



Izglītības un zinātnes ministrija



Studiju un zinātnes
administrācija

Valsts pētījumu programmas “Inovātīvi materiāli un viedās tehnoloģijas vides drošumam (IMATEH)”

3 .projekta “ Risku ievērtēšana drošām, efektīvām un ilgtspējīgām būvēm”

3. Uzdevums „Izstrādāt inovatīvas viedas konstrukcijas ar uzsvāru uz atjaunojamo dabas resursu izmantošanu ar paaugstinātu ilgtspējību un drošumu, kas ir vērstas uz būvniecības un infrastruktūras objektiem.”

1. Nodevums

Aprēķina metodika konstrukcijas elementiem no krusteniski līmētas koksnes

1.1. Aprēķina metodika konstrukcijas elementiem no krusteniski līmētas koksnes

1.2. Aprēķina metodikas eksperimentālas pārbaudes konstrukcijas elementiem no krusteniski līmētas koksnes

Sagatavoja: Dr.sc.ing. Dmitrijs Serdjuks

Dr.sc.ing. Vadims Goremikins

B.sc.ing. Karīna Buka-Vaivade

Projekta vadītājs: Prof. Ainārs Paeglītis

Rīga, 2016.gada 15. novembris

SATURS

1.	Saistītie standarti	3
2.	Aprēķina metodikas konstrukcijas elementiem no krusteniski līmētas koksnes vispārējs raksturojums	4
3.	Aprēķina metodikas konstrukcijas elementiem no krusteniski līmētas koksnes apraksts .	5
3.1.	Reducēto šķērsriezumu ģeometrisku parametru noteikšana konstrukcijas elementiem no krusteniski līmētas koksnes	5
3.2.	Nestspējas pārbaude (ULS) liektiem un spiesti-liektiem konstrukcijas elementiem no krusteniski līmētas koksnes	6
3.2.1.	Spriegumu noteikšana liektiem un spiesti-liektiem konstrukcijas elementiem no krusteniski līmētas koksnes	6
3.2.2.	Stiprības pārbaude liektiem un spiesti-liektiem konstrukcijas elementiem no krusteniski līmētas koksnes	7
3.2.3.	Noturības pārbaude spiesti-liektiem konstrukcijas elementiem no krusteniski līmētas koksnes	8
3.3.	Izlieces pārbaude (SLS) liektiem konstrukcijas elementiem no krusteniski līmētas koksnes	8
4.	Aprēķina metodikas eksperimentālas pārbaudes konstrukcijas elementiem no krusteniski līmētas koksnes vispārējs raksturojums	8
4.1.	Aprēķina metodikas eksperimentālas pārbaudes liektiem konstrukcijas elementiem no krusteniski līmētas koksnes detalizētais apraksts	9
4.2.	Aprēķina metodikas eksperimentālas pārbaudes spiesti-liektiem konstrukcijas elementiem no krusteniski līmētas koksnes detalizētais apraksts	12
5.	Literatūras atsauces	13

1. Saistītie standarti

Šo metodikas lietošanai nepieciešams ieverot sekojošus standartus:

1. LVS EN 1995-1-1+AC+A1: 5. Eirokodekss: Koka konstrukciju projektēšana. 1-1.daļa: Vispārīgi. Vispārīgie noteikumi un noteikumi būvēm.
2. LVS EN 16351: 2016: Koka konstrukcijas. Krusteniski līmēti kokmateriāli. Prasības.
3. LVS EN 1990:2006 L: Eirokodekss. Konstrukciju projektēšanas pamati.
4. LVS EN 1991-1-1: 2006 L: 1. Eirokodekss. Iedarbes uz konstrukcijām. 1-1.daļa: Vispārīgās iedarbes. Blīvums, pašsvars, ēku lietderīgās slodzes.
5. LVS EN 1991-1-2+AC:2014 L: 1. Eirokodekss. Iedarbes uz konstrukcijām. 1-2. daļa: Vispārīgās iedarbes. Uguns radītās iedarbes uz konstrukcijām.
6. LVS EN 1991-1-4+A1+AC:2014 L: 1. Eirokodekss. Iedarbes uz konstrukcijām. 1-4. daļa: Vispārīgās iedarbes. Vēja iedarbes.
7. LVS EN 1991-1-3+AC:2014 L: 1. Eirokodekss. Iedarbes uz konstrukcijām. 1-3.daļa: Vispārīgās iedarbes. Sniega radītās slodzes.
8. LVS EN 1991-2: 2004 A: 1.Eirokodekss: Iedarbes uz konstrukcijām - 2.daļa: Satiksmes slodzes tiltiem.
9. LVS EN 1995-1-2:2005 A: 5. Eirokodekss - Koka konstrukciju projektēšana - 1-2.daļa: Vispārīgi - Konstrukciju ugunsdrošības projektēšana.
10. LVS EN 1995-2:2005 A: 5. Eirokodekss - Koka konstrukciju projektēšana - 2.daļa: Tilti.

2. Aprēķina metodikas konstrukcijas elementiem no krusteniski līmētas koksnes vispārējs raksturojums

Piedāvāta aprēķina metodika paredzēta liekto un spiesti-liekto konstrukcijas elementu aprēķiniem no krusteniski līmētas koksnes. Piedāvātas metodikas pamatā ir aprēķina procedūras, kas ir aprakstītas LVS EN 1995-1-1 liektiem un spiesti-liektiem elementiem un reducētā šķērsriezuma metode. Piedāvāta metodika ļauj pārbaudīt liekto un spiesti-liekto konstrukcijas lementu no krusteniski līmētas koksnes atbilstību nestspējas (ULS) un lietojamības (SLS) robežstāvokļiem, ka arī prognozēt elementu uzvedību statistiska slogojuma gadījumā. Elementu šķērsriezumu ģeometriskie parametri tiek noteikti pēc reducētā šķērsriezuma metodes, šķērsgriezumam, kas ir reducēts uz tā materiāla kārtām, kurā jānosaka spriegumi. Pēc tam liekto un spiesti-liekto elementu stiprība, noturība un izlieces tiek pārbaudīti pēc LVS EN 1995-1-1 sadaļas 6 un 7, atbilstoši. Piedāvāta aprēķina metodika atšķiras ar samazināto aprēķina darbietilpību un pietiekamo precizitāti salīdzinājumā ar eksistējošām aprēķina metodēm (kompozītu metode, salikto siju metode, bīdes analogiju metode).

1.tabula

Aprēķina metodikas etapi

Etapa numurs	Aprēķina metodikas etapa nosaukums	Atsauce [...] – sk. atsauces sarakstā
	Liekie konstrukcijas elementi no krusteniski līmētas koksnes	
1.	Elementa konstruktīvas shēmas izvēle	LVS EN 1990:2006 L
2.	Slodžu noteikšana	LVS EN 1991-1, LVS EN 1991-2
3.	Statiskais aprēķins (iekšējo spēku noteikšana)	LVS EN 1995-1-1, Sadaļa 5
4.	Nestspējas pārbaude (ULS)	LVS EN 1995-1-1, Sadaļa 6, [1-4]
4.1.	Stiprības pārbaude pēc normalspriegumiem	LVS EN 1995-1-1, Sadaļa 6, punkts 6.1.6.
4.2.	Stiprības pārbaude pēc tangenciāliem spriegumiem	LVS EN 1995-1-1, Sadaļa 6, punkts 6.1.7.
5.	Izlieces pārbaude (SLS)	LVS EN 1995-1-1, Sadaļa 7
	Spiesti-liekie konstrukcijas elementi no krusteniski līmētas koksnes	
1.	Elementa konstruktīvas shēmas izvēle	LVS EN 1990:2006 L
2.	Slodžu noteikšana	LVS EN 1991-1, LVS EN 1991-2
3.	Statiskais aprēķins (iekšējo spēku noteikšana)	LVS EN 1995-1-1, Sadaļa 5
4.	Nestspējas pārbaude (ULS)	LVS EN 1995-1-1, Sadaļa 6, [1-4]
4.1.	Stiprības pārbaude pēc normalspriegumiem	LVS EN 1995-1-1, Sadaļa 6, punkts 6.2.4.
4.2.	Noturības pārbaude	LVS EN 1995-1-1, Sadaļa 6, punkts 6.3.2.

3. Aprēķina metodikas konstrukcijas elementiem no krusteniski līmētas koksnes apraksts
3.1. Reducēto šķērsgriezumu ģeometrisku parametru noteikšana konstrukcijas elementiem no krusteniski līmētas koksnes

Lai atrastu nepieciešamus spriegumus, elementa šķērsgriezums tiek reducēts uz tā materiāla īpašībām, kurā tiek meklēti spriegumi. Lai noteiktu normālspriegumus, kuru maksimāla vērtība tiek sasniegta uz ārējās, gareniski orientētas kārtas, elementa šķērskārtu šķērsgriezums tiek aizstāts ar samazināto šķērsgriezumu, kas pēc īpašībām ir ekvivalents nesošām (gareniskām) kārtām. Šim nolūkam izmanto reducēšanas faktoru n , kas ir elastības moduļu attiecība:

$$n = \frac{E_{CR}}{E_L} \quad (1)$$

kur E_L – gareniski orientēto kārtu elastības modulis, MPa;

E_{CR} - šķērskārtu elastības modulis, MPa

Šķērskārtu augstums paliek nemainīgs, šķērsgriezumu samazina uz platuma rēķina:

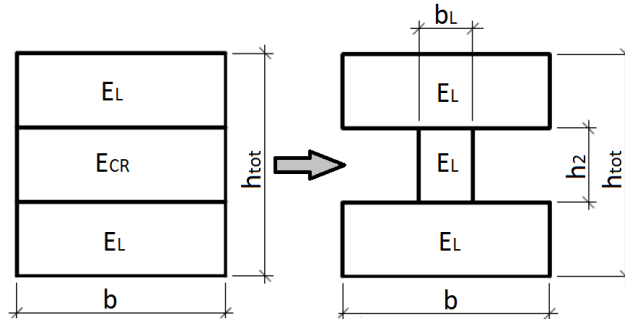
$$b_L = b \cdot n \quad (2)$$

kur b_L - reducētais uz garenisko kārtu šķērskārtas platums, mm;

b - paneļa platums, parasti 1000 mm;

n - reducēšanas faktors

Trīs kārtu CLT panelim reducētais uz garenisko kārtu materiāla īpašībām šķērsgriezums atgādina dubult-T profila šķērsgriezumu. Reducēšanas rezultātā visām kārtām ir vienāds elastības modulis. Iegūtam šķērsgriezumam aprēķina inerces momentu.



1.att. Šķērsgriezuma reducēšana uz garenisko kārtu materiāla īpašībām

Dotā gadījumā inerces momentu aprēķina pēc formulas:

$$I_{y,tr}^L = \left(\frac{b \cdot h_{tot}^3}{12} - \frac{(b - b_L) \cdot h_2^3}{12} \right) \quad (3)$$

kur $I_{y,tr}^L$ – uz garenisko kārtu reducēts paneļa šķērsgriezuma inerces moments, mm⁴;

h_{tot} - paneļa augstums, mm;

h_2 - šķērskārtas augstums, mm

3.2. Nestspējas pārbaude (ULS) liekiem un spiesti-liekiem konstrukcijas elementiem no krusteniski līmētas koksnes

3.2.1. Spriegumu noteikšana liekiem un spiesti-liekiem konstrukcijas elementiem no krusteniski līmētas koksnes

Maksimālos spiedes spriegumus aprēķina kā spiedes spēka aprēķina vērtības attiecību pret reducētā šķērsriezuma laukumu (attēls 1).

Maksimālos lieces normālspriegumus ārējā gareniskā kārtā aprēķina pēc formulas:

$$\sigma_{max} = \frac{M_d \cdot h_{tot}}{I_{y,tr} \cdot 2} \quad (4)$$

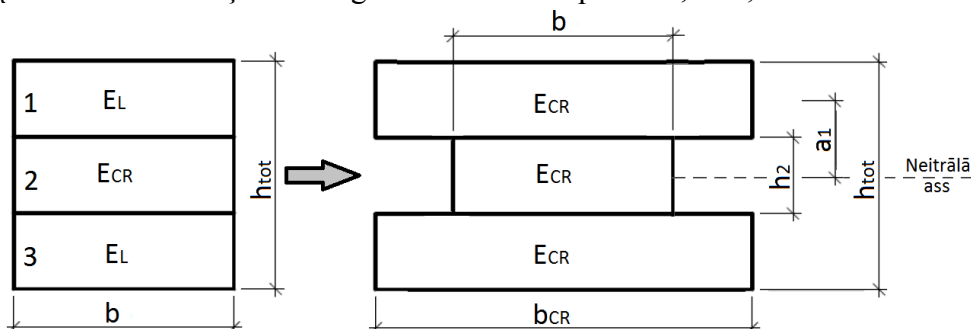
kur $\sigma_{y,tr}$ - maksimālie lieces normālspriegumi ārējā kārtā, MPa;

M_d - lieces momenta aprēķina vērtība, Nmm

CLT paneļa maksimālie tangenciālie spriegumi rodas vidējā šķērskārtā. Līdz ar to, paneļa šķērsriezumu nepieciešams transformēt uz šķērskārtas materiāla īpašībām (attēls 2):

$$b_{CR} = b \cdot \frac{1}{n} \quad (5)$$

kur b_{CR} - reducētais uz šķērskārtu gareniskās kārtas platums, mm;



2.att. Šķērsriezuma reducēšana uz šķērskārtu materiāla īpašībām

Balstoties uz iegūtu reducēto šķērsriezumu, aprēķina inerces momentu:

$$I_{y,tr}^{CR} = \left(\frac{b_{CR} \cdot h_{tot}^3}{12} - \frac{(b_{CR} - b) \cdot h_2^3}{12} \right) \quad (6)$$

kur $I_{y,tr}^{CR}$ – uz šķērskārtu reducēts paneļa šķērsriezuma inerces moments, mm^4 ;

h_{tot} - paneļa augstums, mm;

h_2 - šķērskārtas augstums, mm

Maksimālos tangenciālos spriegumus nosaka pēc formulas:

$$\tau_{max} = \frac{V_d \cdot S_{CR}}{I_{y,tr}^{CR} \cdot b} \quad (7)$$

kur τ_{max} – maksimālie tangenciālie spriegumi, MPa;

V_d - šķērsspēka aprēķina vērtība, N;

b - šķērsriezuma platums spriegumu noteikšanas līmenī, dotā gadījumā vienāds ar šķērskārtas platumu, mm;

S_{CR} – reducēta uz šķērskārtas materiāla īpašībām, pusšķērsgriezuma statistiskais moments pret neitrālo asi, mm^3 ; ko 3-kārtu panelim rēķina pēc formulas (apzīmējumi saskaņā ar attēlu 2):

$$S_{CR} = A_1 \cdot a_1 + \frac{A_2}{2} \cdot \frac{h_2}{4} \quad (8)$$

kur A_i – attiecīgās kārtas šķērsgriezuma laukums, mm^2 ;

a_1 - attālums starp ārējās kārtas smaguma centru un visa šķērsgriezuma smaguma centru, mm.

3.2.2. Stiprības pārbaude liekiem un spiesti-liekiem konstrukcijas elementiem no krusteniski līmētas koksnes

a) Stiprības pārbaude liekiem konstrukcijas elementiem no krusteniski līmētas koksnes

Stiprības pārbaude liekiem konstruktīviem elementiem no krusteniski līmētas koksnes veicam atbilstoši LVS EN 1995-1-1 punktiem 6.1.6. un 6.1.7. Pie lieces, kas darbojas paralēli paneļa ārējās kārtas šķiedru virzienam, jāizpildās nosacījumiem (9) un (11).

Normālspriegumiem jāatbilst šādai izteiksmei:

$$\sigma_{max,d} \leq f_{m,d} \quad (9)$$

kur $\sigma_{max,d}$ - maksimālie normālspriegumi liecē, MPa;

$f_{m,d}$ - materiāla pretestības aprēķina vērtība liecē, paralēli šķiedru virzienam, MPa

Aprēķina pretestības vērtību liecē nosaka pēc formulas:

$$f_{m,d} = k_{mod} \cdot k_{sys} \cdot \frac{f_{m,k}}{\gamma_m} \quad (10)$$

kur $f_{m,d}$ – pretestības aprēķina vērtība liecē, MPa;

$f_{m,k}$ - pretestības raksturīga vērtība liecē, MPa;

k_{mod} - modifikācijas koeficients, tiek pieņemts saskaņā ar EN 1995-1-1

k_{sys} - sistēmas stiprības koeficients.

Tangenciāliem spriegumiem jāapmierina sekojošu nosacījumu:

$$\tau_{max,d} \leq f_{V,R,d} \quad (11)$$

kur $\tau_{max,d}$ - maksimālie tangenciālie spriegumi, MPa;

$f_{V,R,d}$ – šķērskārtas bīdes pretestības aprēķina vērtība, MPa

Šķērskārtas bīdes pretestības aprēķina vērtību nosaka pēc formulas:

$$f_{V,R,d} = k_{mod} \cdot \frac{f_{V,R,k}}{\gamma_m} \quad (12)$$

kur $f_{V,R,k}$ - šķērskārtas bīdes pretestības raksturīga vērtība, MPa

b) Stiprības pārbaude spiesti-liekiem konstrukcijas elementiem no krusteniski līmētas koksnes

Stiprības pārbaude spiesti-liekiem konstruktīviem elementiem no krusteniski līmētas koksnes jāveic atbilstoši LVS EN 1995-1-1 punktiem 6.2.4. un 6.1.7. Jāizpildās nosacījumiem (13) un (11).

$$\left(\frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} \leq 1 \quad (13)$$

kur $\sigma_{m,y,d} = \sigma_{max,d}$ - maksimālie normālspriegumi liecē, MPa,

$\sigma_{c,0,d}$ - maksimālie normālspriegumi spiedē, MPa,

$f_{c,0,d}$ - koksnes aprēķina pretestība spiedē šķiedru garenvirzienā.

3.2.3. Noturības pārbaude spiesti-liektiem konstrukcijas elementiem no krusteniski līmētas koksnes

Spiesti-liektu konstruktīvo elementu noturības pārbaude elementa plaknē jāveic pēc LVS EN 1995-1-1 punktiem 6.3.2. pēc formulas (14).

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y} \cdot f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} \leq 1 \quad (14)$$

Koeficientu $k_{c,y}$ rēķinam pēc LVS EN 1995-1-1 punktu 6.3.2 norādījumiem.

3.3. Izlieces pārbaude (SLS) liektiem konstrukcijas elementiem no krusteniski līmētas koksnes

Izlieces pārbaude (SLS) liektiem konstruktīviem elementiem no krusteniski līmētas koksnes ja veic pēc LVS EN 1995-1-1 sadaļas 7., punktu 7.2. Izlieces galīgo lielumu w_{fin} nosaka pēc EN 1995-1-1 norādījumiem kā atsevišķo slodžu izraisīto pārvietojumu summu:

$$w_{fin} = w_{fin,g} + w_{fin,q,1} + w_{fin,q,i} \quad (15)$$

kur $w_{fin,g}$ - galīgais pārvietojums, ko izraisa pastāvīgā slodze:

$$w_{fin,g} = w_{inst,g} \cdot (1 + k_{def}) \quad (16)$$

$w_{fin,q,1}$ - galīgais pārvietojums, ko izraisa galvenā mainīgā slodze:

$$w_{fin,q,1} = w_{inst,q,1} \cdot (1 + \psi_{2,1} \cdot k_{def}) \quad (17)$$

$w_{fin,q,i}$ - galīgais pārvietojums no vienlaicīgi darbojošās (pavadošās) mainīgās slodzes:

$$w_{fin,q,i} = w_{inst,q,i} \cdot (1 + \psi_{2,1} \cdot k_{def}) \quad (18)$$

kur k_{def} – šļūdes faktors, kas ievērtē deformāciju pieaugumu laikā slodzes ilgstošās darbības un mitruma ietekmē. CLT materiālam pie 1. lietojamības klases $k_{def} = 0.85$, pie 2. - $k_{def} = 1.10$; ψ_2 - ir koeficients, kas ievērtē mainīgas slodzes šķietami pastāvīgo vērtību, kas izraisa šļūdes izraisīto izlieces pieaugumu (nosaka saskaņā ar EN 1990 A1 pielikuma A.1.1. tabulu).

4. Aprēķina metodikas eksperimentālas pārbaudes konstrukcijas elementiem no krusteniski līmētas koksnes vispārējs raksturojums

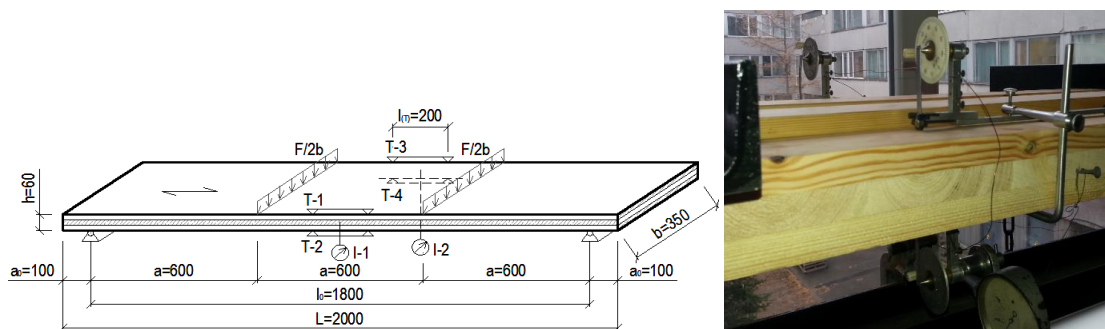
Lai paveiktu aprēķina metodikas eksperimentālas pārbaudes, tiek apskatīti liektie un spiesti-liektie konstrukcijas elementi no krusteniski līmētas koksnes statiska sloģojuma gadījumā. Liektie un spiesti-liektie konstrukcijas elementi no krusteniski līmētas koksnes atšķiras pēc statiskās shēmas un slodzes pielikšanas shēmas. Dažādas apskatāmās liekto un spiesti-liekto konstrukcijas elementu aprēķina shēmas sastopamas viedā konstrukcijā, kas sastāv no galveniem stieptiem nesošiem elementiem un sekundāriem elementiem no krusteniski līmētas koksnes. Maksimālie normālspriegumi, kas rodas malējās šķiedrās un maksimālie vertikālie pārvietojumi tiek iegūti izmantojot izstrādāto aprēķina metodiku, eksistējošās aprēķina metodēs (kompozītu metode, salikto siju metode, bīdes analogiju metode), datora programmu RFEM 5.0 un eksperimentāli. Iegūtie maksimālie normālspriegumi, kas rodas malējās šķiedrās un maksimālie

vertikālie pārvietojumi tiek salīdzināti. Iegūto rezultātu salīdzinājums ļauj secināt, ka piedāvātā aprēķina metodika atšķiras ar samazināto aprēķina darbietilpību un pietiekamo precizitāti salīdzinājumā ar eksistējošām aprēķina metodēm (kompozītu metode, salikto siju metode, bīdes analogiju metode) un izstrādātā metodika izmantojama liekto un spiesti-liekto konstruktīvo elementu no krusteniski līmētas koksnes inženieru aprēķiniem.

4.1. Aprēķina metodikas eksperimentālas pārbaudes liektiem konstrukcijas elementiem no krusteniski līmētas koksnes detalizētais apraksts

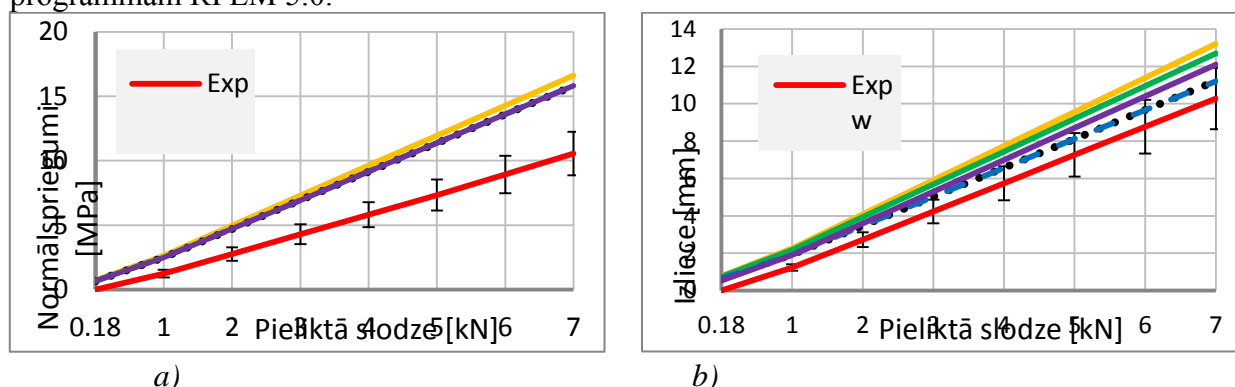
Lai eksperimentāli pārbaudītu izstrādāto aprēķina metodiku liektiem konstrukcijas elementiem no krusteniski līmētas koksnes tika veikti trīs eksperimenti. Eksperimentu gaitā tika apskatīti šķērsvirzienā kārtaini līmēti koka paneļi ar izmēriem 2x0.35 m un kopējo biezumu 60 mm. Ārējo un vidējo dēļu šķērsriezumi ir 20x110 mm. Ārējos slāņos šķiedras virziens sakrīt ar paneļa garumu. Vidējā slāņa šķiedras tiek orientētas zem 90° pret ārējo slāņu šķiedru virzienu. Slāņi tiek salīmēti kopā ar putupolouretāna līmi zem spiediena 600 kg/m². Paneļu materiāls – stiprības klases C24 priedes koks.

Pirmā eksperimenta gaitā tika apskatīti astoņi šķērsvirzienā kārtaini līmēti koka paneļi. Paneļi tika statistiski noslogoti ar diviem koncentrētiem spēkiem ar kopējo intensitāti, kas mainās robežās no 1 līdz 7 kN.



1. attēls. CLT paneļa slogošanas shēma un mēraparātu izvietojums.

Apskatītie paneļi no šķērsvirzienā kārtainas līmētas koksnes tika aprēķināti izmantojot izstrādāto aprēķina metodiku, gamma metodi, kompozītu metodi, bīdes analogiju metodi un GEM ar programmām RFEM 5.0.

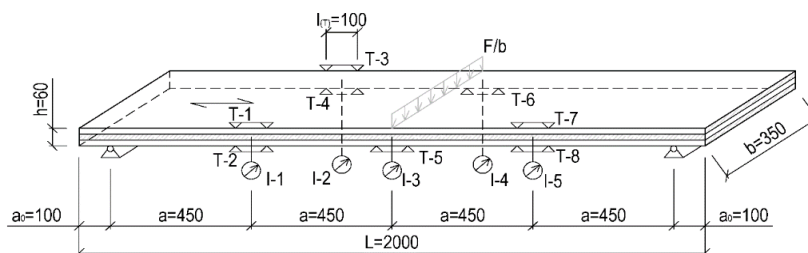


2. attēls. Sakarības starp teorētiski un eksperimentāli noteiktam a) maksimāliem normālsprīegumiem un b) maksimāliem vertikāliem pārvietojumiem: Exp – eksperimentāli iegūtās vērtības; GM – rezultāti, kas ir iegūti ar gamma metodi; KM – rezultāti, kas ir iegūti ar kompozītu metodi; BAM – rezultāti, kas ir iegūti ar bīdes analogiju metodi; RŠM rezultāti,

kas ir iegūti ar izstrādāto aprēķina metodiku ; RFEM5– rezultāti, kas ir iegūti ar programmu RFEM 5.0.

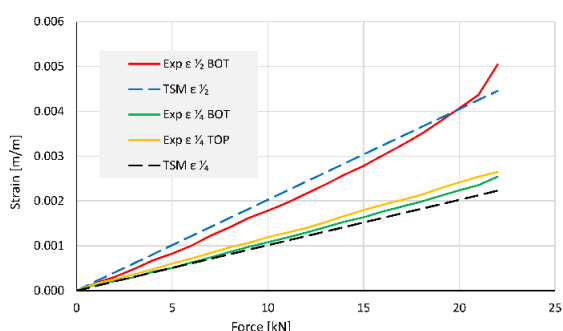
Darba gaitā aprēķina rezultāti salīdzināti ar eksperimentāli iegūtajām vidējām vērtībām, kurām klāt ir pieskaitītas divas standartnovirzes, kas nozīmē, ka iegūto secinājumu precizitāte ir 97.6 %. Iegūts, ka atšķirība starp maksimāliem normālspriegumiem un maksimāliem vertikāliem pārvietojumiem, kas ir iegūti liektiem šķērsvirzienā kārtaini līmētiem koka paneļiem ar izstrādāto aprēķina metodiku un eksperimentāli noteiktiem ir attiecīgi 12.2 % un 3.3 %.

Otrā eksperimenta gaitā apskatīts šķērsvirzienā kārtaini līmētas koksnes paneļi, kas noslogots ar koncentrēto statiski pielikto spēku laiduma vidū līdz paneļa sabrukumam. Paneļa statiskā shēma – brīvi balstīta sija ar laidumu 1.8 m. Spēku intensitāte mainās robežās no 1 līdz 22.6 kN ar minimālo soli vienādu ar 0.2 kN.

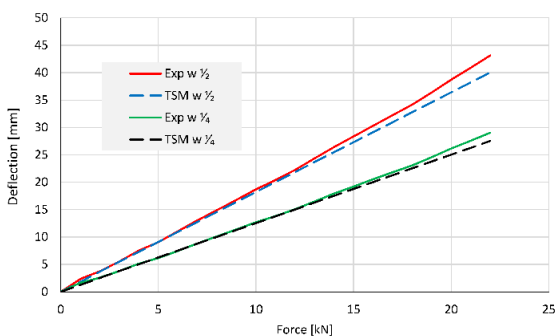


3.attēls. CLT paneļa slogošanas shēma un mērinstrumentu izvietojums.

Apskatītie paneļi no šķērsvirzienā kārtainas līmētas koksnes tiek aprēķināti izmantojot izstrādāto aprēķina metodiku, gamma metodi, kompozītu metodi, bīdes analogiju metodi. Analītiski aprēķināto un eksperimentāli iegūto rezultātu apkopojums ir redzams 4.attēlā.



a)



b)

4. attēls. Sakarības starp vertikāli pielikto slodzi un a) teorētiski un eksperimentāli noteiktajām relatīvajām deformācijām un b) maksimālajiem vertikālajiem pārvietojumiem, kur Exp w1/2 – rezultāti, kas ir iegūti eksperimentāli laiduma vidū; Exp w1/4 – rezultāti, kas ir iegūti eksperimentāli laiduma ceturtdaļā; TSM - rezultāti, kas ir iegūti ar izstrādāto aprēķina metodiku.

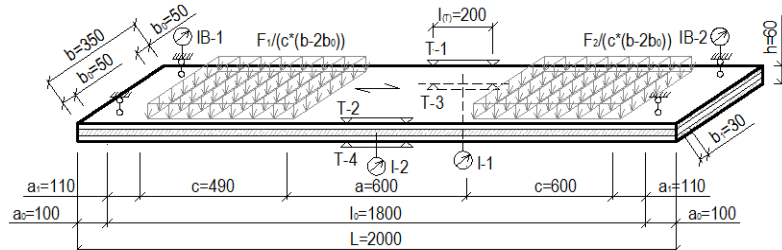
Paneļa stāvoklis pirms sabrukuma un sabrukuma aina parādītas 5. attēlā.



5.attēls. Paneļa stāvoklis pirms sabrukuma un sabrukuma aina

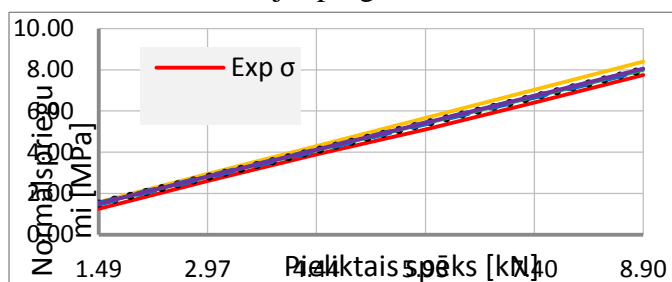
Eksperimenta gaitā tika konstatēts, ka atšķirība starp rezultātiem, kas iegūti eksperimentāli un ar izstrādāto aprēķina metodiku atrodas robežās no 7 līdz 20%.

Trešā eksperimenta gaitā tika apskatīts panelis no šķērsvirzienā kārtaini līmētas koksnes, kas piekārts četros punktos un simetriski noslogots paneļa posmos ar vienmērīgi izkliedētu statistiski pielikto slodzi. Panelis tika pakāpeniski slogots ar slogošanas pakāpi ap 1.5 kN līdz 8.9 kN.

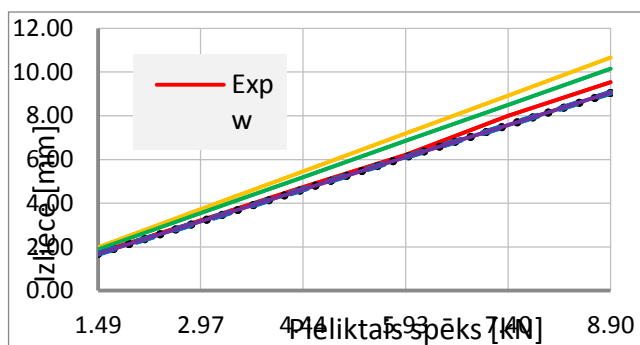


6.attēls. CLT paneļa slogošanas shēma un mērinstrumentu izvietojums.

Apskatāmais panelis no šķērsvirzienā kārtaini līmētas koksnes tika aprēķināts izmantojot izstrādāto aprēķina metodiku, gamma metodes, kompozītu metodes un bīdes analogiju metodes, kā arī panelis tika aprēķināts ar GEM izmantojot programmu RFEM 5.0.

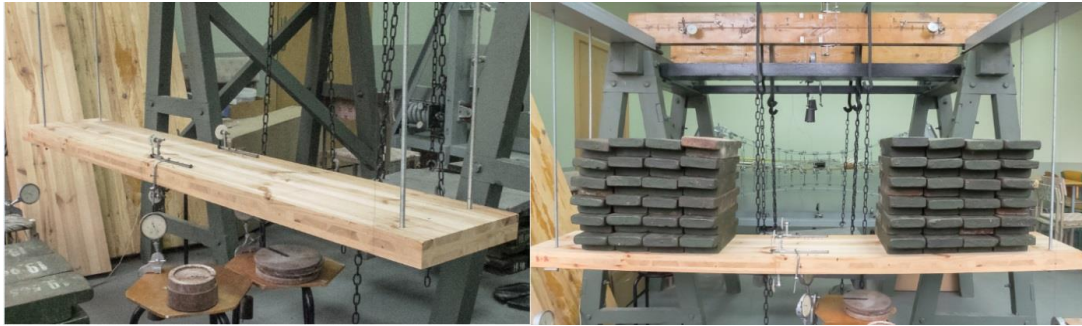


7.attēls. Sakarība starp teorētiski un eksperimentāli noteiktajiem normālspriegumiem un pielikto slodzi: exp – eksperimentāli iegūtie rezultāti; GM – ar gamma metodi; KM – ar kompozītu metodi; BAM – ar bīdes analogiju metodi; RŠM - ar izstrādāto aprēķina metodiku, RFEM5–ar GEM, izmantojot programmu RFEM 5.0.



8. attēls. Sakarība starp teorētiski un eksperimentāli noteiktajām izliecēm un pielikto slodzi: exp – eksperimentāli iegūtie rezultāti; GM – ar gamma metodi; KM – ar kompozītu metodi; BAM – ar bīdes analogiju metodi; RŠM – ar izstrādāto aprēķina metodiku; RFEM5–ar GEM, izmantojot programmu RFEM 5.0.

Paneļa slogošanas process un mērinstrumentu izvietojums ir parādīti 9. attēlā.

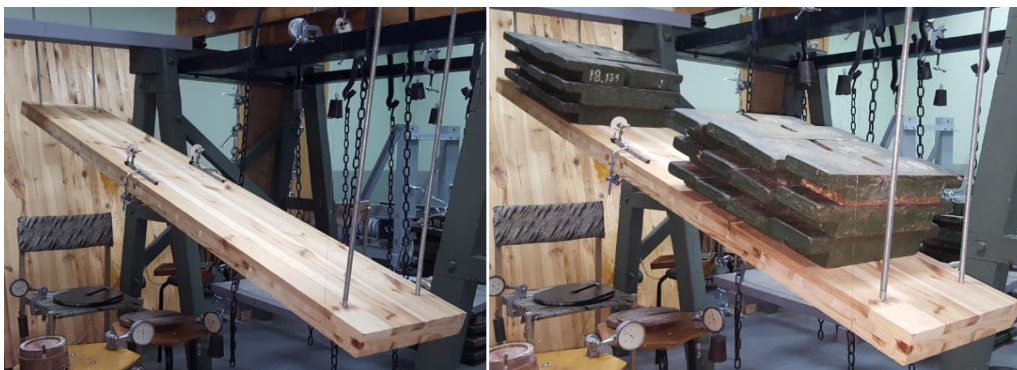


9.attels. CLT paneļa slogošanas gaita

Apskatāmais panelis no šķērsvirzienā kārtaini līmētas koksnes tika aprēķināts izmantojot GEM ar programmas RFEM 5.0 palīdzību. Apkopojot rezultātus, konstatēts, ka atšķirība starp rezultātiem, kas iegūti eksperimentāli un ar izstrādāto aprēķina metodiku nepārsniedz 19.45 %. Atšķirība starp rezultātiem, kas iegūti eksperimentāli un izmantojot GEM - nepārsniedz 20.23 %.

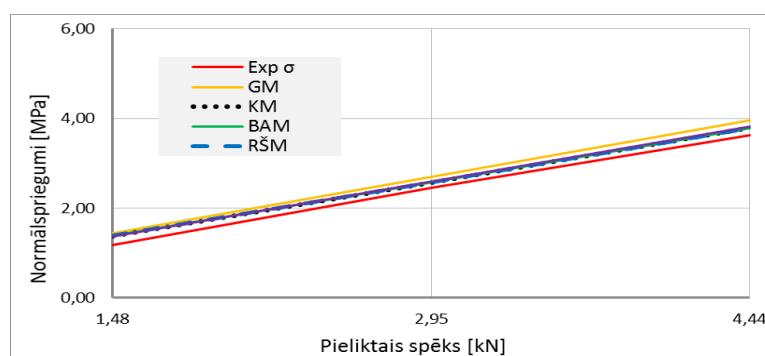
4.2. Aprēķina metodikas eksperimentālas pārbaudes spiesti-liektiem konstrukcijas elementiem no krusteniski līmētas koksnes detalizētais apraksts

Pārbaudīts CLT panelis, kas piekārts četros punktos un novietots 16.8° leņķī pret horizontu. Piekares izvietojums atspoguļots 6. attēlā. Panelis simetriski noslogots paneļa posmos ar vienmērīgi izkliedētu statiski pielikto slodzi un vienlaicīgi pakļauts lieces momenta un spiedes spēkā ietekmei. Paneļa slogošanas process un mērinstrumentu izvietojums parādīti 10. attēlā.

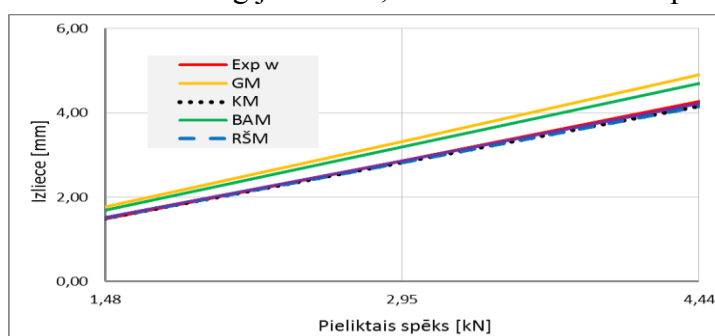


10. attēls. CLT paneļa slogošanas gaita

Apskatāmais panelis no šķērsvirzienā kārtaini līmētas koksnes tika aprēķināts ar izstrādāto aprēķina metodiku un vairākām citām aprēķina metodēm (gamma metode, kompozītu metode un bīdes analogiju metode), kā arī panelis tika aprēķināts ar GEM izmantojot programmu RFEM 5.0.



11.attēls. Sakarība starp teorētiski un eksperimentāli noteiktajiem normālspriegumiem un pielikto slodzi: exp – eksperimentāli iegūtie rezultāti; GM – ar gamma metodi; KM – ar kompozītu metodi; BAM – ar bīdes analogiju metodi; RŠM - ar izstrādāto aprēķina metodiku.



12. attēls. Sakarība starp teorētiski un eksperimentāli noteiktajām izliecēm un pielikto slodzi: exp – eksperimentāli iegūtie rezultāti; GM – ar gamma metodi; KM – ar kompozītu metodi; BAM – ar bīdes analogiju metodi; RŠM – ar izstrādāto aprēķina metodiku; RFEM5–ar GEM, izmantojot programmu RFEM 5.0.

Apskatāmais panelis no šķērsvirzienā kārtaini līmētas koksnes tika aprēķināts izmantojot GEM ar programmas RFEM 5.0 palīdzību. Apkopojot rezultātus, konstatēts, ka atšķirība starp rezultātiem, kas iegūti eksperimentāli un ar izstrādāto aprēķina metodiku nepārsniedz 16.86 %. Atšķirība starp rezultātiem, kas iegūti eksperimentāli un izmantojot GEM - nepārsniedz 15.76 %.

Apkopojot rezultātus, konstatēts, ka atšķirība starp rezultātiem, kas iegūti eksperimentāli un ar izstrādāto aprēķina metodiku vai izmantojot RFEM 5.0 programmu ir 20 % robežās.

5. Literatūras atsauces

2. A.Vilguts, D.Serdjuks, L.Pakrastins "Design Methods of Elements from Cross-Laminated Timber Subjected to Flexure"// Proceedings of the "International Scientific Conference - Urban Civil Engineering and Municipal Facilities", 2015, 18.03.15. – 20.03.15., Sanktpēterburga, Krievija, Procedia Engineering 117(2015), doi: 10.1016/j.proeng.2015.08.117, pp. 10-19.(citē **SCOPUS** datu bāzē).
3. Vilguts A., Serdjuks D., Goremikins V. "Design Methods for Load-bearing Elements from Cross-Laminated Timber"// Proceedings of the 2 nd International Conference „Innovative Materials, Structures and Technologies” (IMST 2015, 30.09.15. – 02.10.15, Rīga, Latvia), IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 96(2015) 012054, doi: 10.1088/1757-899X/96/1/012054, pp.1-10.(citē **SCOPUS** datu bāzē).
4. K.Buka-Vaivade, D.Serdjuks, V.Goremikins, A.Vilguts, L.Pakrastins "Experimental Verification of Design Procedure for Elements from Cross-Laminated Timber " // Proceedings of the 12th International Conference „Modern Building Materials, Structures

- and Techniques”, Viļņa, Lietuva, 2016, Maijs 26 – 27 (pieņemts publicēšanai, paredzēta citēšana **SCOPUS** datu bāzē).
5. K.Buka-Vaivade „Aprēķina metodiku pārbaude šķērsvirzienā kārtaini līmētam koka elementam. Veselības aprūpes centrs”, 2016, Rīga, RTU, 190 lpp.