

RĪGAS TEHNISKĀ UNIVERSITĀTE  
Būvniecības un rekonstrukcijas institūts  
Būvkonstrukciju katedra

D.Serdjuks, V.Goremikins un J.Šliseris

**Metodiskie norādījumi praktisko darbu izpildei  
priekšmetā BBK 560,,KOKA UN PLASTMASU  
KONSTRUKCIJAS” (speciālais kurss)**

Rīga  
2012

**D.Serdjuks, V.Goremikins un J.Šliseris.** Metodiskie norādījumi praktisko darbu izpildei priekšmetā BBK 560 „Koka un plastmasu konstrukcijas” (Speciālais kurss), Rīga: RTU, 2012, 31. lpp.

Praktiskie darbi paredzēti RTU būvniecības specialitāšu studentiem, kas apgūst priekšmetu BBK 560 „Koka un plastmasu konstrukcijas” (Speciālais kurss). Dota praktisko darbu izstrādes programma un īss teorētiskais pamatojums.

Praktiskos darbus sastādīja:

Profesors Dmitrijs Serdjuks, pētnieks Vadims Goremikins un pētnieks Jānis Šliseris

Recenzents:

doc. Imants Mieriņš

ISBN 978-9934-8235-5-8

## Saturs

Priekšvārds.....	4
Praktiskais darbs Nr.1. Savienojumi ar perforētām metāla plāksnēm, to konstruēšana un aprēķins.....	5
1.1. Savienojumi ar perforētām zobotām metāla plāksnēm.....	5
1.2. Perforēto zoboto plākšņu savienojuma nestspēja .....	6
1.3. Uzdevuma piemērs.....	10
1.4. Literatūra.....	10
Praktiskais darbs Nr.2. Savienojumi ar pretbīdņiem, to konstruēšana un aprēķins.....	11
2.1. Savienojumi ar pretbīdņiem.....	11
2.2. Gludo gredzenveida pretbīdņu savienojumi, to konstruēšana un aprēķins.....	11
2.3. Zoboto pretbīdņu savienojumi, to konstruēšana un aprēķins.....	15
2.4. Pārvietojumi pretbīdņu savienojumā .....	18
2.5. Uzdevuma piemērs.....	19
2.6. Literatūra.....	19
Praktiskais darbs Nr.3. Stiegroto koka elementu aprēķins .....	20
3.1. Stiegroto koka elementu aprēķina secība.....	20
3.2. Liekto stiegroto koka konstrukciju aprēķina secība.....	21
3.3. Uzdevuma piemērs.....	22
3.4. Literatūrs .....	23
Praktiskais darbs Nr.4. Koksnes materiālu spriegumu un deformāciju aprēķins .....	24
4.1. Spriegumi un deformācijas. Stingrības un padevīguma raksturlielumi .....	24
4.2. Dažāda lieluma koksnes elementi un tiem pielietojamie aprēķina modeļi .....	28
4.2.1. Zāģmateriāli un vienā virzienā stiegotas plastmasas - transversiāli izotropi materiāli .....	28
4.2.2. Slāņaini materiāli un divos perpendikulāros virzienos stiegotas plastmasas- ortotropi materiāli.....	29
4.3. Uzdevuma piemērs.....	30
4.4 Literatūra.....	31

## Priekšvārds

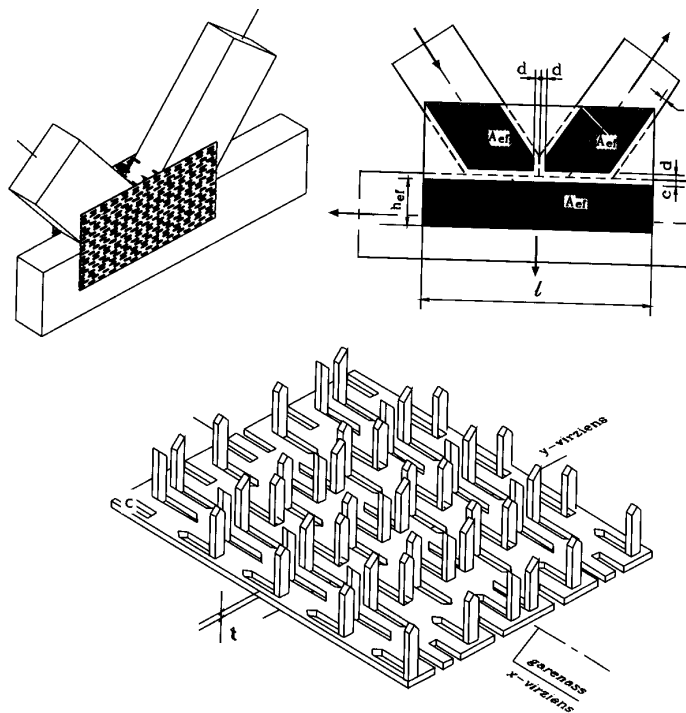
Laboratorijas darbu gaitā studentiem jāveic dažādu koka un plastmasu konstrukciju modeļu pārbaudes. Studentiem jāiegūst izpratne par konstrukciju faktisko darbību. Jānovērtē konstrukciju modeļu atbilstība Eirokodeksa EN 1995-1-1 prasībām, konstrukciju stiprība un deformācijas, kā arī jāapgūst eksperimentālā darba pamatprincipi. Laboratorijas darbos ietilpst koka elementu dažāda savienojuma konstrukciju izpēte un pārbaude. Pirms laboratorijas darbu uzsākšanas studentam jāapgūst teorētiskā kursa attiecīgās nodaļas. Darba gaitā šajā žurnālā jāieraksta visi mērījumi un novērojumi, jā sastāda tabulas, patstāvīgi jāveic rezultātu analīze. Lai saņemtu pozitīvu vērtējumu, studentam jāuzrāda pasniedzējam laboratorijas darbu žurnāls, jādod paskaidrojumi par darba izpildes gaitu, iegūtiem rezultātiem, kā arī jāatbild uz kontroles jautājumiem.

# Praktiskais darbs Nr.1. Savienojumi ar perforētām metāla plāksnēm, to konstruēšana un aprēķins.

## 1.1. Savienojumi ar perforētām zobotām metāla plāksnēm

[1-5]

Perforētā zobotā metāla plāksne (konektors) ir koka elementu savienotāj līdzeklis, kam noteiktas formas un konfigurācijas zobi štancēšanas procesā perforēti un atliekti perpendikulāri plāksnes plaknei.



1. att. Savienojumi ar perforētām zobotām metāla plāksnēm

Ar perforētām plāksnēm no abām pusēm nosedz vienā plaknē izvietotu koka elementu savienojumu, tad tās iespiež koksnē. Koka konstrukcijas ar perforēto plākšņu savienojumiem izgatavo tikai rūpnieciski, jo plāksnes iedziļināšanas procesā jānodrošina vienmērīgs mehāniskais spiediens, vienlaicīgi saglabājot precīzu konstrukcijas un plākšņu ģeometrisko formu.

Būvkodeksā **LVS EN 1995-1-1** ietvertie aprēķinu un konstruēšanas nosacījumi balstās uz zoboto plākšņu savienojumu nestspējas eksperimentālo un teorētisko pētījumu rezultātiem, kas iegūti Skandināvijas un citās valstīs.

Perforēto plākšņu biezums no 0.9 līdz 2.2 mm, maksimālais – 3 mm. Perforētas plāksnes izgatavo no slokšņu tērauda (**LVS EN 10326:2004**, **LVS EN 10327:2004**) un tūlīt pēc izgatavošanas veic sevišķi efektīvu aizsarg apstrādi pret koroziju (parasti cinko). Perforētās plāksnes var izgatavot arī no korozijizturīga tērauda (**LVS EN 10088-2:2005**). Zobi forma (taisnstūrveida, trijstūrveida, gludi, roboti) un izvietojums var būt dažādi. Tehniskās prasības perforētajām plāksnēm noteiktas saskaņā ar standartu **LVS EN 1075:2001**.

Plākšņu standartizmēri un nestspējas raksturvērtības parasti deklarē ražotājfirma, balstoties uz teorētisku un eksperimentālu pētījumu rezultātiem.

## 1.2. Perforēto zoboto plākšņu savienojuma nestspēja

[1-5]

Uz bīdes spēkiem strādājošā savienojumā zobi darbojas liecē, bet koksne kontaktvirsmā ar zobu – lokālā spiedē.

Plāksnes metāls šuves šķēlumā strādā kombinētā slogojumā – cirpē un stiepē vai cirpē un spiedē atkarībā no pievienojamo elementu pārnesto spēku virziena.

*Galīgā robežstāvokļa iestāšanās gadījumā* iespējama gan **trauslā sabrukšana** plāksnes cirpē vai stiepē, gan **plastiskā sabrukšana**, plāksnei deformējoties, zobiem noliecoties un pakāpeniski izvelkoties no koksnes.

Ja eksperimentos novēro, ka robežstāvokļi notiek zobu noraušana, tad var secināt, ka plāksne izgatavota no prasībām neatbilstošam tērauda vai arī ir mehāniski bojāta, un **šādu plākšņu pielietošana nav pieļaujama**.

Perforēto zoboto plākšņu savienojuma pretošanās spēju pieliktajiem spēkiem raksturo:

- zobu nestspēja liecē un virsmas spiedē ar koksni jeb tā saucamā iespīlējuma kapacitāte, ko izsaka kā pieļaujamo spēka vērtību uz vienu bīdes spēkam paralēlo plāksnes laukuma vienību ( $N/mm^2$ ),
- perforētās plāksne nestspēja jeb pretestība cirpes un stiepes (spiedes) spēkiem šuves šķēlumā. Plāksnes nestspēju cirpē un stiepē raksturo ar bīdes spēka pieļaujamo vērtību uz plāksnes lineārā izmēra (garuma vai platuma) vienību ( $N/mm$ ).

**Zobu iespīlējuma kapacitātes** lielumu un **perforētās plāksnes materiāla nestspēju** ietekmē vairāki faktori:

- leņķis  $\alpha$  starp bīdes spēka un plāksnes garenass virzienu,
- leņķis  $\beta$  starp šķiedru garenvirzienā un bīdes spēka virzienu,
- leņķis  $\gamma$  starp savienojuma plaknes un plāksnes garenass virzienu,
- plāksnes biezums ( $t$ ) un efektīvā laukuma ( $A_{ef}$ ) ģeometriskie raksturlielumi,
- koksnes pretestība lokālā spiedē un plāksnes materiāla stiprība cirpē un stiepē.

Ieviešot praksē jauna veida perforētās zobotās plāksnes, ražotājfirma vai sertificēta laboratorija tās uzdevumā saskaņā ar standartu **LVS EN 1075:2001** izpilda savienojumu eksperimentālās pārbaudes statistiskā slogojumā.

Iegūto datu apstrādes rezultātā definē sekojošas plāksnes nestspējas jeb **pretestības raksturvērtības**.

- $f_{\alpha,0,0,k}$  - iespīlējuma kapacitāte jeb plāksnes pretestība zobu liecē atbilstoši slogojumam ar spēku, kura virziens sakrīt ar šķiedru virzienu ( $\beta = 0^\circ$ ) un plāksnes garenass virzienu ( $\alpha = 0^\circ$ ),  $N/mm^2$ ;
- $f_{\alpha,90,90,k}$  - zobu iespīlējuma kapacitāte jeb plāksnes pretestība zobu liecē atbilstoši leņķu vērtībām  $\alpha = 90^\circ$  un  $\beta = 90^\circ$ ,  $N/mm^2$ ;

Zobotas plāksnes nestspējas jeb **pretestības raksturvērtības**:

- $f_{i,0,k}$  – perforētās plāksnes pretestība stiepē garenass virzienā ( $\alpha = 0^\circ$ ), ko izsaka ar spēka vērtību uz plāksnes platuma vienību šķērsām spēka darbības virzienam,  $N/mm$ ;
- $f_{c,0,k}$  – perforētās plāksnes pretestība spiedē garenass virzienā ( $\alpha = 0^\circ$ ),  $N/mm$ ;

- $f_{v,0,k}$  – perforētās plāksnes pretestība cirpē garenass virzienā, N/mm ;
- $f_{t,90,k}$  – perforētās plāksnes pretestība stiepē šķērsām garenass virzienā ( $\alpha = 90^\circ$ ), N/mm ;
- $f_{c,90,k}$  – perforētās plāksnes pretestība spiedē šķērsām garenass virzienā ( $\alpha = 90^\circ$ ), N/mm ;
- $f_{v,90,k}$  – perforētās plāksnes pretestība cirpē šķērsām garenass virzienā ( $\alpha = 90^\circ$ ), ko izsaka ar spēka vērtību uz vienu plāksnes platuma ( $b$ ) vienību, N/mm .

Izmantojot eksperimentāli iegūtās zobotās plāksnes pretestības raksturvērtības, atbilstošās aprēķina pretestības vērtības nosaka pēc formulas:

$$f_d = k_{\text{mod}} \frac{f_k}{\gamma_M} \quad (1.1)$$

Nosakot aprēķina pretestību metāla plāksnes stiepē ( $f_{t,0,d}$ ,  $f_{t,90,d}$ ), spiedē ( $f_{c,0,d}$ ,  $f_{c,90,d}$ ) un cirpē ( $f_{v,0,d}$ ,  $f_{v,90,d}$ ), pieņem modifikācijas faktoru  $k_{\text{mod}} = 1$  un drošuma faktoru  $\gamma_M = 1.1$ .

Nosakot zobu iespīlējuma kapacitātes aprēķina vērtības ( $f_{\alpha,0,0,k}$ ,  $f_{\alpha,90,90,k}$ ) jeb nestspēju zobu liecē, jāņem vērā vides apstākļu un koksnes materiāla īpašību izklīdes ietekme: modifikācijas faktora  $k_{\text{mod}}$  vērtības pieņem saskaņā ar 2.2. tabulu LVS EN 1995-1-1, bet drošuma faktoru pieņem  $\gamma_M = 1.3$ .

Plāksnes zobu iespīlējuma kapacitātes aprēķina vērtību atkarībā no leņķa  $\beta$  starp šķiedru garenvirzienā un zoba asij perpendikulāri vērsta bīdes spēka virzienu nosaka sekojoši:

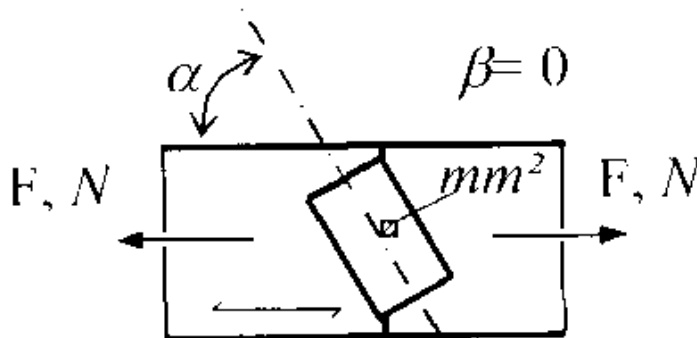
- leņķa vērtībām  $\beta \leq 45^\circ$

$$f_{a,\alpha,\beta,k} = \max \left\{ \begin{array}{l} f_{a,\alpha,0,k} - (f_{a,\alpha,0,k} - f_{a,90,90,k}) \cdot \beta / 45^\circ \\ f_{a,0,0,k} - (f_{a,0,0,k} - f_{a,90,90,k}) \cdot \sin(\max(\alpha, \beta)) \end{array} \right\},$$

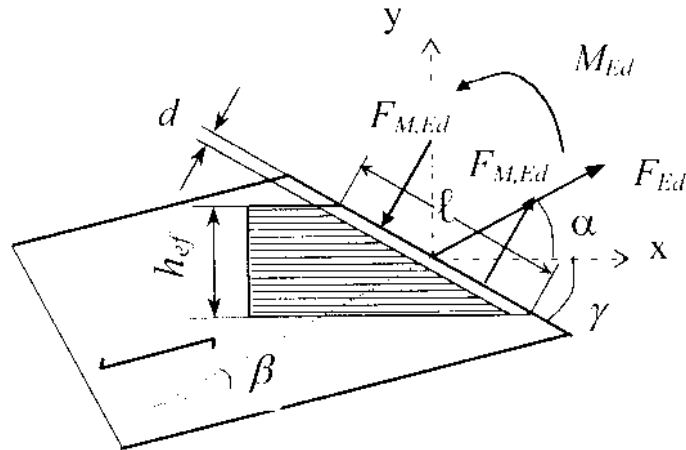
- leņķa vērtībām  $45^\circ < \beta \leq 90^\circ$

$$f_{a,\alpha,\beta,k} = f_{a,0,0,k} - (f_{a,0,0,k} - f_{a,90,90,k}) \cdot \sin(\max(\alpha, \beta))$$

kur  $f_{a,\alpha,0,k}$  – eksperimentāli noteiktā (LVS EN 10075:2001) plāksnes zobu iespīlējuma kapacitātes raksturvērtība, N/mm<sup>2</sup>, slogojuma gadījumā, ja bīdes spēka virziens sakrīt ar šķiedru virzienu ( $\beta = 0^\circ$ ), bet plāksnes garenass vērsta leņķī  $\alpha$  pret spēka un šķiedru virzienu.



2. att. Perforēto zoboto plāksņu aprēķina shēma



3. att. Perforēto zoboto plākšņu slogojuma shēma

Vispārīgā slogojuma gadījumā uz zoboto plākšni savienojumā iedarbojas spēks  $F_{Ed}$  un moments  $M_{Ed}$ .

Bīdes spēku intensitātes vērtības vispārīga slogojuma gadījumā uz plāksnes laukuma vienību aprēķina pēc formulām:

$$\tau_{F,d} = \frac{F_{A,Ed}}{0.5A_{ef}}, \quad (1.2)$$

kur  $\tau_{F,d}$  – bīdes spēka intensitāte;  $A_{ef}$  – plāksnes efektīvais laukums uz attiecīgā elementa (plākšņu skaits savienojumā – 2);

$F_{A,Ed}$  – bīdes spēka aprēķina vērtība, kas pielikts plāksnes efektīvā laukuma smagumcentrā;]

$$\tau_{M,d} = \frac{M_{A,Ed}}{0.5W_p}, \quad (1.3)$$

kur  $\tau_{M,d}$  - bīdes spēka intensitāte, ko izraisa moments savienojumā;  $M_{A,Ed}$  - momenta aprēķina vērtība, kas iedarbojas uz plākšni;

$W_p$  – plāksnes efektīvā laukuma polārais pretestības moments, ko precīzi aprēķina pēc formulas:

$$W_p = \int_{A_{ef}} r dA; \quad (1.4)$$

Vai aptuveni – pēc formulas:

$$W_p = \frac{A_{ef} \cdot d_e}{4}; \quad (1.5)$$

kur  $r$  – attālums no prognozējamā plāksnes rotācijas centra momenta iedarbībā līdz laukuma  $dA$  smagumcentram;

$d_e$  – parametrs, ko aprēķina pēc formulas:



$$d_e = \sqrt{\left(\frac{A_{ef}}{h_{ef}}\right)^2 + h_{ef}^2}, \quad (1.6)$$

kur  $h_{ef}$  - plāksnes efektīvā laukuma maksimālais izmērs perpendikulāri garākajai malai.

Pietiekošas plāksnes zobu iespīlējuma kapacitātes jeb nestspējas zobu liecē nodrošināšanai jāizpildās nosacījumam:

$$\left(\frac{\tau_{F,d}}{f_{a,\alpha,\beta,d}}\right)^2 + \left(\frac{\tau_{M,d}}{f_{a,0,0,d}}\right)^2 \leq 1. \quad (1.7)$$

Perforētās plāksnes materiāla stiprības pārbaudi šuves šķēluma kombinētā slogojumā ar stiepes (spiedes) un cirpes spēkiem izpilda saskaņā ar nosacījumu:

$$\left(\frac{F_{x,Ed}}{F_{x,Rd}}\right)^2 + \left(\frac{F_{y,Ed}}{F_{y,Rd}}\right)^2 \leq 1, \quad (1.8)$$

kur  $F_{x,Ed}$ ,  $F_{y,Ed}$  – spēku aprēķina vērtības šuves šķēlumā attiecīgi asu x un y virzienos, ko atbilstoši slogojuma shēmai;

$F_{x,Ed}$ ,  $F_{y,Ed}$  – plāksnes nestspēja kombinētā slogojumā asu x un y virzienos, ko nosaka kā maksimālo no divām vērtībām:

$$F_{x,Rk} = \max \left\{ \begin{array}{l} |f_{n,0,k} \cdot l \cdot \sin(\gamma - \gamma_0 \sin(2\gamma))|, \\ |f_{v,0,k} \cdot l \cdot \cos \gamma| \end{array} \right., \quad (1.9)$$

$$F_{y,Rk} = \max \left\{ \begin{array}{l} |f_{n,90,k} \cdot l \cdot \cos \gamma|, \\ |k \cdot f_{v,90,k} \cdot l \cdot \sin \gamma| \end{array} \right., \quad (1.10)$$

kur  $f_{n,0,k} = f_{t,0,k}$ , ja plāksne šķēlumā strādā stiepē ( $F_{x,Ed} > 0$ );  $f_{n,0,k} = f_{c,0,k}$ , ja  $F_{x,Ed} \leq 0$ ;  $f_{n,90,k} = f_{t,90,k}$ , ja plāksne šķēlumā strādā stiepē;  $f_{n,90,k} = f_{c,90,k}$  atbilstoši spiedei;

$k = 1 + k_v \cdot \sin(2\gamma)$ , ja  $F_{x,Ed} > 0$ ;

$k = 1$ , ja  $F_{x,Ed} \leq 0$ ,

kur  $\gamma_0$  un  $k_v$  ir konstantes, ko nosaka, pamatojoties uz plāksnīšu eksperimentālo pārbažu datiem cirpē saskaņā ar LVS EN 1075:2001.

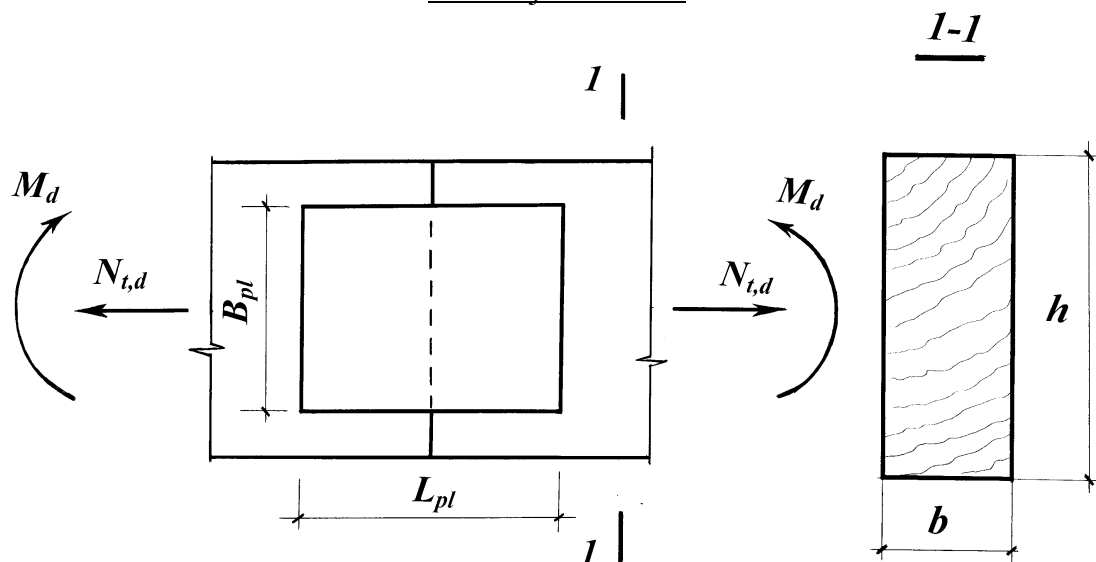
Aprēķinot savienojumu var pieņemt, ka pusi no spiedes spēka lieluma, kas darbojas perpendikulāri šuvei, uzņem savienojamo elementu koksnes virsma lokālā spiedē pie nosacījuma, ka sprauga šuvē nepārsniedz 1.5 mm. ja sprauga šuvē ir lielāka, tad plāksne šuves šķēlumā ir slogota ar pilnu spiedes spēka vērtību.

Minimālais plāksnes platums uz nepārtrauktā elementa (uz joslas) – vismaz 40 mm un ne mazāk par  $h/3$ , kur  $h$  – joslas elementa šķērsriezuma augstums. Joslu saduršuvēs plāksnes platumam jābūt vismaz  $2/3$  no šķērsriezuma augstuma.

### 1.3. Uzdevuma piemērs

#### Variants.....

#### Savienojuma shēma



4.att. Savienojuma shēma

#### **Dots:**

Koksnes stiprības klase C.....;

$h = \dots\dots$  mm,  $b = \dots\dots$  mm;

$N_{t,d} = \dots\dots$  kN,  $M_d = \dots\dots$  kNm;

Zobainās metāla plāksnes KARTRO.

1) Noteikt  $L_{pl}$  un  $B_{pl}$ ;

2) Pārbaudīt savienojuma stiprību.

### 1.4. Literatūra

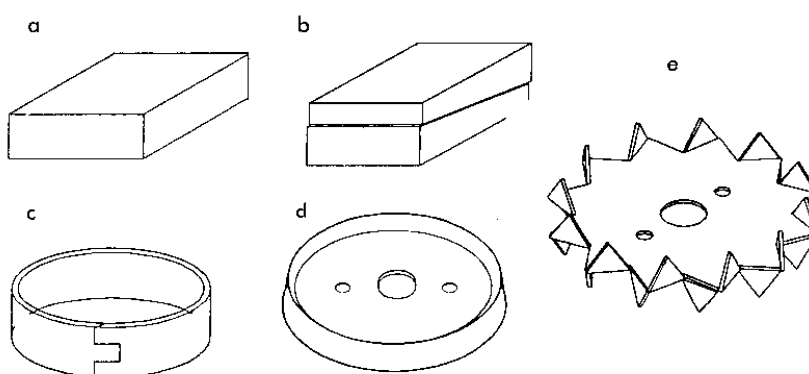
1. EN 195-1-1: Design of timber structures – Part 1-1: General – Common rules and rules for buildings.
2. Ozola (2008). Koka būvkonstrukciju aplēse un konstruēšana I. - Jelgava, 260 lpp.
3. Ozola (1999). Konektoru kopņu projektēšana. - Jelgava, 50 lpp.
4. McKenzie (2007), Zhang. Design of structural Timber to Eurocode 5. – Cromwell Press Ltd, Towbridge, Witshire, 508.PP.
5. LVS EN 1075:2001. Savienojumi ar perforētiem metāla plātnes stiprinājumiem.

## Praktiskais darbs Nr.2. Savienojumi ar pretbīdņiem, to konstruēšana un aprēķins

### 2.1. Savienojumi ar pretbīdņiem

[1-4]

Pretbīdnis ir stings cietkoka vai metāla elements – koka klucis, metāla gredzens vai plāksne ar gludām vai zobotām malām, ko ievieto šuvē starp savienojamiem elementiem un kas kalpo bīdes spēku pārvešanai. Ar pretbīdņiem savieno koka un koka – tērauda elementus nesošo režģoto konstrukciju mezglos, kā arī salikto koka siju atsevišķas daļas. Bīdes spēku darbības rezultātā starp savienojamiem elementiem koksne kontakt virsmās strādā lokālā spiedē, bet bīdes spēkam paralēlajos saspriegtajos laukumos – skaldē (cirpē).



5. att. Pretbīdņu tipi:

*a – cietkoka prizmatiskais pretbīdnis; b – ķīļveida pretbīdnis;  
c – gluda gredzenveida pretbīdnis; d – pretbīdes plāksne;  
e – zobotais pretbīdnis.*

Saskaņā ar Latvijas standartu LVS EN 912:2001 ir definēti trīs tipu plānsieniņu pretbīdņi:

- A – gludie gredzenveida pretbīdņi – metāla gredzeni ar salaidumiem (tips **c**);
- B – pretbīdes plāksnes – plāksnes ar atlocītām malām (tips **d**);
- C – zobotie pretbīdņi (tips **e**).

### 2.2. Gludo gredzenveida pretbīdņu savienojumi, to konstruēšana un aprēķins

[1-4]

**Gludos gredzenveida pretbīdņus** (tips A saskaņā ar LVS EN 912:2001) un **pretbīdes plāksnes** (tips B) lieto režģotu konstrukciju mezglos un saliktas sijās. Gluda gredzenveida pretbīdnis ir metāla gredzens ar gropveida slaidumu. Gredzenu ievieto iepriekš izfrēzētā ligzdā vienā no savienojamiem elementiem. otru koka elementu, kam iepriekš izfrēzētā ligzdā, uzbīda atlikušajai pretbīdņa pusītei. Pielieto gredzenus un plāksnes ar diametru no 60 līdz 260 mm. Savienojuma fiksācijai kalpo skrūve, kuras diametru izvēlas atbilstoši pretbīdņa parametriem

A tipa pretbīdņiem un B tipa pretbīdes plāksnēm (LVS EN 912:2001), kuru diametrs nepārsniedz 200mm, nestspējas raksturvērtību bīdē šķiedru virzienā ( $F_{v,0,Rk}$ ) nosaka kā minimālo no nestspējas vērtībām skaldē ( $F_{v,0,Rk,1}$ ) un lokālā spiedē ( $F_{v,0,Rk,2}$ ) ligzdas sienīgas virsmā savienojuma vienā pusē pēc formulām :

$$\begin{aligned} F_{v,0,Rk,1} &= k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \cdot k_4 \cdot (35 \cdot d_c^{1.5}), \\ F_{v,0,Rk,2} &= k_1 \cdot k_3 \cdot h_e \cdot (31.5 \cdot d_c), \end{aligned} \quad (2.1)$$

kur  $d_c$  – plāksnes vai gredzena diametrs, mm;

$h_e$  – pretbīdņa mazākais dziļums savienojamos elementos, mm;

$k_1$  – koksnes elementu ģeometrisko izmēru parametrs, ko nosaka kā minimālo no trīs vērtībām:

$$k_1 = \left\{ \begin{array}{l} 1 \\ t_1 / (3 \cdot h_e) \\ t_2 / (5 \cdot h_e) \end{array} \right\}, \quad (2.2)$$

kur  $t_1$ ,  $t_2$  – attiecīgi malējā un vidējā koksnes elementa biezums, mm;

$k_2$  – modifikācijas faktors pretbīdņa nestspējai elementa slogotajā galā.

Ja leņķis  $\alpha$  starp bīdes spēka un šķiedru virzienu atbilst nosacījumam:  $-30^\circ \leq \alpha \leq 30^\circ$ , tad faktoru  $k_2$  nosaka saskaņā ar formulu:

$$k_2 = \min \left\{ \begin{array}{l} k_a \\ a_{3,t} / (2 \cdot d_c) \end{array} \right\}, \quad (2.3)$$

kur  $a_{3,t}$  – attālums no pretbīdņa ass līdz elementa slogotajam galam;  $k_a$  – parametrs, kas atkarīgs no savienotājlīdzekļu skaita:  $k_a = 1.25$ , ja nobīdes plaknē ir viens pretbīdnis;  $k_a = 1$ , ja nobīdes plaknē ir divi vai vairāk pretbīdņi.

$k_3$  – koksnes blīvuma faktors savienojumiem ar stieptiem elementiem, ko nosaka kā minimālo no divām vērtībām:

$$k_3 = \min \left\{ \begin{array}{l} 1.75 \\ \rho_k / 350 \end{array} \right\}, \quad (2.4)$$

kur  $\rho_k$  – koksnes blīvuma raksturvērtība;

$k_4$  – savienojamo elementu materiālu stinguma faktors;  $k_4=1$  koka elementu savienojumiem un  $k_4=1.1$  koka – metāla elementu savienojumiem.

Ja bīdes spēks vērsts leņķī  $\alpha$  pret šķiedru virzienu, tad pretbīdņa nestspēju aprēķina pēc formulas:

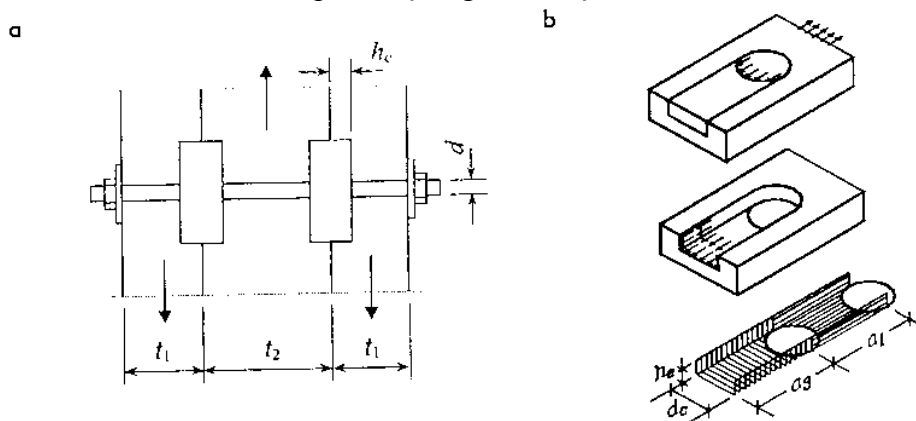
$$F_{v,\alpha,Rk} = \frac{F_{v,0,Rk}}{k_{90} \cdot \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha}, \quad (2.5)$$

kur  $F_{v,\alpha,Rk}$  – nestspējas raksturvērtība bīdē leņķī  $\alpha$  pret šķiedru virzienu,  $F_{v,0,Rk}$  – nestspējas raksturvērtība bīdē šķiedru virzienā,  $\alpha$  – leņķis starp bīdes spēka un šķiedru virzienu,

$k_{90}$  – koksnes pretestības parametrs pretbīdņu savienojumiem, ko nosaka pēc formulas :

$$k_{90} = 1.3 + 0.001 \cdot d_c \quad (2.6)$$

Skrūvju nestspēju gludo pretbīdņu savienojumu aprēķinā neņem vērā, jo praktiski nevar nodrošināt vienlaicīgu dažāda tipa savienotājlīdzekļu darbību zem slodzes.  $F_{v,0,Rk,1}$ ,  $F_{v,0,Rk,2}$  nestspējas raksturvērtības attiecas uz gludo pretbīdņu savienojumiem, kam malējo elementu biezums  $t_1 \geq 2.25 \cdot h_e$ , bet vidējo elementu biezums  $t_2 \geq 3.75 \cdot h_e$ , kur  $h_e$  – pretbīdņa ligzdas dziļums.



**6. att. Gludo gredzenveida pretbīdņu savienojumi:**  
*a – savienojuma nestspējas aprēķina shēma, b – cirpes plaknes pievienojamā elementā.*

Ja elementa neslogotajā galā ir viens pretbīdņis nobīdes plaknē un leķis starp šķiedru un bīdes spēka virzienu ir robežās no  $150^\circ \leq \alpha < 210^\circ$ , tad nestspējas vērtību  $F_{v,0,Rk,1}$  ignorē.

Pretbīdņa nestspējas aprēķina vērtību ( $F_{v,\alpha,Rd}$ ) nosaka, ņemot vērā modifikācijas faktoru ( $k_{mod}$ ) attiecībā uz slodzes darbības ilgumu un vides apstākļiem, kā arī ievērtējot drošuma faktoru ( $\gamma_M$ ) koksnes materiālu savienojumiem:

$$F_{v,\alpha,Rd} = k_{mod} \cdot F_{v,\alpha,Rk} / \gamma_M \quad (2.7)$$

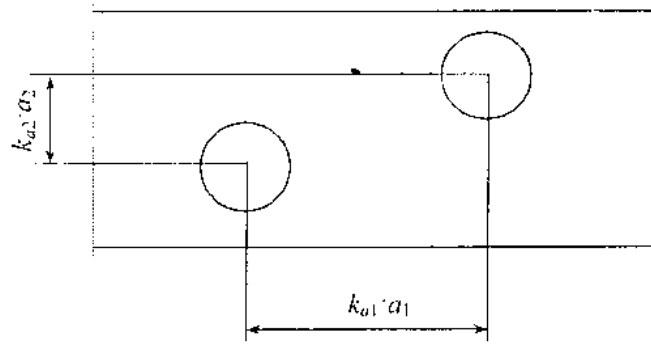
Konstruējot savienojumu, jāņem vērā minimālie pieļaujamie attālumi starp pretbīdņu asīm un no ass līdz elementa galam un malai, lai nodrošinātu koksnes nestspēju skaldē.

Ja pretbīdņus **izvieto pamīšus**, tad attālumus starp to asīm šķiedru virzienā ( $a_1$ ) un šķērsām šķiedrām ( $a_2$ ) var samazināt, pareizinot ar koeficientiem  $k_{a1}$  un  $k_{a2}$  ( $0 \leq k_{a1} \leq 1$ ,  $0 \leq k_{a2} \leq 1$ ) pie nosacījuma, ka izpildās nevienādība:

$$(k_{a1})^2 + (k_{a2})^2 \geq 1 \quad (2.8)$$

Attālumu  $k_{a1} \cdot a_1$  var samazināt, pareizinot ar koeficientu  $k_{s,red}$  ( $0.5 \leq k_{s,red} \leq 1.0$ ), ja savienojuma aprēķina nestspēju savukārt pareizina ar koeficientu  $k_{R,red}$ :

$$k_{r,red} = 0.2 + 0.8 \cdot k_{s,red} \quad (2.9)$$



7. att. Gludo pretbīdņu izvietošana pamīšus

Ja vienā rindā šķiedru virzienā izvietoti vairāki pretbīdņi, tad to kopējas nestspējas aprēķināšanai izmanto efektīvo skaitu  $n_{ef}$ , ko nosaka pēc formulas:

$$n_{ef} = 2 + \left(1 - \frac{n}{20}\right) \cdot (n - 2), \quad (2.10)$$

kur  $n$ - pretbīdņu skaits rindā.

1. Tabula

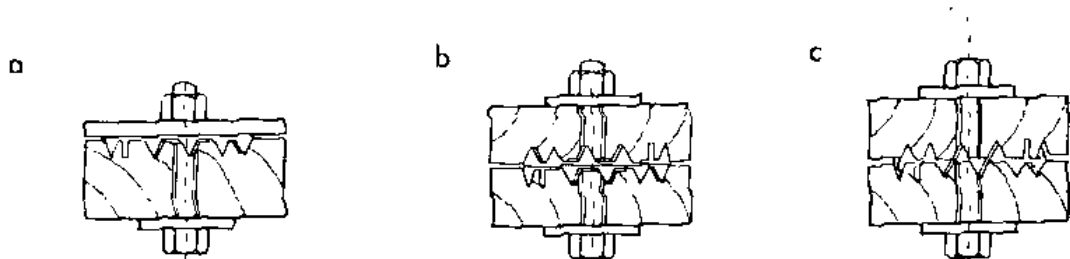
Gludo pretbīdņu izvietošanas nosacījumi

Attālums	Shēma	Leņķis $\alpha$ starp spēka un šķiedru virzienu	Attāluma minimālais lielums
$a_1$		$0^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	$(1.2 + 0.8 \cdot  \cos \alpha ) \cdot d_c$
$a_2$		$0^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	$1.2 \cdot d_c$
$a_{3,c}$		$-90^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$	$1.5 \cdot d_c$
$a_{3,c}$		$90^\circ \leq \alpha < 150^\circ$ $150^\circ \leq \alpha < 210^\circ$ $210^\circ \leq \alpha \leq 270^\circ$	$(0.4 + 1.6 \cdot  \sin \alpha ) \cdot d_c$ $1.2 \cdot d_c$ $(0.4 + 1.6 \cdot  \sin \alpha ) \cdot d_c$
$a_{3,c}$		$0^\circ \leq \alpha \leq 180^\circ$	$(0.4 + 0.2 \cdot  \sin \alpha ) \cdot d_c$
$a_{3,c}$		$180^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	$0.6 \cdot d_c$

### 2.3. Zoboto pretbīdņu savienojumi, to konstruēšana un aprēķins

[1-4]

Zobotais pretbīdnis ir apaļas, ovālas vai kvadrātveida formas tērauda plāksne ar trijstūrveida formas zobiem pa perimetru, kas atliekti perpendikulāri plāksnes plaknei.



#### 8. att. Zoboto pretbīdņu savienojumi:

*a* – metāla plāksnes pievienojums koka elementam ar viensusēju zoboto pretbīdņi, *b* – izjaucams koka elementu savienojums ar viensusējiem pretbīdņiem, *c* – savienojums ar abpusēju zoboto pretbīdņi.

Ja zobus **atliec tikai uz vienu pusi**, iegūst viensusēju zobotu pretbīdņi, ko lieto koka un metāla elementu savienojumos (*a*) vai koka elementu savienojumos (*b*), kuros samontē no iepriekš sagatavotiem elementiem.

Atliecot zobus uz abām pusēm, iegūst abpusēju zobotu pretbīdņi, ko vienlaicīgi iepresē savienojamos kokā elementos, veidojot stingāku un ekonomiskāku savienojumu (*c*). Rūpnieciski ražo zobotos pretbīdņus ar diametru no 38 līdz 165 mm. Zoboto pretbīdņu izgatavošanai lieto auksti velmēto slokšņu tēraudu vai karstā cinkošanas procesā apstrādātu mazlēģēto tēraudu, vai kaļamo čugunu.

Zobotos pretbīdņus (grupa C saskaņā ar LVS EN912:2001) izmanto uz bīdi strādājošos savienojumos režgotu koka konstrukciju mezglos, kā arī saliktās sijās.

Projektēšanas mērķiem zobotā pretbīdņa nestspējas raksturvērtības  $F_{v,Rk}$  ( $N$ ) noteikšanai izmanto sertificētu ražotājfirmu katalogos dotās vērtības vai formulas.

Vienpusīgā pretbīdņa (tipi C2, C4, C7, C9, C11 saskaņā ar LVS EN 912912:2001) nestspējas raksturvērtību bīdē nosaka pēc formulas:

$$F_{v,Rk} = 18 \cdot k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \cdot d_c^{1.5}. \quad (2.11)$$

Abpusējā pretbīdņa (tipi C1, C3, C5, C6, C10 saskaņā ar LVS EN 912:2001) nestspējas raksturvērtību bīdē nosaka pēc formulas:

$$F_{v,Rk} = 25 \cdot k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \cdot d_c^{1.5}. \quad (2.11)$$

kur  $d_c$  ir;

- nominālais diametrs pretbīdņu tipiem C1, C2, C6, C7, C10 un C11, mm.
- pretbīdņa malas garums tipiem C5, C8, C9, mm;
- kvadrātsakne no abu malu kvadrātu summas pretbīdņu tipiem C3 un C4, mm;

$k_1$  – savienojuma ģeometrisko parametru faktors, ko nosaka sekojoši:

$$k_1 = \min \left\{ \begin{array}{l} 1 \\ t_1 / (3 \cdot h_e) \\ t_2 / (5 \cdot h_e) \end{array} \right\}, \quad (2.12)$$

kur  $h_e$  – zobotā pretbīdņa dziļums vienā elementā,

$t_1$  – malējā elementa biezums,  $t_2$  – vidējā elementa biezums;

$k_2$  – modifikācijas faktors pretbīdņa nestspējai, ko nosaka atbilstoši tā tipam:

**pretbīdņu tipiem C1...C9:** 
$$k_2 = \min \left\{ \begin{array}{l} 1 \\ a_{3t} / (1.5 \cdot d_c) \end{array} \right\}, \quad (2.13)$$

kur  $a_{3t}$  – attālums no pretbīdņa ass līdz elementa slogotam galam, ko pieņem ne mazāku par  $a_{3,t,min}$ , kuru savukārt pieņem saskaņā ar nosacījumiem:

$$a_{3,t,min} = \max \left\{ \begin{array}{l} 1.1 \cdot d_c \\ 7 \cdot d_b \\ 80mm \end{array} \right\}, \quad (2.14)$$

kur  $d_b$  – skrūves nominālais diametrs;

**Pretbīdņu tipiem C10...C11:** 
$$k_2 = \min \left\{ \begin{array}{l} 1 \\ a_{3t} / (2 \cdot d_c) \end{array} \right\}, \quad (2.15)$$

kur 
$$a_{3,t,min} = \max \left\{ \begin{array}{l} 1.5 \cdot d_c \\ 7 \cdot d_b \\ 80mm \end{array} \right\}, \quad (2.16)$$

$k_3$  – koksnes blīvuma faktors, ko nosaka kā minimālo no divām vērtībām:

$$k_3 = \min \left\{ \begin{array}{l} 1.5 \\ \rho_k / 350 \end{array} \right\}, \quad (2.17)$$

kur  $\rho_k$  – koksnes blīvuma raksturvērtība,  $\text{kg/m}^3$ .

Zobotā pretbīdņa nestspējas aprēķina vērtību ( $F_{v,Rd}$ ) nosaka, ievērtējot slodzes darbības ilgumu un mitruma apstākļus ekspluatācijas laikā:

$$F_{v,Rd} = F_{v,Rk} \cdot k_{\text{mod}} / \gamma_M. \quad (2.18)$$



2. Tabula

## Zoboto pretbīdņu (tipi C1 līdz C9) izvietojanas nosacījumi [1-4]

Attālums	Shēma	Leņķis $\alpha$ starp spēka un šķiedru virzienu	Attāluma minimālais lielums
$a_1$		$0^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	$(1.2 + 0.3 \cdot  \cos \alpha ) \cdot d_c$
$a_2$		$0^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	$1.2 \cdot d_c$
$a_{3,u}$		$-90^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$	$2 \cdot d_c$
$a_{4,c}$		$90^\circ \leq \alpha < 150^\circ$ $150^\circ \leq \alpha < 210^\circ$ $210^\circ \leq \alpha \leq 270^\circ$	$(0.9 + 0.6 \cdot  \sin \alpha ) \cdot d_c$ $1.2 \cdot d_c$ $(0.9 + 0.6 \cdot  \sin \alpha ) \cdot d_c$
$a_{4,u}$		$0^\circ \leq \alpha \leq 180^\circ$	$(0.6 + 0.2 \cdot  \sin \alpha ) \cdot d_c$
$a_{4,c}$		$180^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	$0.6 \cdot d_c$

3. Tabula

## Zoboto pretbīdņu (tipi C10 un C11) izvietojanas nosacījumi [1-4]

Attālums	Shēma	Leņķis $\alpha$ starp spēka un šķiedru virzienu	Attāluma minimālais lielums
$a_1$		$0^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	$(1.2 + 0.8 \cdot  \cos \alpha ) \cdot d_c$
$a_2$		$0^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	$1.2 \cdot d_c$
$a_{3,u}$		$-90^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$	$2 \cdot d_c$
$a_{3,c}$		$90^\circ \leq \alpha < 150^\circ$ $150^\circ \leq \alpha < 210^\circ$ $210^\circ \leq \alpha \leq 270^\circ$	$(0.4 + 1.6 \cdot  \sin \alpha ) \cdot d_c$ $1.2 \cdot d_c$ $(0.4 + 1.6 \cdot  \sin \alpha ) \cdot d_c$
$a_{4,u}$		$0^\circ \leq \alpha \leq 180^\circ$	$(0.6 + 0.2 \cdot  \sin \alpha ) \cdot d_c$
$a_{4,c}$		$180^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	$0.6 \cdot d_c$

## 2.4. Pārvietojumi pretbīdņu savienojumā

[1-4]

Režģotas konstrukcijas punktu pārvietojumi (izliece, nobīde) summējas no elementu elastīgajām deformācijām iekšējo spēku iedarbībā un elementu savstarpējās nobīdes lielumiem mezglu savienojumos.

Elementu savstarpējās nobīdes lielums mezglā ir atkarīgs no savienojuma stinguma raksturvērtības  $K_{ser}$ , kas saskaņā ar standartu LVS EN 26891:2001 atbilst eksperimentāli noteiktajam bīdes moduļim  $k_s$ .

Bīdes modulis  $k_s$  vienāds ar bīdes spēka vērtību ( $N$ ), kas izraisa 1 mm lielu lineāro pārvietojumu spēka darbības virzienā.

Teorētiskiem aprēķiniem stinguma raksturvērtības noteikšanai izmanto formulas, kas pamatojas uz eksperimentos iegūtam sakarībām saskaņā ar LVS EN 13271:2002:

- pretbīdņu tipiem A un B  $k_s = 0.6 \cdot d_c \cdot \rho_k$ ,
- pretbīdņu tipiem C1...C9  $k_s = 0.3 \cdot d_c \cdot \rho_k$ ,
- pretbīdņu tipiem C10,C11  $k_s = 0.45 \cdot d_c \cdot \rho_k$ ,

kur  $k_s$  – bīdes modulis, N/mm<sup>2</sup>,

$\rho_k$  – koksnes blīvuma raksturvērtība, kg/m<sup>3</sup>;

$d_c$  – nosacītais pretbīdņa diametrs, mm, ko pieņem atbilstoši tā ģeometriskajiem parametriem:

C5, C8, C9 tipa pretbīdņiem  $d_c = d$ ,

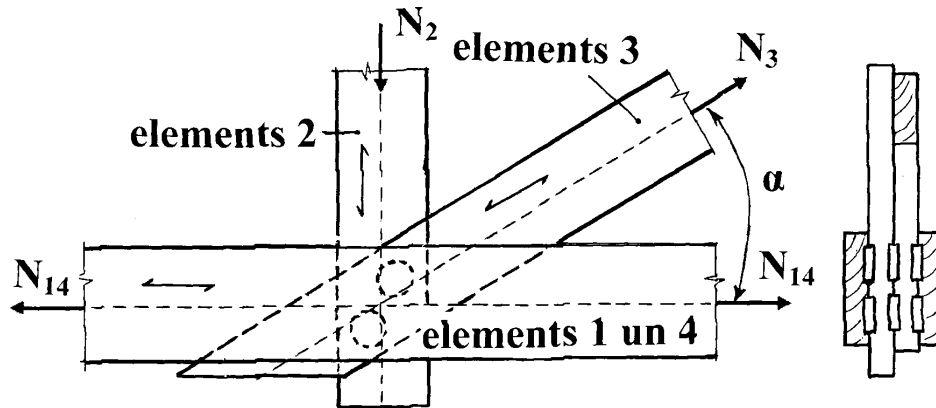
C3 un C4 tipa pretbīdņiem  $d_c = \sqrt{(a_1 \cdot a_2)}$ , kur  $a_1$  un  $a_2$  ir taisnstūrveida pretbīdņa malas izmēri (LVS EN 912:2001).

Salikto elementu (siju, kolonnu) nestspējas aprēķiniem nepieciešamo elastīgās bīdes moduli pieņem vienādu ar divām trešdaļām no bīdes moduļa vērtības ( $K_u = 2 \cdot K_{ser} / 3$ ).

## 2.5. Uzdevuma piemērs

Variants.....

### Savienojuma shēma



9.att. Savienojuma shēma

#### Dots:

Koksnes stiprības klase C.....;

Elementi 1 un 4 mm;

Elements 2 mm;

Elements 3 mm;

Leņķis  $\alpha =$  °;

#### Uzdevums:

Uzkonstruēt kopnes mezglu ar:

1. gludiem gredzenveida pretbīdņiem;
2. pretbīdes plāksnēm;
3. zobotiem pretbīdņiem.

Savienotājelementu marķu pieņemt, pamatoties uz LVS EN 912:2001.

## 2.6. Literatūra

1. EN 195-1-1: Design of timber structures – Part 1-1: General – Common rules and rules for buildings.
2. Ozola (2008). Koka būvkonstrukciju aplēse un konstruēšana I. - Jelgava, 260 lpp.
3. Ozola (1999). Konektoru kopņu projektēšana. - Jelgava, 50 lpp.
4. McKenzie (2007), Zhang. Design of structural Timber to Eurocode 5. – Cromwell Press Ltd, Towbridge, Witshire, 508.PP.
5. LVS EN 1075:2001. Savienojumi ar perforētiem metāla plātnes stiprinājumiem.
6. [www.aigkonstrukcijas.lv](http://www.aigkonstrukcijas.lv)

## Praktiskais darbs Nr.3. Stiegroto koka elementu aprēķins

### 3.1. Stiegroto koka elementu aprēķina secība

[3]

Stiegroto koka elementu aprēķinā izmanto koksnei reducētie šķērsriezuma ģeometriskie parametri.

1) Reducētais šķērsriezuma inerces moments pret neitrālo asi  $I_{y,tr}$ :

$$I_{y,tr.} = I_k + n \cdot I_s, \quad n = \frac{E_s}{E_k}, \quad (3.1)$$

kur  $E_s$  – stiegrojuma elastības modulis (tēraudam  $E_s = 2.10 \cdot 10^5$  MPa).  $E_k$  – koksnes elastības moduļa vidējā vērtība lieces normālspriegumu darbības virzienā ( $E_k = E_{mean} = E_{0,mean}$ ).

Taisnstūrveida šķērsgriezumam:

$$I_{y,tr.} = \frac{b \cdot h^3}{12} + n \cdot A_s \cdot (h_0 / 2)^2, \quad (3.2)$$

vai ar stiprības rezervi:

$$I_{y,tr.} = \beta \cdot I_k, \quad h = h_0. \quad (3.3)$$

kur  $h$  – šķērsriezuma pilnais augstums,  $h_0$  – šķērsriezuma efektīgais augstums.

$\beta = 1 + 3 \cdot n \cdot \mu$  - šķērsgriezumam ar dubultstiegrojumu;

$\beta = 1 + \frac{4 \cdot n \cdot \mu}{(1 + n \cdot \mu)}$  - šķērsgriezumam ar stiegrojumu tikai stieptajā zonā.

$\mu = \frac{A_s}{b \cdot h_0}$  - šķērsriezuma stiegrojuma koeficients.

$A_s$  – stiegrojuma šķērsriezuma laukums.

$I_k$  un  $I_s$  koksnes un stiegrojuma inerces momenti pret neitrālo asi.

2) Reducētais šķērsriezuma pretestības moments

Šķērsgriezumam ar simetrisko dubultstiegrojumu:

$$W_{y,tr.} = \frac{2I_{y,tr.}}{h_0} \quad (3.4)$$

Šķērsgriezumam ar stiegrojumu tikai stieptajā zonā:

$$W_{y,tr.}^{st} = \frac{I_{y,tr.}}{h_{st}}, \quad h_{st} = \frac{h_0}{2(1 + n \cdot \mu)}. \quad (3.5)$$

### 3) Reducētais šķērsriezuma statistiskais pretestības moments

Šķērsriezuma ar dubultstieģojumu nobīdamās daļas reducētais statistiskais moments pret neitrālo asi:

$$S_{y,tr.} = S_k (1 + 2n \cdot \mu), \quad (3.6)$$

Šķērsriezuma ar dubultstieģojumu stieģojuma reducētais statistiskais moments pret neitrālo asi:

$$S_{y,tr.}^s = \frac{n \cdot A_s \cdot h_0}{4}, \quad (3.7)$$

Šķērsriezuma ar stieģojumu tikai stieģtajā zonā stieģojuma reducētais statistiskais moments pret neitrālo asi:

$$S_{y,tr.}^s = n \cdot A_s \cdot h_{st}. \quad (3.8)$$

## 3.2. Liekto stieģrota koka konstrukciju aprēķina secība

[3]

Liekto stieģrota koka elementu aprēķina secību apskatīsim sijas ar simetrisko dubultstieģojumu.

**Uzdevums:** uzprojektēt koka siju ar paralēlam joslām un taisnstūrveida šķērsriezumu ar simetrisko dubultstieģojumu.

### Aprēķina secība:

1. Sijas šķērsriezuma augstumu pieņemam robežas  $\frac{h}{l} = \frac{1}{22} \div \frac{1}{15}$  gadījumā, ja kopējas slodzes raksturīga vērtība atrodas intervālā no 6 līdz 24kN/m.
2. Noteiksim pieņemta šķērsriezuma (neievērojot stieģojumu) ģeometriskos parametrus:  $I_k$ ,  $W_k$ ,  $S_k$ ,  $A_k$ .
3. Nepieciešamo šķērsriezuma pretestības un inerces momentu vērtības noteikšana izejot no stiprības nosacījuma pēc normalspriegumiem.

$$W_{cal} = \frac{M_d \cdot K_{ilg}^k}{f_{m,g,d}}, \quad I_{cal} = \frac{5 \cdot M_d \cdot L^2 \cdot K_{ilg}^s}{48 \cdot E_{0,mean} \cdot \left[ \frac{\delta_{max}}{L} \right]}$$

4. Nepieciešamo stieģojuma koeficientu noteikšana:

$$\mu_{cal}^W = \frac{W_{cal} - W_k}{3 \cdot n \cdot W_k}, \quad \mu_{cal}^I = \frac{I_{cal} - I_k}{3 \cdot n \cdot I_k}.$$

Stiegrojuma koeficienta rekomendējama vērtība atrodas robežās:  $\mu = 0.012-0.035$  (1.2 – 3.5%).

5. Nepieciešamo stiegrojuma laukumu noteiksim pēc maksimālo  $\mu_{cal}^{max}$  vērtības:

$$A_{s,cal} = \mu_{cal}^{max} \cdot b \cdot h.$$

6. Pieņemam nepieciešamo stiegru skaitu izejot no  $A_{s,cal}$ . stiegras pieņemam ar

vienu diametru un izvietojam tas vienā rindā ( $A_s = A'_s = \frac{A_{s,cal}}{2}$ ).

Ja stiegrota tikai stiepta zona, tad stiegras izvietojam stieptajā zonā vienā rindā.

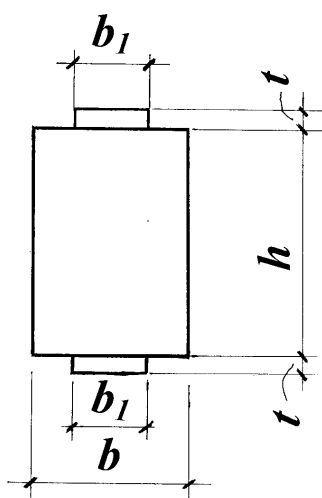
7. Aprēķina stiegrota šķērsriezuma reducētos raksturlielumus un pārbauda šķērsriezuma **stiprību**, **noturību** un **stingumu**.

### 3.3. Uzdevuma piemērs

#### Uzdevums 1

Elements ar simetrisku hibrīdo kompozīto stiegrojumu

#### Elementa shēma



10. att. Elementa shēma

#### Dots:

Koksnes stiprības klase C.....;

Lieces momenta vērtība  $M_d = \dots\dots\dots$  kN/m;

$h = \dots\dots\dots$  mm;

$t = \dots\dots\dots$  mm;

$b = \dots\dots\dots$  mm;

$b_1 = \dots\dots\dots$  mm;

Hibrīdā kompozīta stiegrojuma parametri:

1. Šķiedrai  $\mu_f =$  ..... ;  
Materiāls 1:.....;  
Materiāls 2:.....;  
 $\mu_1 =$ .....;  $\mu_2 =$ .....;
2. Saistviela:.....

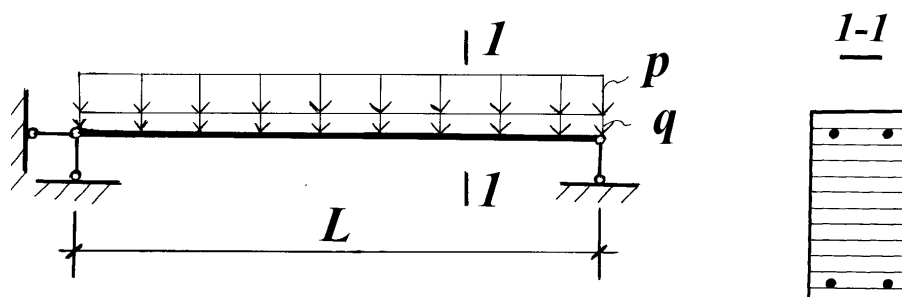
**Uzdevums:**

- 1) Noteikt maksimālos normālspriegumus koksne un stiegrojumā.
- 2) Uzzīmēt N-ε sakarību stiegrojumam, kas atrodas stieptajā zonā:
  - a) ievērojot saistvielu;
  - b) neievērojot saistvielu.

**Uzdevums 2**

Koka sija ar simetrisku tērauda dubultstiegrojumu

**Elementa shēma**



11.att. Elementa shēma

**Dots:**

Koksnes stiprības klase C.....;  
Mainīgās slodzes raksturīga vērtība  $p =$  .....kN/m;  
Pastāvīgās slodzes raksturīgā vērtība  $q =$  .....kN/m;  
Sijas laidums  $L =$  .....m.

**Uzdevums:**

Uzkonstruēt koka siju ar simetrisku tērauda dubultstiegrojumu.  
Stiegrojuma materiālu un diametru pieņemt patstāvīgi.

**3.4. Literatūrs**

1. EN 195-1-1: Design of timber structures – Part 1-1: General – Common rules and rules for buildings.
2. McKenzie (2007), Zhang. Design of structural Timber to Eurocode 5. – Cromwell Press Ltd, Towbridge, Witshire, 508.P.P.
3. V. Shuko (2008), S.Roshina Stiegrotas līmētas koka konstrukcijas (Krievu val.) – Vladimir, 67 lpp.

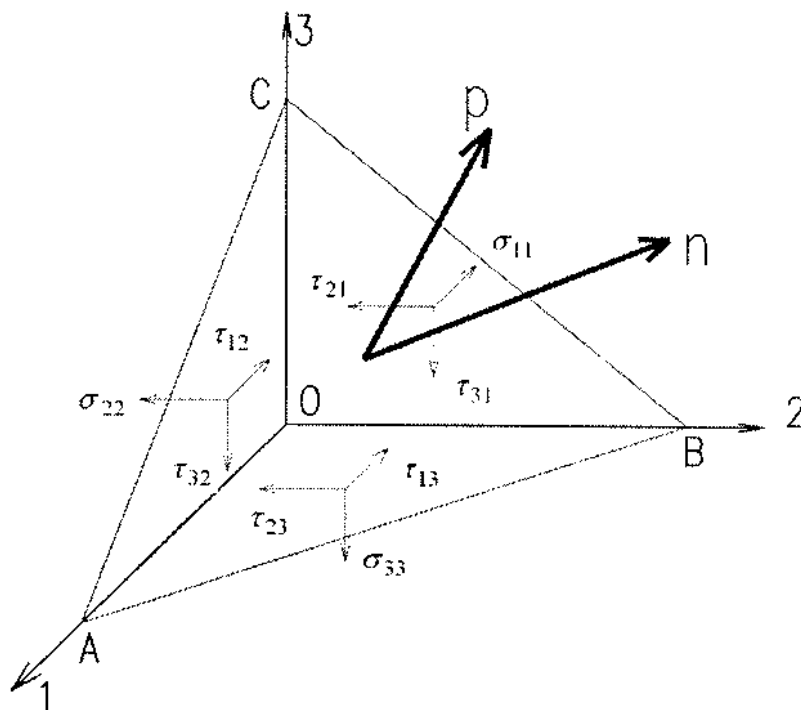
## Praktiskais darbs Nr.4. Koksnes materiālu spriegumu un deformāciju aprēķins

### 4.1. Spriegumi un deformācijas. Stingrības un padevīguma raksturlielumi

[1,4,7]

Deformācijas un spriegumi ir otrā ranga tenzori, bet deformāciju raksturlielumi (padevīguma raksturlielumi) ceturtā ranga tenzori. Lai pierādītu, ka spriegums ir otrā ranga tenzors, no patvaļīga

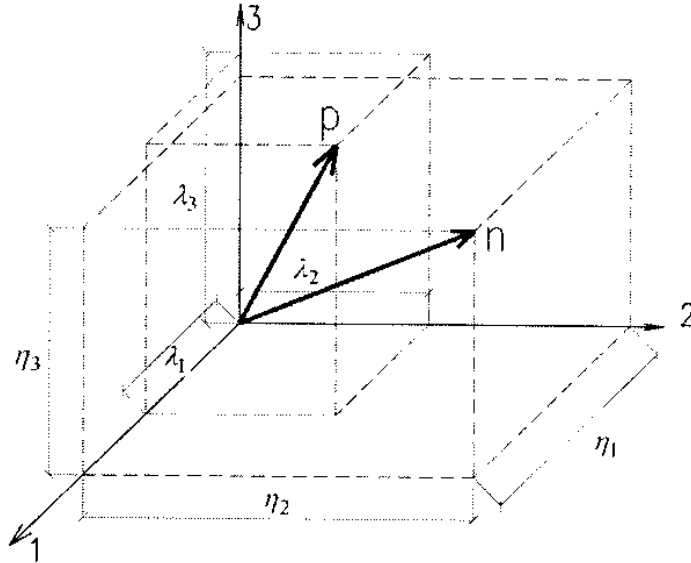
ķermeņa izšķēļ trīsstūrveida piramīdu (skat. attēlu), uz kuru darbojas spriegums  $p$  vienības laukumā  $ABC$ . Šī laukuma normāle sakrīt ar vienības vektoru  $n$ . Lai ķermenis būtu statiskā līdzsvarā, tam ir pieliktas deviņas iekšējo spriegumu komponentes  $\sigma_{ij}$  ( $i=1,2,3; j=1,2,3$ ).



12. att. No ķermeņa izšķeltās piramīdas spriegumu stāvoklis uz tās skaldnēm

Lielumu  $p$  definē ar trim projekcijām uz koordinātu asīm -  $(\lambda_1; \lambda_2; \lambda_3)$ , līdzīgi arī  $n$  -  $(\eta_1; \eta_2; \eta_3)$  (skat. attēlu).





13. att. Sprieguma  $p$  un laukuma normāles vektora  $n$  projekcijas uz koordinātu asīm

Sprieguma  $p$  projekcijas uz koordinātu asīm var izteikt izmantojot vektora  $n$  projekcijas un deviņus pagaidām nezināmus koeficientus –  $a_{ij}$  ( $i=1,2,3; j=1,2,3$ ) :

$$\begin{cases} \lambda_1 = a_{11}\eta_1 + a_{12}\eta_2 + a_{13}\eta_3 \\ \lambda_2 = a_{21}\eta_1 + a_{22}\eta_2 + a_{23}\eta_3 \\ \lambda_3 = a_{31}\eta_1 + a_{32}\eta_2 + a_{33}\eta_3 \end{cases} \quad (*) \quad (4.1)$$

Sareizinot visas spriegumu komponentes ar attiecīgo laukumu, uz kuru tās darbojas, iegūst koncentrētu spēku sistēmu, kura pielikta ķermeņa fragmentam. Uzrakstot spēka līdzsvara nosacījumus uz asīm 1, 2, 3 un veicot algebriskus pārveidojumus, iegūst, ka izteiksmē (\*) koeficienti

$a_{ij} = \sigma_{ij}$  un izteiksmi (\*) var pārrakstīt šādi:

$$\begin{cases} \lambda_1 = \sigma_{11}\eta_1 + \tau_{12}\eta_2 + \tau_{13}\eta_3 \\ \lambda_2 = \tau_{21}\eta_1 + \sigma_{22}\eta_2 + \sigma_{23}\eta_3 \\ \lambda_3 = \tau_{31}\eta_1 + \tau_{32}\eta_2 + \sigma_{33}\eta_3 \end{cases} \quad (4.2)$$

Līdz ar to var izdarīt secinājumu, ka iekšējo spriegumu sistēma, kura sastāv no deviņām spriegumu komponentēm ir otrā ranga tenzors.

Analoģiskā veidā pierāda, ka ķermeņa deviņu komponentu deformāciju sistēma arī ir otrā ranga tenzors.

Vispārināto Huka likumu var pārrakstīt tenzoru formā, izsakot spriegumus ar deformācijām, izmantojot elastības tenzoru  $C_{ijkl}$  ( $i, j, k, l = 1,2,3$ ) - ceturtā ranga tenzors, vai otrādi- izsakot deformācijas ar spriegumiem, izmantojot padevīguma tenzoru  $S_{ijkl}$  ( $i, j, k, l = 1,2,3$ ) – ceturtā ranga tenzors:

$$\begin{aligned} \sigma_{ij} &= C_{ijkl} \cdot \epsilon_{kl} \\ \epsilon_{ij} &= S_{ijkl} \cdot \sigma_{kl} \quad (**) \end{aligned} \quad (4.3)$$



Vispārīgākajā gadījumā, ja koksnei ir nevienmērīga gadskārtu struktūra, tad lieto **anizotropā** materiāla deformēšanās vispārināto Huka likumu, ko matricu formā pieraksta šādi:

$$\begin{pmatrix} \varepsilon_1 \\ \varepsilon_2 \\ \varepsilon_3 \\ \gamma_{23} \\ \gamma_{31} \\ \gamma_{12} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} S_{11} & S_{12} & S_{13} & S_{14} & S_{15} & S_{16} \\ S_{21} & S_{22} & S_{23} & S_{24} & S_{25} & S_{26} \\ S_{31} & S_{32} & S_{33} & S_{34} & S_{35} & S_{36} \\ S_{41} & S_{42} & S_{43} & S_{44} & S_{45} & S_{46} \\ S_{51} & S_{52} & S_{53} & S_{54} & S_{55} & S_{56} \\ S_{61} & S_{62} & S_{63} & S_{64} & S_{65} & S_{66} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \sigma_1 \\ \sigma_2 \\ \sigma_3 \\ \tau_{23} \\ \tau_{31} \\ \tau_{12} \end{pmatrix} \quad (4.10)$$

kur  $S_{11}, S_{12}, \dots$  – padevīguma matricas koeficienti.

Padevīguma matricas koeficientus var aprēķināt, izmantojot *tehniskās konstantes* [19]:

$$S = \begin{pmatrix} \frac{1}{E_x} & \frac{\nu_{yx}}{E_x} & \frac{\nu_{xz}}{E_z} & \frac{\eta_{yz,x}}{E_x} & \frac{\eta_{zx,x}}{E_x} & \frac{\eta_{xy,x}}{E_x} \\ \frac{\nu_{xy}}{E_y} & \frac{1}{E_y} & \frac{\nu_{zy}}{E_y} & \frac{\eta_{yz,y}}{E_y} & \frac{\eta_{zx,y}}{E_y} & \frac{\eta_{xy,y}}{E_y} \\ \frac{\nu_{zx}}{E_x} & \frac{\nu_{yz}}{E_z} & \frac{1}{E_z} & \frac{\eta_{yz,z}}{E_z} & \frac{\eta_{zx,z}}{E_z} & \frac{\eta_{xy,z}}{E_z} \\ \eta_{x,yz} & \eta_{y,yz} & \eta_{z,yz} & 1 & \mu_{zx,xy} & \mu_{xy,yz} \\ G_{yz} & G_{yz} & G_{yz} & G_{yz} & G_{yz} & G_{yz} \\ \eta_{x,zx} & \eta_{y,zx} & \eta_{z,zx} & \mu_{yz,zx} & 1 & \mu_{xy,zx} \\ G_{xz} & G_{xz} & G_{xz} & G_{xz} & G_{xz} & G_{xz} \\ \eta_{x,xy} & \eta_{y,xy} & \eta_{z,xy} & \mu_{yz,xy} & \mu_{zx,xy} & 1 \\ G_{xy} & G_{xy} & G_{xy} & G_{xy} & G_{xy} & G_{xy} \end{pmatrix},$$

kur  $E_x, E_y, E_z$  – elastības moduļi asu  $x, y, z$  virzienos;

$G_{yz}, G_{xz}, G_{xy}$  – bīdes moduļi plaknēs, ko nosaka asis  $yz, xz, xy$ ;

$\nu_{yz}, \nu_{zy}, \nu_{xz}, \nu_{zx}, \nu_{xy}, \nu_{yx}$  – Puasona koeficienti, pirmais indekss norāda šķērsdeformācijas virzienu, otrais pieliktās slodzes virzienu;

$\mu_{xy,zx}, \mu_{zx,xy}, \mu_{xy,yz}, \mu_{yz,xy}, \mu_{yz,zx}$  – Čencova koeficienti - raksturo bīdi paralēlās plaknēs (otrie divi indeksi), ko izsauc bīdes spriegumi plaknē, ko nosaka pirmie divi indeksi, tā piemēram,  $\mu_{zx,yz}$  – raksturo plaknē, kas paralēla  $yOz$  plaknei un kuru izsauc bīdes spriegumi  $\tau_{zx}$ ;

$\eta_{yz,x}, \eta_{zx,x}, \dots, \eta_{xy,z}$  – savstarpējās mijiedarbības pirmā veida koeficienti - raksturo pagarinājumu (3 indekss), ko izsauc bīdes spriegumi, kas darbojas plaknē, ko nosaka pirmie divi indeksi;

$\eta_{x,yz}, \eta_{y,yz}, \dots, \eta_{z,xy}$  – savstarpējās mijiedarbības otrā veida koeficienti - raksturo bīdi plaknē, ko nosaka otrais un trešais indekss, šo bīdi izsauc normālspriegumi virzienā, ko nosaka pirmais indekss.

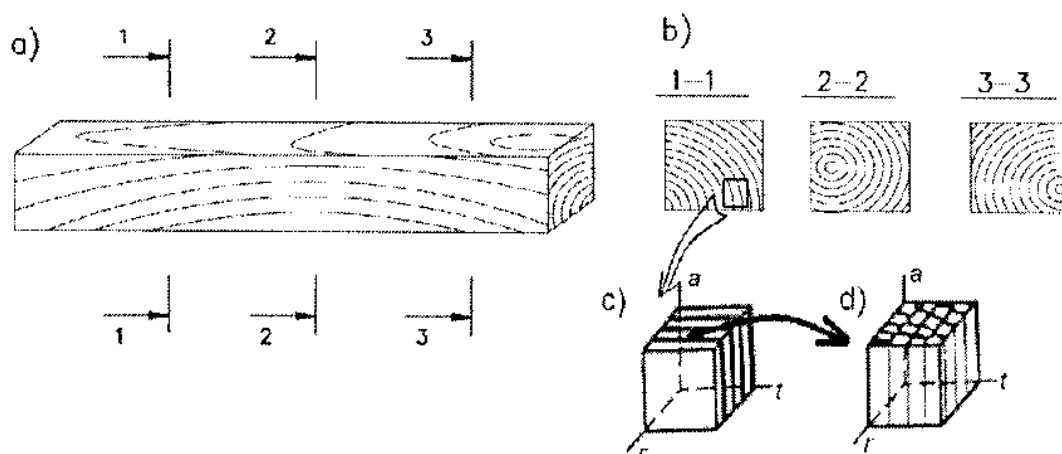
Padevīguma matrica ir simetriska pret tās galveno diagonāli. Vispārināto Huka likumu par pierakstīt, izsakot spriegumu matricu šādi:

$$\sigma = S^{-1} \cdot \varepsilon = C \cdot \varepsilon, \quad (4.11)$$

kur matricu  $C$  sauc par stinguma(elastības) matricu, tās koeficientus iegūst sarēķinot padevīguma matricas  $S$  inverso matricu.

Tā kā eksperimentāli ir praktiski neiespējami noteikt visas tehniskās konstantes padevīguma matricā, tādēļ bieži lieto vienkāršotus deformēšanās modeļus, piemēram, **transversāli izotropu** modelis, **ortotropu** modelis.

## 4.2. Dažāda lieluma koksnes elementi un tiem pielietojamie aprēķina modeļi [1,6]



14. att. Dažāda lieluma koksnes elementi un tiem pielietojamie aprēķina modeļi

**a** - koka šķautnis ar greizšķiedrainību, kam pielietojams **transversāli izotropa** materiāla aprēķina modelis; **b**- koka šķautņa šķērs griezumi dažādās vietās pa garumu; **c**- **ortotropu materiāla** aprēķina modelis elementiem ar relatīvi mazu šķērs griezuma laukumu; **d**- **ortotropu materiāla aprēķina modelis** (viens izmērs ir samērojams ar dažu gadskārtu kopējo izmēru radiālā virzienā, piemēram, lobskaida no kurām veido saplākšņa loksnes).

### 4.2.1. Zāģmateriāli un vienā virzienā stiegtas plastmasas - transversāli izotropi materiāli [1,4,7]

Aprēķina modeļa izvēlei ietekmē apskatāmā koksnes parauga izmēri. Tā, piemēram, zāģmateriālus, kuru šķiedru orientācija un koksnes vainas pa tās garumu dažādos šķēlumos atšķiras, **var uzskatīt par transversāli izotropu materiālu**.

Savukārt mazus koksnes paraugus, ar ideālu koksnes struktūru pa to tilpumu, nevar uzskatīt par transversāli izotropu materiālu, bet pareizāk uzskatīt par **ortotropu** materiālu.

Transversāli - izotropa materiāla gadījumā padevīguma matrica reducējas uz šādu (izotropijas plaknes normāle vērsta ass 1 virzienā) [4,7,16]:

$$S = \begin{pmatrix} \frac{1}{E_1} & -\frac{\nu_{21}}{E_1} & -\frac{\nu_{21}}{E_1} & 0 & 0 & 0 \\ -\frac{\nu_{21}}{E_1} & \frac{1}{E_2} & -\frac{\nu_{32}}{E_2} & 0 & 0 & 0 \\ -\frac{\nu_{21}}{E_1} & -\frac{\nu_{32}}{E_2} & \frac{1}{E_2} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 2\left(\frac{1}{E_2} + \frac{\nu_{32}}{E_2}\right) & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{1}{G_{21}} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{1}{G_{21}} \end{pmatrix} \quad (4.12)$$

Šajā aprēķina modelī ir pieņemts, ka plaknē 2 3 materiāla īpašības nav atkarīgas no virziena, tas ir, plakne 2 3 šajā gadījumā ir **izotropijas plakne**. Koksnes zāģmateriālu gadījumā izotropijas plakne ir perpendikulāra šķiedru garenvirzienam.

#### 4.2.2. Slāņaini materiāli un divos perpendikulāros virzienos stiegtas plastmasas- ortotropi materiāli [1,4,7]

Slāņaini materiāli, kuri salīmēti no nolobītiem koksnes slāņiem - lobskaidām, vai vienā virzienā stiegtām plastmasas slāņiem, un ir ar simetrisku struktūru pret loksnes vidusplakni (balansēta struktūra), var tikt modelēti kā **ortotropi** materiāli.

Simetriska struktūra pret vidusplakni nozīmē, ka virs un zem loksnes vidusplaknes (plakne, kas sakrīt ar loksnes plakni, un iet caur tās vidu) ir viena un tā pati slāņu struktūra. Koksnes lobskaida saistībā ar tās izgatavošanas (lobīšanas) īpatnībām arī var tikt uzskatīta par **ortotropu** materiālu.

Mazu koksnes elementu, ar idealizētu struktūru pa tā tilpumu, var uzskatīt par **ortotropu** materiālu. Šajā gadījumā gadskārtu liekuma rādiuss ir daudzkārt lielāks par elementa malas garumu

tangenciālajā virzienā, kas izraisa nepieciešamību ievērot mehānisko īpašību atšķirību starp tangenciālo un radiālo virzienu.

**Ortotropa materiāla** gadījumā padevīguma matrica reducējas uz šādu [3,4,5] :

$$S = \begin{pmatrix} \frac{1}{E_1} & -\frac{\nu_{21}}{E_1} & -\frac{\nu_{13}}{E_3} & 0 & 0 & 0 \\ -\frac{\nu_{12}}{E_2} & \frac{1}{E_2} & -\frac{\nu_{32}}{E_2} & 0 & 0 & 0 \\ -\frac{\nu_{31}}{E_1} & -\frac{\nu_{23}}{E_3} & \frac{1}{E_3} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \frac{1}{G_{23}} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{1}{G_{13}} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{1}{G_{12}} \end{pmatrix} \quad (4.13)$$

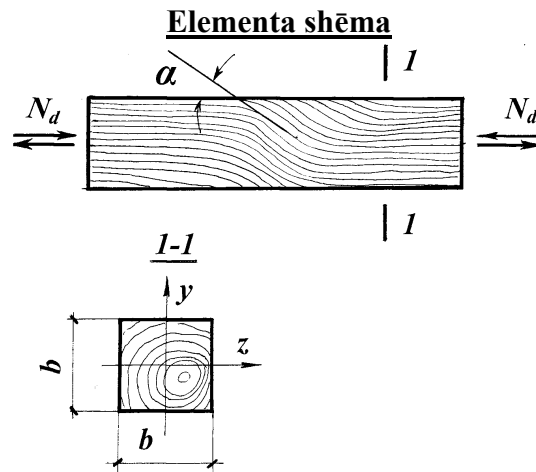
**Ortotropa materiāla** aprēķina modelī ir pieņemts, ka jebkurā materiālā punktā ir trīs tādas savstarpēji perpendikulāras plaknes, kurās materiālam nemainās mehāniskās

īpašības. Ja tiek aplūkots koksnes elements dažu gadskārtu robežās, tad, tāpat kā iepriekš, var tikt izmantots **ortotropa materiāla** aprēķina modelis.

### 4.3. Uzdevuma piemērs

#### Uzdevums 1

Aksiāli noslogots koka šķautnis ar greizšķiedrainību



15. att. Elementa shēma

#### Dots:

Koksnes suga.....;

Koksnes mitrums.....%;

$\alpha = \dots\dots\dots^\circ$ ;

$b = \dots\dots\dots$ mm;

$N_d = \dots\dots\dots$ kN;

#### Uzdevums:

Noteikt šķautņu spriegumus un deformācijas:

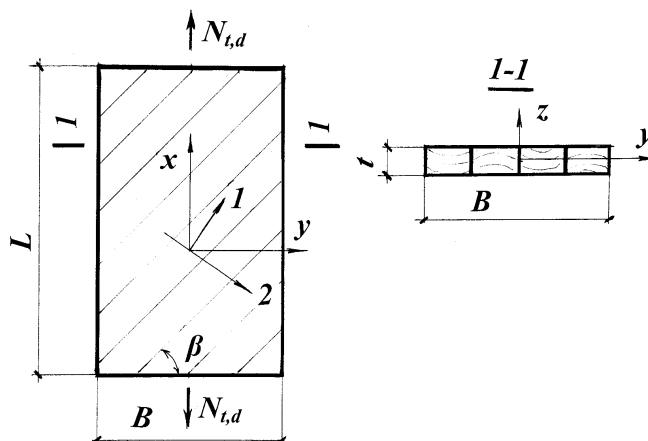
a) Posmā, kur nav greizšķiedrainība;

b) Posmā ar greizšķiedrainību.

## Uzdevums 2

Zem leņķa pret šķiedru virzienu stiepta koksnes elementa deformēšanās

### Elementa shēma



16. att. Elementa shēma

### Dots:

Koksnes suga.....;

Koksnes mitrums.....%;

$L = \dots\dots\dots$ mm;

$B = \dots\dots\dots$ mm;

$b = \dots\dots\dots$ mm;

$t = \dots\dots\dots$ mm;

$\beta = \dots\dots\dots$ °;

$N_{t,d} = \dots\dots\dots$ kN;

### Uzdevums:

Noteikt:

- Maksimālos normālspriegumus;
- Maksimālos tangenciālos spriegumus;
- Maksimālos garendeformācijas;
- Maksimālos šķērsdeformācijas.

## 4.4 Literatūra

- Šliseris J., Rocēns K. Koksnes materiālu un plastmasu spriegumu un deformāciju aprēķina pamati. - Rīga: Rīgas Tehniskā universitāte, 2010.-74 lpp.
- Decolon C. Analysis of composite structures.- London: Hermes PentonLtd., 2002.-336 pp.
- Jones R.M. Mechanics of composite materiāls. UK: Taylor& Francis LTd., 1999.-519 pp.
- Pereligin L.M., Ugolev B.N. Koksnes zinātne (kr. valodā).- Maskava:Lesnaja promislennostj 1971. -386 lpp.
- Skudra A.M, Skudra A.A. Ievads slāņaino materiālu un konstrukciju mehānikā.- Rīga: Rīgas Tehniskā universitāte, 2002.-116 lpp.
- Sobolev J. S. Koksne kā konstrukcijas materiāls (kr. valodā). – Maskava: Lesnaja promislennostj, 1979. -246 lpp.
- Wood Handbook: Wood as an Engineering Material. U.S.: Forest Products Laboratory, 1999. -463 pp.