula):

$$\sigma_w = \sigma_f \left(\frac{E_w}{E_f} \right) \left(\frac{1 + k_{\text{def}_f}}{1 + k_{\text{def}_w}} \right)$$



LIJEPLJENE GREDE S TANKIM HRPTOM

- Provjera osnih naprezanja u hrptu:
- Naprezanja u tlačnom području hrpta:

$$\sigma_{w,c,max,d} = \left[\left(\frac{M_d}{I_{ef}} y_{w,c} \right) + \left(\frac{F}{A_{ef}} \right) \right] \left(\frac{E_w}{E_f} \right) \left(\frac{1 + k_{def_f}}{1 + k_{def_w}} \right)$$

$y_{w,c}$ udaljenost tlačnog ruba hrpta od neutralne osi grede

- Provjera naprezanja – dokaz nosivosti tlačnog ruba hrpta:

$$\sigma_{w,c,max,d} \leq f_{c,w,d}$$

$f_{c,w,d}$ tlačna savojna čvrstoća hrpta – ako nije dana druga vrijednost, može se usvojiti kao proračunska tlačna čvrstoća u ravnini hrpta



LIJEPLJENE GREDE S TANKIM HRPTOM

- Provjera osnih naprezanja u hrptu:
- Naprezanja u vlačnom području hrpta:

$$\sigma_{w,t,max,d} = \left[\left(\frac{M_d}{I_{ef}} y_{w,t} \right) + \left(\frac{F}{A_{ef}} \right) \right] \left(\frac{E_w}{E_f} \right) \left(\frac{1 + k_{def_f}}{1 + k_{def_w}} \right)$$

$y_{w,t}$ udaljenost vlačnog ruba hrpta od neutralne osi grede

- Provjera naprezanja – dokaz nosivosti vlačnog ruba hrpta:

$$\sigma_{w,t,max,d} \leq f_{t,w,d}$$

$f_{t,w,d}$ vlačna savojna čvrstoća hrpta – ako nije dana druga vrijednost, može se usvojiti kao proračunska vlačna čvrstoća u ravnini hrpta



LIJEPLJENE GREDE S TANKIM HRPTOM

- Posmična naprezanja u hrptu:
- Geometrijski uvjet – u nedostatku detaljno provedene analize izvijanja:

$$h_w \leq 70b_w$$

- Provjera posmične nosivosti hrpta prema ENV:

$$V_d \leq f_{v,0,d} n b_w h_w \left(1 + 0,5 \left(\frac{h_{f,t} + h_{f,c}}{h_w} \right) \right) \quad \text{za} \quad h_w \leq 35b_w$$

$$V_d \leq 35 f_{v,0,d} n b_w^2 \left(1 + 0,5 \left(\frac{h_{f,t} + h_{f,c}}{h_w} \right) \right) \quad \text{za} \quad 35b_w \leq h_w \leq 70b_w$$

V_d proračunska poprečna sila u promatranom presjeku

$f_{v,0,d}$ proračunska posmična čvrstoća ploče na osnovi drva (hrbat)

n broj hrptova



LIJEPLJENE GREDE S TANKIM HRPTOM

- Posmična naprezanja u hrptu:
- Provjera posmične nosivosti hrpta prema EN, za $h_w \leq 70b_w$:

$$F_{v,w,Ed} \leq \begin{cases} b_w h_w \left(1 + \frac{h_{f,t} + h_{f,c}}{2h_w} \right) f_{v,0,d} & \text{za } h_w \leq 35b_w \\ 35b_w^2 \left(1 + \frac{h_{f,t} + h_{f,c}}{2h_w} \right) f_{v,0,d} & \text{za } 35b_w \leq h_w \leq 70b_w \end{cases}$$

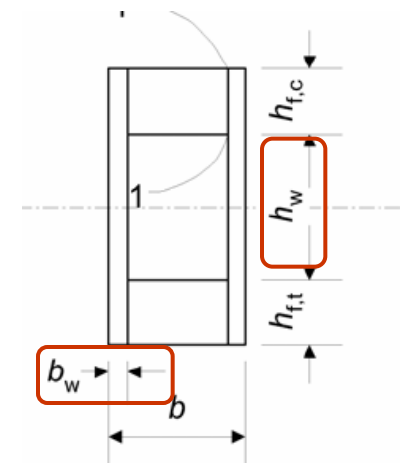
$F_{v,w,Ed}$ proračunska poprečna sila u jednom hrptu

h_w svijetli razmak između pojasnica

$h_{f,c}$; $h_{f,t}$ visina tlačne (c) i vlačne (t) pojasnice

b_w širina jednog hrpta

$f_{v,0,d}$ proračunska posmična čvrstoća
jednog hrpta





LIJEPLJENE GREDE S TANKIM HRPTOM

- Posmična naprezanja u lijepljenoj spojnici hrpta i pojasnice:
- Nosivost lijepljenog spoja hrpta i pojasnice je veća nego nosivost materijala hrpta i pojasnica.
- Najslabija točka lijepljenog spoja je “rolling shear” u hrptu – posmično naprezanje koje je posljedica djelovanja posmične sile čije su obje komponente okomite na vlakanca.

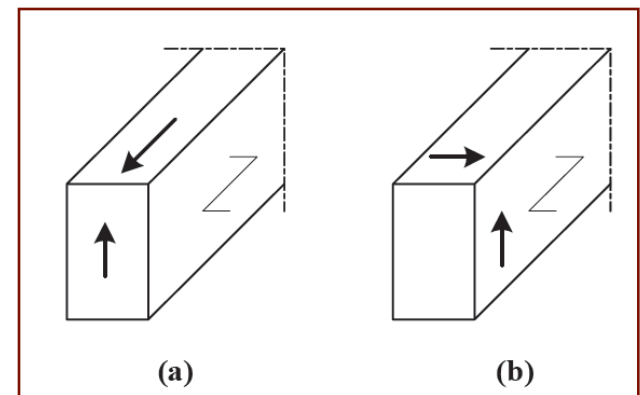
$f_{v,90,w,d}$ čvrstoća posmika okomito na vlakanca (“rolling” shear strength) hrpta

- Vrijedi pretpostavka jednolike raspodjele posmičnih naprezanja u hrptu.

Komponente posmika:

a) Paralelne s vlakancima

b) Okomite na vlakanca





LIJEPLJENE GREDE S TANKIM HRPTOM

- Posmična naprezanja u lijepljenoj spojnici hrpta i pojasnice:
- Proračunsko posmično naprezanja u hrptu:

$$\tau_{\text{mean,d}} = \frac{V_d S_f}{I_{\text{ef}} l_g}$$

S_f statički moment pojasnice (proračunat u odnosu na neutralnu os poprečnog presjeka sastavljene grede)

l_g ukupna duljina lijepljene spojnice u istoj pojasnici



LIJEPLJENE GREDE S TANKIM HRPTOM

- Posmična naprezanja u lijepljenoj spojnici

hrpta i pojasnice:

- Provjera posmičnih naprezanja u hrptu:

$$\tau_{\text{mean,d}} \leq \begin{cases} f_{v,90,d} & \text{za } h_f \leq 4b_{\text{ef}} \\ f_{v,90,d} \left(\frac{4b_{\text{ef}}}{h_f} \right)^{0,8} & \text{za } h_f > 4b_{\text{ef}} \end{cases}$$

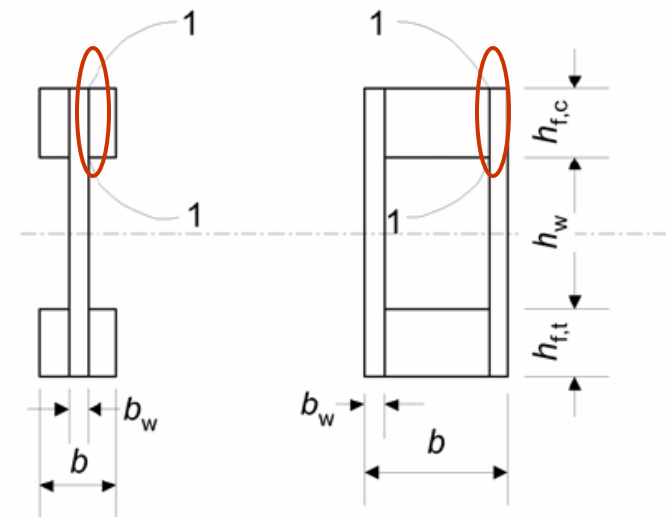
- Za sandučaste grede:

$$b_{\text{ef}} = \begin{cases} b_w \\ b_w / 2 \end{cases}$$

- Za I – grede:

$\tau_{\text{mean,d}}$

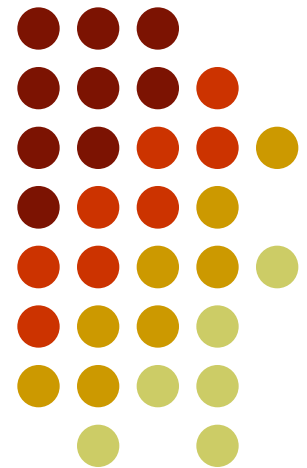
proračunsko posmično naprezanje u presjeku 1-1, s pretpostavkom jednolike raspodjele naprezanja



$f_{v,90,d} = f_{v,90,w,d}$ posmična čvrstoća okomito na ravninu hrpta

h_f ili $h_{f,c}$ ili $h_{f,t}$

Lijepljene grede s tankim pojasnicama





LIJEPLJENE GREDE S TANKIM POJASNICAMA

- Općenito:
- Metoda proračuna greda s tankim pojasnicama se zasniva na:
 - Konceptu efektivne širine pojasnice.
 - Kompozitnom – spregnutom djelovanju između tankih pojasnica i hrpta (prijenos sila ovisi o tipu spajala).
- Grede s tankim pojasnicama su elementi namijenjeni izvedbi sljedećih predgotovljenih konstrukcija:
 - Stropne i krovne konstrukcije – elemente prevladavajuće izloženi savijanju.
 - Konstrukcije zidnih panela – elemente prevladavajuće izloženi tlačnim naprezanjima, savijanju i izmjeničnim horizontalnim opterećenjima u ravnini zida (“racking”).



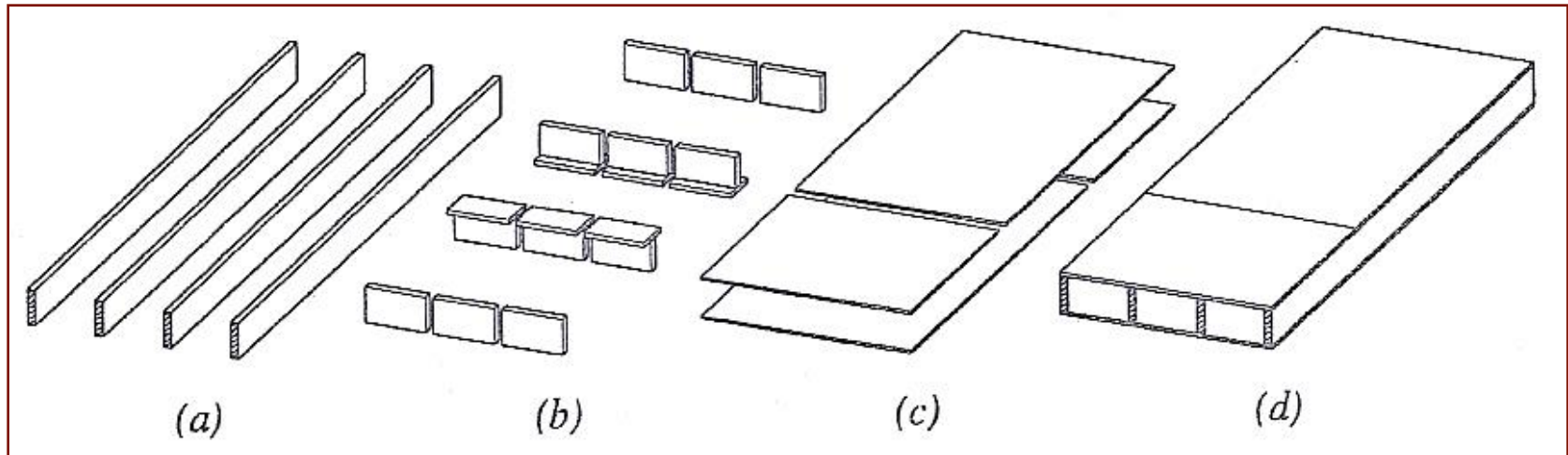
LIJEPLJENE GREDE S TANKIM POJASNICAMA

- **Općenito:**
- **Konstrukcija sastavljenih greda:**
 - Hrptovi položeni u smjeru raspona – uglavnom su od punog (cjelovitog, masivnog) drva.
 - Pokrovni obostrani paneli – tanke pojasnice od ploča na osnovi drva (furnirske ploče, OSB, ploče iverice ili ploče vlaknatice).
 - Spajala – ljepilo ili mehanička spajala (čavli, skobe, vijci za drvo).
 - Spregnuta konstrukcija sastavljene grede – savojna krutost i nosivost kompozita je veća nego krutost i nosivost pojedinačnih dijelova presjeka (hrptova, npr.).
 - Šupljine mogu biti ispunjene izolacijom.



LIJEPLJENE GREDE S TANKIM POJASNICAMA

- Općenito:
- Konstrukcija sastavljenih greda:



- a) Hrptovi
- b) Blokovi (ukrućenja) i spojnice pojasnica
- c) Pojasnice – pokrovne ploče/paneli
- d) Konstrukcija sastavljene grede



LIJEPLJENE GREDE S TANKIM POJASNICAMA

- Općenito:
- Uobičajene dimenzije sastavljenih greda s tankim pojasnicama:
 - Transport i montaža (težina, mehanizacija i sl.)
 - Ugradnja u zidne panele – visina cca 2,5m, duljina do 10,0m (vertikalni raspon hrptova).
 - Stropni i krovni paneli – širina varira od 1,25m do 2,5m (ovisno o krojenju ploča na osnovi drva – ekonomičnost je prevladavajući kriterij).
 - Uobičajeni rasponi za hrptove od punog drva (piljena građa) – od 5,0m do 6,0m najviše.



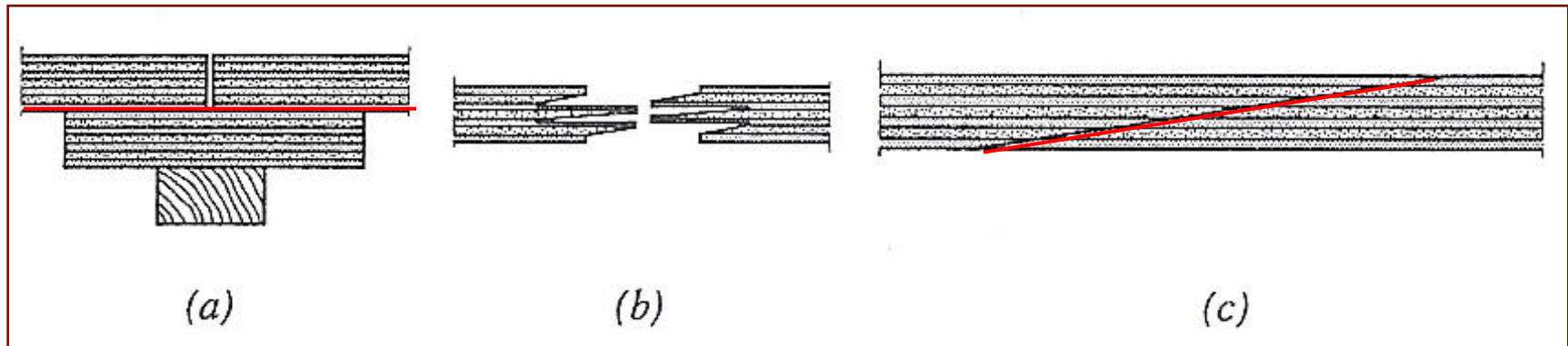
LIJEPLJENE GREDE S TANKIM POJASNICAMA

- **Konstrukcija pojasnica:**
- Debljina pojasnica od ploča na osnovi drva – od 10mm do 19mm.
- Pokrovni furniri pojasnica od furnirskih ploča (križno uslojene) mogu biti usmjereni ili paralelno ili okomito na hrptove.
 - Izbor smjera ovisi o razmaku hrptova (savijanje – progib pojasnica u stropnim ili krovnim panelima) i tehnologiji proizvodnje.
 - Nosivost pojasnica na savijanje je veća kad je pokrovni furnir usmjeren okomito na hrptove – razmak hrptova u tom slučaju može biti veći.
 - Nosivost i krutost sastavljenog presjeka – spregnuta cjelina je u tom slučaju manja u usporedbi sa sastavljenim presjekom u kojem su pokrovni furniri pojasnica usmjereni paralelno s hrptovima.



LIJEPLJENE GREDE S TANKIM POJASNICAMA

- **Konstrukcija pojasnica:**
- Spojnice pojasnica se u konstrukciji panela izvode kao lijepljene ili zupčasto spojene.



Lijepljeni priključci – spajanje pojasnica panela:

- a) Lijepljene spojnice – konstrukcije predgotovljenih panela većih dimenzija (“splice joints”)
- b) Zupčaste spojnice – “finger joints”
- c) Kosi sudar (ljepilo) – “scarf joints”



LIJEPLJENE GREDE S TANKIM POJASNICAMA

- **Konstrukcija pojasnica:**
- Kad je duži smjer panela paralelan s hrptovima:
 - Manje priključaka.
 - Potrebna dodatna provjera smjera pokrovnih vlakana u ovisnosti o duljoj stranice panela.



LIJEPLJENE GREDE S TANKIM POJASNICAMA

- **Konstrukcija hrptova:**
- Materijal – piljena građa (puno drvo), lijepljeno lamelirano drvo, ploče na osnovi drva i predgotovljeni I-profil.
- Zidni paneli:
 - Debljina hrptova od punog drva – od 38mm do 80mm.
 - Visina hrptova – od 80mm do 200mm.
- Stropni i krovni paneli:
 - Debljina hrptova od punog drva – od 38mm do 63mm
 - Visina hrptova – od 150mm do 300mm
- Visina hrptova ovisi o:
 - Zahtjevima na krutost i nosivost cjelokupne konstrukcije sastavljene grede
 - Zahtjevima na djelotvornost izolacije (debljina sloja).



LIJEPLJENE GREDE S TANKIM POJASNICAMA

- **Konstrukcija hrptova:**
- Mehanička spajala za vezu pojasnica i hrptova – debljina hrpta ovisi i o potrebnom najmanjem razmaku spajala (međusobno i od rubova).
- Lijepljene spojnice pojasnica i hrptova – rubove hrpta treba unaprijed pripremiti za lijepljenje (rezanje i oblikovanje).
- Razmak hrptova – između 300mm i 625 mm, ovisno o veličini pojasnica (ploče na osnovi drva).



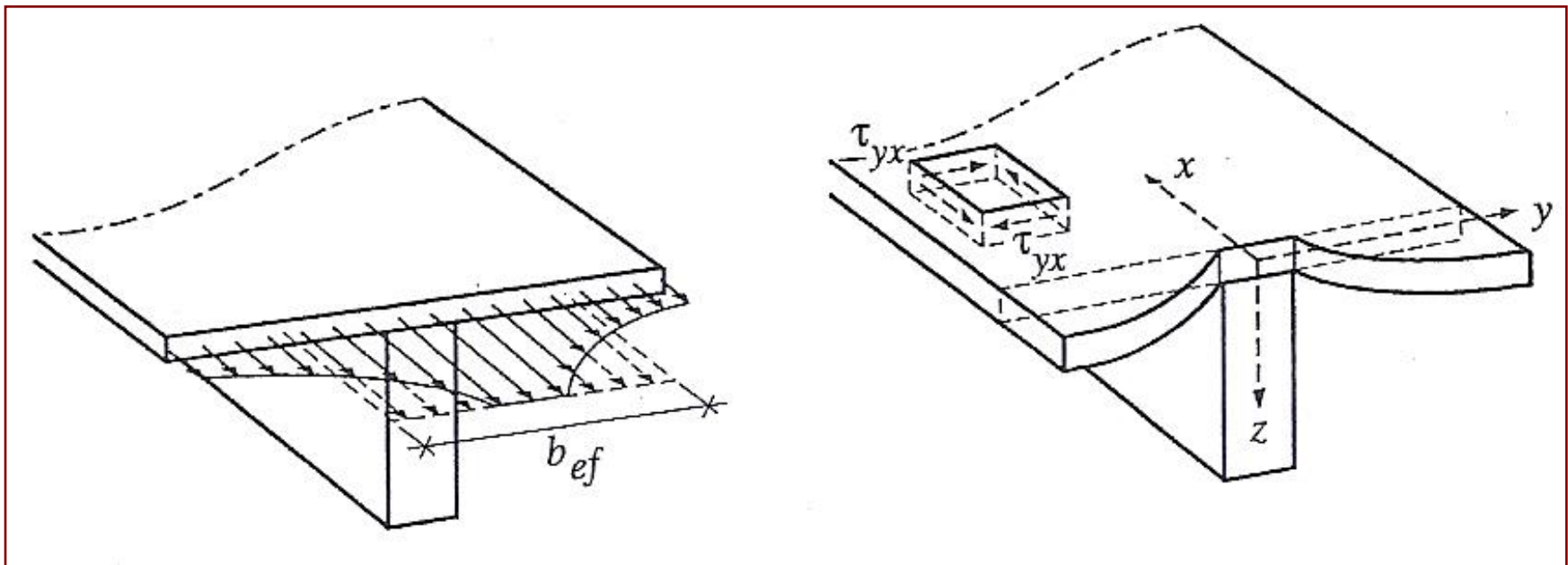
LIJEPLJENE GREDE S TANKIM POJASNICAMA

- Spojevi:
- Lijepljeni spojevi pojasnica i hrpta – pretpostavke proračuna:
 - Kruta veza (nepopustljiva)
 - Linearna raspodjela naprezanja i deformacija po visini sastavljenog kompozitnog presjeka.
- Mehanička spajala – pretpostavke proračuna:
 - Podatljiva – popustljiva veza.
 - Proračun kompozitnog presjeka treba uzeti u obzir klizanje u spoju pojasnica i hrpta.



LIJEPLJENE GREDE S TANKIM POJASNICAMA

- Djelotvorna širina pojasnice:
- Zbog posmičnog deformiranja, normalnih napreznja na neoslonjenom dijelu pojasnica nemaju jednoliku raspodjelu u srednjoj ravnini pojasnice.



Raspodjela napreznja u pojasnici



LIJEPLJENE GREDE S TANKIM POJASNICAMA

- Djelotvorna širina pojasnice:
- Doprinos pojasnica ukupnoj krutosti i nosivosti kompozitnog presjeka:
 - Smanjuje se s porastom udaljenosti promatranog presjeka pojasnice od hrpta (mjesto oslanjanja pojasnice).
- Stupanj smanjenja naprezanja je ovisi o:
 - Omjeru razmaka hrptova, b_f i rasponu, $l - b_f/l$
 - Omjeru modula elastičnosti pojasnice u smjeru raspona sastavljene grede, E i modula posmika pojasnice, $G - E/G$.
- Ovisnost djelotvorne širine pojasnice je obrnuto proporcionalna s ovim omjerima:
 - Djelotvorna širina pojasnice raste sa smanjenjem omjera b_f/l i E/G .



LIJEPLJENE GREDE S TANKIM POJASNICAMA

- Djelotvorna širina pojasnice:
- Matematički izvod (Möhler, 1963.) djelotvorne širine pojasnice uzima u obzir posmično deformiranje u pojasnici.
- Odnos djelotvorne širine pojasnice, b_{ef} i stvarne širine pojasnice, b_f :

$$\frac{b_{ef}}{b_f} = \frac{\lambda_1 \tanh \alpha_1 - \lambda_2 \tanh \alpha_2}{\pi(\lambda_1^2 - \lambda_2^2)} \cdot \frac{2I}{b_f}$$

- Gdje su:

$$\alpha_1 = \frac{\lambda_1 \pi b_f}{2I}$$

$$\alpha_2 = \frac{\lambda_2 \pi b_f}{2I}$$

$$\lambda_1 = \sqrt{a + \sqrt{a^2 - c}}$$

$$\lambda_2 = \sqrt{a - \sqrt{a^2 - c}}$$

$$a = \frac{E_y}{2G} - \mu_g$$

$$c = \frac{E_y}{E_x}$$

μ_θ

Poisson-ov
koeficijent



LIJEPLJENE GREDE S TANKIM POJASNICAMA

- Djelotvorna širina pojasnice:
- Koncept djelotvorne širine pojasnice se uvodi u proračun s ciljem mogućnosti primjene elementarne teorije greda.
- Kad se ne provodi detaljna analiza, sastavljeni nosač treba smatrati nizom I – greda i/ili C – greda.
- Sukladno tomu, definicija djelotvorne širine pojasnice, b_{ef} , je sljedeća:
 - Djelotvorna širina pojasnice, b_{ef} , je širina idealiziranog poprečnog presjeka pojasnice u kojem su normalna naprezanja u srednjoj ravnini pojasnice, proračunata prema elementarnoj teoriji greda, jednaka najvećem naprežanju određenom prema točnom postupku koji uzima u obzir i posmična deformiranja u pojasnicama.
- Rezultat primjene koncepta djelotvorne širine pojasnice:
 - Ukupna sila u pojasnici ostaje ista i daje jednak moment na osnovu kojeg se određuje otpornost.



LIJEPLJENE GREDE S TANKIM POJASNICAMA

- Djelotvorna širina pojasnice:
- Djelotvorna širina pojasnice, b_{ef} , prema EC5:
 - Za I-grede – unutrašnje elemente sastavljene grede s tankim pojasnicama:

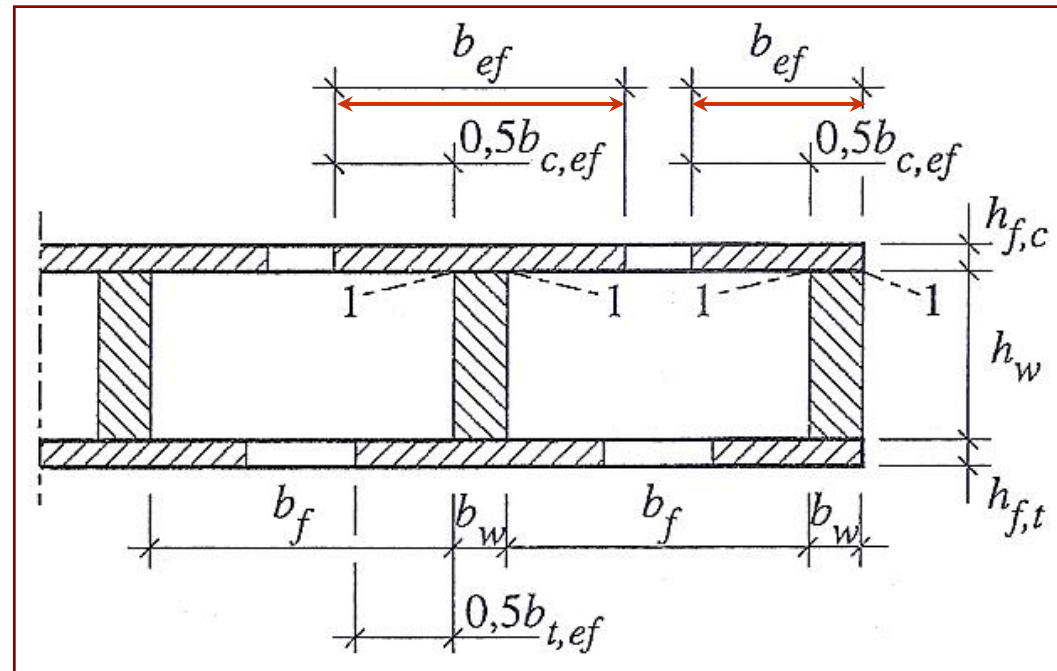
$$b_{ef} = b_{c,ef} + b_w$$

$$b_{ef} = b_{t,ef} + b_w$$

- Za C-grede – vanjske elemente sastavljene grede s tankim pojasnicama:

$$b_{ef} = 0,5b_{c,ef} + b_w$$

$$b_{ef} = 0,5b_{t,ef} + b_w$$





LIJEPLJENE GREDE S TANKIM POJASNICAMA

- Djelotvorna širina pojasnice:
- Djelotvorne širine tlačne pojasnice, $b_{c,ef}$ i vlačne pojasnice, $b_{t,ef}$, moraju ispunjavati sljedeće uvjete:
 - Ne smiju biti veće od najvećih vrijednosti proračunatih s obzirom na “shear lag” – zaostajanje posmika
 - Shear lag – posmično prelaganje / širenje područja normalnih naprezanja prouzročeno posmikom.
 - Djelotvorna širina tlačne pojasnice, $b_{c,ef}$ ne smije biti veća od najveće vrijednosti proračunate s obzirom na izvijanje pojasnice.



LIJEPLJENE GREDE S TANKIM POJASNICAMA

- Djelotvorna širina pojasnice:
- Najveća djelotvorna širina pojasnice od materijala na osnovi drva, b_{ef} , s obzirom na “shear lag” i izvijanje ploče:

Pojasnice – ploče na osnovi drva	Zaostajanje posmika – shear lag	Izvijanje ploče
Križno uslojena furnirska ploča sa smjerom vlakana pokrovnog furnira		
• Paralelno s rebrom	0,10 l	20 h_f
• Okomito na rebro	0,10 l	25 h_f
OSB ploča	0,15 l	25 h_f
Ploča iverica ili ploča vlaknatica s nasumično usmjerenim vlakancima	0,20 l	30 h_f

l raspon sastavljene grede s tankim pojasnicama

- Za većinu sastavljenih greda je u praksi najčešći odnos $b_{ef} / l \leq 0,3$.

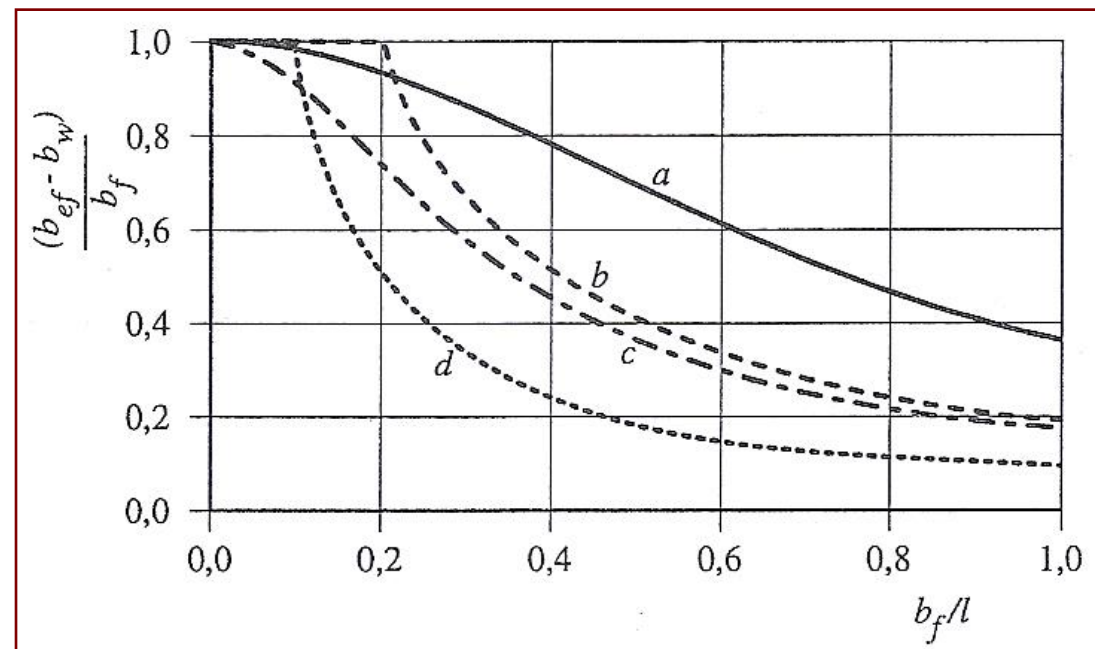


LIJEPLJENE GREDE S TANKIM POJASNICAMA

- Djelotvorna širina pojasnice:
- Usporedba ranije danog izraza za odnos djelotvorne širine pojasnice, b_{ef} i stvarne širine pojasnice, b_f (1) s djelotvornom širinom pojasnice određenom prema uvjetu za “shear lag” (EC5):

$$\frac{b_{ef}}{b_f} = \frac{\lambda_1 \tanh \alpha_1 - \lambda_2 \tanh \alpha_2}{\pi(\lambda_1^2 - \lambda_2^2)} \cdot \frac{2l}{b_f}$$

- ploče iverice (1)
- ploče iverice (EC5)
- furnirske ploče (1)
- furnirske ploče (EC5)





LIJEPLJENE GREDE S TANKIM POJASNICAMA

- Djelotvorna širina pojasnice:
- Tlačne pojasnice su izložene izvijanju.
- Detaljna analiza izvijanja se može provesti prema Halasz – Csiesielski postupku (1966.).
 - Ako se ne provodi detaljna analiza izvijanja, svjetlu širinu pojasnice (područje između hrptova), b_f , treba usvojiti tako da ne bude veća od dvostruke djelotvorne širine pojasnice b_{ef} , određene s obzirom na preventivu izvijanja ploče (Tablica).

$$b_f \leq 2b_{ef, buckling}$$

- Za pojasnice koje su čavlane ili su za hrptove spojene skobama, nosivost čavala na izvlačenje (“sidra”) je najčešće dostatna preventiva izvijanja ploče.



LIJEPLJENE GREDE S TANKIM POJASNICAMA

- Provjere nosivosti za grede s tankim pojasnicama:
- Za rebra od ploča na osnovi drva, za presjek 1-1 i za oblik I–presjeka:

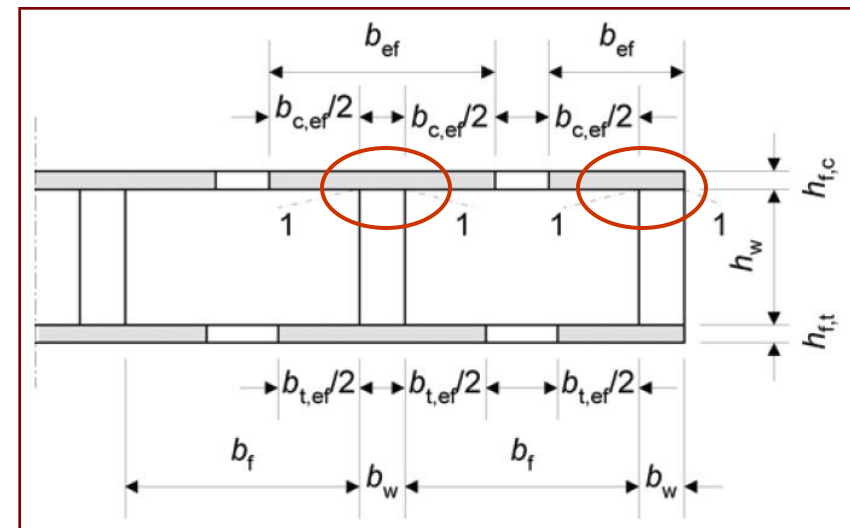
$$\tau_{\text{mean,d}} \leq \begin{cases} f_{v,90,d} & \text{za } h_f \leq 8b_{\text{ef}} \\ f_{v,90,d} \left(\frac{8b_{\text{ef}}}{h_f} \right)^{0,8} & \text{za } h_f > 8b_{\text{ef}} \end{cases}$$

$\tau_{\text{mean,d}}$

proračunsko posmično naprezanje u presjeku 1-1, s pretpostavkom jednolike raspodjele naprezanja

$f_{v,90,d}$

posmična čvrstoća okomito na ravninu pojasnice

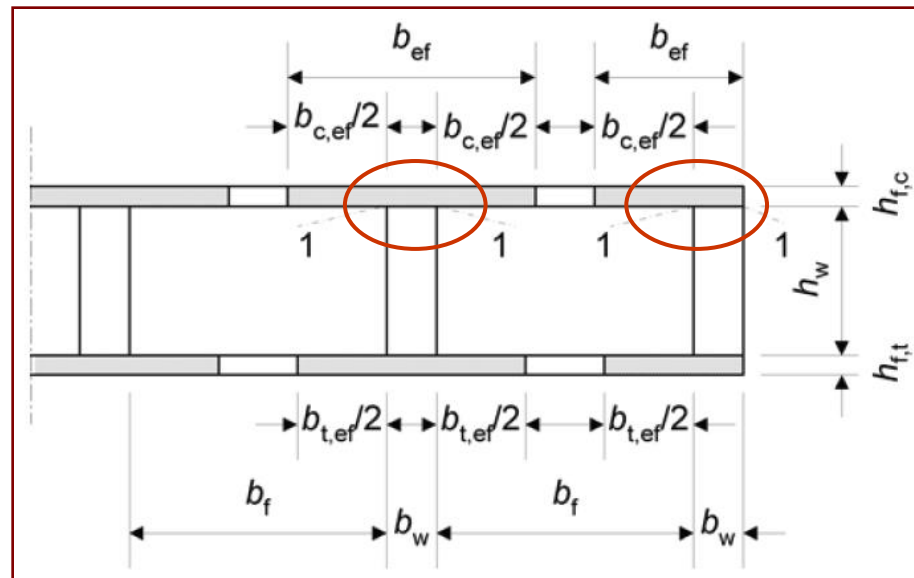




LIJEPLJENE GREDE S TANKIM POJASNICAMA

- Provjere nosivosti za grede s tankim pojasnicama:
- Za rebra od ploča na osnovi drva, za presjek 1-1 i za oblik C–presjeka:

$$\tau_{\text{mean,d}} \leq \begin{cases} f_{v,90,d} & \text{za } h_f \leq 4b_{\text{ef}} \\ f_{v,90,d} \left(\frac{8b_{\text{ef}}}{h_f} \right)^{0,8} & \text{za } h_f > 4b_{\text{ef}} \end{cases}$$





LIJEPLJENE GREDE S TANKIM POJASNICAMA

- Provjere nosivosti za grede s tankim pojasnicama:
- Za osno naprezane pojasnice (naprezanje u srednjoj ravnini pojasnice):

$$\sigma_{f,c,d} \leq f_{f,c,d}$$

$$\sigma_{f,t,d} \leq f_{f,t,d}$$

$\sigma_{f,c,d}$ i $\sigma_{f,t,d}$ proračunska tlačno i vlačno naprezanje u težištu pojasnica

$f_{w,c,d}$ i $f_{w,t,d}$ proračunske tlačne i vlačne čvrstoće pojasnice



LIJEPLJENE GREDE S TANKIM POJASNICAMA

- Provjere nosivosti za grede s tankim pojasnicama:
- Za osno naprezane hrptove – provjera je ista kao za sastavljene grede s tankim hrptom:

$$\sigma_{w,c,d} \leq f_{w,c,d}$$

$$\sigma_{w,t,d} \leq f_{w,t,d}$$

$\sigma_{w,c,d}$ i $\sigma_{w,t,d}$ proračunska tlačno i vlačno naprezanje u hrptu

$f_{w,c,d}$ i $f_{w,t,d}$ proračunske tlačne i vlačne čvrstoće hrpta

- Kad proračunska vrijednost savojne čvrstoće u ravnini hrpta nije poznata, može se usvojiti da joj je vrijednost jednaka proračunskoj vlačnoj ili tlačnoj čvrstoći.



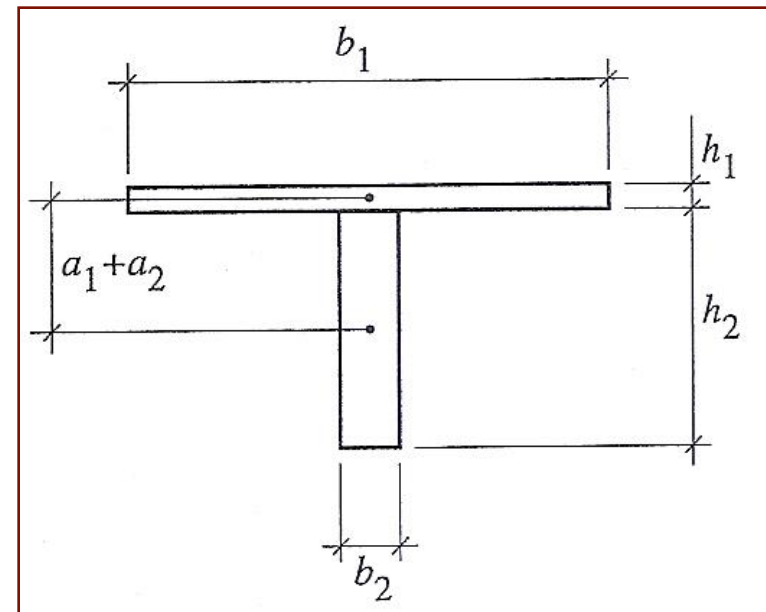
LIJEPLJENE GREDE S TANKIM POJASNICAMA

- Proračunska naprezanja u lijepljenim gredama s tankim pojasnicama:
- Pretpostavka proračuna:
 - Kruti spojevi pojasnica i hrpta.
- Ekscentriciteti površina hrpta (2) i pojasnice (1) u odnosu na težište lijepljenog I-presjeka:

$$a_1 = \frac{E_2 A_2 (h_1 + h_2)}{2(E_1 A_1 + E_2 A_2)}$$

$$a_2 = \frac{h_1 + h_2}{2} - a_1$$

Poprečni presjek lijepljene I - grede s tankim pojasnicama





LIJEPLJENE GREDE S TANKIM POJASNICAMA

- Proračunska naprezanja u lijepljenim gredama s tankim pojasnicama:
- Djelotvorna savojna krutost:

$$(EI)_{ef} = \sum_{i=1}^2 (E_i I_i + E_i A_i a_i^2)$$

- Osnovno naprezanje u težištu tlačne pojasnice:

$$\sigma_{1,c} = \frac{M}{(EI)_{ef}} E_1 a_1$$

- Najveće naprezanje u rubnom vlakancu tlačne pojasnice:

$$\sigma_{1,c,max} = \frac{M}{(EI)_{ef}} E_1 \left(a_1 + \frac{h_{1,c}}{2} \right)$$



LIJEPLJENE GREDE S TANKIM POJASNICAMA

- Proračunska naprezanja u lijepljenim gredama s tankim pojasnicama:
- Vlačno naprezanje u težištu hrpta:

$$\sigma_{2,t} = \frac{M}{(EI)_{ef}} E_2 a_2$$

- Naprezanje savijanja na donjem rubu hrpta:

$$\sigma_{2,m} = \frac{M}{(EI)_{ef}} E_2 \left(a_2 + \frac{h_{2,t}}{2} \right)$$

- Posmično naprezanje na spoju hrpta i pojasnice:

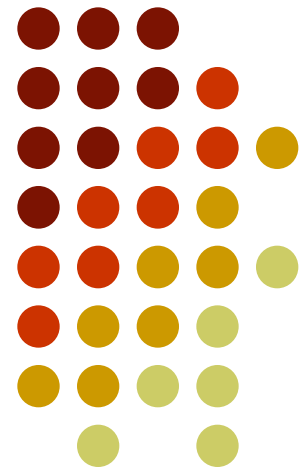
$$\tau_{\max} = V \frac{E_1 A_1 a_1}{(EI)_{ef} b_2}$$

MEHANIČKIM SPAJALIMA SASTAVLJENI ELEMENTI

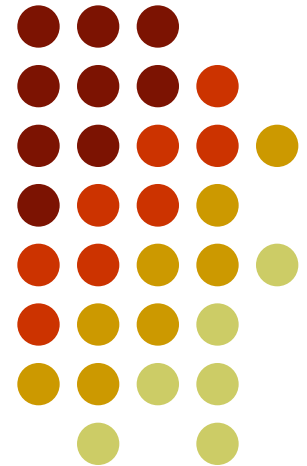
Tipske grupe sastavljenih elemenata i
naprezanja

Grede sastavljene mehaničkim spajalima –
podatljivo sastavljene grede

Podatljivo sastavljeni tlačni stupovi



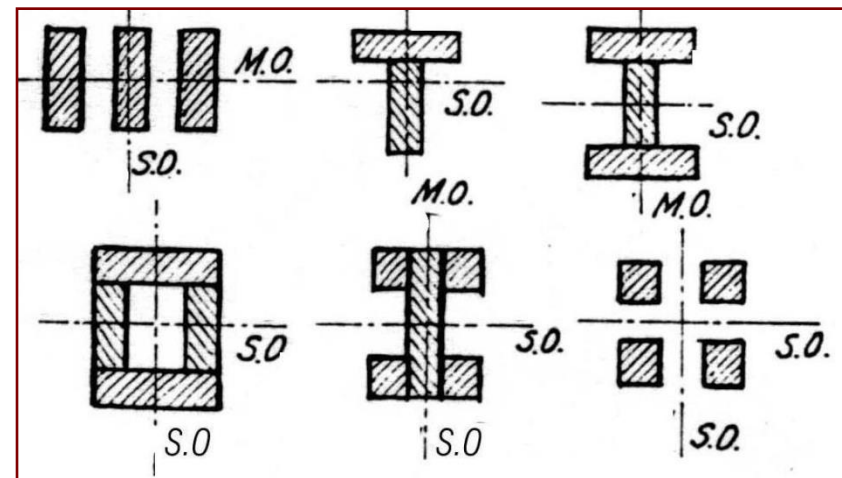
Tipske grupe sastavljenih elemenata i naprezanja





TIPSKE GRUPE SASTAVLJENIH ELEMENATA I NAPREZANJA

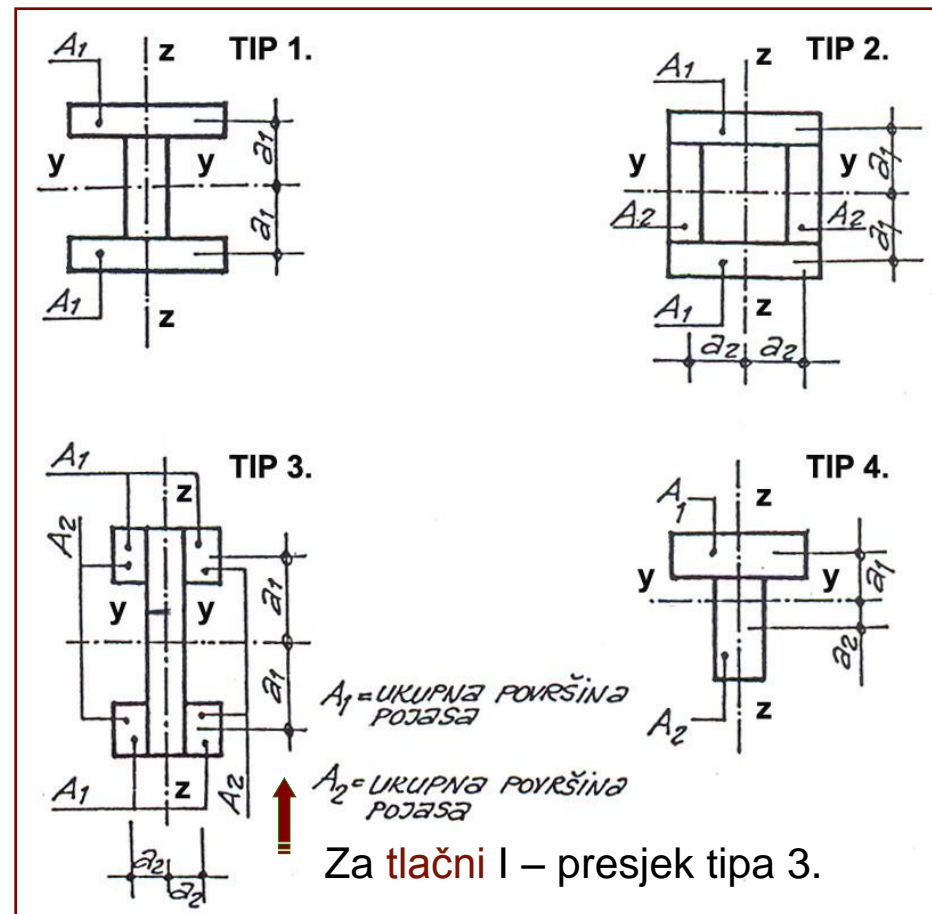
- Sastavljeni elementi s kontinuiranim dijelovima
 - Savijani i tlačno napregnuti elementi (osno tlačno naprezanje)
 - Grede
 - Stupovi I-presjeka i sandučastog presjeka
- Razmaknuto sastavljeni elementi
 - Tlačno napregnuti elementi
 - Stupovi
- Rešetkasto sastavljeni elementi
 - Tlačno napregnuti elementi
 - Stupovi





TIPSKE GRUPE SASTAVLJENIH ELEMENATA I NAPREZANJA

- Sastavljeni elementi s kontinuiranim dijelovima:
 - Savijani i tlačno napregnuti elementi.
 - Svi sastavni dijelovi su kontinuirani duž osi elementa i međusobno su povezani:
 - Podatljivo – mehaničkim spajalima.
 - Kruto – ljepilom.



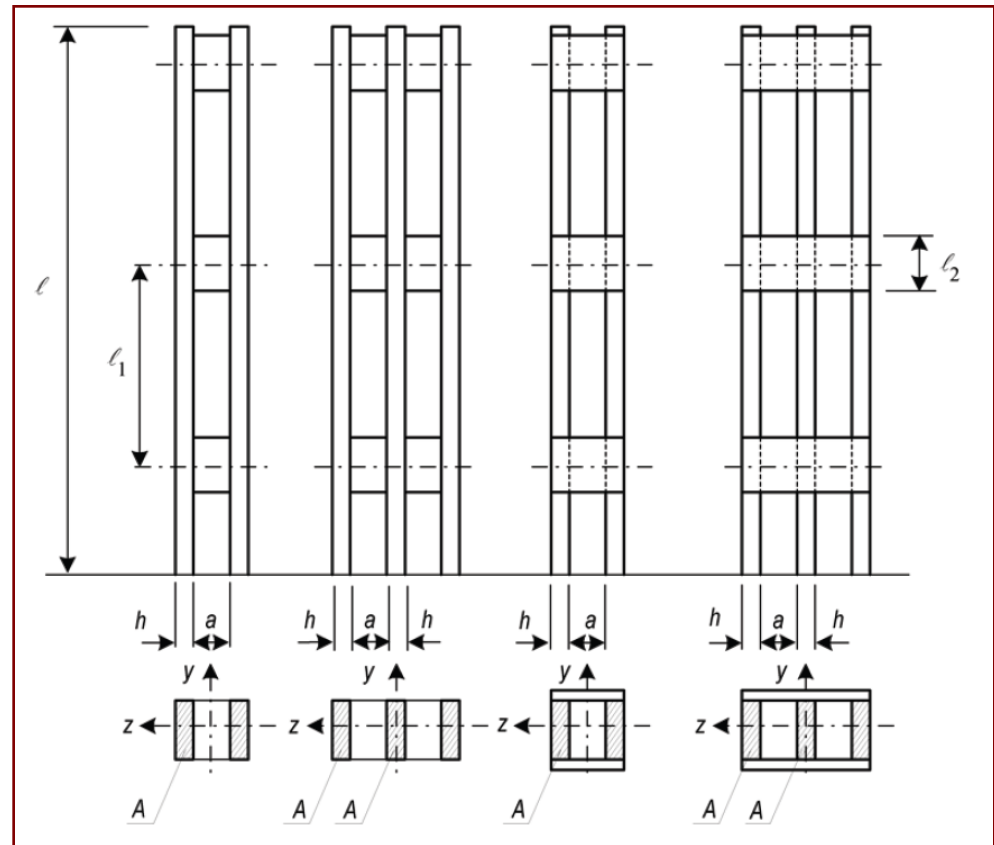


TIPSKE GRUPE SASTAVLJENIH ELEMENTATA I NAPREZANJA

- Razmaknuto sastavljeni elementi:

- Tlačno napregnuti elementi.

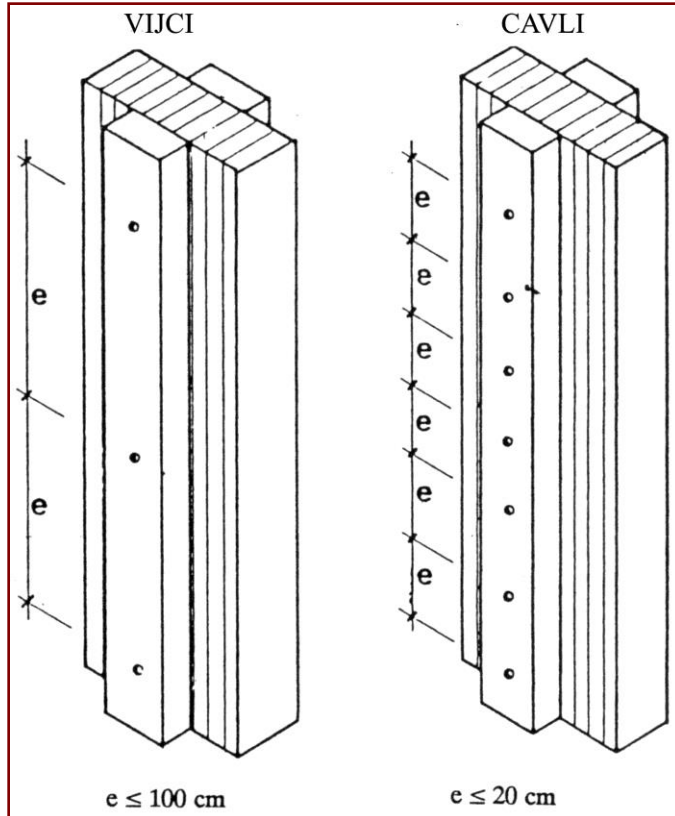
- Samo su glavni dijelovi kontinuirani duž osi elementa, nalaze se na malom razmaku, a međusobno su povezani kladicama ili vezicama (lokalna bočna ukrućenja razmaknutih glavnih dijelova).



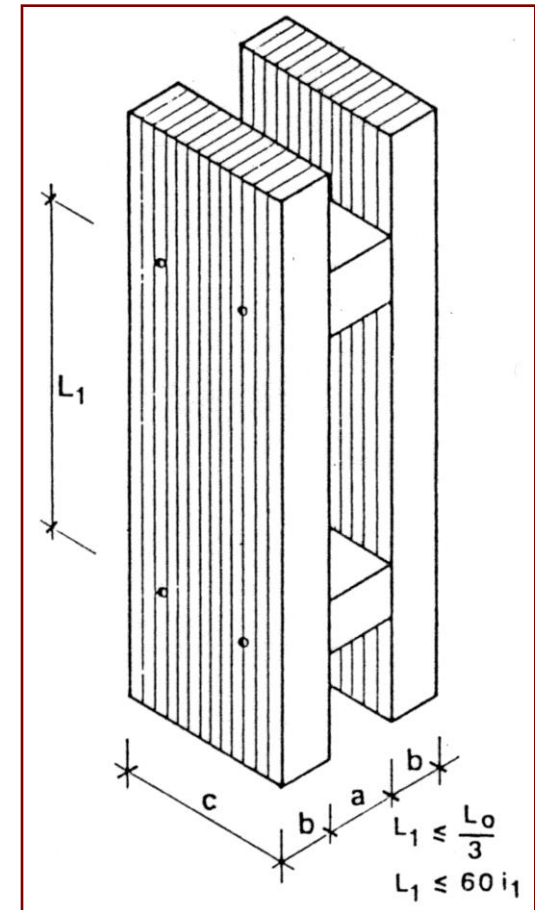


TIPSKE GRUPE SASTAVLJENIH ELEMENTATA I NAPREZANJA

Primjer sastavljenog elementa s kontinuiranim dijelovima



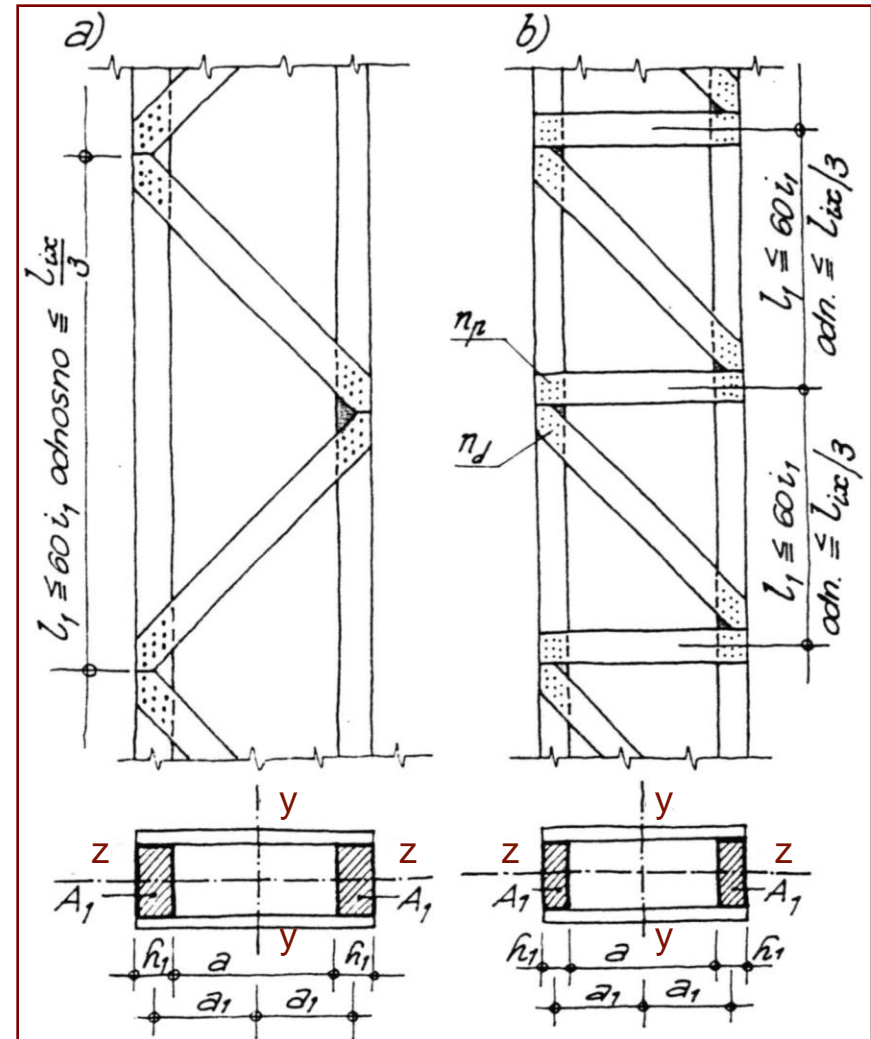
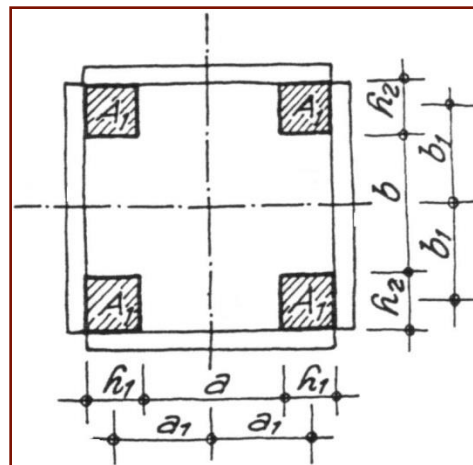
Primjer
razmaknuto
sastavljenog
elementa





PODATLJIVO SASTAVLJENI ELEMENTI

- Rešetkasto sastavljeni elementi:
 - Tlačno napregnuti elementi
 - Samo su glavni dijelovi kontinuirani duž osi sastavljenog elementa, nalaze se na velikom razmaku, a međusobno su povezani čavlanom ili lijepljenom N ili V ispunom.

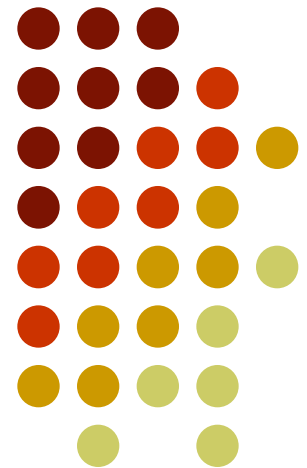




PODATLJIVO SASTAVLJENI ELEMENTI

- **Načela proračuna:**
- Poprečni presjek elementa je sastavljen iz dva ili više pojedinačnih elemenata pravokutnog poprečnog presjeka.
- Početna zakrivljenost sastavljenog elementa, ekscentričnost (pri djelovanju vanjskih sila), anizotropija i greške drva, tehnološki nedostaci i nedostaci izvedbe, uzrokuju nejednaku opterećenost elemenata složenog poprečnog presjeka.
- Posljedice toga su popustljivost u međusobnim vezama dijelova sastavljenog elementa (klizanje – pomak) i sila u spajalima, te naprezanja (posmične sile) u spojnim ravninama (reškama) po duljini sastavljenog elementa s izrazito neravnomjernim prijenosom na konstitutivne dijelove sastavljenog elementa kao cjeline.
- Ovisno o tipu i geometrijskom obliku sastavljenog elementa, popustljivost je izražena za obje osi tromosti ili samo jednu od njih.

Mehaničkim spajalima sastavljene grede





MEHANIČKIM SPAJALIMA SASTAVLJENE GREDE

- **Pretpostavke proračuna podatljivo sastavljenih greda:**
- Dijelovi sastavljenog elementa su kontinuirani uzduž osi i spojeni mehaničkim spajalima (podatljiva veza).
- U proračunu podatljivo sastavljenog elementa se ne smije zanemariti utjecaj klizanja u spoju koje je posljedica popustljivosti spajala.
- Vrijedi pretpostavka linearnog odnosa sile i pomaka elemenata prouzročenog klizanjem.
- Djelotvorni proračunski razmak spajala – za razmake spajala koji se po duljini sastavljenog elementa mijenjaju od s_{\min} do s_{\max} , sukladno veličini poprečne sile:

$$s_{\text{ef}} = 0,75 s_{\min} + 0,25 s_{\max}$$

$$s_{\max} \leq 4 s_{\min}$$



MEHANIČKIM SPAJALIMA SASTAVLJENE GREDE

- Pretpostavke proračuna podatljivo sastavljenih greda:
- Proračun je zasnovan na linearnoj teoriji elastičnosti i sljedećim pretpostavkama:
 - Grede su slobodno oslonjene na rasponu l .
 - Za kontinuirane grede – $l = 0,8$ duljine polja (*max. cijela duljina polja).
 - Za konzolne grede – $l =$ dvostruki raspon konzole.
 - Dijelovi sastavljene grede (od drva ili od ploča na osnovi drva) su kontinuirani na rasponu l ili nastavljani lijepljenjem.
 - Dijelovi sastavljene grede su međusobno spojeni spajalima s modulom klizanja K .



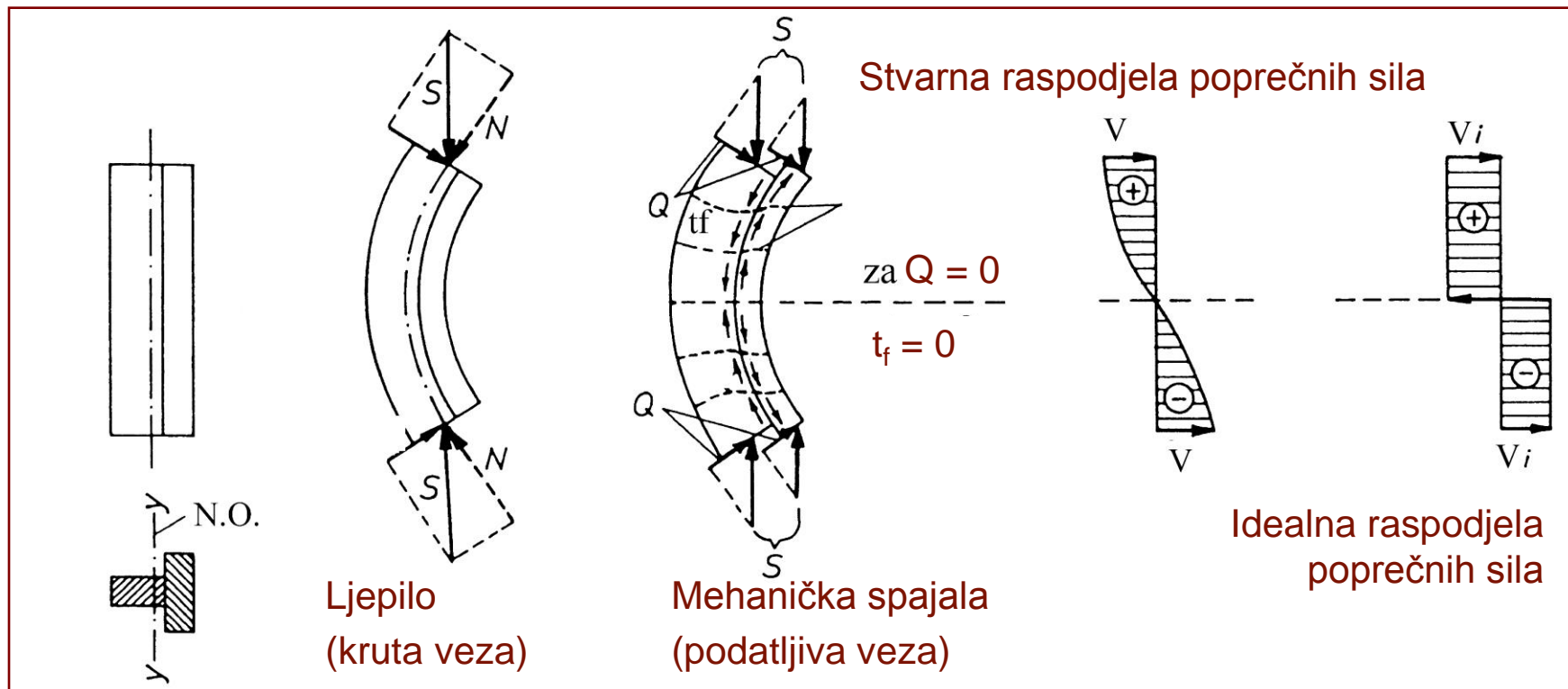
MEHANIČKIM SPAJALIMA SASTAVLJENE GREDE

- **Pretpostavke proračuna podatljivo sastavljenih greda:**
- Razmak spajala s je konstantan ili se jednoliko mijenja, sukladno veličini posmične sile, od s_{\min} do s_{\max} , tako da je $s_{\max} \leq 4s_{\min}$.
- Opterećenje koje djeluje u smjeru z-osi presjeka će prouzročiti moment savijanja $M = M(x)$ koji se mijenja po paraboli ili sinusoidi, kao i poprečnu silu, $V = V(x)$.
- Kad se pojas sastoji od dva dijela spojena na hrbat (petodijelni I – presjek) ili se hrbat sastoji od dva dijela (sandučasti presjek), razmak s_i treba odrediti u odnosu na sumu spajala po jedinici duljine u obje spojne ravnine.
- Progib sastavljene grede treba proračunati za djelotvornu savojnu krutost (EI_{ef}),



MEHANIČKIM SPAJALIMA SASTAVLJENE GREDE

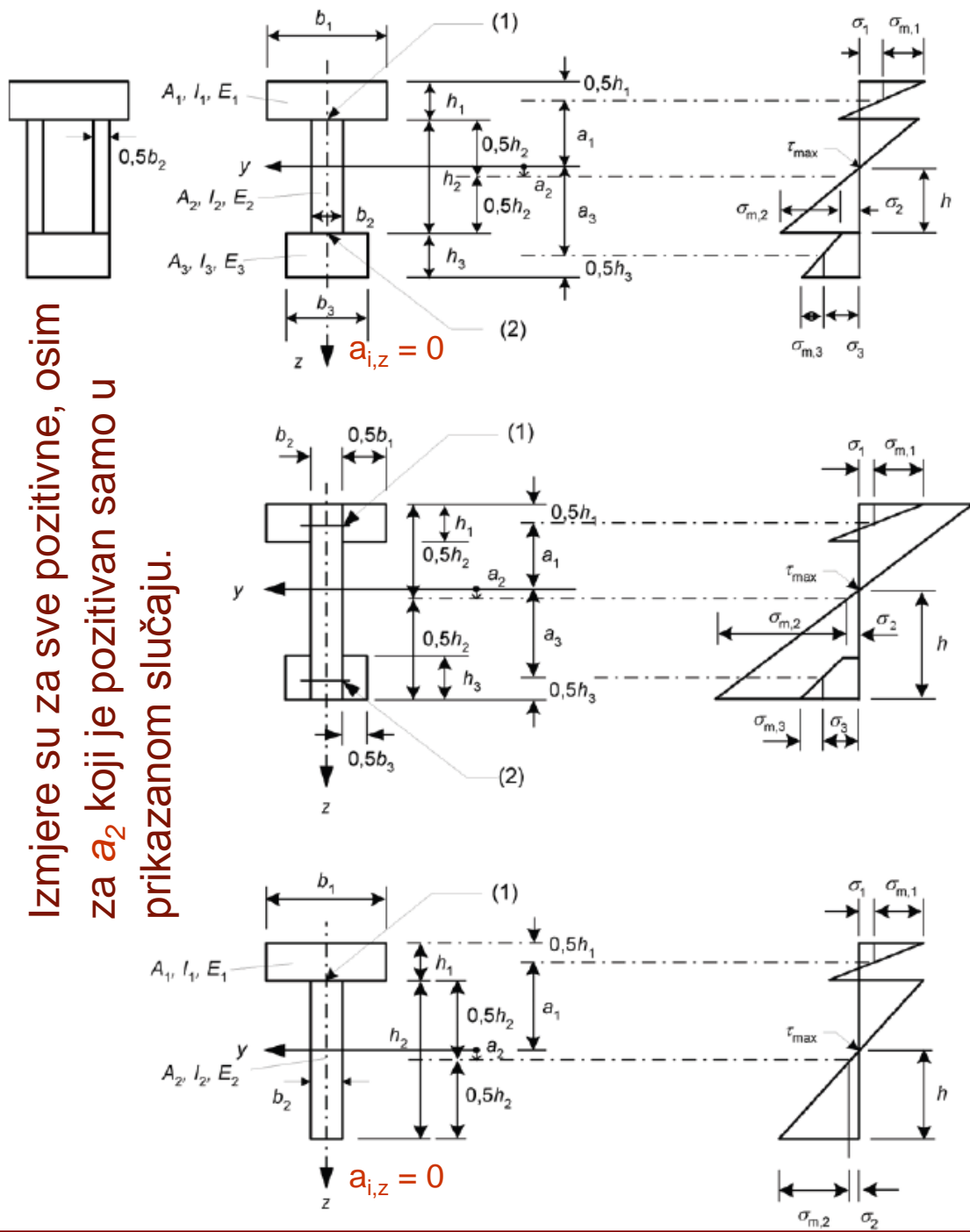
- Pretpostavke proračuna podatljivo sastavljenih greda:
- Posmične sile t_f u spojnoj ravnini su izazvane savijanjem / izvijanjem pri čemu poprečnu silu $Q \cong V$ preuzimaju spajala.



MEHANIČKIM SPAJALIMA SASTAVLJENE GREDE

- Poprečni presjeci i raspodjele naprezanja savijanja

Izmjere su za sve pozitivne, osim za a_2 koji je pozitivan samo u prikazanom slučaju.



Razmak: s_1

Modul klizanja: K_1

Opterećenje: F_1

Razmak s_2

Modul klizanja: K_2

Opterećenje: F_2





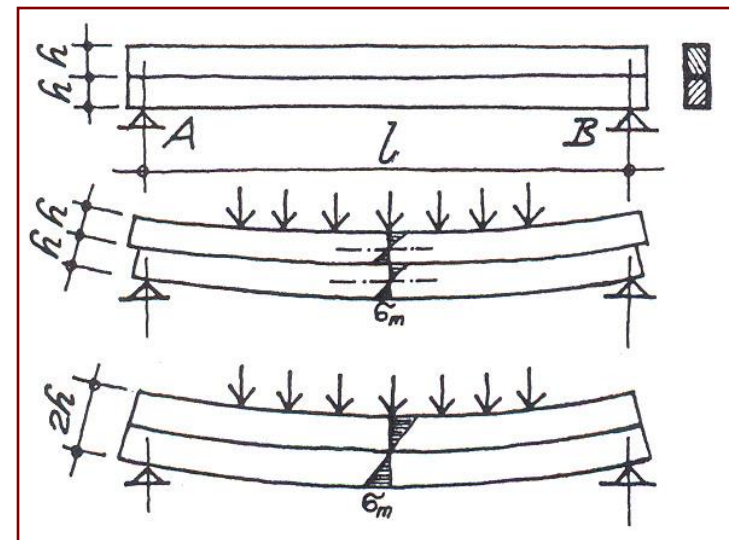
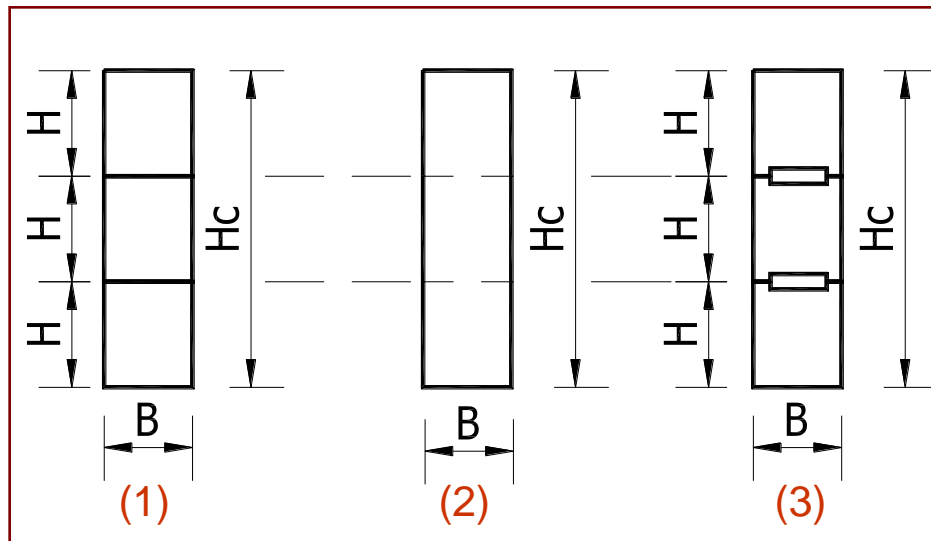
MEHANIČKIM SPAJALIMA SASTAVLJENE GREDE

- **Metoda proračuna – polazišta:**
- Opterećenje djeluje u smjeru osi z-z (slabija os) i savija sastavljeni presjek oko jače osi, y-y.
 - Podatljivost sastavljene grede je izražena u smjeru slobodne osi.
 - Deformiranje grede – u smjeru slabije osi presjeka.
 - Podatljivost veze (spajala) sastavnih dijelova presjeka zbog neravnomjernom prijenosa sila utječe na statičke veličine sastavljenog presjeka grede.
 - Djelotvorne statičke veličine i savojna krutost podatljivo sastavljene grede za os u pravcu koje je izražena podatljivost zbog toga su manje od onih koje bi se proračunale za krutu – lijepljenu vezu dijelova sastavljenih presjeka.
 - Nema podatljivosti u smjeru materijalne osi presjeka.



MEHANIČKIM SPAJALIMA SASTAVLJENE GREDE

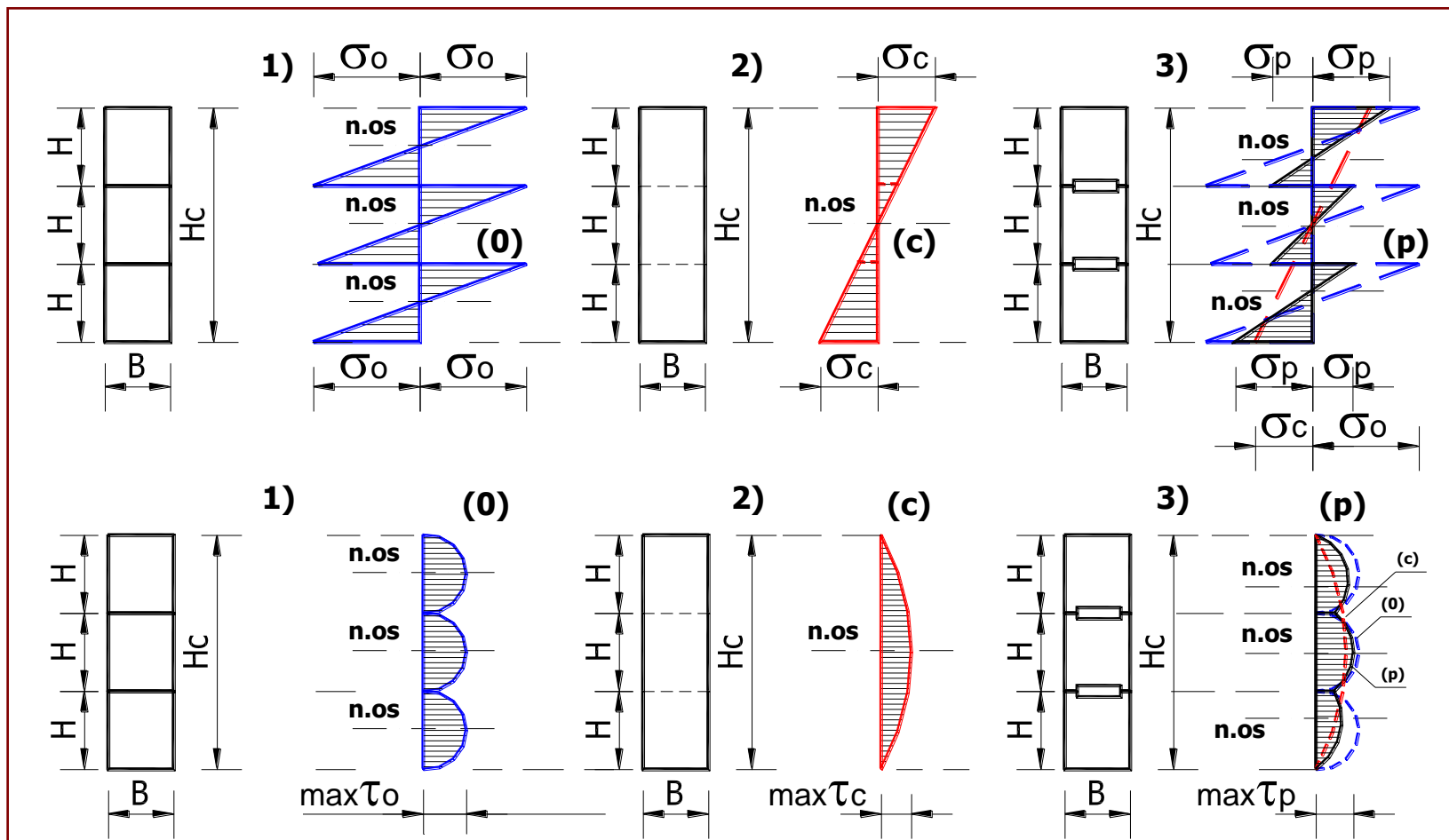
- Metoda proračuna – polazišta:
- Usporedni primjeri ponašanja savijanih greda s:
 - Nespojenim sastavnim dijelovima (1)
 - Homogenog presjeka / Kruto spojenim – lijepljenim sastavnim dijelovima (2)
 - Podatljivo spojenim dijelovima (3)





MEHANIČKIM SPAJALIMA SASTAVLJENE GREDE

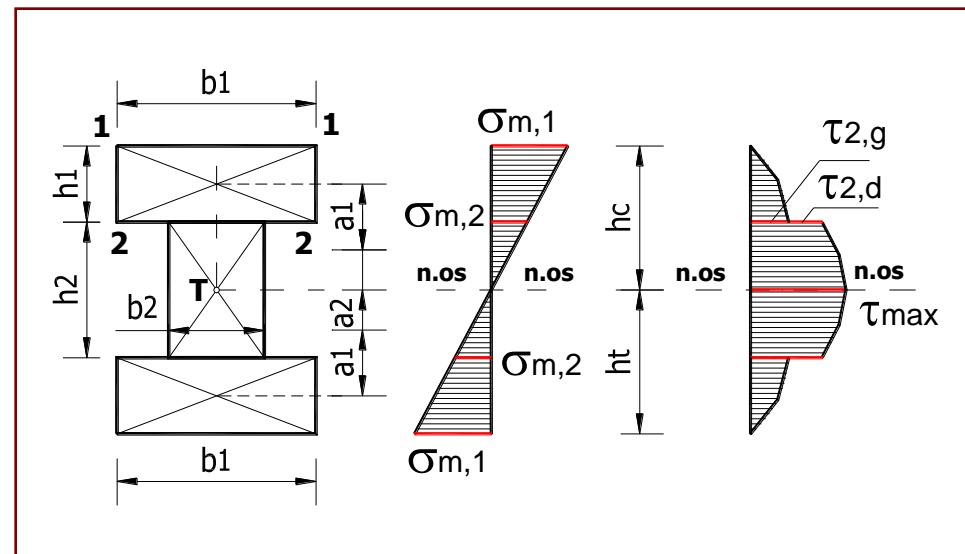
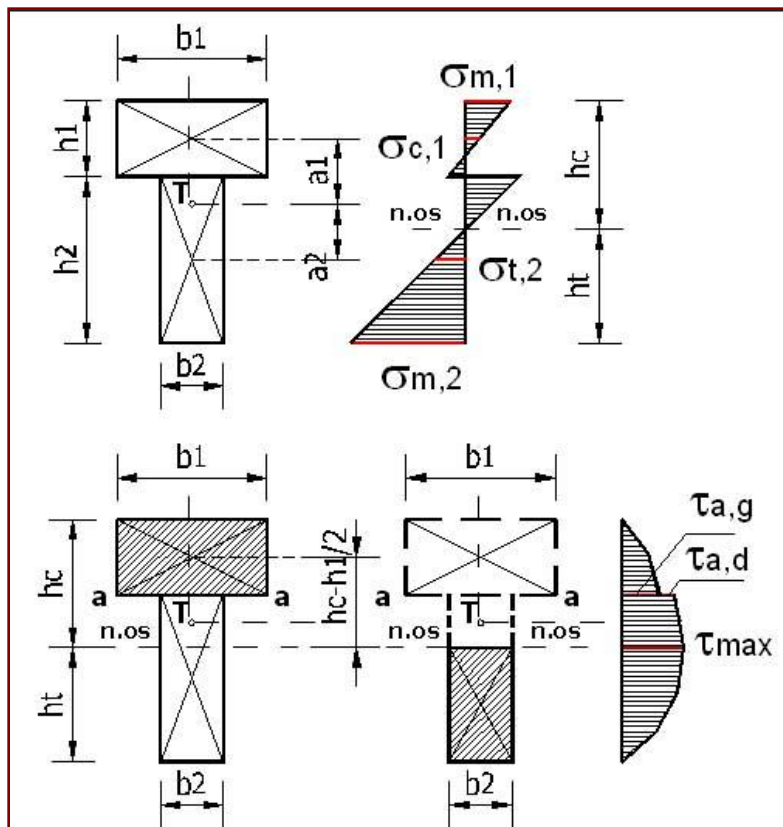
- Metoda proračuna – polazišta:
- Usporedne raspodjele naprezanja savijanih greda:





MEHANIČKIM SPAJALIMA SASTAVLJENE GREDE

- Metoda proračuna – polazišta:
- Usporedne raspodjele naprezanja savijanih greda:



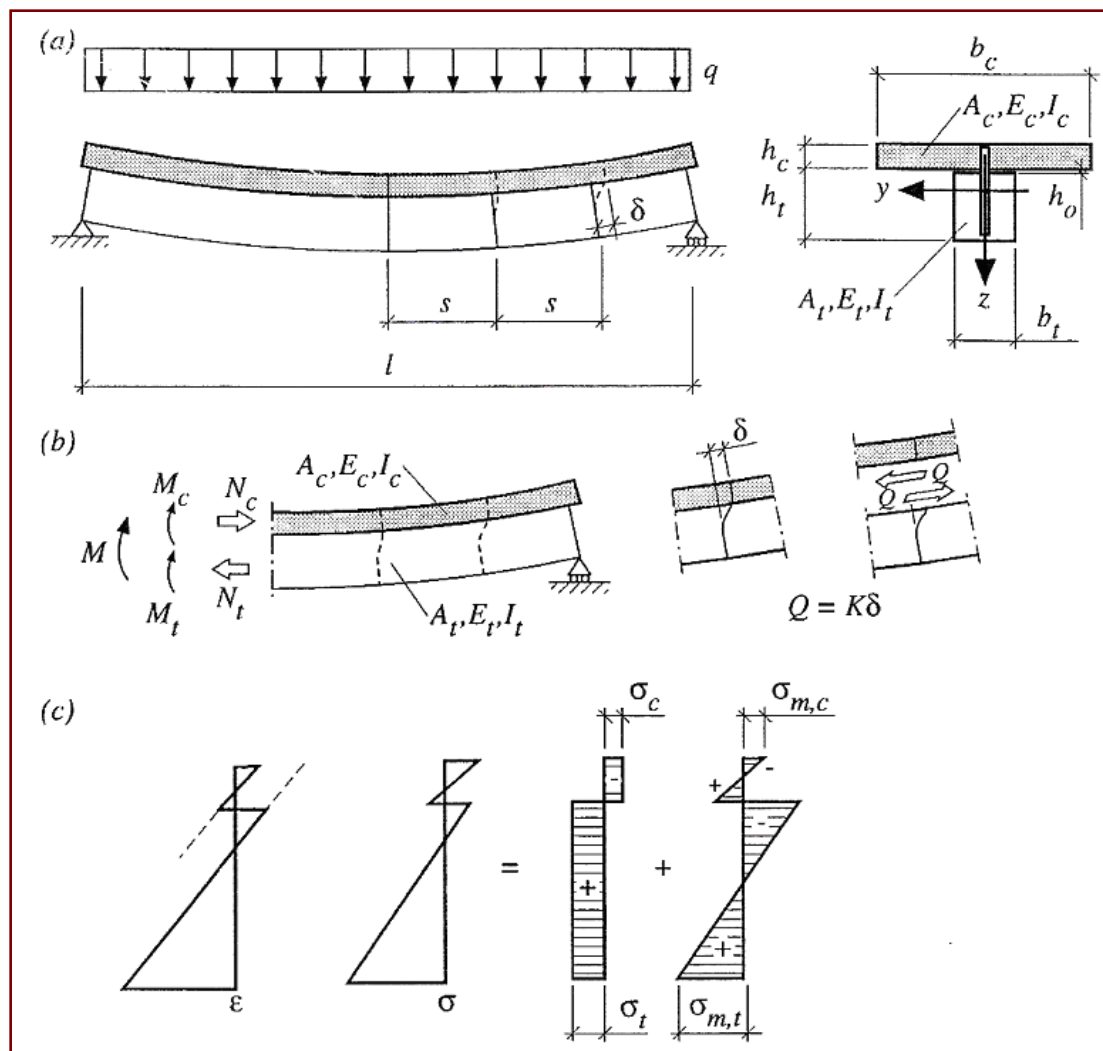
Kruto spojena sastavljena greda

Podatljivo spojena sastavljena greda



MEHANIČKIM SPAJALIMA SASTAVLJENE GREDE

- Metoda proračuna:
- Primjenjiva i na spregnute grede drvo – beton.
- Mehanizam ponašanja spregnutih greda.

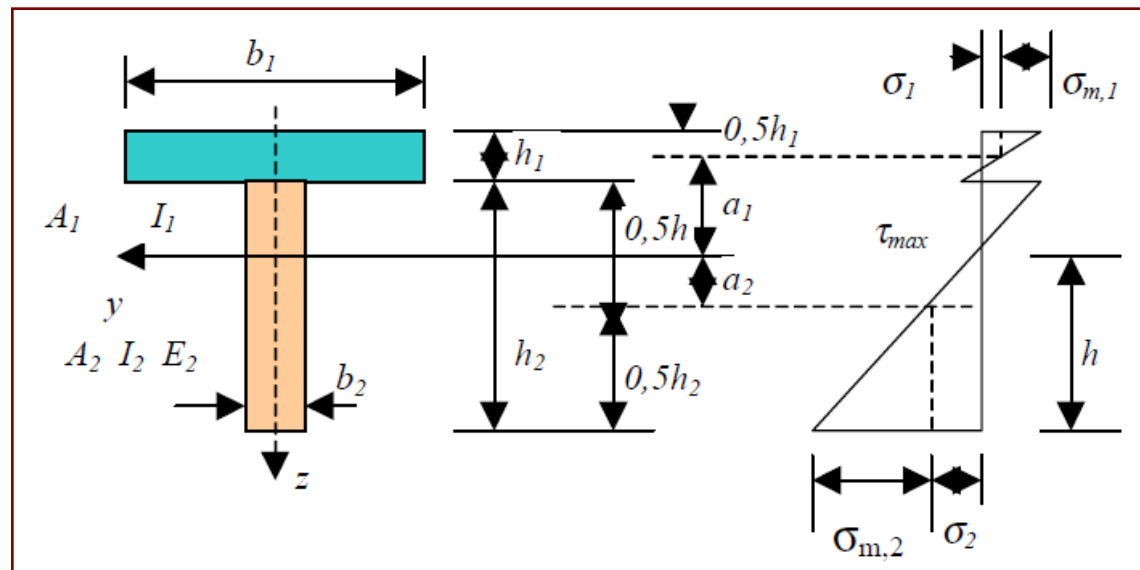
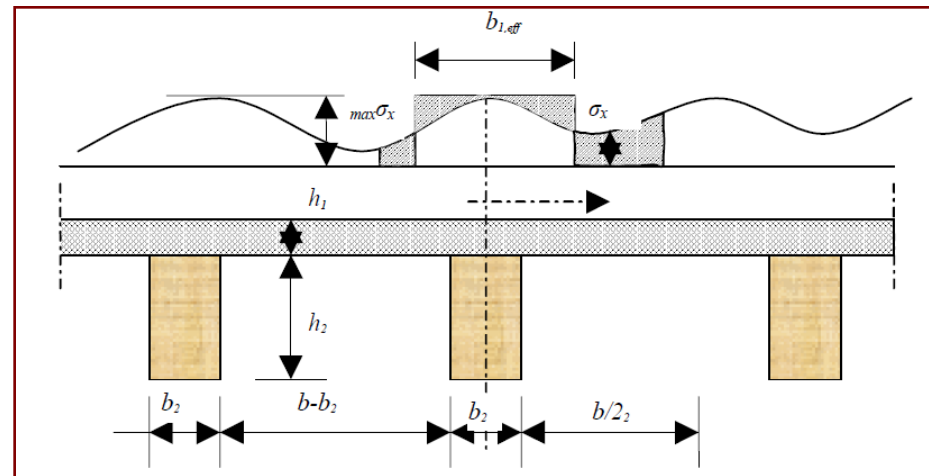




MEHANIČKIM SPAJALIMA SASTAVLJENE GREDE

- Metoda proračuna:
- Primjenjiva i na spregnute grede drvo – beton.
- Djelotvorna širina betonske ploče:

$$b_{\text{ef},c} = b_{\text{ef},1} = b_2 + 0,2 \cdot l_0 \leq b_1$$





MEHANIČKIM SPAJALIMA SASTAVLJENE GREDE

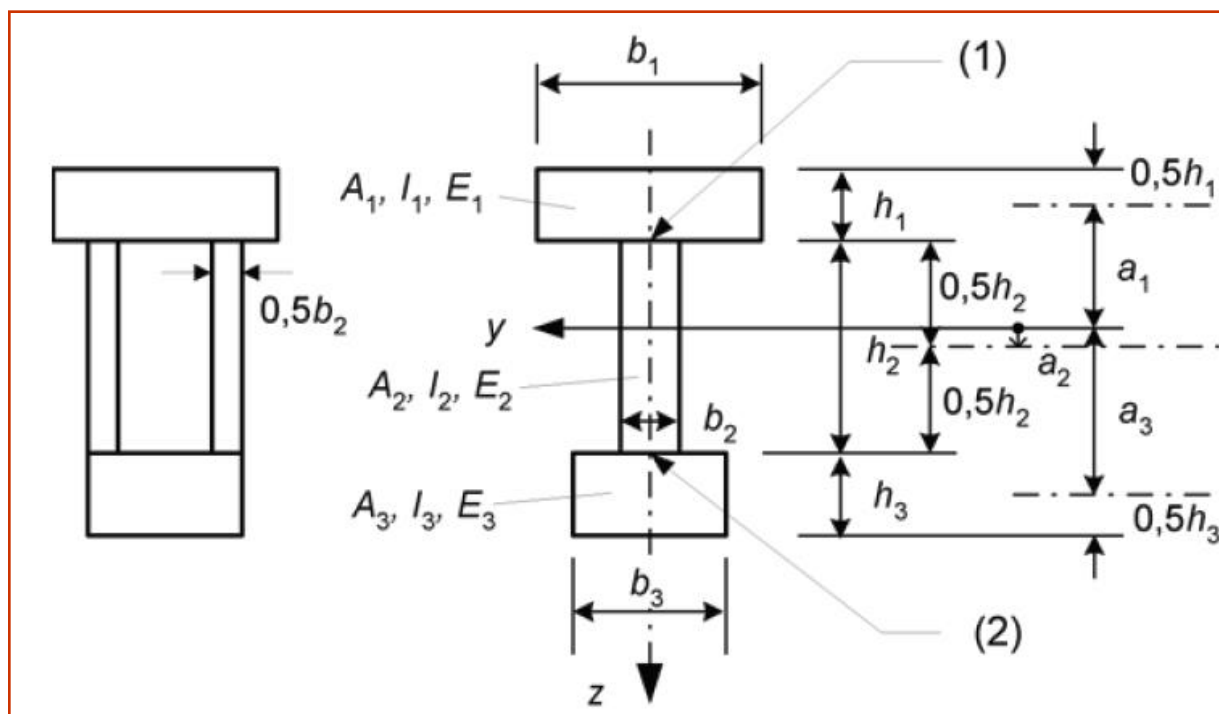
- Metoda proračuna:
- Djelotvorna savojna krutost podatljivo sastavljene grede:

$$(EI)_{ef} = \sum_{i=1}^3 \left(E_i I_i + \gamma_i E_i A_i a_i^2 \right)$$

$E = E_{0,mean,i}$ srednji modul elastičnosti

$$A_i = b_i h_i$$

$$I_i = \frac{b_i h_i^3}{12}$$





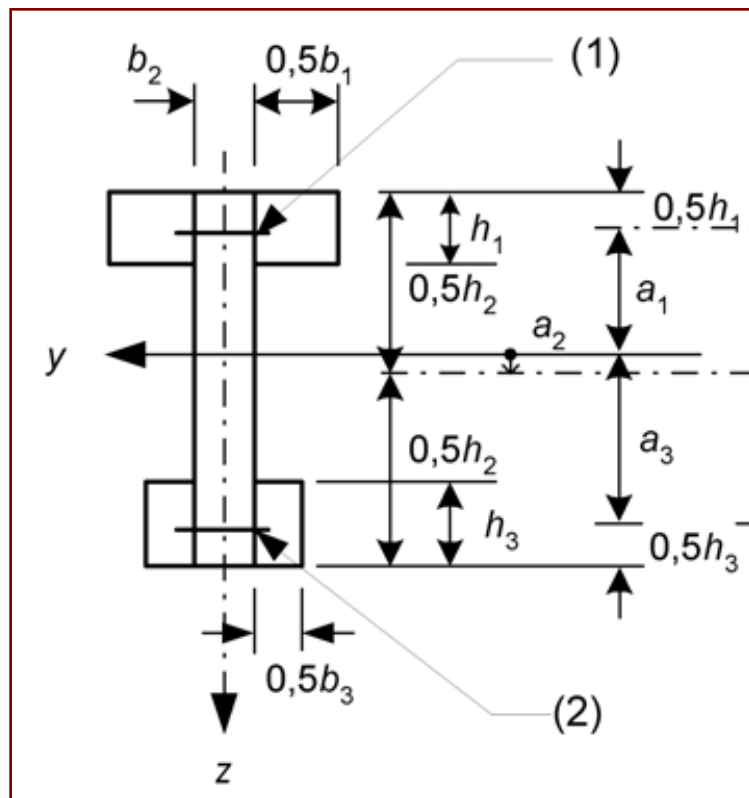
MEHANIČKIM SPAJALIMA SASTAVLJENE GREDE

- Metoda proračuna:
- Učinak klizanja na djelotvornu savojnu krutost podatljivo sastavljene grede:
 - Za položaj neutralne osi u hrptu, $i = 2$:

$$\gamma_2 = 1$$

- Koeficijent klizanja za pojasnice: $i = 1$ i $i = 3$

$$\gamma_i = \frac{1}{1 + \frac{\pi^2 E_i A_i s_i}{K_i I^2}}$$





MEHANIČKIM SPAJALIMA SASTAVLJENE GREDE

- Metoda proračuna:
- Učinak klizanja na djelotvornu savojnu krutost podatljivo sastavljene grede:
 - Za položaj neutralne osi u hrptu, $i = 2$:

$$a_2 = \frac{\gamma_1 E_1 A_1 (h_1 + h_2) - \gamma_3 E_3 A_3 (h_2 + h_3)}{2 \sum_{i=1}^3 \gamma_i E_i A_i}$$



MEHANIČKIM SPAJALIMA SASTAVLJENE GREDE

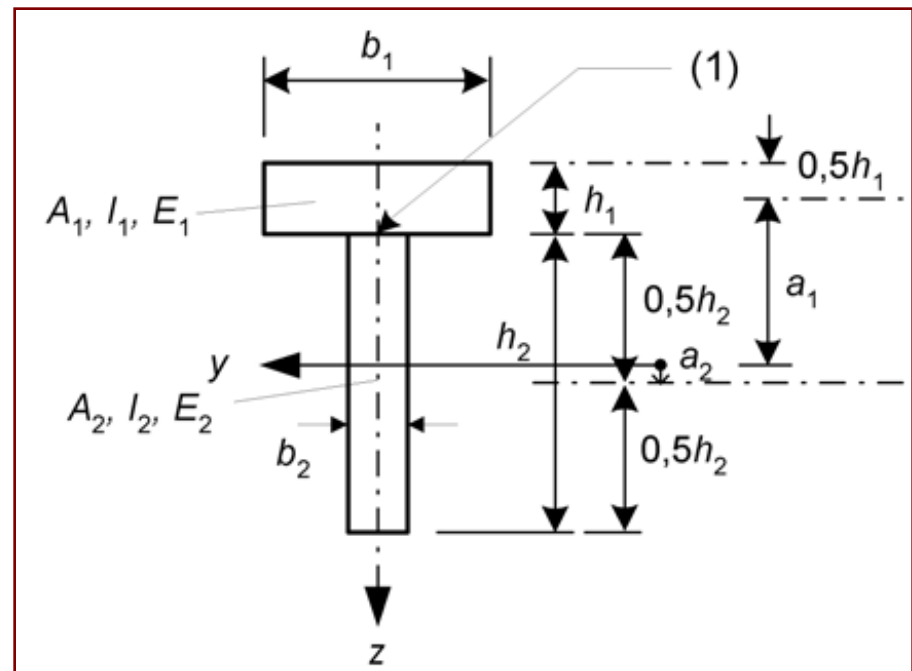
- Metoda proračuna:
- Učinak klizanja na djelotvornu savojnu krutost podatljivo sastavljene grede:
 - Za T – presjek i položaj neutralne osi u hrptu: $h_3 = 0$

$$\gamma_2 = 1$$

$$a_2 = \frac{\gamma_1 \cdot E_1 \cdot A_1 (h_1 + h_2)}{2 \sum_{i=1}^2 \gamma_i \cdot E_i \cdot A_i}$$

$$a_2 = \frac{\gamma_1 \cdot E_1 \cdot A_1 (h_1 + h_2)}{2 \cdot (\gamma_1 \cdot E_1 \cdot A_1 + E_2 \cdot A_2)}$$

$$a_1 = \frac{(h_1 + h_2)}{2} - a_2$$





MEHANIČKIM SPAJALIMA SASTAVLJENE GREDE

- Metoda proračuna:
- Učinak klizanja na djelotvornu savojnu krutost podatljivo sastavljene grede:

- Oznake i simboli:

$K_i = K_{ser,i}$ modul klizanja za proračun graničnog stanja uporabljivosti, u N/mm

$K_i = K_{u,i}$ modul klizanja za proračun graničnog stanja nosivosti, u N/mm

$$K_{u,i} = \frac{2}{3} K_{ser,i}$$

- l_i duljina izvijanja pri podatljivom savijanju presjeka
- s_i proračunski razmak spajala (svedeno na jedan red).



MEHANIČKIM SPAJALIMA SASTAVLJENE GREDE

- Metoda proračuna:
- Učinak klizanja na djelotvornu savojnu krutost podatljivo sastavljene grede:
 - Vrijednosti modula klizanja za granično stanje uporabljivosti, K_{ser} :

Vrsta štapastog spajala	Veza: drvo – drvo Veza: ploča na osnovi drva – drvo Veza: metalni dijelovi – drvo
Trnovi Vijci za drvo Čavli s predbušanjem rupa	$\rho_k^{1,5} \cdot d / 20$
Čavli bez predbušanja rupa (zabijani)	$\rho_k^{1,5} \cdot d^{0,8} / 25$
Skobe	ENV $\rho_k^{1,5} \cdot d^{0,8} / 60$

Usvojiti u sljedećim
jedinicama: d u mm,
 ρ_k u kg/m³



MEHANIČKIM SPAJALIMA SASTAVLJENE GREDE

- Metoda proračuna:

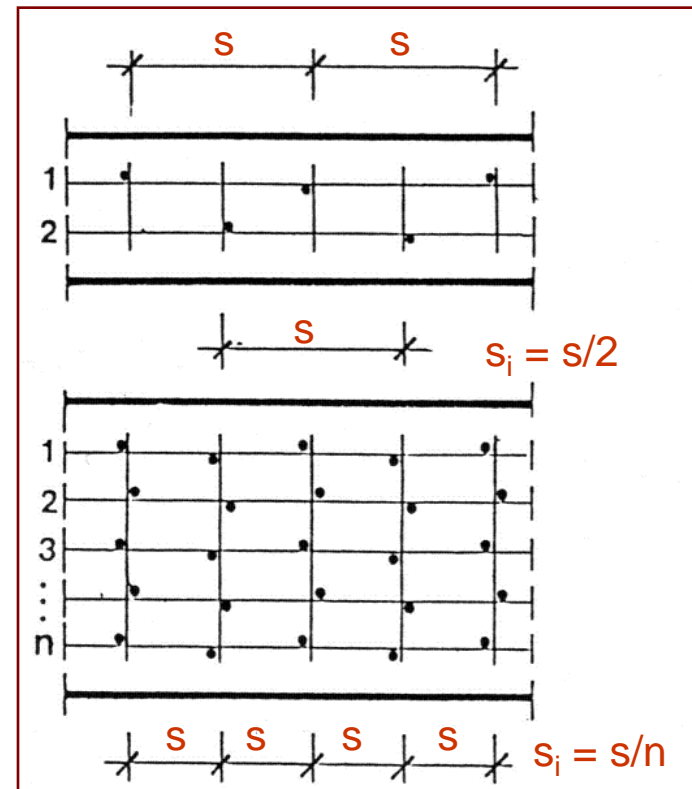
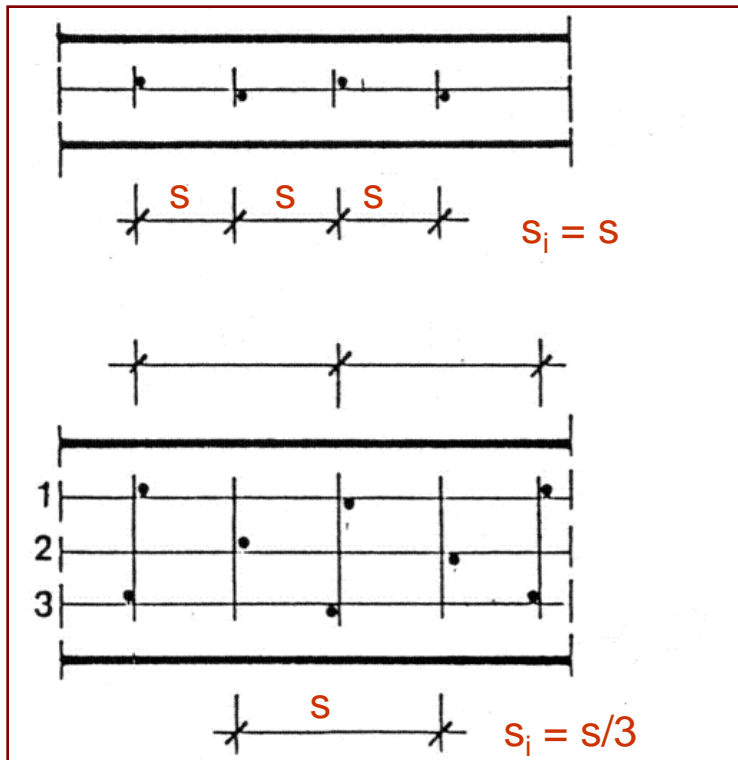
Vrsta spajala	K_{ser}
Trnovi	
Vijci (tijesno ugrađeni ili ne) *)	<div style="border: 1px solid red; padding: 5px; display: inline-block; color: red; font-weight: bold;">EN</div> $(\rho_m)^{1,5} \cdot d / 23$
Vijci za drvo	
Čavli (ugrađeni zabijanjem u prethodno bušene rupe u osnovnom materijalu)	
Čavli (ugrađeni zabijanjem bez prethodnog bušenja rupa u materijalu)	$(\rho_m)^{1,5} \cdot d^{0,8} / 30$
Skobe	$(\rho_m)^{1,5} \cdot d^{0,8} / 80$
Prstenasti moždanici tipa A (prema EN 912)	$\rho_m \cdot d_c / 2$
Pločasti moždanici tipa B (prema EN 912)	
Nazubljeni pločasti moždanici	$1,5 \rho_m \cdot d_c / 4$ $\rho_m \cdot d_c / 2$
- Moždanici tipova od C1 do C9 (prema EN 912)	
- Moždanici tipova od C10 do C11 (prema EN 912)	
*) Kad vijci u spoju nisu tijesno ugrađeni, učinak dodatnog klizanja treba pridodati deformiranju.	
Zapreminsku gustoću, ρ_m , treba uvrstiti u kg/m^3 , a promjer spajala, d ili d_c , u mm. Definicija d_c je dana u normi EN 13271.	

- vrijednosti modula klizanja za granično stanje uporabljivosti, K_{ser} :



MEHANIČKIM SPAJALIMA SASTAVLJENE GREDE

- Metoda proračuna:
- Učinak klizanja na djelotvornu savojnu krutost podatljivo sastavljene grede:
 - Proračunski razmak spajala:





MEHANIČKIM SPAJALIMA SASTAVLJENE GREDE

- Metoda proračuna:
- Normalna naprezanja u podatljivo sastavljenoj gredi:
 - Posljedica zajedničkog djelovanja para uzdužnih sila u težištima dijelova presjeka (posljedica klizanja) i savijanja.
 - Uzdužna normalna naprezanja u težištima dijelova sastavljene grede:

$$\sigma_i = \frac{N_i}{A_i} \quad \sigma_m = \gamma_i \frac{E_i a_i M}{(EI)_{ef}}$$

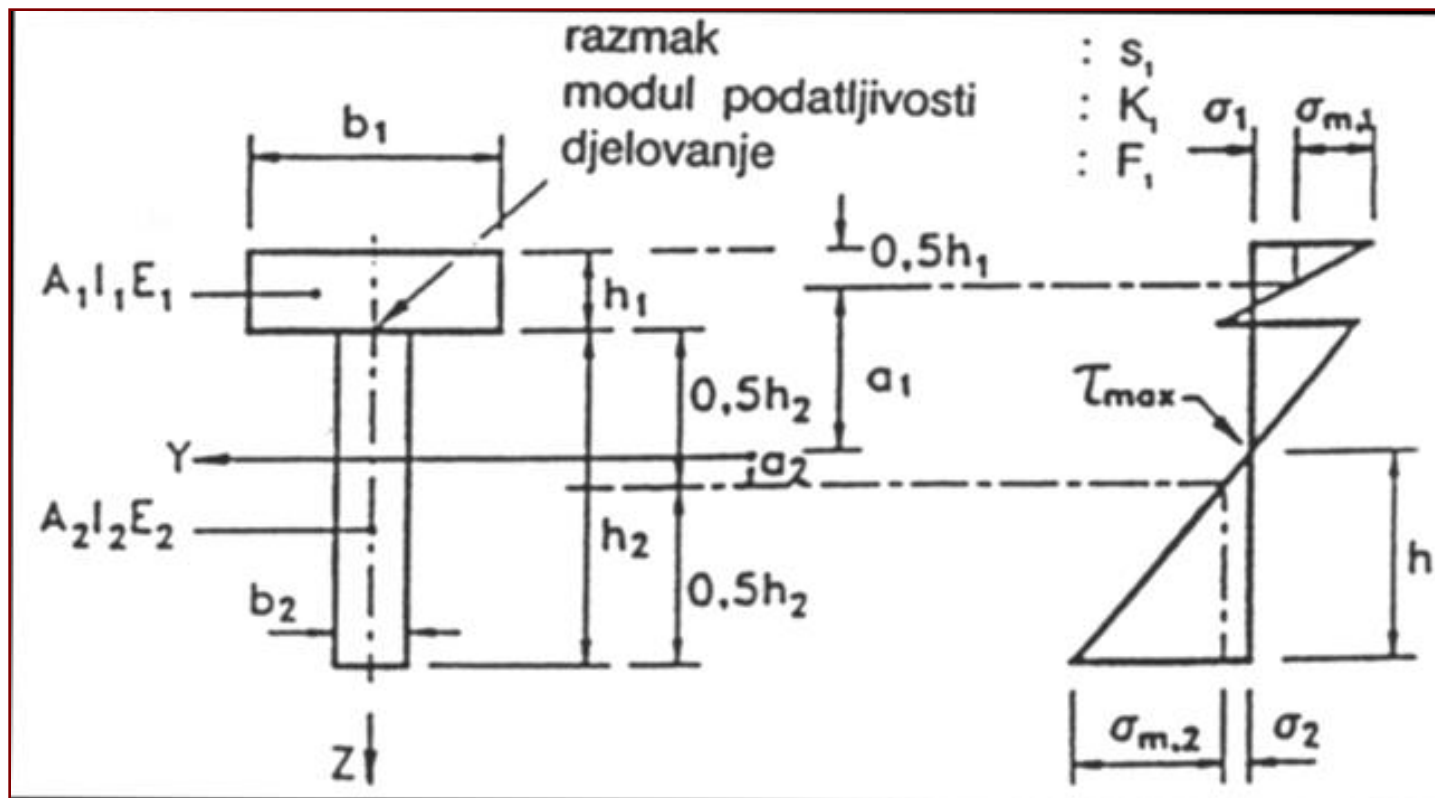
- Normalna naprezanja savijanja u rubnim vlakancima sastavljene grede:

$$\sigma_{m,i} = \frac{M}{I_i} \cdot \frac{h_i}{2} = 0,5 \frac{E_i h_i M}{(EI)_{ef}}$$



MEHANIČKIM SPAJALIMA SASTAVLJENE GREDE

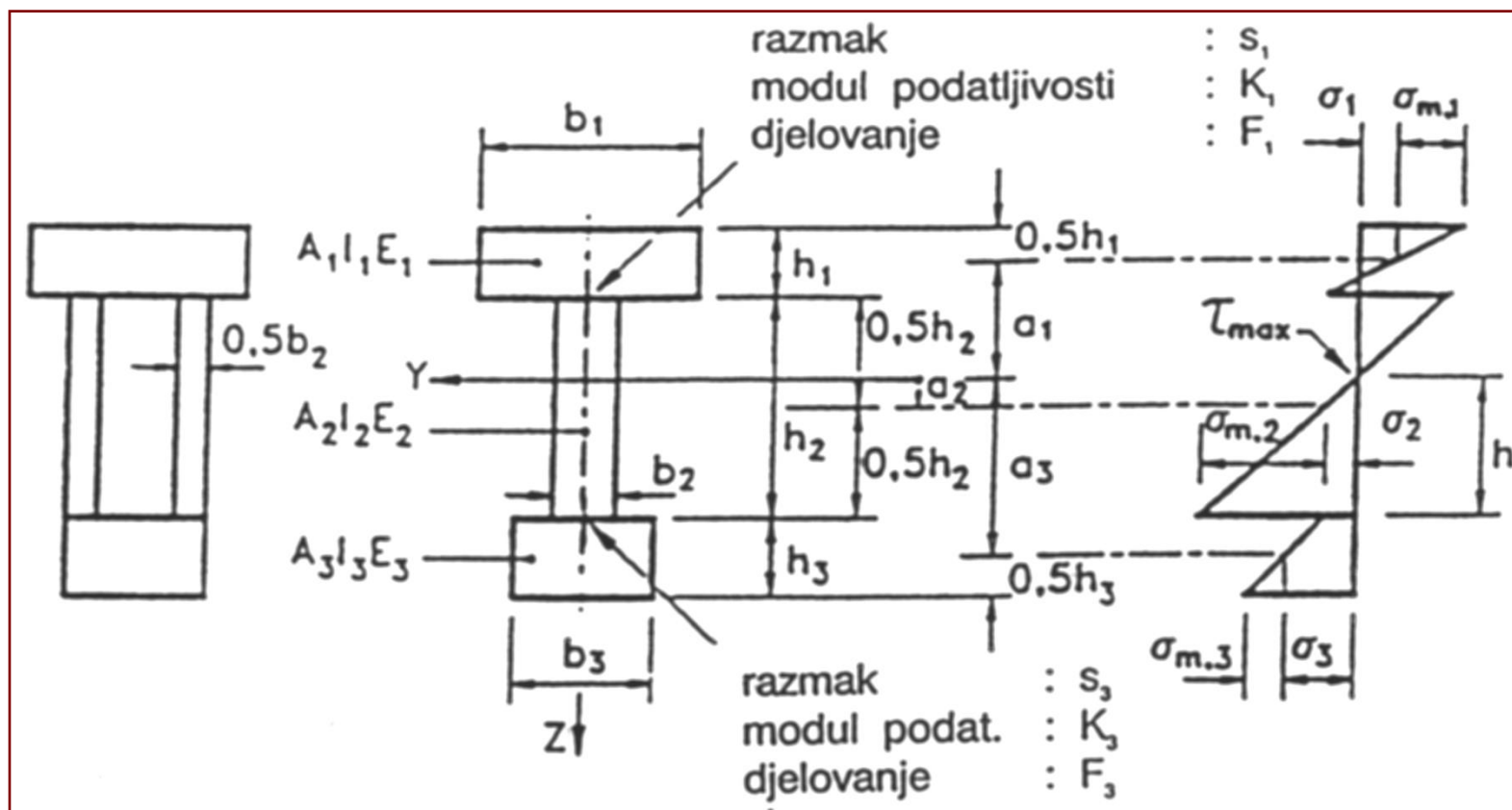
- Metoda proračuna:
- Raspodjela naprezanja po visini podatljivo sastavljene grede:





MEHANIČKIM SPAJALIMA SASTAVLJENE GREDE

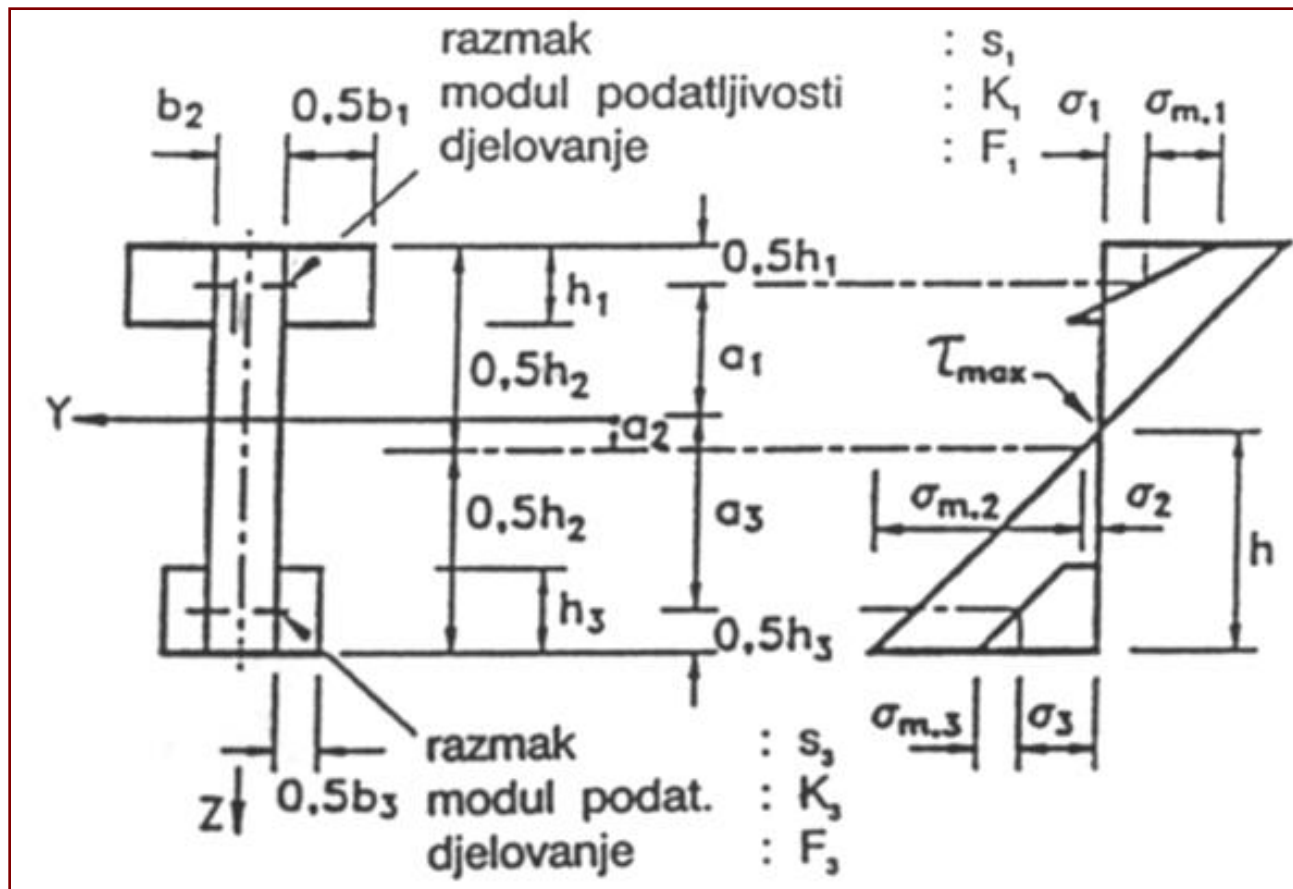
- Metoda proračuna:
- Raspodjela naprezanja po visini podatljivo sastavljene grede:





MEHANIČKIM SPAJALIMA SASTAVLJENE GREDE

- Metoda proračuna:
- Raspodjela naprezanja po visini podatljivo sastavljene grede:





MEHANIČKIM SPAJALIMA SASTAVLJENE GREDE

- Metoda proračuna:
- Posmična naprezanja i opterećenja na spajala:
 - Najveće posmično naprezanje u hrptu – neutralna os:

$$\tau_{2,\max} = \frac{\gamma_3 E_3 A_3 a_3 + 0,5 E_2 b_2 h_2^2}{b_2 (EI)_{\text{ef}}} V$$

- Opterećenje na spajala:

$$F_i = \gamma_i \frac{E_i A_i a_i s_i}{(EI)_{\text{ef}}} V$$

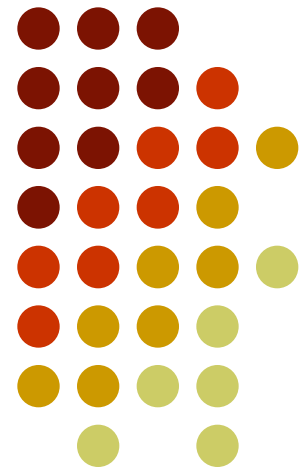
$$i = 1 \text{ i } i = 3$$

$$s_i = s_{i(x)}$$

s obzirom na dio sastavljenog presjeka
proračunski razmak spajala



Mehaničkim spajalima sastavljeni stupovi

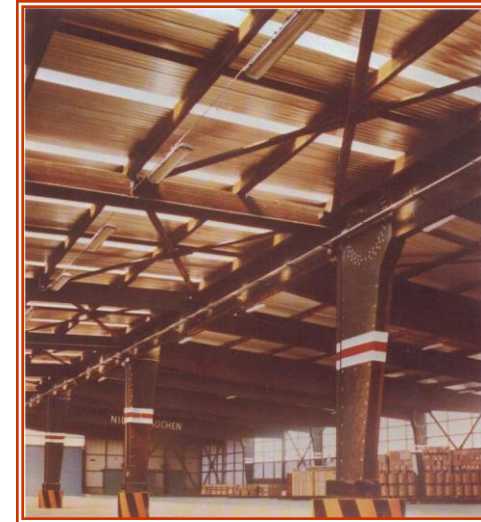
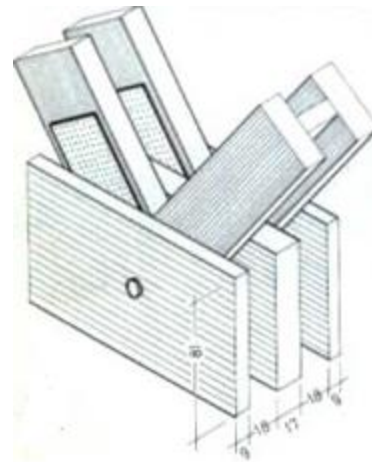




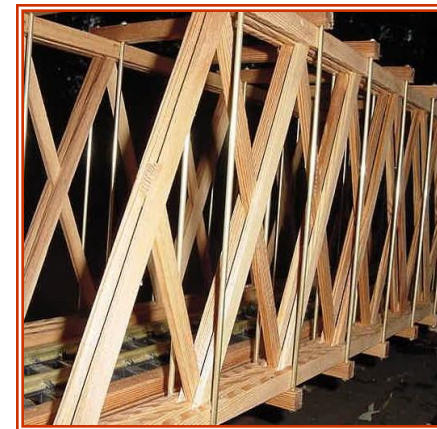
MEHANIČKIM SPAJALIMA SASTAVLJENI STUPOVI

- Tipske grupe sastavljenih stupova:

- SASTAVLJENI STUPOVI
S KONTINUIRANIM
ELEMENTIMA



- RAZMAKNUTO SASTAVLJENI STUPOVI

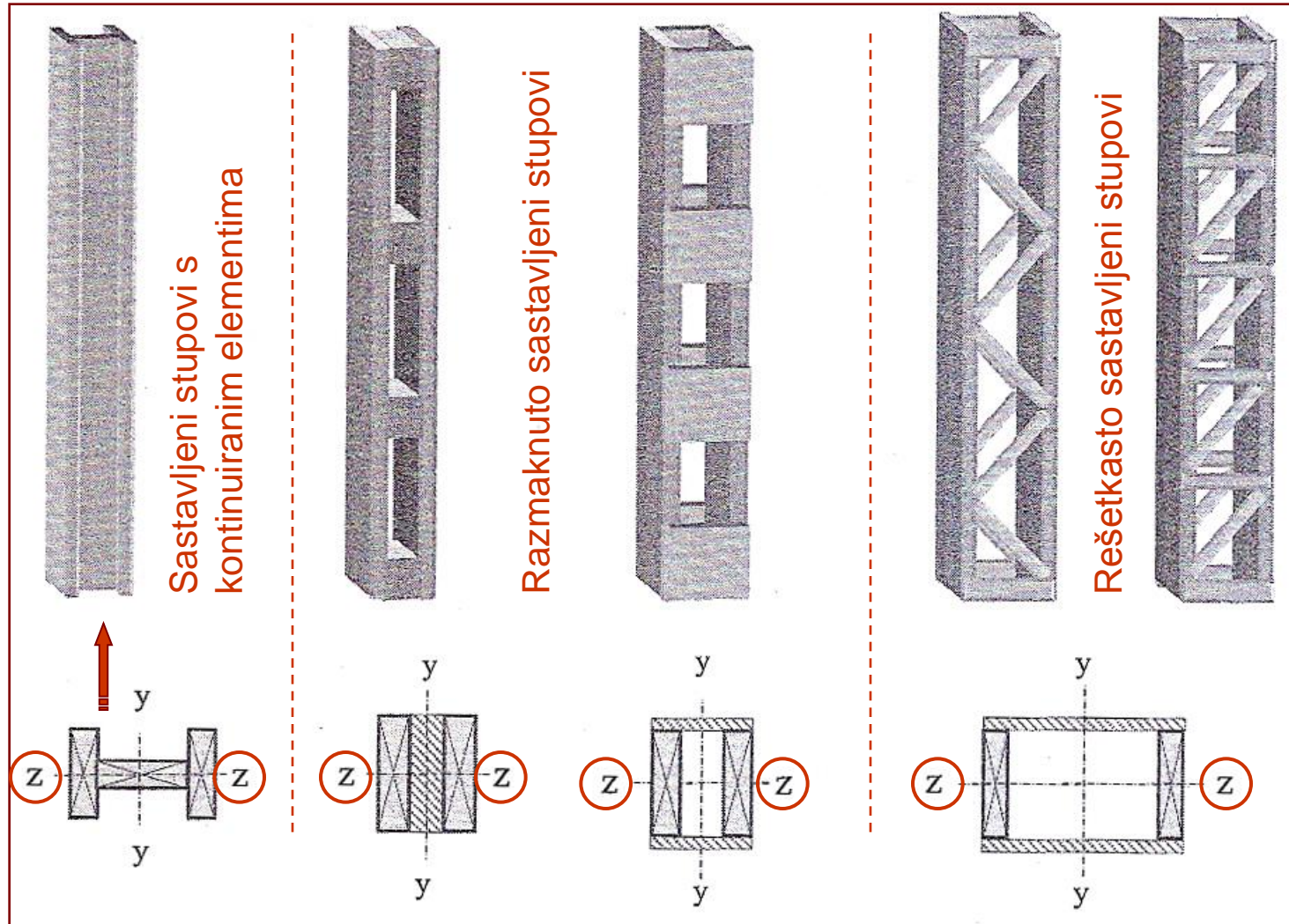


- REŠETKASTO SASTAVLJENI STUPOVI



MEHANIČKIM SPAJALIMA SASTAVLJENI STUPOVI

- Tipske grupe sastavljenih stupova:





MEHANIČKIM SPAJALIMA SASTAVLJENI STUPOVI

- Općenito:
- U proračunu treba uzeti u obzir deformiranja prouzročena:
 - Klizanjem u spojevima.
 - Posmikom i savijanjem u kladicama i vezicama, glavnim dijelovima sastavljenog stupa (razmaknuto sastavljeni stupovi) stupa i pojasevima (za rešetkasto sastavljene presjeke).
 - Uzdužnim silama u rešetkasto sastavljenim presjecima stupova.





MEHANIČKIM SPAJALIMA SASTAVLJENI STUPOVI

- **Pretpostavke proračuna:**
- Stupovi su zglobno oslonjeni na duljini l .
- Glavni dijelovi sastavljenog presjeka su kontinuirani duž osi sastavljenog presjeka i pune duljine, l .
- Opterećeni su tlačnom osnom silom F_c koja djeluje u težištu sastavljenog stupa.



MEHANIČKIM SPAJALIMA SASTAVLJENI STUPOVI

- **Nosivost:**
- Provjera nosivosti osno napregnutog sastavljenog stupa:

$$\sigma_{c,0,d} \leq k_c f_{c,0,d}$$

- Proračunsko tlačno naprezanje (za tlačnu osnu silu, $F_{c,d}$):

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{F_{c,d}}{A_{tot}}$$

- Oznake i simboli:

A_{tot} ukupna ploština sastavljenog presjeka

$f_{c,0,d}$ proračunska tlačna čvrstoća paralelno s vlakancima

k_c faktor izvijanja



MEHANIČKIM SPAJALIMA SASTAVLJENI STUPOVI

- **Nosivost:**
- Faktor izvijanja, k_c , treba odrediti za oba smjera izvijanja:

$$k_c = \frac{1}{k + \sqrt{k^2 - \lambda_{rel}^2}}$$

$$k = 0,5 \cdot \left[1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel} - 0,5) + \lambda_{rel}^2 \right]$$

$$\lambda_{rel} = \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{\sigma_{c,crit}}}$$

ENV

$$\sigma_{c,crit} = \frac{\pi^2 \cdot E_{0,05}}{\lambda^2}$$

$$k_c = \frac{1}{k + \sqrt{k^2 - \lambda_{rel}^2}}$$

$$k = 0,5 \cdot \left[1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel} - 0,3) + \lambda_{rel}^2 \right]$$

$$\lambda_{rel} = \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{\sigma_{c,crit}}}$$

EN

$$\sigma_{c,crit} = \frac{\pi^2 \cdot E_{0,05}}{\lambda^2}$$

- Pri određivanju vitkosti sastavljenog presjeka za izvijanje oko slobodne osi, u proračunu treba uvažiti podatljivost, $\lambda = \lambda_{ef}$.



MEHANIČKIM SPAJALIMA SASTAVLJENI STUPOVI

- **Nosivost:**
- Za deformiranje sastavljenog stupa izvijanjem u smjeru y-osi (izvijanje oko materijalne z-osi), nosivost treba odrediti kao sumu nosivosti pojedinačnih (glavnih) dijelova presjeka.

$$\lambda = \lambda_z$$

- Za izvijanje oko materijalne osi z-z, **PODATLJIVOST NEMA UTJECAJA** na nosivost sastavljenog stupa.
- Za deformiranje sastavljenog stupa izvijanjem u smjeru z-osi (izvijanje oko slobodne osi y-y), provjeru nosivosti treba provesti za djelotvornu vitkost sastavljenog presjeka:

$$\lambda = \lambda_{ef}$$

- Za izvijanje oko slobodne osi y-y, **PODATLJIVOST IMA UTJECAJ** na nosivost sastavljenog stupa.



MEHANIČKIM SPAJALIMA SASTAVLJENI STUPOVI

- Sastavljeni stupovi s kontinuiranim elementima:
- Djelotvorna vitkost pri izvijanju oko slobodne osi:

$$\lambda_{ef} = l \sqrt{\frac{A_{tot}}{I_{ef}}}$$

- Gdje su:

$$I_{ef} = \frac{(EI)_{ef}}{E_{mean}}$$

$$(EI)_{ef} = \sum_{i=1}^3 (E_i I_i + \gamma_i E_i A_i a_i^2)$$



MEHANIČKIM SPAJALIMA SASTAVLJENI STUPOVI

- Sastavljeni stupovi s kontinuiranim elementima:
- Opterećenje na spajala:
 - Određuje se prema izrazu za podatljivo sastavljene grede:

$$F_i = \gamma_i \frac{E_i A_i a_i s_i}{(EI)_{ef}} V$$

- Posmična sila $V = V_d$:

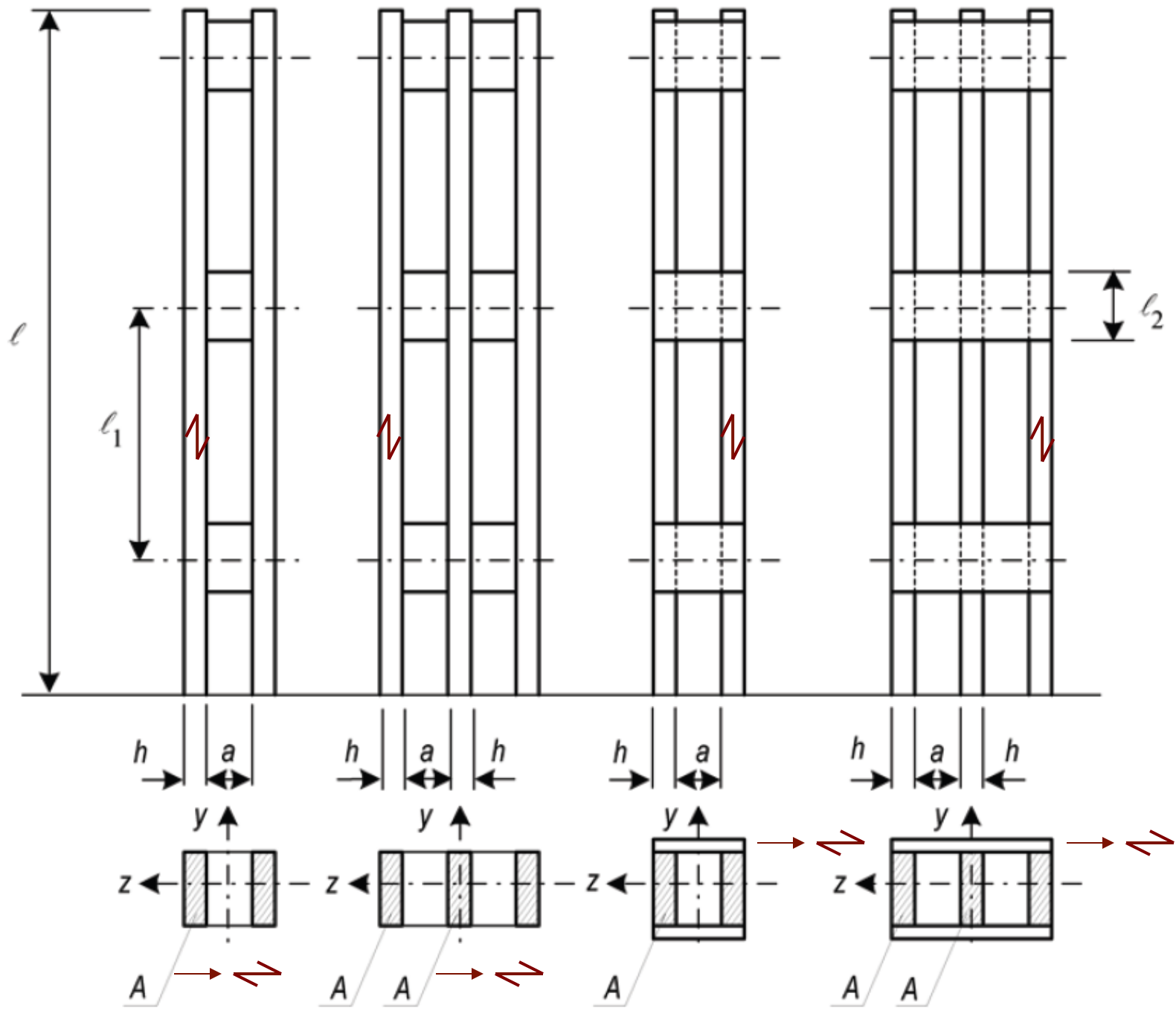
$$V_d = \begin{cases} \frac{F_{c,d}}{120 k_c} & \text{za } \lambda_{ef} < 30 \\ \frac{F_{c,d} \lambda_{ef}}{3600 k_c} & \text{za } 30 \leq \lambda_{ef} < 60 \\ \frac{F_{c,d}}{60 k_c} & \text{za } 60 \leq \lambda_{ef} \end{cases}$$



MEHANIČKIM SPAJALIMA SASTAVLJENI STUPOVI

- Razmaknuto sastavljeni stupovi:
- Spojevi glavnih dijelova sastavljenog stupa i lokalnih bočnih ukrućenja (kladice ili vezice) mogu biti čavlani, lijepljeni ili vijčani s moždanicima.
- Pretpostavke proračuna:
 - Stupovi su opterećeni koncentriranom osnom silom.
 - Poprečni presjek se sastoji od dva, tri ili četiri jednaka i razmaknuta dijela (glavni dijelovi).
 - Presjek je simetričan oko obje osi.
 - Vertikale se obvezne na krajevima rešetkasto sastavljenog stupa – osiguravaju razmak.
 - Neukrućenih polja ima najmanje tri, tj. razmaknuti su glavni dijelovi spojeni na krajevima i najmanje u trećinama duljine.

• RAZMAKNUTO SASTAVLJENI STUPOVI S
KLADICAMA ILI VEZICAMA





MEHANIČKIM SPAJALIMA SASTAVLJENI STUPOVI

- Razmaknuto sastavljeni stupovi:
- Pretpostavke i uvjeti proračuna:
 - Duljine kladice / vezice, l_2 , mora zadovoljiti sljedeći uvjet:
 - Za kladice: $l_2 \geq 1,5h$
 - Za vezice: $l_2 \geq 2h$
 - Svijetli razmaci između glavnih dijelova sastavljenog stupa, a_1 , moraju zadovoljiti sljedeći uvjet:
 - Za kladice: $a \leq 3h$
 - Za vezice: $a \leq 6h$



MEHANIČKIM SPAJALIMA SASTAVLJENI STUPOVI

- Razmaknuto sastavljeni stupovi:
- Statičke veličine:
 - Za dvodijelne razmaknuto sastavljene stupove:

$$A_{\text{tot}} = 2A$$

$$I_{\text{tot}} = b \frac{(2h+a)^3 - a^3}{12}$$

a svijetli razmak glavnih dijelova

$h; b$ širina / visina presjeka glavnih razmaknutih dijelova

- Za trodijelne razmaknuto sastavljene stupove:

$$A_{\text{tot}} = 3A$$

$$I_{\text{tot}} = b \frac{(3h+2a)^3 - (h+2a)^3 + h^3}{12}$$



MEHANIČKIM SPAJALIMA SASTAVLJENI STUPOVI

- Razmaknuto sastavljeni stupovi:

- Djelotvorna vitkost pri izvijanju oko slobodne osi:

$$\lambda_{\text{ef}} = \sqrt{\lambda^2 + \eta \frac{n}{2} \lambda_1^2}$$

- Oznake i simboli:

λ vitkost pri izvijanju stupa cjelovitog presjeka jednake duljine, l , ploštine, A_{tot} , i momenta tromosti, I_{tot}

$$\lambda = l \sqrt{A_{\text{tot}} / I_{\text{tot}}}$$

λ_1 vitkost pri izvijanju jednog glavnog dijela sastavljenog stupa

$$\lambda_1 = \sqrt{12} \frac{l_1}{h} \quad (\geq 30)$$

n broj (glavnih) razmaknutih dijelova sastavljenog stupa

η faktor ovisan o vrsti spajala



MEHANIČKIM SPAJALIMA SASTAVLJENI STUPOVI

- Razmaknuto sastavljeni stupovi:
- Vrijednost faktora η :

	Kladice			Vezice	
	Lijepljene	Čavlane	Spojene vijcima ^{a)}	Lijepljene	Čavlane
Stalno / dugotrajno opterećenje	1	4	3,5	3	6
Srednjetrojno / kratkotrajno	1	3	2,5	2	4,5
^{a)} s moždanicima					



MEHANIČKIM SPAJALIMA SASTAVLJENI STUPOVI

- Razmaknuto sastavljeni stupovi:
- Opterećenja na spajala, kladice i vezice:
 - Poprečnu silu V_d treba odrediti kao za sastavljene stupove s kontinuiranim elementima:

$$V_d = \begin{cases} \frac{F_{c,d}}{120k_c} & \text{za } \lambda_{ef} < 30 \\ \frac{F_{c,d} \lambda_{ef}}{3600k_c} & \text{za } 30 \leq \lambda_{ef} < 60 \\ \frac{F_{c,d}}{60k_c} & \text{za } 60 \leq \lambda_{ef} \end{cases}$$

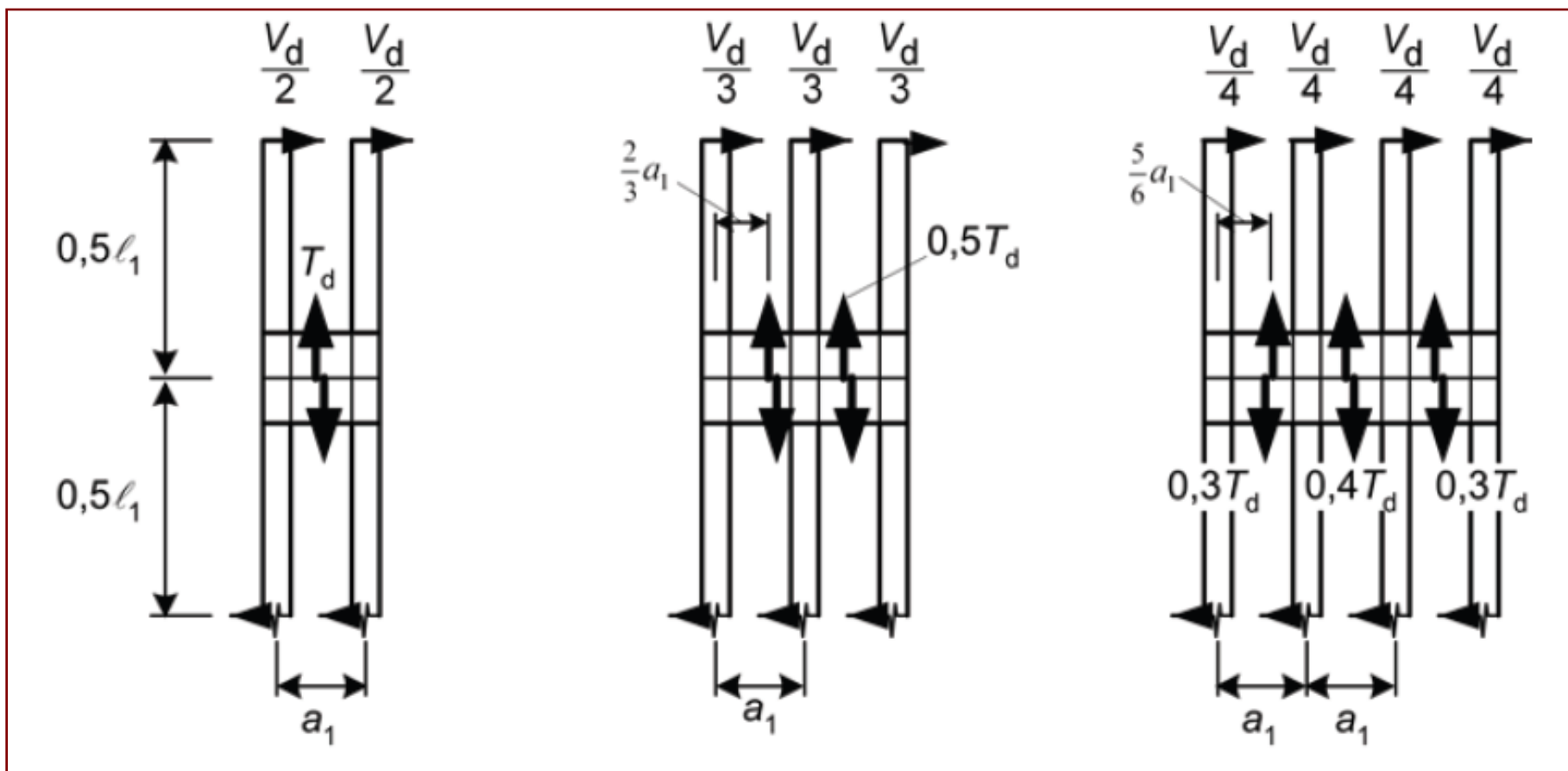
- Poprečna sila V_d za kladice i/ili vezice:

$$T_d = \frac{V_d l_1}{a_1}$$



MEHANIČKIM SPAJALIMA SASTAVLJENI STUPOVI

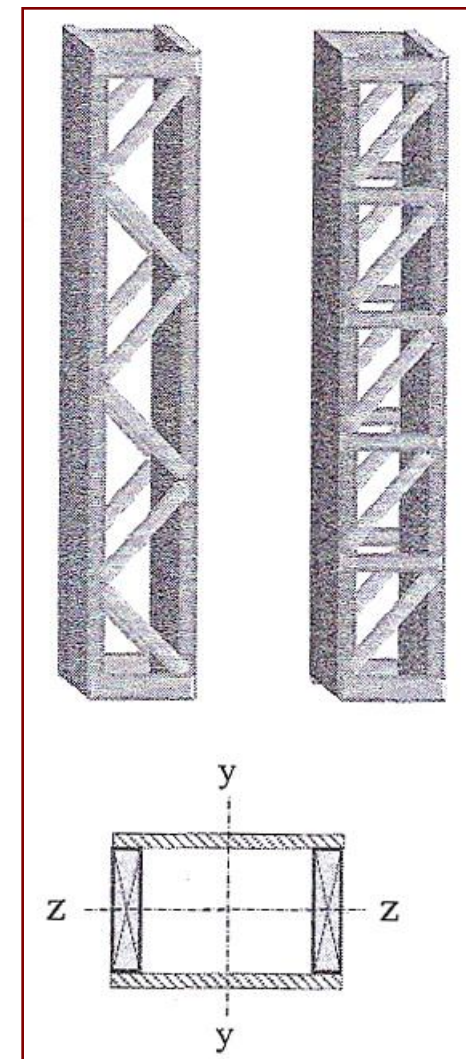
- Razmaknuto sastavljeni stupovi:
- Raspodjela poprečnih sila i opterećenja na kladice / vezice:





MEHANIČKIM SPAJALIMA SASTAVLJENI STUPOVI

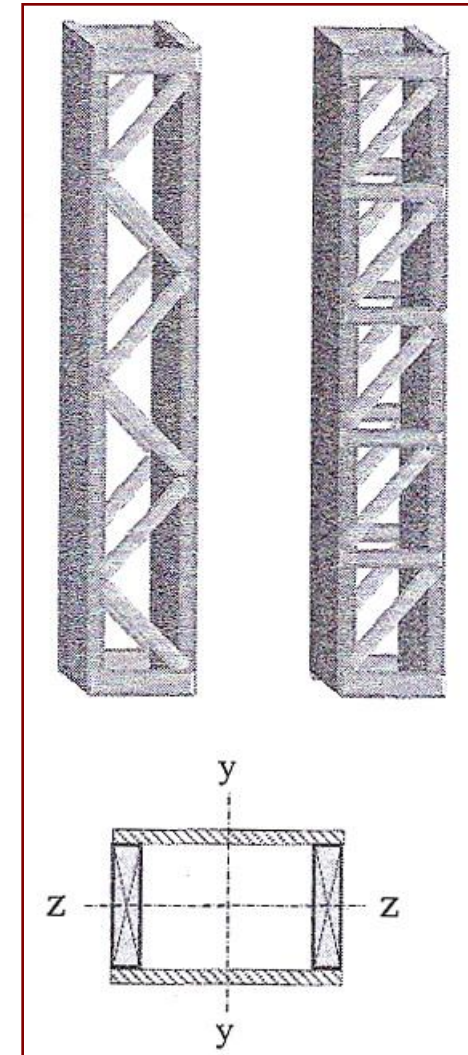
- Rešetkasto sastavljeni stupovi:
- Geometrija:
 - Lijepljena i čavлана N- ili V- ispuna
- Pretpostavke:
 - Konstrukcija je simetrična oko y-osi i z-osi.
 - Spojevi ispune na gornji i donji pojas mogu biti međusobno izmaknuti na duljini $l_1/2$ gdje je l_1 udaljenost između čvorova.
 - Rešetkasto sastavljeni stup ima najmanje tri polja.
 - U čavlačnoj konstrukciji trebaju biti najmanje četiri (4) čavla u svakoj posmičnoj ravnini, u svakoj dijagonali i u svakom čvoru.
 - Pojasevi su ukrućeni na svakom kraju.





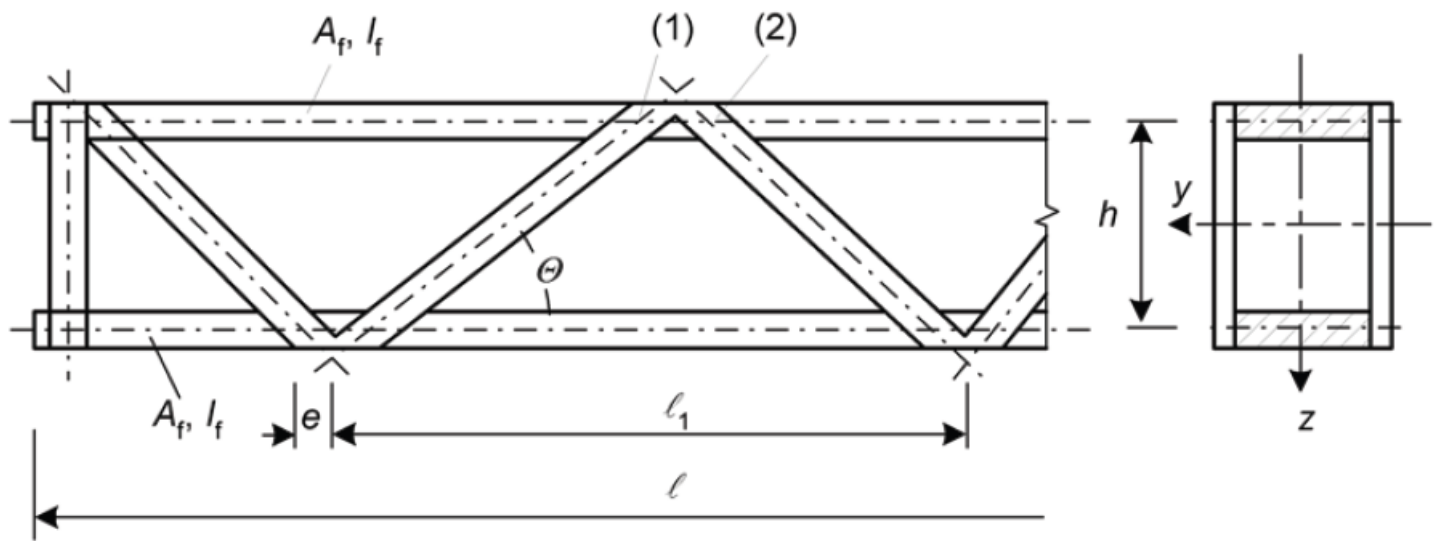
MEHANIČKIM SPAJALIMA SASTAVLJENI STUPOVI

- Rešetkasto sastavljeni stupovi:
- Pretpostavke:
 - Vitkost svakog pojasa rešetkasto sastavljenog stupa, u odnosu na razmak čvorova, l_1 :
$$\lambda_1 \leq 60$$
 - Na duljini l_1 pojasa (između čvorova) nema pojave lokalnog izvijanja.
 - Broj čavala za vertikalnu (za N-rešetkasto sastavljene stupove) je veći od $n \sin \theta$, gdje su n broj čavala u dijagonali, a θ , nagib dijagonale.



- REŠETKASTO SASTAVLJENI STUPOVI S LIJEPLJENIM I ČAVLANIM SPOJEVIMA

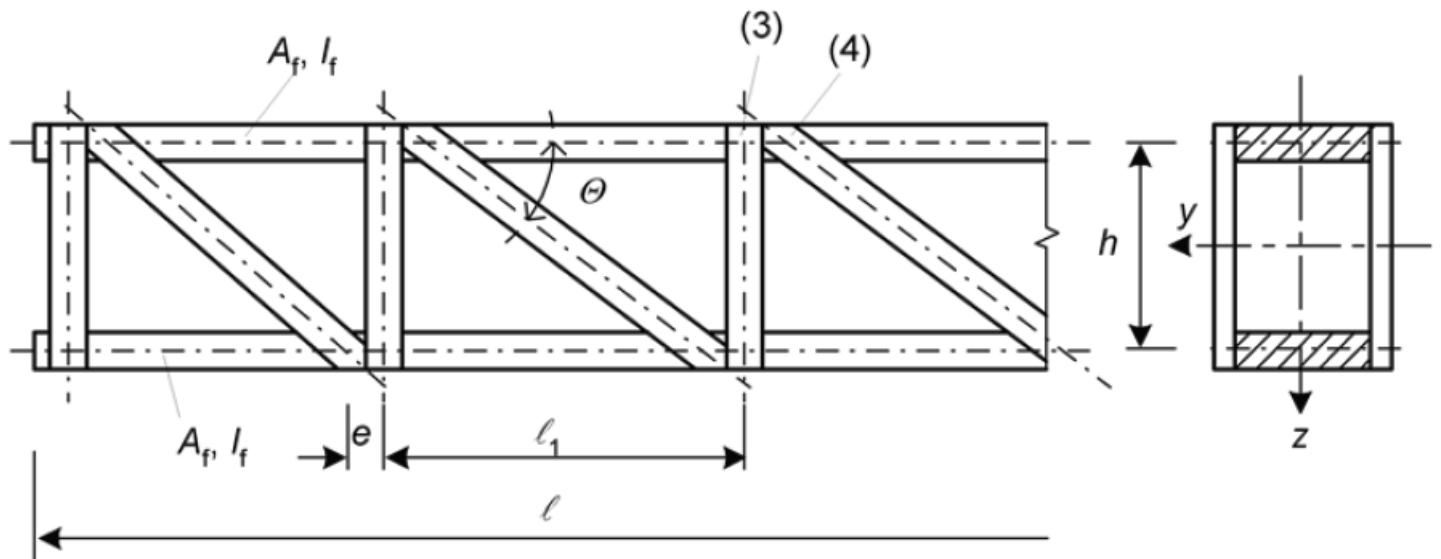
- N-ispuna i V-ispuna



- (1) broj čavala: n
- (2) broj čavala: n

a)

- (3) broj čavala: $\geq n \sin \theta$
- (4) broj čavala: n



b)



MEHANIČKIM SPAJALIMA SASTAVLJENI STUPOVI

- Rešetkasto sastavljeni stupovi:
- Nosivost:
- Za deformiranje sastavljenog stupa u smjeru y-osi (izvijanje oko materijalne z-osi), nosivost treba odrediti kao sumu nosivosti pojedinačnih (glavnih) dijelova presjeka.

$$\lambda = \lambda_z$$

- Za deformiranje sastavljenog stupa u smjeru z-osi (izvijanje oko slobodne osi y-y), provjeru nosivosti treba provesti za djelotvornu vitkost:

$$\lambda_{ef} = \max \begin{cases} \lambda_{tot} \sqrt{1 + \mu} \\ 1,05 \lambda_{tot} \end{cases}$$



MEHANIČKIM SPAJALIMA SASTAVLJENI STUPOVI

- Rešetkasto sastavljeni stupovi:
- Nosivost:
- Oznake i simboli:

λ_{tot} vitkost pri izvijanju stupa cjelovitog presjeka jednake duljine, l , jednake ploštine, A_{tot} i momenta tromosti, I_{tot}

$$\lambda_{\text{tot}} \approx \frac{2l}{h}$$

μ faktor određen za geometriju rešetkastog stupa i vrstu spoja



MEHANIČKIM SPAJALIMA SASTAVLJENI STUPOVI

- Rešetkasto sastavljeni stupovi:
- Nosivost:
- Faktor geometrije i vrste priključka – spoja, μ :
 - Lijepljeni V – rešetkasto sastavljeni stupovi

$$\mu = 4 \frac{e^2 A_f}{I_f} \cdot \left(\frac{h}{l} \right)^2$$

- Lijepljeni N – rešetkasto sastavljeni stupovi

$$\mu = \frac{e^2 A_f}{I_f} \cdot \left(\frac{h}{l} \right)^2$$

e ekscentricitet u čvorovima

A_f ploština pojasa (rešetkasto sastavljenog stupa)

I_f moment tromosti pojasa

l raspon glavnih dijelova – pojaseva

h osni razmak pojaseva – glavni dijelovi rešetkasto sastavljenog stupa



MEHANIČKIM SPAJALIMA SASTAVLJENI STUPOVI

- Rešetkasto sastavljeni stupovi:
- Nosivost:
- Faktor geometrije i vrste priključka – spoja, μ :
 - Čavlani V – rešetkasto sastavljeni stupovi

$$\mu = 25 \frac{h E_{\text{mean}} A_f}{l^2 n K_u \sin 2\theta}$$

- Čavlani N – rešetkasto sastavljeni stupovi

$$\mu = 50 \frac{h E_{\text{mean}} A_f}{l^2 n K_u \sin 2\theta}$$

n broj čavala za dijagonalu (kad je dijagonala dvodijelna, ili se sastoji od više dijelova, n je ukupan broj čavala, a ne broj čavala po jednoj posmičnoj ravnini)

E_{mean} srednja vrijednost modula elastičnosti

K_u modul klizanja za jedan čavao i granično stanje nosivosti



DODATNA LITERATURA:

- A. Bjelanović, V. Rajčić: “Drvene konstrukcije prema europskim normama” – udžbenik