



**SIA „MEŽA UN KOKSNES PRODUKTU  
PĒTNIECĪBAS UN ATTĪSTĪBAS INSTITŪTS”**

Reģ. Nr. LV 43603022749

Dobeles iela 41, Jelgava, LV-3001

Tālr. +371 63010605 \* Fakss +371 63010609 \* E-pasts meka@e-koks.lv \* Internets [www.e-koks.lv](http://www.e-koks.lv)

# **„Koka tiltu projektēšanas vadlīnijas”**

**Versija 3.0**

Pētījuma pasūtītājs: AS „Latvijas valsts meži”

Izpildītājs: SIA „Meža un koksnes produktu pētniecības un attīstības institūts”

Pētījums veikts saskaņā ar līgumu Nr. 5.5-5.1\_002i\_101\_13\_51, 17/12/2013

**Jelgava 2015**

## PRIEKŠVĀRDS

Pirmie tilti ir veidojušies dabiskā ceļā – koka stumbram nokrītot pāri šķērslim. Arī pirmie cilvēku radītie tilti tika veidoti no koka baļķiem. Mūsdienās arvien vairāk tiek novērtētas koka tiltu priekšrocības. Viena no koka tiltu priekšrocībām – tie ir videi draudzīgāki nekā citu būvmateriālu tilti. Koks ir dabisks, atjaunojams resurss, kas ir svarīgi, jo arvien vairāk tiek uzsvērtas dabas resursu saudzēšana un aizsardzība, pieaugot to patēriņam. Lai taupītu derīgos izrakteņus, tiltus, kur tas iespējams un ir ekonomiski izdevīgi, vajadzētu būvēt no koksnes, kas arī veicinātu ilgtspējīgu mežu apsaimniekošanu. Tiltiem ar lieliem laidumiem bieži tas nav ne racionāli, ne ekonomiski izdevīgi, taču mazu un vidēju laidumu tiltiem koksne ir laba un konkurētspējīga alternatīva citu būvmateriālu konstrukcijām.

Latvijas Nacionālās attīstības plānā 2014.–2020. gadam teikts „Latvijas dabas kapitāla izmantošana ir saistīta ar zemes, mežu, ūdeņu un dabas resursu ilgtspējīgu izmantošanu, ekosistēmu pakalpojumu apjoma palielināšanu, produkcijas dažādošanu un produktivitātes palielināšanu, vienlīdz attīstot gan intensīvu ražošanu, gan "zaļo" ražošanu un "zaļo" patēriņu, kā arī vienlaikus rūpējoties par dabas kapitāla saglabāšanu un nenoplicināšanu, veidojot un uzturot Latvijas kā "zaļas" valsts tēlu.”. Veicinot koka tiltu būvniecību, tiktu attīstīta kokapstrādes nozare, tādējādi izmantojot vietējos resursus un veicinot ilgtspējīgu meža kapitāla izmantošanu. Būvējot koka tiltus, tiktu veidots arī Latvijas kā "zaļas" valsts tēls.

Vadlīnijās tiek novērtētas koka kā būvmateriāla priekšrocības un trūkumi, kā arī koka tiltu priekšrocības un ilgtermiņa ieguvumi no koka izmantošanas. Tālāk ir aprakstīti galvenie koka tiltu konstrukciju veidi, kā arī parādīti piemēri un racionālas lēmētās koksnes pielietošanas robežas tiltu konstrukcijās.

Tiek veikts koka tiltu projektēšanas būvnormatīvu apskats. Dotas rekomendācijas tilta galveno parametru izvēlē, kā arī aprakstītas standartos noteiktās un Latvijai raksturīgās kokvedēju slodzes. Tālāk veikts ieskats tiltu balstu projektēšanā un dotas specifikācijas un rasējumi tipveida pārvietojamo lēmētās koksnes plātņu tiltu balstu konstrukcijām. Sistematizētas koka tilta laidumu konstrukciju projektēšanas metodes un aprēķins atbilstoši standartiem ar parādītu koka plātņu tilta aprēķina piemēru. Sniegti ieteikumiem pareizu un mūsdienīgu savienojumu projektēšanā un koka elementu aizsardzībai.

Izstrādātas standarta konstrukciju specifikācijas un rasējumi tipveida pārvietojamiem lēmētās koksnes plātņu tiltiem ar 6 m, 8 m, 10 m un 12 m gariem laidumiem. Dotie tipveida

risinājumi pārvietojamiem tiltiem aprēķināti atbilstoši LVS EN 1995 standartu sērijai, aprēķinam izmantojot raksturīgo kokvedēju slodzes. Pēcāk doti norādījumi tiltu pieeju un uzbēruma nostiprināšanas darbiem, kā arī specifikācijas un uzturēšanas prasības līmētās koksnes tiltiem.

## SATURS

<b>1. Ievads.....</b>	<b>6</b>
1.1. Koks kā tiltu būvmateriāls .....	6
1.2. Līmēta koka pielietošana tiltu konstrukcijās.....	13
1.3. Koka tiltu projektēšanas būvnormatīvi .....	31
<b>2. Tilta galveno parametru izvēle.....</b>	<b>34</b>
2.1. Tilta pārejas vieta .....	34
2.2. Tilta izmēri.....	35
2.3. Tilta slodzes .....	36
<b>3. Tiltu balstu projektēšana .....</b>	<b>40</b>
3.1. Balstu projektēšana .....	40
3.2. Pamatu projektēšana .....	43
3.2.1. Pamatu projektēšanas secība.....	44
3.3. Balstu konstrukcija tipveida pārvietojamiem koka tiltiem .....	44
3.3.1. Balstu konstrukciju rasējumi.....	46
<b>4. Tilta laidumu konstrukciju projektēšana .....</b>	<b>48</b>
4.1. Koka tiltu konstrukciju projektēšana un aprēķins.....	48
4.1.1. Robežstāvokļu metode .....	48
4.1.2. Aprēķinu vērtības .....	48
4.1.3. Materiāli.....	51
4.1.4. Liektu elementu projektēšana.....	54
4.1.5. Stieptu elementu projektēšana.....	62
4.1.6. Spiestu elementu projektēšana .....	62
4.1.7. Elementu projektēšana saliktā slogojumā.....	63
4.1.8. Slāņainu plātņu projektēšana.....	65
4.2. Koka plātņu tilta aprēķina piemērs .....	69
4.3. Savienojumu projektēšana .....	74

4.3.1.	<i>Savienojumi, kas nodrošina koksnes vēdināšanos .....</i>	75
4.4.	Koka elementu aizsardzība .....	79
4.4.1.	<i>Apjuntie tilti.....</i>	79
4.4.2.	<i>Koka konstrukciju aizsardzība ar apšuvumu .....</i>	81
4.4.3.	<i>Horizontālo virsmu aizsardzība .....</i>	83
4.4.4.	<i>Koka elementu galu aizsardzība .....</i>	84
<b>5.</b>	<b>Tipveida pārvietojamu koka tiltu projekts laidumiem 6 m, 8 m, 10 m un 12 m.....</b>	<b>85</b>
5.1.	Tiltu ar 6 m 8 m gariem laidumiem rasējumi.....	87
5.1.1.	<i>Tilta kopskata rasējumi .....</i>	87
5.1.2.	<i>Tilta laiduma konstrukcijas rasējumi.....</i>	90
5.2.	Tiltu ar 10 m 12 m gariem laidumiem rasējumi .....	96
5.2.1.	<i>Tilta kopskata rasējumi .....</i>	96
5.2.2.	<i>Tilta laiduma konstrukcijas rasējumi.....</i>	99
<b>6.</b>	<b>Tilta pieejas un uzbēruma nostiprinājums .....</b>	<b>105</b>
<b>7.</b>	<b>Līmēta koka tiltu konstrukciju specifikācijas .....</b>	<b>110</b>
7.1.	Specifikācijas .....	110
7.2.	Koka konstrukciju ķīmiskās aizsardzības metodes .....	112
7.2.1.	<i>Koksnes apstrāde ar ķīmiskajiem aizsarglīdzekļiem.....</i>	113
7.2.2.	<i>Ķīmiskie aizsarglīdzekļi .....</i>	116
7.2.3.	<i>Apstrādes ar ķīmiskajiem aizsarglīdzekļiem ietekme uz mehāniskajām īpašībām .....</i>	119
7.2.4.	<i>Koksnes termiskā apstrāde.....</i>	120
7.2.5.	<i>Ķīmiski modificēta koksne.....</i>	120
<b>8.</b>	<b>Prasības no līmētas koksnes izbūvētu tiltu uzturēšanai.....</b>	<b>122</b>
8.1.	Uzturēšanas prasības .....	122
8.2.	Tilta inspekcijas .....	123
	<b>Izmantotā literatūra .....</b>	<b>125</b>

# **1. IEVADS**

## **1.1. Koks kā tiltu būvmateriāls**

Vēsturiski garu laidumu akmens un dzelzsbetona konstrukciju attīstība bija iespējama, pateicoties prasmīgām un iespaidīgām koka turām, kuras pašas sedza vērā ņemamus laidumus un nesa lielas slodzes. Zināšanas un pieredze par turu projektēšanu deva guvumu koka tiltu attīstībā. To koksnes zemā masa un augstā stiprība deva nepārprotamas priekšrocības. Mūsdienās tiltu inženieriem ir pieejami dažādi apstrādātās koksnes izstrādājumi. Tiem ražošanas procesā tiek likvidēta lielākā daļa dabisko defektu, ievērojami samazinot statistisko mainīgumu, kā arī ar homogēnas žāvēšanas palīdzību, palielinot stingumu.

### **Koka kā konstrukciju materiāla priekšrocības un trūkumi**

Galvenās priekšrocības kokam kā konstrukciju materiālam:

- koks ir atjaunojams;
- koks ir mehāniski apstrādājams;
- kokam ir laba stiprības un svara attiecība;
- koks nerūsē;
- koks ir estētiski patīkams.

Galvenie trūkumi kokam kā konstrukciju materiālam:

- koks var degt;
- koks var trupēt un to var bojāt kukaiņi;
- koks uzsūc mitrumu;
- koks ir pakļauts izmēru nestabilitātēm (rukums un uzbriešana).

Iespējamo trupi un bioloģiskos bojājumus ir iespējams novērst izmantojot konstruktīvās aizsardzības metodes un ķīmiskos aizsarglīdzekļus, kā arī veicot regulārus uzturēšanas darbus. Koks tiek uzskatīts par viegli uzliesmojošu materiālu, kas uztverams kā tā trūkumus. Tajā pašā laikā koksnei nemainās tās īpašības lielas temperatūras ietekmē. Augstas temperatūras ietekmē koksnes ārējais slānis sadalās un izveidojas izolējošs ogles slānis, kas kavē tālāku koksnes degradāciju. Nestspēju ietekmē tikai šķērsriezuma izmēru izmaiņa degšanas rezultātā.

## **Koka tiltu priekšrocības un trūkumi**

Priekšrocības koka izmantošanai tiltu konstrukcijās:

- ilgizturība – izmantojot mūsdienīgus tilta aizsarglīdzekļus, var nodrošināt vairāk nekā 50 gadus ilgu kalpošanas laiku;
- vienkārša būvniecība – parasti būvniecībai un uzturēšanai izmantojams vienkāršs aprīkojums, kā arī nav nepieciešama ļoti augsta specializācija;
- koka augstā stiprības un svara attiecība – var ietaupīt uz balstu konstrukcijām un celšanas iekārtām;
- konkurētspēja – nelieliem laidumiem koka tiltu izmaksas ir zemākas nekā tērauda un dzelzsbetona tiltiem;
- ķīmiskā stabilitāte – atšķirībā no tērauda un dzelzsbetona koksni neietekmē pretapledošanas sāļi;
- būvniecības darbus neietekmē laikapstākļi;
- vides aizsardzības ieguvumi;

Trūkumi koka izmantošanai tiltu konstrukcijās:

- strauja trapes attīstības iespēja, ja netiek nodrošināta pienācīga apstrāde;
- nepieciešama regulāra apkope;
- tos var ietekmēt vandālisms.

Vides aizsardzības ieguvumi koka izmantošanai tiltu konstrukcijās:

- ļoti zema uzkrātā enerģija ražošanas laikā, salīdzinot ar dzelzsbetonu un tēraudu;
- nelielais konstrukciju svars mazina patērēto transportēšanas enerģiju, kā arī enerģiju, kas tiek patērēta pamatu konstrukcijai;
- koksnes izstrādājumiem ir pozitīva oglekļa bilance;
- iespēja izmantot mūžīgi atjaunojamu materiālu, tādējādi veicinot ilgtspējīgu mežu apsaimniekošanu.

Kokmateriālu inženierijas pamatā ir rūpnīcās vai darbnīcās iepriekš izgatavotas tehnoloģijas. Sākotnējā koncepta izstrādē uzmanība jāpievērš uzcelšanas mezgļiem un galveno sastāvdaļu sadalei transporta slodzēs vai piegādes pakās. Taču koksnes vieglā masa dod plašākas iespējas izvēlē starp celtniem, pagaidu torņiem un citu veidu pacelšanas iespējām, kamēr iespēja sadalīt iepriekš izgatavotās un izmēģinājumā samontētās detaļas ļauj veikt piegādi uz nomaļākajām vietām.

### Īpatnējā stiprība

Daudzi neapzinās koksnes patieso stiprību. Apskatot raksturīgāko konstrukciju materiālu stiprību pret šī materiāla blīvumu, iegūst svara – stiprības attiecību jeb īpatnējo stiprību:

$$\text{Īpatnējā stiprība} = \frac{\text{Blīvums}}{\text{Stiprība}} \quad (1.1)$$

Kā redzams 1.1. tabulā, īpatnējā stiprība koksnei (stiprības klase C24) spiedē ir augstāka nekā betonam (stiprības klase C30/37) un konstrukciju tēraudam (stiprības klase S275). Tikai konstrukciju tēraudam ir nedaudz lielāka īpatnējā stiprība spiedē, nekā tā ir koksnei. Tas nozīmē, ka koksnes konstrukcijas pie vienādas pieliktās slodzes, būs vieglākas nekā betona vai tērauda konstrukcijas, kas tiltiem samazina nepieciešamo pamatu nestspēju, tādējādi tie būs lētāki. Ja tiek veikta tilta, kuram nepieciešams palielināt nestspēju, rekonstrukcija, tad izmantojot koksnes konstrukcijas, ir iespēja izmantot esošos balstus un pamatus, ja tie ir apmierinošā stāvoklī. Tāpat arī konstrukciju transportēšanas izmaksas uz būves lokācijas vietu būs mazākas, kā arī būs vieglāk veicama pati transportēšana.

1.1. tabula

Īpatnējā stiprība dažādiem konstrukciju materiāliem

Materiāls	Blīvums (kg/m <sup>3</sup> )	Stiprība stiepē (MPa)	Stiprība spiedē (MPa)	Īpatnējā stiprība spiedē (kN·m/kg)	Īpatnējā stiprība stiepē (kN·m/kg)
Betons (C30/37)	2400	2,9	30	1,21	12,50
	Standarti				
	Latvijas standarts LVS EN 1991-1-1:2003 “Eirokekss 1: Iedarbes uz konstrukcijām–1-1.daļa: Vispārīgās iedarbes – Ēku blīvums, pašsvars un lietderīgās slodzes” Latvijas standarts LVS EN 1992-1-1:2005 “2. Eirokekss: Betona konstrukciju projektēšana. 1-1.daļa: Vispārīgie noteikumi un noteikumi ēkām”				
Tērauds (S275)	7700	275	275	35,71	35,71
	Standarti				
	Latvijas standarts LVS EN 1991-1-1:2003 “Eirokekss 1: Iedarbes uz konstrukcijām–1-1.daļa: Vispārīgās iedarbes – Ēku blīvums, pašsvars un lietderīgās slodzes” Latvijas standarts LVS EN 1993-1-1+AC:2006 “3. Eirokekss. Tērauda				



Materiāls	Blīvums (kg/m <sup>3</sup> )	Stiprība stiepē (MPa)	Stiprība spiedē (MPa)	Īpatnējā stiprība spiedē (kN·m/kg)	Īpatnējā stiprība stiepē (kN·m/kg)
	konstrukciju projektēšana. 1-1.daļa: Vispārīgie noteikumi un noteikumi ēkām”				
	420	14	21	33,33	50,00
Koks (C24)	Standarti				
	Latvijas standarts LVS EN 1991-1-1:2003 “Eiropas kodekss 1: Iedarbes uz konstrukcijām–1-1.daļa: Vispārīgās iedarbes – Ēku blīvums, pašsvars un lietderīgās slodzes”				
	Latvijas standarts LVS EN 338:2010 „Konstrukciju kokmateriāli. Stiprības klases”				

### **Ilgizturība**

Efektīvākais veids, kā nodrošināt ilgizturību un vieglu koka konstrukciju apkopi, ir iekļaut aizsardzības pasākumus sākotnējā projektēšanas procesā. Ir vēlams, ka koksnei, kuru izmanto tiltu konstrukcijās, jau ir kādas pakāpes dabiskā aizsardzība, kaut arī tiek veikti papildus aizsardzības pasākumi.

Jau projektēšanas procesa sākumā ir vēlams izvēlēties kādu no aizsardzības metodēm: virsmas apstrādi un iespējamu piesūcināšanu ar ķīmiskajiem aizsarglīdzekļiem, kā arī konstruktīvu galveno konstrukciju aizsardzību. Svarīga ir koka sugas izvēle, kura tiks izmantota konstrukcijā, lai saprastu, kādi aizsardzības pasākumi ir jāveic, kādas stiprības koksne ir pieejama stiprības aprēķiniem, kā arī lai saprastu, kādi ir pieejami izmēri.

### **Neliels pašsvars**

Kokmateriālu izmantošana bieži rada iespēju atkārtoti izmantot jau esošos pamatus un balstus jaunai modernākai un izturīgākai konstrukcijai, dažreiz dodot lielāku brīvību virs šķērsojamā ceļa vai ūdenstilpnes.

Kokmateriālu inženierijas pamatā ir rūpnīcās vai darbnīcās iepriekš izgatavotas tehnoloģijas. Sākotnējā koncepta izstrādē uzmanība jāpievērš uzcelšanas mezgliem un galveno sastāvdaļu sadalei transporta slodzēs vai piegādes pakās. Taču koksnes vieglā masa dod plašākas iespējas izvēlē starp celtniem, pagaidu torņiem un citu veidu pacelšanas iespējām, kamēr iespēja sadalīt iepriekš izgatavotās un izmēģinājumā samontētās detaļas ļauj veikt piegādi arī uz nomaļākām vietām.

### **Zemas uzturēšanas izmaksas**

Koka tiltu priekšrocības ir zemas kalpošanas laika uzturēšanas izmaksas. Akurāta projektēšana un detalizācija, virsmas apstrāde un izturīga vai aizsarglīdzekļu apstrādāta koksne nodrošinās ilgu ekspluatācijas laiku. Regulāra apkope uzturēs zemas izmaksas, kā arī tilts var tikt uzprojektēts tā, ka tā apkope ir vienkārša. Pastiprināta uzmanība konceptam un detalizētai projektēšanai jau sākuma posmos novērš lielāko detaļu nomaiņas nepieciešamību. Mazākās detaļas var būt apzināti projektētas tā, lai tās būtu viegli nomainīt pēc mazāka aprēķina perioda, nekā tas ir galvenajai konstrukcijai.

### **Ilgtspējība**

No konstrukciju materiāliem, koksne ir praktiski vienīgais pilnībā dabiski atjaunojamais materiāls, radot acīmredzamas vides aizsardzības priekšrocības. Izgatavotajā produktā tiek iekļauta ļoti zema uzkrātā enerģija, it sevišķi, ja materiāls ir iegūts no vietējiem resursiem. Koksnes pielietojums tiltu būvniecībā piedāvā kvalificētas projektēšanas un ražošanas iespējas lauku un reģionālajām kopienām, veicinot mežu aizsardzību un ilgtspējīgu ciklisku mežkopību. Kamēr koki aug, tie absorbē oglekļa dioksīdu, taču šis efekts ir labvēlīgs tikai tad, ja dabiskie resursi tiek pareizi aizsargāti, izmantoti un atjaunoti pareizajā laikā.

Labi organizētai kokmateriālu ražošanai ir gadsimtiem ilgas tradīcijas Lielbritānijā, lielākajā daļā Eiropas, kā arī visā Skandināvijā, un tās var būt ilgstošas, pateicoties inovatīvai un efektīvai praksei. Vairākus gadsimtus tieši skujkoki ir nodrošinājuši tradicionālo kokmateriālu ražošanu vairumā Eiropas valstu, bet pēdējās gadu dekādēs ir parādījusies atjaunota interese par lapkoku kokmateriāliem no tādām sugām kā ozols, osis, dižskābārdis un kastanis. Tehnisko specifikāciju izstrādātājiem ir liela ietekme uz kokmateriālu izvēli. Rūpīga projektēšana un detalizācija samazina paļaušanos uz ķīmiskajiem aizsarglīdzekļiem. Izturīgas koksnes izvēle attiecīgajām koka tilta konstrukcijām ļauj samazināt nepieciešamo apstrādi un apdari.

### **Mežsaimniecības priekšrocības**

Ilgtspējīgas mežsaimniecības veikšana ietver apzinīgu lēmumu pieņemšanu attiecībā uz zemes un biosfēras nākotni, pievēršot uzmanību šādiem četriem pamataspektiem:

1. fiziskie, bioloģiskie un ekoloģiskie apsvērumi;
2. sociālās, politiskās un kulturālās intereses;
3. ekonomiskās un finansiālās iespējas un ierobežojumi;

4. tehnoloģisko apsvērumu veidošana, pārvaldīšana un piepildīšana visos mežsaimniecības – kokmateriālu ķēdes posmos.

Tikai ar dažiem izņēmumiem, vizitīvākās kokmateriālu sugas ir tropiskas izcelsmes. Paļaušanās uz dabisko lapkoku izturību ir tikai viens no trijiem galvenajiem virzieniem kā nodrošināt ilgu kalpošanas laiku, kāds tagad tiek sagaidīts no pastāvīgiem tiltiem. Neskatoties uz to, lielāki šķēsgriezumi un pieejamie garumi tropiskajiem kokiem nozīmē, ka tāda veida koki ir īpaši piemēroti civilajai būvniecībai. Vēl joprojām starp cilvēkiem valda nepareizi priekšstatī par koku izciršanu vispārīgā nozīmē, tomēr jāuzsver, ka šīs darbības ir ne tikai būtiskas, bet arī komplementāras meža dabiskajam atjaunošanās, augšanas un nobriešanas ciklam. Ilgtspējīga vadība, nevis izmantošana, ir galvenais mērķis, un tās pielietojums īpaši svarīgs ir tropiskajos reģionos, kur pēdējā laikā tas bieži netiek ņemts vērā. Tādās pasaules daļās kā Amazonas upes baseina mežu izciršana ir nopietna problēma. Arī citur var būt zaudējumi no pārmērīgas ekonomisko koku kā gumijas un eļļas palmu stādīšanas, kad tie veido milzīgu monokultūru, lai arī tie ir oglekļa uzkrāšanas līdzekļi.

Skatoties uz pozitīvo, attīstības valstīs, kur aug lielākā daļa lapkoku, mežsaimniecība un meža industrija piedāvā ilgtermiņa iespējas vietējiem iedzīvotājiem. Iespējas iekļauj jaunu zemju apmežošanu un sociālās mežsaimniecības dažādās formas, piemēram, agromežsaimniecību. Šīs darbības var tikt papildinātās ar iepazīstināšanu ar atbilstošām tehnoloģijām meža industrijā, kuras darbinieki tādējādi varētu palikt par pastāvīgajiem iedzīvotājiem, nevis pārmigrēt uz pilsētām. Tādiem produktiem var būt liela pievienotā vērtība izcelsmes valstī un, kļūstot par sertificētiem lapkoku dalībniekiem un sastāvdaļām struktūrā, tiem ir mazākas iespējas tikt boikotētiem. Ņemot vērā šīs tropiskās koksnes lielisko kvalitāti un izturību, šāda attieksme mazinātu šo zemju un iedzīvotāju izpostīšanas un nabadzības risku.

### **Siltumnīcas efekts**

Siltumnīcas efekts – periodiska, pakāpeniska Zemes atmosfēras sasilšana ir dabisks process. Taču šo efektu pastiprina cilvēku darbība, atbrīvojot atmosfērā dažādas gāzes. Nozīmīgākā gāze, kas šo efektu pastiprina apjoma ziņā, ir oglekļa dioksīds.

Starp oglekļa dioksīdu un kokiem ir svarīga saikne. Augšanas periodā, fotosintēzes procesa rezultātā koki no gaisa absorbē oglekļa dioksīdu, uzkrājot to koksne un mazinot siltumnīcas efektu. Cilvēki bieži uzskata, ka, tā kā ir šī saikne starp kokiem un oglekļa dioksīdu – to ciršana ievērojami paātrina siltumnīcas efektu.

Ogleklis paliek kokā tik ilgi, kamēr tas tiek sadedzināts vai sadalās. Koks, kas paliek mežā un tajā iet bojā, atbrīvo daļu tajā uzkrāto oglekli atmosfērā, tam satrūdot. No otras puses, ja tas tiek izmantots, lai saražotu koksni vai papīru, tas saražotajos produktos tiek uzkrāts, kamēr produkts ir lietošanā.

Kad izauguši koki tiek cirsti kokmateriāliem, to spēja absorbēt oglekļa dioksīdu ir mazāka, jo attīstījušies koki maz spēj uzkrāt oglekļa dioksīdu un to devums ir neliels. Tāpat arī kokmateriālu izmantošana ilgmūžīgām konstrukcijām nodrošina, ka oglekļa dioksīds, kas ir uzkrāts, tajā tiks „iesprostots” uz ilgu laiku. Jāpiebilst, ka, nepārtraukti mainot nocirstos kokus ar jauniem, augošiem, tiek nodrošināta oglekļa dioksīda uzkrāšana.

Vēl viens plaši izplatīts nepareizs priekšstats ir, ka tādi materiāli kā tērauds un betons, tiem novecojot, neizdala atmosfērā oglekļa dioksīdu, tāpēc tie ir dabai draudzīgāki. Taču netiek ņemts vērā fakts, ka šie citu materiālu ražotāji atmosfērā atbrīvo lielu daudzumu oglekļa dioksīdu ražošanas procesā. Atbrīvotā un uzkrātā oglekļa daudzumu dažādiem būvmateriāliem var redzēt 1.2. tabulā.

1.2. tabula

Atbrīvotā un uzkrātā oglekļa daudzumi dažādiem būvmateriāliem

Materiāls	Atbrīvotais ogleklis (kg/t)	Atbrīvotais ogleklis (kg/m <sup>3</sup> )	Uzkrātais ogleklis (kg/m <sup>3</sup> )
Zāģmateriāli	30	15	250
Tērauds	700	5320	0
Betons	50	120	0

### Uzkrātā enerģija

Uzkrātā enerģija ir nepieciešamais enerģijas daudzums, lai iegūtu, apstrādātu un nogādātu nepieciešamajā vietā materiālu vai produktu. Koks prasa minimālu enerģijas daudzumu, lai to saražotu, tāpēc tam ir neliela uzkrātā enerģija, salīdzinot ar daudziem citiem būvniecības materiāliem. Koki augšanai vajadzīgo enerģiju iegūst no saules, taču betonam un tēraudam ražošanā pārsvarā izmanto fosilos kurināmos. Izmantojot koka konstrukcijas, tiek samazināts fosilo kurināmo patēriņš. Tāpat arī lielākā daļa enerģijas, kas tiek izmantota kokapstrādē, tiek iegūta no biomasas, ko veido kokapstrādes blakusprodukti.

Biomasu veido koksnes blakusprodukti kā miza, zāģskaidas un atgriezumi. Tā kā oglekļa dioksīds, kas izdalās, koksni sadedzinot, tika uzkrāts no atmosfēras koka augšanas procesā caur fotosintēzi, tad biomasa tiek uzskatīta par „oglekļa neitrālu” enerģijas avotu.

Uzkrātās enerģijas daudzumus dažādiem būvniecības materiāliem var redzēt 1.3. tabulā.

1.3. tabula

Uzkrātā enerģija dažādiem būvniecības materiāliem

Materiāls	Uzkrātā enerģija (MJ/m <sup>3</sup> )
Skujkoki	880
Lapkoki	1550
Betons (30 MPa)	3180
Tērauds	251200

## 1.2. Līmēta koka pielietošana tiltu konstrukcijās

Mūsdienās ir daudzi dažādu konstrukciju koka tilti. Daļa no šiem konstrukciju veidiem ir radušies vēsturiski, laika gaitā tiem attīstoties, bet otra daļa, ir radušies salīdzinoši nesen, arvien jaunu tehnoloģisko iespēju rezultātā. Neatkarīgi no tilta konstrukcijas, tam izšķir divas raksturīgās sastāvdaļas – laiduma konstrukcija un balstu konstrukcija. Laiduma konstrukcija ietver galveno nesošo konstrukciju, brauktuves plātņi un ietves (klājs), kā arī aprīkojumu, kas atrodas uz tilta (margas, barjeras utt.). Balstu konstrukcija ietver krasta un starpbalstus un to pamatu konstrukciju.

Var izdalīt piecus raksturīgos laiduma konstrukciju veidus:

- siju un plātņu tilti;
- rāmju un atgāžņu tilti;
- loku tilti;
- kopņu tilti
- vanšu un iekārtie tilti.

Tabulā Nr. 1.4. apkopoti šo piecu raksturīgāko laidumu konstrukciju raksturīgākās statiskās sistēmas, konfigurācijas, klāja novietojums, raksturīgākie izmantojamie materiāli un laiduma garumi.

## Koka tiltu konstrukciju veidi

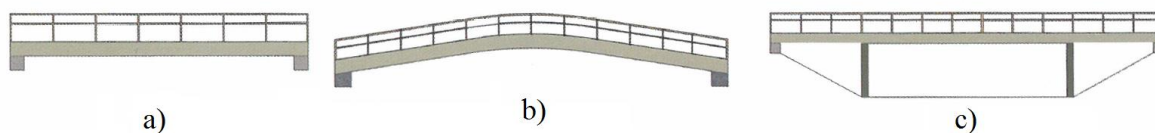
Konstrukcijas veids	Siju un plātņu	Rāmju	Loku	Kopņu	Vanšu un iekārtās
Parastā statiskā sistēma	Viens vienkārši balstīts laidums	Atgāžņu rāmis	Riņķveida, parabolisks vai eliptisks loks; trīslocīklu loks; divlocīklu loks; loks ar savilci; režģots loks	Horizontālas vai nedaudz ieliektas kopnes; Varrena vai Prata kopne virs vai zem klāja; reizēm vēl tiek izmantotas Tauna un Hova kopnes; loka veida kopne; trīsstūra kopne	Vienkārši balstīs galvenais laidums, vanšu; vienkārši balstīts galvenais laidums, iekārts; viens lentveida laidums
Papildus veidi (retāk izmantoti)	Konstrukcijas ar pacēlumu; kastveida līmētās koksnes sijas; vairāki vienkārši balstīti laidumi; vairāki nepārtraukti laidumi, konsolveida sistēmas	Stings rāmis	Vairāki laidumi; loks virs brauktuves ar mazu pacilu; sasprieltas lokveida plātnes	Vairāki laidumi (parasti atkārtoti vienkārši balstīti laidumi; ir arī nepārtrauktas konsolveida vairāklaidumu kopnes); lēcveidīgas kopnes	Izliekti vai sasvērti piloni; plānā izliekts klājs ar nobīdītu vai slīpu mastu; vairāklaidumu lentveida konstrukcija

Konstrukcijas veids	Siju un plātņu	Rāmju	Loku	Kopņu	Vanšu un iekārtās
Klāja novietojums	Klājs virs sijām; klājs starp sijām, plātne kā klājs	Klājs virs rāmja	Klājs balstās uz loka; klājs pa vidu lokam; klājs iekārts lokā	Klājs balstās uz kopnes; klājs pa vidu kopnei; klājs kopnes apakšā	Klājs iekārts vantīs
Raksturīgākie materiāli	Masīvās koksnes sijas; līmētās koksnes sijas; saspriegtās plātnes (masīvās un līmētās koksnes); mehāniski savienotu koka elementu sijas	Parasti līmētās koksnes rāmji	Līmētas koksnes loki; režģoti līmētās koksnes loki; mehāniski savienotas koksnes loki	Masīvās koksnes kopnes; līmētās koksnes kopnes; mehāniski savienotas koksnes kopnes	Masīvās koksnes vai līmētās koksnes stinguma elementi; masīvās koksnes, līmētās koksnes vai blokos līmētas koksnes klājs; masīvās koksnes, līmētās koksnes vai tērauda pilons
Laiduma garums	3 m – 24 m	20 m – 40 m	20 m – 60 m	20 m – 70 m	30 m – 100 m

## Siju tilti

Siju tilti ir vienkāršākais un izplatītākais koka tiltu konstrukcijas veids. Tas sastāv no klāja, kas tiek balstīts uz garenvirziena sijām. Tomēr šīs tilta konstrukcijas trūkums ir ierobežotās laiduma garuma iespējas. Noteiktos gadījumos siju tilti ir efektīvākais un ekonomiskākais risinājums. Jau sākotnējā projektēšanas procesā vajadzētu pārbaudīt stiprību bīdē, kā arī lietojamības robežstāvokļus, jo, lai arī kokam ir augsta specifiskā stiprība, tā stingums nepalielinās tik strauji, paaugstinot stiprības klases.

Sijas var būt no viena vienkārši balstīta laiduma līdz vairākiem laidumiem (skat. 1.1. att.) un konsolveida risinājumiem. Līmētām konstrukcijām nereti tiek izmantotas arī sijas ar mainīgu augstumu un sijas ar pacēlumu.



1.1. att. Siju tiltu veidi: a) vienkārši balstīts; b) vienkārši balstīts ar pacēlumu; c) vairāku laidumu nepārtraukts [1]

Siju tiltu laiduma garums var variēt no 3 m nelieliem masīvās koksnes gājēju tiltiem līdz 24 m līmētai konstrukcijai ar pacēlumu. Masīvās koksnes siju autoceļu tiltiem laiduma garums parasti variē no 4 m līdz 8 m, un to ierobežo pieejamo masīvās koksnes siju izmēri. Garāki tilti tiek panākti izmantojot vairāklaidumu sistēmu ar starpbalstiem. Līmētās koksnes siju izmērus ierobežo tikai rūpnīcas izmēri un transportēšanas iespējas. Tādējādi izmantojot līmētās koksnes sijas var iegūt garākus laidumus ar mazāku siju skaitu. Parasti tās tiek izmantotas 6 m līdz 24 m gariem laidumiem, taču ir arī izmantotas arī laidumiem, kas pārsniedz 40 m. Tilts ar vienu no garākajiem siju tiltu laidumiem ir līmētās koksnes siju tilts Aļaskā ar laiduma garumu 42 m. Tiltu veido trīs 42 m gari laidumi, katru veido četras 2,30 m augstas līmētās koksnes sijas (skat. 1.2. att.).





1.2. att. Līmētās koksnes siju tilts Jukatā, Aļaskā [14]



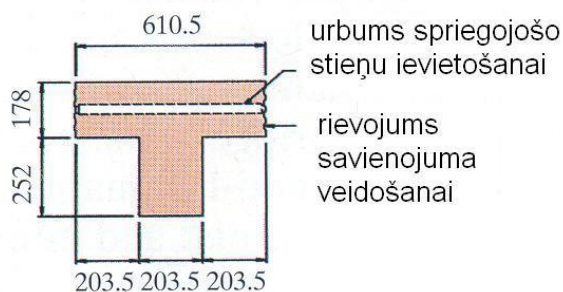
1.3. att. Līmētās koksnes siju tilta piemērs

Pirmais līmētās koksnes siju tilts Latvijā ir uzbūvēts 1977. gadā pār Vaives upi (skat.1.4. att.) Tam izmantotas 8 sijas ar garumu 12 m, augstumu 1,5 m un platumu 0,25 m.



1.4. att. Līmētās koksnes siju tilts pār Vaives upi

Kārtaini garenvirzienā līmētu kokmateriālu (LVL) siju konstrukcijās (saliktās sijas) tiek izmantots ļoti reti, taču to mēdz izmantot tiltu klājiem. Viens autoceļu tilts ar T-veida saplākšņa lamināta sijām ir izbūvēts Kanādā (skat. 1.5. att.). 1997. gadā būvētā nepārtrauktā trīs laidumu tilta kopējais garums ir 18 m, ko sastāda 4,9 m gari malējie laidumi un 8,2 m garš centrālais laidums. Sijas veido 0,60 m plats augšējais plauktiņš ar kopējo augstumu 0,43 m. Sijas plauktiņā ir savstarpēji saspriegtas ar spriegojošu stieni.



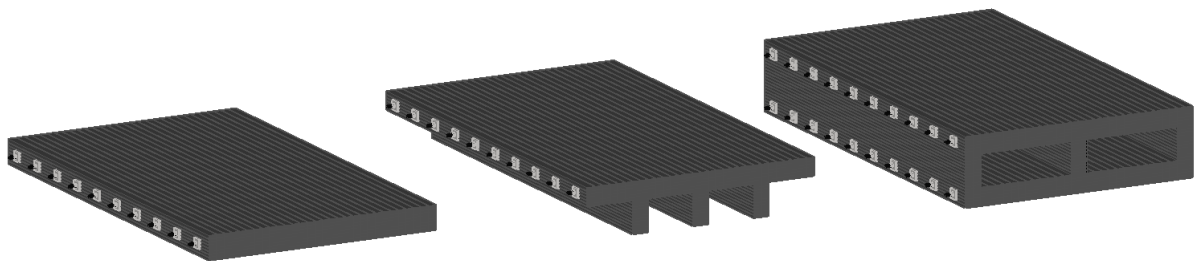
1.5. att. LVL siju tilts Otario, Kanādā [15]

## Plātņu tilti

Plātņu tiltu konstrukcija mūsdienās ir izplatīts risinājums nelieliem koka tiltiem. Plātne kalpo gan kā tilta klājs, gan arī kā nesošā konstrukcija. Autoceļu satiksmes tiltiem parasti tiek izmantotas saspriegto laminēto plātņu konstrukcijas, bet gājēju tiltiem tiek izmantotas arī blokos laminētās koksnes plātnes. Saspriegtie laminētie plātņu tilti aizsākās ar nagloto laminēto plātņu tiltiem, kuriem plātnes dēļi tika savienoti ar blīvu, noteiktu naglojumu.

Plātņu tiltu priekšrocība ir, ka šāda veida konstrukcija ir vienkārša ar salīdzinoši mazu konstrukcijas augstumu, tomēr ir ierobežots laiduma garums, lai konstrukcija būtu efektīva.

Saspriegto laminēto plātņu konstrukcijas var tikt veidotas no zāģētiem masīvās koksnes dēļiem vai līmētās koksnes elementiem. Saspriegšanai izmanto tērauda stieņus vai kūļus. No zāģētiem masīvās koksnes dēļiem veido saspriegtu, bet ne salīmētu plātņi ar plakaniski novietotiem slāņiem. No līmētās koksnes veido saspriegtu un līmētu vairākslāņu plātņi ar plakanisku vai sānisku slāņu novietojumu (skat. 4.7. att.). Plātņu tiltu šķērsriezuma konfigurācija var būt dažāda. Tiek izmantotas gan vienkāršas plātnes, gan plātnes ar T-veida sijām un kastveida plātnes (skat. 1.6. att.).



1.6. att. Plātņu tiltu veidi

Salīdzinoši jauns risinājums ir blokos līmētas plātnes. Šādu konstrukciju izmanto gājēju tiltiem, kas vienlaikus kalpo gan kā tilta klājs, gan nesošais elements.

Daudzi neliela izmēra saspriegto plātņu tilti ir izbūvēti ASV. Piemērs, kas redzams 1.7. att., atrodas Pensilvānijā, ASV. Tilta garums ir 8 m un plātnes platums 4,8 m. Tilta 0,3 m biezā plātne veidota no saspriegtiem zāģētās masīvās koksnes dēļiem.





1.7. att. Saspriegtās laminētās plātnes tilts ASV [16]

Norvēģijā 2002. gadā būvētais *Tangen* tilts (skat. 1.8. att.) ir saspriegts līmētās koksnes plātņu tilts. Tiltu veido 9,72 m plata un 0,36 m bieza no līmētās koksnes veidota saspriegta un līmēta plātne ar sūkņu slāņu novietojumu. Tilta kopējais garums ir 30 m, ko veido 9 m plati malējie laidumi un 12 m plats centrālais laidums. Tilts paredzēts normatīvajām autoceļu satiksmes slodzēm.



1.8. att. *Tangen* tilts Norvēģijā

## Rāmju tilti

Rāmju tilta konstrukcijā garenvirziena sijā vai plātne balstās uz atgāžņiem vai ir stingri savienota ar tiem. Koka tiltiem piemērotāka rāmja konstrukcija ar atgāžņiem un locīklām, jo tādējādi tiek ievērojami samazināti lieces momenti, salīdzinot ar stingu rāmja konstrukciju.

Priekšrocība rāmju tiltiem ir, ka tiek samazināts brīvais laidums, kā arī atgāžņos darbojas spiedes spēki, kas ir piemērotāki koka elementiem. Tomēr šāda veida tiltiem jānodrošina pietiekami liels zemtilta gabarīts, lai atgāžņi efektīvi darbotos un koka elementi netiktu appludināti, ja tilts šķērso upi.

Rāmju tilta laiduma garums parasti ir 20 – 40 m. Pārsvarā nesošās konstrukcijas tiek izgatavotas no līmētās koksnes. Rāmju tiltiem garenvirziena nesošā konstrukcija var būt gan sijas, gan plātne.

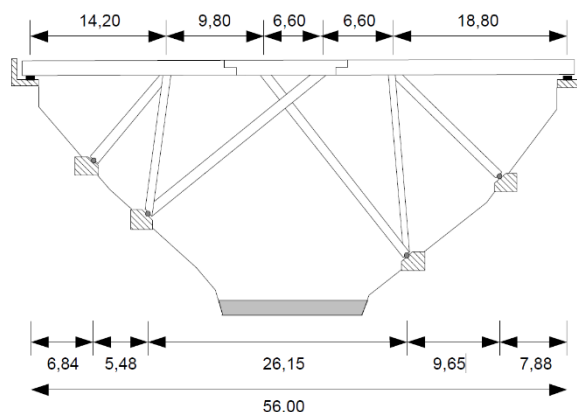
Tilts Krestā (skat. 1.9. att.) ir šobrīd garākais koka tilts Francijā. Tas ir 2001. gadā būvēts nepārtraukts trīs laidumu atgāžņu rāmja tilts. Tā kopējais garums ir 92 m, ko veido 26 m gari malējie laidumi un 32 m garš centrālais laidums. Nesošā garenvirziena konstrukcija ir līmētās koksnes sijas, kas balstās uz atgāžņiem. Tilta klāja platums 8,50 m.



1.9. att. Atgāžņu rāmja tilts Krestā, Francijā [18]



Kā vēl vienu piemēru var parādīt 1999. gadā būvēto tiltu Merlē, Francijā (skat. 1.10. att.). Tilta kopējais garums ir 57 m un augstums lielāks par 30 m. Tam ir 10 m plats klājs. Tilta vidējā daļa ir izveidota kā konsole, sijas pārtraucot ar tērauda locīklām, tādējādi veidojot statiski noteicamu sistēmu.



1.10. att. Atgāžņu rāmja tilts Merlē, Francijā [20]

Garenvirziena sijas ir veidotas no 1,60 m augstām un 0,16 m platām līmētās koksnes sijām un veido nosacītu kastveida konstrukciju, atgāžņi ir veidoti no T-profila līmētās koksnes sijām. Tiltam ir betona klājs ar asfaltbetona segumu.

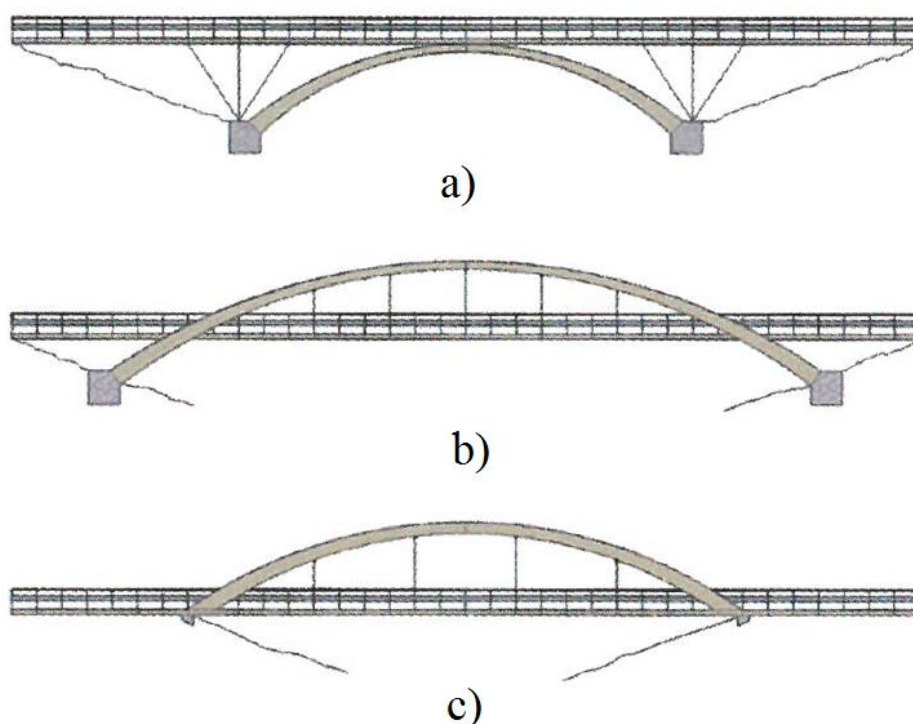
Stinga rāmja konstrukcija izmantota meža ceļa tiltā pār dzelzceļu Vācijā (skat. 1.11. att.). Klājs ar platumu 3,50 m veidots no līmētās koksnes plātnes, bet rāmja slīpie statņi izgatavoti no masīvās koksnes. Kopējais tilta garums 21 m ar malējo laidumu garumu 5,50 m un centrālo laidumu 10 m.



1.11. att. Stinga rāmja tilts Vācijā [21]

### Loku tilti

Izmantojot loka tiltus iespējams nosegt ievērojami lielāku laidumu nekā ar siju tiltu. Izvēli par labu šādai konstrukcijai nosaka būvniecības vieta, reljefs, grunts apstākļi un brīvtenības gabarīti. Jāņem vērā, ka loks un klājs darbojas kā viena kopēja konstrukcija, kas jāņem vērā, izvēloties loka tilta veidu. Klājs var būt novietots virs loka, pa vidu lokam vai tas var būt iekārtas lokā (skat. 1.12. att.). No statiskā puses var veidot divlocīklu loku, trīslocīklu loku vai loku ar savilci.



1.12. att. Klāja novietojums loka tiltiem: a) tilts ar klāju virs loka; b) tilts ar klāju pa vidu; c) tilts ar klāju iekārtu lokā [1]

Klāja novietojumu izvēlas atkarībā no ģeoloģiskajiem, hidroloģiskajiem un topogrāfiskajiem apstākļiem. Variantam ar klāju virs brauktuves, klājs darbosies kā pārsegums, "jumts" nesošajai loka konstrukcijai un tā tiks pasargāta no nelabvēlīgas klimatiskās iedarbes. Vēl viena priekšrocība ir, ka nav ierobežots paralēlo loku skaits, ko var izvietot zem klāja. Vienlaikus var arī tikt nodrošināta vienkārša šķērsvirziena stabilitāte. Šādam risinājumam kā trūkumus var minēt nepieciešamo zemtilta gabarītu, kā arī ģeoloģiskos

apstākļus – loka konstrukcija rada lielu horizontālo reakciju, kas prasa augstu grunts nestspēju.

Ja reljefs ierobežo telpu zem brauktuves, loks var tikt izvietots virs brauktuves. Šāda veida tiltiem parasti ir divi loki, katrs savā tilta pusē. Šāda konstrukcijā problēmas var radīt šķērsvirziena stingums, nodrošinot pietiekamu brauktuves gabarītu zem vēja saitēm. Ja šo gabarītu nevar nodrošināt, ir jāmeklē cits risinājums kā nodrošināt konstrukcijas stingumu. Tiltos ar brauktuvi pa apakšu lokam parasti horizontālo reakciju uzņemšanai tiek izmantota savilce. Šāda tilta konstrukciju priekšrocība ir, ka tos var praktiski pilnībā iepriekš izgatavot rūpnīcā, kas ļauj samazināt darbus būvlaukumā.

Loka tilts ar brauktuvi pa vidu ne nodrošina aizsardzību lokiem, ne atvieglo būvniecības procesu, taču šāda veida konstrukcija var tikt izmantota tā elegantā profila dēļ, kā arī tādejādi ir iespēja nodrošināt noteiktu tilta pieeju slīpumu un satiksmes telpu.

Koka tiltiem ir izplatītas gan divlocīklu, gan trīslocīklu sistēmas. Abas var būt veidotas ar savilci. Izgatavošana un transportēšana ierobežo laiduma garumu līdz aptuveni 30 m, tāpēc liela laiduma lokus bieži veido kā trīslocīklu sistēmas, vidū veidojot locīklas savienojumu, taču var veidot arī stingu, lieces momentus uzņemošu savienojumu. Vienlaikus trīslocīklu sistēma ir statiski noteicama, līdz ar to tā ir uzņēmīgāka pret temperatūras izraisītu un balstu pārvietojumiem.

Loka tilta laiduma garums parasti ir 20 m līdz 60 m robežās. Konstrukcija parasti tiek veidota no pilna šķērsgriezuma līmētās koksnes loka, režģota līmētās koksnes loka vai mehāniski savienotu koka elementu loka, bet pēdējais no minētajiem risinājumiem mūsdienās tiek izmantots reti.

"*Wennerbrücke*" tilts Austrijā (skat. 1.13. att.) ir iespējams pirmais lielais koka tilts Eiropā, kas atrodas uz galvenā ceļa. Tas būvēts 1993. gadā. Nesošā konstrukcija ir četri paralēli, paraboliski trīslocīklu loki ar laidumu 45 m. Uz šiem līmētās koksnes lokiem ar taisnu līmētās koksnes kolonnu palīdzību balstās četras masīvas līmētās koksnes sijas, uz kurām novietots betona klājs. Tilta kopējais garums ir 85 m. Tilta klājs šajā konstrukcijā darbojas kā pārsegums lokiem.





1.13. att. Loka tilts ar klāju virs loka Murau, Austrijā [23]

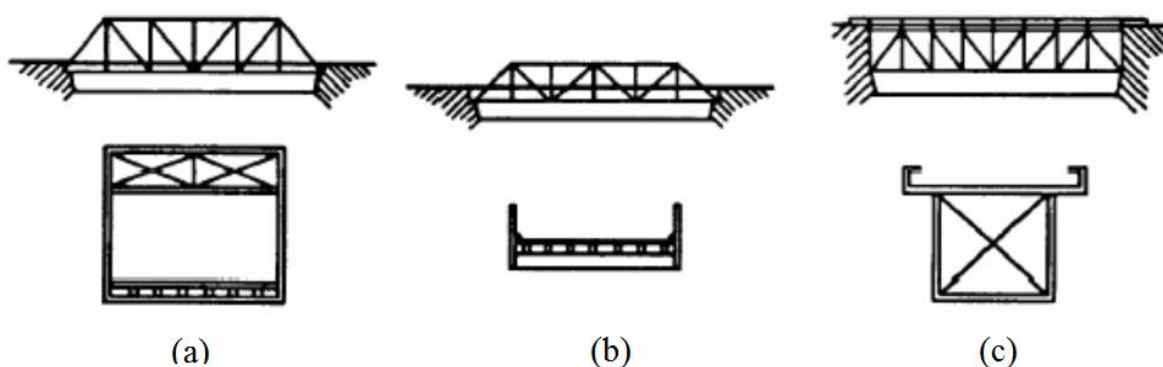
Viens no lielākajiem koka loka tiltiem pasaulē ir *Tynset* tilts Norvēģijā (skat. 1.14. att.), kurš būvēts 2001. gadā. Tilta kopējais garums ir 124 m, ko veido 70 m garš galvenais laidums un divi mazāki 26,50 m gari laidumi. Galveno laidumu veido divlocīklu režģots līmētās koksnes loks, bet mazākos laidumus trīslocīklu līmētās koksnes loki. Tilta klājs veidots no spriegotās koksnes plātnes.



1.14. *Tynset* režģotā loka tilts Norvēģijā [24]

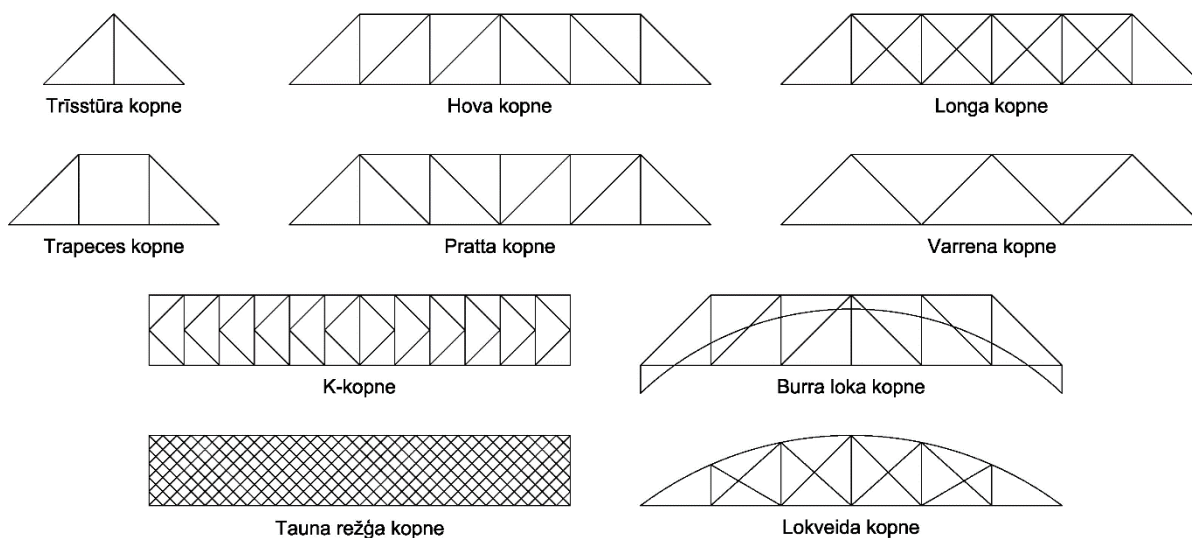
## Kopņu tilti

Alternatīva autoceļu loka tiltiem ar laidumu virs aptuveni 20 m ir kopņu tilti. Kopņu tilti bija vieni no pirmajiem moderno tiltu veidiem, ar kuriem varēja nosegt lielākus laidumus. Vēsturiski ir daudz ievērojamu izmēru koka kopņu tilti. Ar laiku to popularitāte mazinājās. Kopņu tiltu pamatā ir taisni elementi, kas savienoti, lai veidotu trīsstūru grupas. Parasti kopņu tilts sastāv no divām galvenajām kopnēm, šķērsvirziena stiprinājumiem (vēja saitēm) un klāja. Līdzīgi kā loka tiltiem, klājs var būt novietots virs kopnes, pa vidu kopnei vai kopnes apakšā (skat. 1.15. att.) Kopnēm var būt daudzi dažādi ģeometriski risinājumi.



1.15. att. Klāja novietojums kopņu tiltiem: a) klājs kopnes apakšā, b) klājs kopnei pa vidu, c) klājs virs kopnes

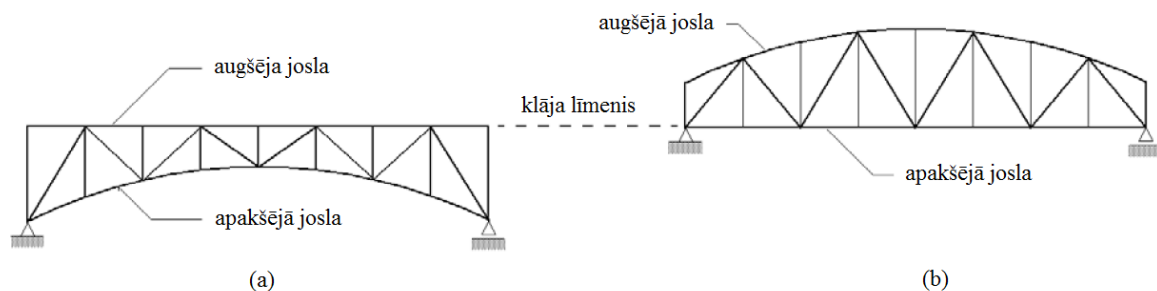
Raksturīgākās kopņu shēmas, kuras izmanto tiltu konstrukcijās redzamas 1.16. attēlā. Nereti tiek veidotas arī kombinācijas no dažādām kopņu shēmām.



1.16. att. Kopņu shēmas

Kopņu tiltu priekšrocība, salīdzinot ar loka tiltiem, ir tas, ka balstos neveidojas horizontālā balstu reakcija. Ja zemtilta gabarīts to atļauj, izdevīgi ir veidot kopnes ar brauktuvi kopnes augšējās joslas līmenī vai virs tās. Tādējādi var tikt izmantotas arī vairāk nekā divas paralēlas kopnes, kas var uzņemt lielākas slodzes un atvieglo šķērsvirziena stiprināšanu ar vēja saitēm. Šāda veida kopnēm apakšējo joslu parasti veido izliektu (skat. 1.17. att.).

Tiltiem ar klāja novietojumu apakšējās joslas līmenī jānodrošina pietiekams satiksmes telpas gabarīts līdz vēja saitēm, tāpēc jāpārliedzina par kopnes šķērsvirziena stabilitāti. Tiltiem ar kopni virs klāja bieži veido izliektu augšējo joslu (skat. 1.17. att.). Ja kopne nav pietiekami augsta, lai nodrošinātu vēja saišu izbūvi, vai arī klājs atrodas pa vidu kopnei, tad to sauc par kopni ar klāju pa vidu. Šāda veida kopnes izmanto, lai nosegtu mazākus laidumus. Neliela izmēra kopnes ar klāju pa vidu mēdz arī saukt par kopņu sijām. Tām ir augstāka nestspēja un tās ir stingākas nekā vienkāršās sijas. Ir iespējami dažāda veida kopņu siju risinājumi.



1.17. att. Joslas izliekums: a) kopnei ar klāju virs tās izliekta apakšējā josla, b) kopnei ar klāju apakšā izliekta augšējā josla

Mūsdienās garākie koka tilti ir ar loka vai kopnes konstrukciju. Kopņu tiltu garums parasti ir 20 – 70 m. Kopnes elementi parasti tiek izgatavoti no līmētās koksnes, taču var tikt izmantota arī masīvā koksne vai mehāniski savienota koksne. Kopnes ar brauktuvi pa vidu jeb kopņu siju tiltu garums parasti ir mazāks, līdz 45 m.

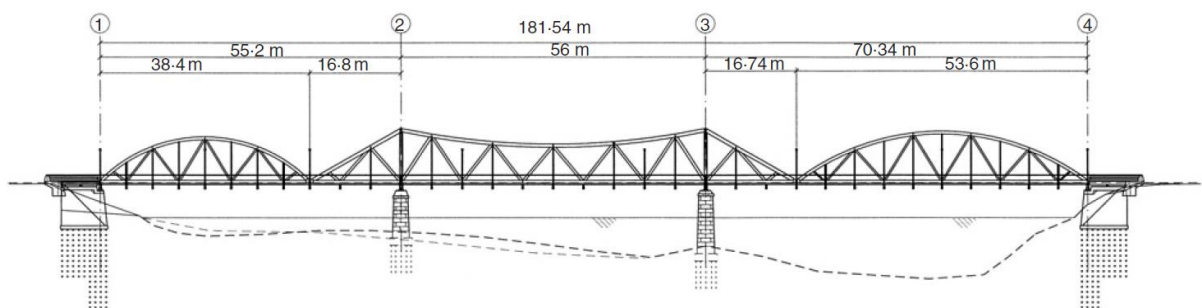
Koka tilts ar vienu no garākajiem laidumiem, kas paredzēts autoceļu satiksmes slodzēm ir *Flisa* tilts Norvēģijā (skat. 1.18. att.).





1.18. att. *Flisa* kopņu tilts Norvēģijā [25]

Tilts ir uzbūvēts 2003. gadā. Tas veidots kā konsolveida kopne. Tilta kopējais garums ir 181 m, ar laidumu garumiem 55 m, 56 m un 70 m (skat. 1.19. att.). Tilta kopnes veidotas no līmētās koksnes un klājs no saspriegtās koksnes plātnes. Tilta klāja platums 9 m. Iepriekš šī tilta vietā atradās tērauda kopņu tilts, taču tas vairs nespēja uzņemt normatīvās autoceļu satiksmes slodzes. Tā kā jaunais koka tilts ir ievērojami vieglāks, tas tika izbūvēts uz esošajiem balstiem, jo tie bija labā stāvoklī.



1.19. att. *Flisa* tilta statiskā shēma [26]

Vēl viens ievērojams kopņu tilts ir *Vihantasalmi* tilts (skat. 1.20. att.), kas arī atrodas Norvēģijā. 1999. gadā būvētā kopņu tilta kopējais garums ir 182 m. To veido divi 21 m gari

malējie laidumi, kuros sijas, apvienotas ar betona klāju, bet trīs centrālos laidumus ar garumu 42 m veido līmētās koksnes trīsstūrveida kopnes. Tilts var uzņemt normatīvās autoceļu satiksmes slodzes.



1.20. att. *Vihantasalmi* tilts Norvēģijā [22]

Par pasaulē stiprāko koka tiltu tiek dēvēts *Rena* tilts Norvēģijā (skat. 1.21. att.). Tā kopējais garums ir 168 m, ko veido seši laidumi, no kuriem garākais ir 45 m. Tiltu veido divas nepārtrauktas līmētās koksnes kopnes, kuras balsta dzelzsbetona plātni. Tilts tiek dēvēts par stiprāko koka tiltu pasaulē, jo tas var uzņemt militāro slodzi, ko veido 30 m attālumā viens aiz otra braucošs transportlīdzeklis ar svaru 109 t. Kopā ar šo slodzi tilta aprēķinā vēl papildus tika pieļauts viens 60 t smags transportlīdzeklis.



1.21. att. *Rena* tilts Norvēģijā [28]

### Vanšu un iekārtie tilti

Vanšu un iekārtie tilti pieļauj ievērojama izmēra laidumus. Koksnes izstrādājumi parasti tiek izmantoti stingrības sijām un klājam. Mūsdienās biežāk tiek izmantoti vanšu tilti nekā iekārtie, kur ir piemērotāki ļoti lielu laidumu noseģšanai. Tomēr iekārtās sistēmas vēl tiek izmantotas kalnainos apvidos. Vanšu un iekārtās sistēmas izmanto koka gājēju tiltiem.

Vanšu tiltu priekšrocība ir, ka laidums var tik sadalīts ar estētisku skaidrību, kas ļauj veidot slaidu un vizuāli vieglu klāju. Vienlaikus ir jānodrošina šķērsvirziena stabilitāte, lai nebūtu izklāšanās un tas varētu izturēt vēja slodzes. Bieži tiek izmantoti slīpi piloni un vispārēji vēlams izmantot vienu vai divas vanšu kopnes. Mūsdienīgās ražošanas iespējas ļauj izmantot ļoti plānu konstrukciju ar līknēm plānā. Šāds risinājums ir vizuāli iespaidīgs, bet nepieciešams risināt ievērojamus izaicinājumus, lai analizētu un modelētu vēja ietekmi un pastiprinājumus.

Vanšu un iekārtu gājēju tiltu garums parasti ir robežās no 30 m līdz 100 m. Piloni var būt veidoti no līmētās vai masīvās koksnes, lielākiem tiltiem tiek izmantoti tērauda piloni. Stinguma sijas parasti izgatavo no līmētās koksnes, retāk no masīvās koksnes. Klāju veido no masīvās koksnes, līmētās vai blokos līmētās koksnes.

Viens no garākajiem gājēju koka tiltiem pasaulē ir *Anaklia-Ganmukhuri* tilts Gruzijā (skat 1.22. att.). Tā stinguma elements ir triangulēta kopne ar konstruktīvo augstumu aptuveni 3,50 m. Klājs veidots no masīvās koksnes. Tilta kopējais garums ir 504 m, ko veido divi 36 m gari malējie laidumi, seši 48 m gari centrālie laidumi un 60 m un 84 m gari laidumi, kas iekārti vantīs.



1.22. att. *Anaklia-Ganmukhuri* tilts Gruzijā [29]



Kā piemēru vanšu tiltam ar plāna līknēm var minēt gājēju tiltu Nīderlandē (skat. 1.23. att.). Tā kopējais garums ir 75 m un klāja platums 3 m. Klājs veidots no blokos līmētās koksnes. Tiltam ir divi slīpi tērauda piloni.



1.23. att. Gājēju vanšu tilts ar plāna līknēm Nīderlandē [30]

### **1.3. Koka tiltu projektēšanas būvnormatīvi**

Koka tiltu projektēšanu ietver 5. Eirokodeksu grupa, tomēr ir vēl citi standarti un Eirokodeksi, kas jāņem vērā. Konstrukciju aprēķinā atbilstoši Eirokodeksam tiek izmantota robežstāvokļu metode, kur izšķir divus robežstāvokļus – nestspējas robežstāvokli, kas atbild par konstrukcijas nestspēju un lietojamības robežstāvokli, kas nosaka prasības komfortablai konstrukcijas lietošanai.

5. Eirokodeksu grupa sastāv no trīs daļām:

- Latvijas standarts LVS EN 1995-1-1 "5. Eirokodekss. Koka konstrukciju projektēšana. 1-1. daļa: Vispārīgi. Vispārīgie noteikumi un noteikumi būvēm";
- Latvijas standarts LVS EN 1995-1-2 "5. Eirokodekss. Koka konstrukciju projektēšana. 1-2.daļa: Vispārīgi. Ugunsdrošu konstrukciju projektēšana";
- Latvijas standarts LVS EN 1995-2 "5. Eirokodekss. Koka konstrukciju projektēšana. 2. daļa: Tilti".

Galvenās daļas, kas attiecas uz koka tiltu projektēšanu, ir LVS EN 1995-1-1 un LVS 1995-2. Tomēr šīs daļas neietver informāciju par materiālu īpašībām. Koka izstrādājumu īpašības tiek sniegtas citos standartos. Visām trīs Eirokodeksa daļām ir arī Nacionālie pielikumi, kas jāņem vērā projektējot konstrukcijas.

No visiem Eirokodeksiem jāņem vērā arī divas Eirokodeksu grupas, uz kuru pamata balstās konstrukciju aprēķins un detalizācija. Tā ir 0. Eirokodeksa grupa, kas nosaka konstrukciju projektēšanas pamatus un 1. Eirokodeksa grupa, kas atbild par iedarbēm uz konstrukcijām, no kurām būtiskākie standarti attiecībā uz tiltu projektēšanu ir:

- Latvijas standarts LVS EN 1990 "Eirokodekss. Konstrukciju projektēšanas pamati" ar Nacionālo pielikumu, kur noteiktas prasības arī tiltiem;
- Latvijas standarts LVS EN 1991-1-1 "1. Eirokodekss. Iedarbes uz konstrukcijām. 1-1.daļa: Vispārīgās iedarbes. Blīvums, pašsvars, ēku lietderīgās slodzes" ar atbilstošo Nacionālo pielikumu;
- Latvijas standarts LVS EN 1991-2 "1.Eirokodekss: Iedarbes uz konstrukcijām - 2.daļa: Satiksmes slodzes tiltiem" ar atbilstošo Nacionālo pielikumu.

Standarts LVS EN 1995-1-1 aptver vispārīgo informāciju un projektēšanas un konstrukciju aprēķinu pamatnoteikumus, ilgziturbu, nestspējas un lietojamības robežstāvokļus, savienojumus ar metāla savienotājlīdzekļiem, kombinētos būvelementus un būvkonstrukcijas, kā arī kvalitātes kontroli.

Standartā LVS EN 1995-2 būtiskākā informācija ir par tiltu projektēšanas pamatprincipiem, konstrukcijas aprēķinu (spriegoto plātņu aprēķins), nestspējas un lietojamības robežstāvokļiem un ilglaicību.

Masīvās koksnes īpašības tiek noteiktas atbilstoši koksnes stiprības klasei. Masīvās koksnes stiprības klases ir dotas Latvijas standartā LVS EN 338 "Konstrukciju kokmateriāli. Stiprības klases". Tilta konstrukcijām ieteicams izmantot masīvo koksni, kas šķirota pēc stiprības atbilstoši LVS EN 14081 standartu grupai. Projektējot masīvas koksnes tilta elementus ieteicams ņemt vērā šādus standartus par koksnes aizsardzību un izturību:

- Latvijas standarts LVS EN 350-2 "Koka un koksnes izstrādājumu izturība - Masīvās koksnes dabīgā izturība - 2.daļa: Norādījumi par atsevišķu Eiropā izplatītu koku sugu dabīgo noturību un impregnēšanas iespējām";
- Latvijas standarts LVS EN 460 "Koksnes un koksnes produktu izturība - Masīvās koksnes dabiskā izturība - Norādes izturības prasībām koksnei, kuru izmanto dažādās riska klasēs".



Līmētās koksnes stiprības klases, kā arī līmētās koksnes veidi un citas prasības tiek apskatītas Latvijas standartā LVS EN 14080 "Koka konstrukcijas. Līmēti kokmateriāli. Prasības".

Tērauda savienojumiem un savienojošām detaļām jāatbilst 3. Eirokodeksu grupas LVS EN 1993 standartiem.

## **2. TILTA GALVENO PARAMETRU IZVĒLE**

### **2.1. Tilta pārejas vieta**

Tilta pārejas vietas izvēle ir sākotnējais tilta projektēšanas posms. Tiek noteikta ieteicamā pārejas vieta un tiek izvēlēts tilta veids, lielums un nestspēja. Šī izvēle tiek veikta pamatojoties uz šādiem apsvērumiem:

- pārejas vietas reljefs un apstākļi;
- nepieciešamais kalpošanas laiks;
- sagaidāmā satiksme (veids un intensitāte);
- pieejamie un atvēlētie resursi.

Pārejas vietas reljefs un apstākļi nosaka tilta augstumu, garumu, laidumu skaitu, kā arī projektējamās pamatus. Nepieciešamais kalpošanas laiks un pieejamie un atvēlētie resursi ietekmēs izmantojamās konstrukciju materiālus un būvniecības metodes. Sagaidāmās satiksmes noteikšana ļauj izvēlēties tilta platumu, kā arī nepieciešamo konstrukcijas un pamatu nestspēju.

#### **Vietas izvēle**

Trīs galvenie apsvērumi tilta novietojuma izvēlei ir:

- tiltam jānodrošina piemērots horizontālais un vertikālais plānojums;
- gruntīm jābūt ar pietiekami lielu nestspēju, lai nodrošinātu konstrukcijas stabilitāti;
- tiltam un ar to saistītajiem darbiem nevajadzētu būt ar nelabvēlīgu ietekmi uz pieguļošajām teritorijām un būvēm, vienlaikus nodrošinot, ka tilts netiku bojāts novietojuma vides ietekmē.

Visbiežāk tilts nepieciešams, lai šķērsotu upi. Dažkārt nepieciešams izbūvēt pārvadu pār dzelzceļu vai citu autoceļu, tomēr šie gadījumi ir vienkāršāki, jo jāapsver tikai augstumi un laidumu garumi. Šķērsojot upi, jāņem vērā upes hidroloģiskie apstākļi.

Nosakot novietojumu nelielam tiltam, bieži ir jāatrod kompromiss starp optimālo upes šķērsošanas vietu un īsāko ceļa plānojumu. Šādā gadījumā novietojuma izvēle kļūst par ekonomisku lēmumu. Lētākais risinājums ar iespējami ilgāko kalpošanas laiku ir novietojums, kurš:

- atrodas taisnā upes posmā;
- atrodas pietiekami tālu no nelabvēlīgas pieteku ietekmes;

- ir ar izteiktiem krastiem;
- ir ar samērā taisnām ceļu pieejām;
- ir ar labiem grunts ģeoloģiskajiem apstākļiem.

Pārejas vietai vajadzētu sniegt iespēju tilta pieejas veidot ar ceļa garenslīpumu, kas piemērots paredzētajam satiksmes veidam un ceļa kategorijai, kā arī garenprofilam jānodrošina redzamības prasības.

Novietojot tiltu pareizajā leņķī pret upi, tam būs īsākais laidums. Plānā slīpi novietotam tiltam ir sarežģītāks projektēšanas un būvniecības process, kā arī tiek patērēts vairāk materiāla. Ja tilts tiek novietots slīpi, tad balstiem vajadzētu būt paralēliem straumes virzienam.

### **Satiksme un kalpošanas laiks**

Projektējot tiltu nepieciešams novērtēt satiksmes sastāvu un intensitāti, kas izmantos tiltu tā kalpošanas laikā. Satiksmes intensitāte jāparedz ņemot vērā lokālās ietekmes, piem., lauksaimniecības un rūpniecības attīstību.

Atšķirībā no ceļiem, tiltus neparedz noteiktam slogošanas ciklu skaitam. Parasti tiek izvēlēta pastāvīga konstrukcija noteiktu slodžu uzņemšanai.

### **Inženierģeoloģiskie apstākļi**

Grunstīm, uz kurām tiks uzbūvēts tilts ir jāuzņem laiduma konstrukcijas, balstu, pamatu pašsvara slodzes, kā arī satiksmes slodzes. Pirms tiltu pamatu projektēšanas jānosaka būvvieta esošo grunšu raksturojums, tehniskie parametri un to vertikālais ģeoloģiskais griezum.

Šo informāciju iegūst veicot inženierģeoloģiskās izpētes darbus, analizējot grunts paraugu sēriju, kas iegūta no grunts urbumiem būvvieta. Paraugu testēšanas rezultātā tiek noteikti grunts tehniskie raksturojumi.

Tilta pamatu nestspēju var ietekmēt arī grunts ūdens un tā līmeņa svārstības.

## **2.2. Tilta izmēri**

### **Tilta platums**

Tilta platumu parasti izvēlas ar tādu pašu normālprofilu, kāds ir tilta pieejām. Ja ir paredzēts veikt autoceļa rekonstrukciju, ieteicams ņemt vērā projektēto platumu, lai tas

saskanētu ar plānoto autoceļu.

Ceļiem ar ļoti zemu satiksmes intensitāti var izmantot tiltus ar vienu braukšanas joslu (parasti tilta platums ap 3,6 m). Ja tilts ir savlaicīgi redzams un braucējs tiek iepriekš brīdināts, drošības problēmu parasti šādiem tiltiem nav. Tiltā pieejās jānodrošina uzgaidīšanas laukums, lai palaistu pretim braucošo satiksmi. Ja tilts atrodas tuvu apdzīvotai vietai, ieteicams arī paredzēt gājēju ietves.

Ja pārsvarā tiek paredzēta vieglo automašīnu satiksme, var tikt izmantots tilts ar pusotru joslu (parasti tilta platums ap 4,6 m). Šāds tilta platums ļauj uz tilta izmainīties divām vieglajām automašīnām, bet tas ir pārāk šaurs, lai vienlaicīgi uz tā atrastos divas smagās automašīnas. Arī šādu tiltu nepieciešams aprīkot ar brīdinājuma zīmēm, uzgaidīšanas laukumu un jānodrošina savlaicīga tilta redzamība. Pusotras joslas tilti mēdz tikt uzskatīti par bīstamiem, tāpēc bieži priekšroka tiek dota pilna autoceļa platuma tiltam.

### **Tilta garums**

Tilta garumu, laidumu garumu un to skaitu nosaka novietojums plānā, garenprofils, topogrāfiskie apstākļi un šķēršļu novietojums un izmēri. Laidumu skaits ir atkarīgs no izvēlētās konstrukcijas veida, upes hidroloģiskajiem un topogrāfiskajiem apstākļiem un nepieciešamajiem gabarītiem.

## **2.3. Tilta slodzes**

### **1. Eirokodeksa autoceļu satiksmes slodzes.**

Autoceļu tiltiem satiksmes slodzes nosaka Latvijas standarts LVS EN 1991-2 "1.Eirokodekss: Iedarbes uz konstrukcijām - 2.daļa: Satiksmes slodzes tiltiem" ar atbilstošo Nacionālo pielikumu. Sākot no 2010. gada 1. Eirokodeksu grupa ir obligāta visās Eiropas Savienības valstīs. Autoceļu tiltiem standartā tiek doti četri slodžu modeļi.

Pirmais un galvenais slodzes modelis LM1 atbilst vairumam no vieglo un smago transportlīdzekļu satiksmes iedarbībām un tas izmantojams vispārējām un vietējām pārbaudēm. Slodžu modeli LM1 veido divas komponentes (abas ietver dinamiskās ietekmes palielinājumu):

- Divu asu koncentrētās slodzes (tandēmslodze) ar katras ass slodzi  $Q_{ik}$ ;
- Vienmērīgi izkliedēta slodze ar slodzes sadalījumu  $q_{ik}$  uz  $m^2$ .

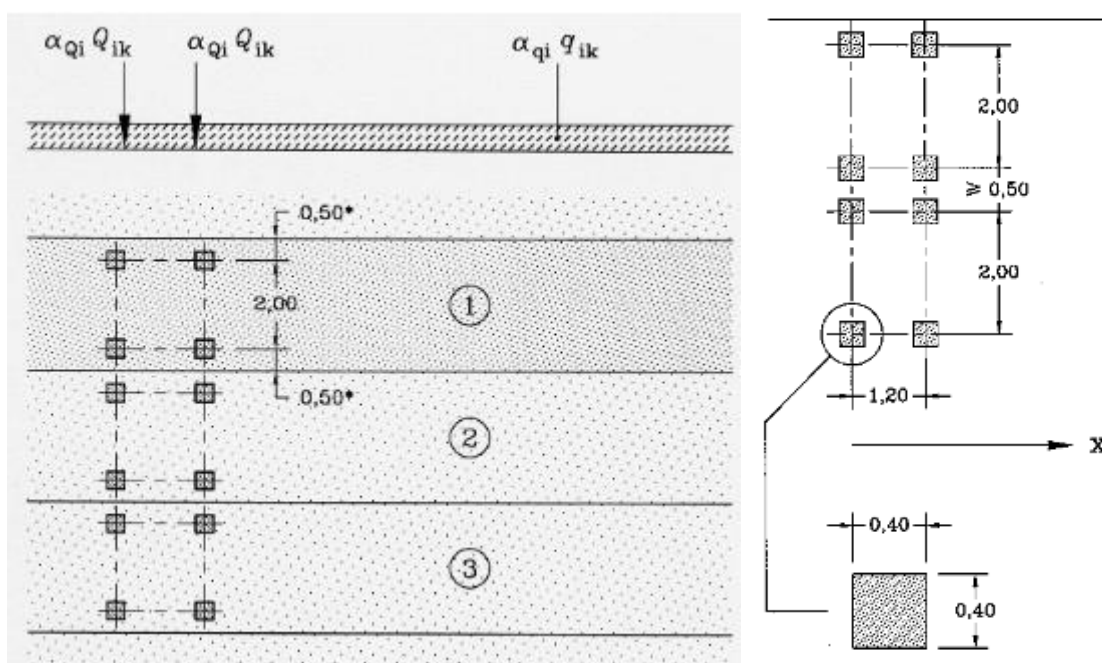
Slodzes modeļa LM1 normatīvās vērtības redzamas 2.1. tabulā.

2.1. tabula

Slodzes modeļa LM1 normatīvās vērtības

Izvietojums	Tandēmslodze $Q_{ik}$ , kN	Izkliedētā slodze $q_{ik}$ , kN/m <sup>2</sup>
Josla 1	300	9
Josla 2	200	2,5
Josla 3	100	2,5
Atlikušais laukums	0	2,5

Slodžu modelis LM1 tiek izvietots pa tilta joslām, kur joslu izmēri un to izvietojums dots 2.1. attēlā.



2.1. att. Slodzes modeļa LM1 pielietojums vispārējās un lokālās pārbaudēs, kur

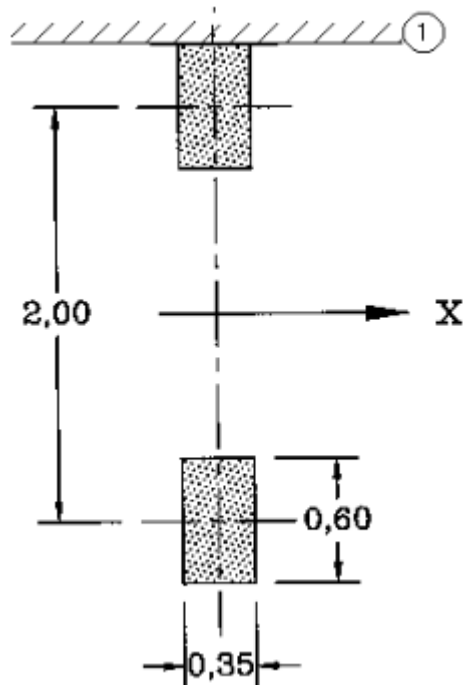
$Q_{ik}$  – koncentrētā ass slodze, kN;

$q_{ik}$  – vienmērīgi izkliedēta slodze, kN/m<sup>2</sup>;

$\alpha_{Qi}$  un  $\alpha_{qi}$  – regulējošie koeficienti. [32]

Slodzes modeli LM2 izmanto lokālām pārbaudēm. To veido vienas ass slodze, kas vienāda ar 400 kN (ietver dinamiskās ietekmes palielinājumu); katram ritenim 200 kN. Modeli LM2 var novietot jebkurā vietā uz tilta brauktuves; tā izmēri doti 2.2. attēlā. Slodzes modeļu LM1 un LM2 konatktivrsma laukumi atšķiras – LM2 atbilst sapārotām riepiem, un šī

pārbaude ir svarīga ortotropajās plātnēs – tāpat arī koka brauktuves plātnēm, it sevišķi, kas paredzētas mežsaimniecības transportlīdzekļu satiksmei.



2.2. att. Slodzes modeļa LM2 pielietojums, kur

X – tilta garenass virziens;

1 – tilta apmale. [32]

Slodzes modelis LM3 atbilst speciāliem transportlīdzekļiem (piem., industriālajam vai militārajam transportam) un tas izmantojams pēc nepieciešamības, kur tas ir svarīgi.

Slodzes modelis LM4 ir pūļa slodze, ko veido vienmērīgi izkliedēta slodze ar vērtību  $5 \text{ kN/m}^2$  (ietver dinamiskās ietekmes palielinājumu). Modelis paredzēts vispārējām pārbaudēm, un ir svarīgs tiltiem, kas atrodas apdzīvotās vietās vai to tuvumā.

### **Latvijai raksturīgā mežsaimniecības transportlīdzekļu slodzes**

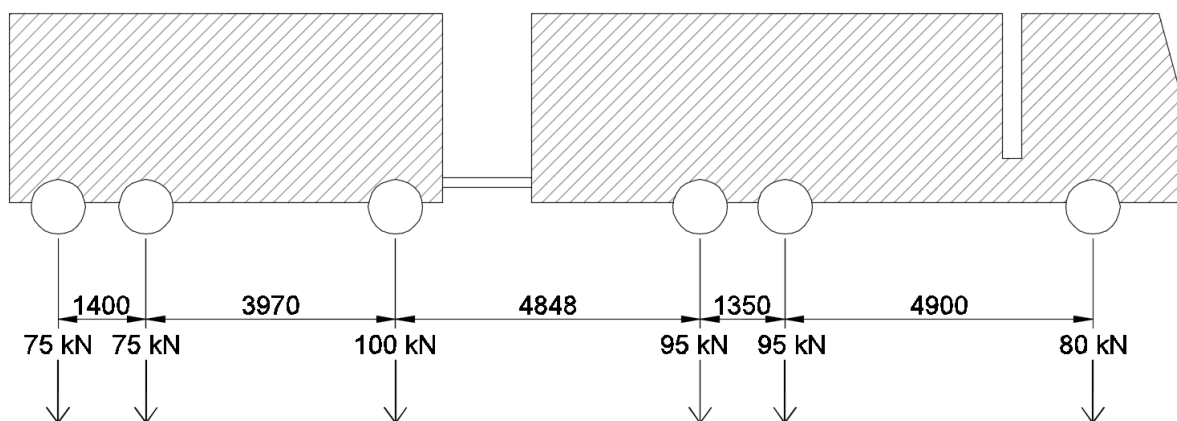
Slodžu aprēķinam tiek izmantotas nelabvēlīgākās slodžu kombinācijas, kas veido lielāko slodzi uz noteiktu laukumu vai laidumu. Apskatot Latvijai raksturīgākos mežsaimniecības transportlīdzekļus, var secināt, ka nelabvēlīgāko slodzi rada kokvedēji. Mežizstrādes tehnikas masa ir vidēji līdz 23 t, kas izdalīta uz trīs vai četrām asīm. Turpretim kokvedēja masa ir ievērojami lielāka. Divasu dzenošā tilta masa vien var sasniegt 19 t.

Pieļaujamās transportlīdzekļu masas un gabarīti tiek noteikti Ministru kabineta noteikumos Nr. 571 "Ceļu satiksmes noteikumi" un Ministru kabineta noteikumos Nr. 343 "Noteikumi par lielgabariņa un smagsvara pārvadājumiem".

Raksturīgākais kokvedējs Latvijā ir transportlīdzekļa sastāvs, ko veido automobilis ar piekabi. Standarta kokvedējam ir trīs asu vilcējs, kuram viena priekšējā ir dzītā ass un aizmugurē ir dzenošais divasu tilts ar dubultriteņiem. Piekabei arī ir trīs asis ar dubultriteņiem. Atbilstoši Ceļu satiksmes noteikumiem, pieļaujamais garums transportlīdzekļu sastāviem, kas sastāv no automobiļa ar piekabi, ir 18,75 m. Faktiskā pieļaujamā masa transportlīdzekļu sastāvam ar piekabi, kas sastāv no trīsasu automobiļa un divasu vai vairākasu piekabes, ir 40 t. Trīsasu piekabes pieļaujamā faktiskā masa ir 24 t.

Dalāmu kokmateriālu smagsvara kravu pārvadāšana ir atļauta, saņemot sertifikātu. Pamatojoties uz sertifikātu, transportlīdzekļa faktiskā masa nedrīkst pārsniegt 52 t, bet faktiskai maksimālai ass slodzei jāatbilst Ceļu satiksmes noteikumiem. Vienass tilta slodze nedrīkst pārsniegt 10 t dzītajiem tiltiem un 11,5 t dzenošajam tiltam. Divasu tilta asu slodzes summa mehāniskajiem transportlīdzekļiem nedrīkst pārsniegt 19 t, ja starpasu attālums ir 1,3 m un lielāks, bet mazāks par 1,8 m un ja abām dzenošajām asīm ir dubultriteņi un katras ass slodze nepārsniedz 9,5 t. Divasu tilta slodzes summa piekabēm nedrīkst pārsniegt 18 t, ja starpasu attālums ir 1,3 m un lielāks, bet mazāks par 1,8 m.

Izejot no iepriekš minētājām prasībām, ko nosaka Ceļu satiksmes noteikumi, nelabvēlīgākais slogojums redzams 2.3. attēlā. Attālumi starp asīm var nedaudz variēt atkarībā no izvēlētās automašīnas un piekabes modeļiem (šajā gadījumā izvēlēts kokvedējs *Scania*).



2.3. att. Nelabvēlīgākais slogojums, ko rada 52 t smags kokvedējs

### **3. TILTU BALSTU PROJEKTĒŠANA**

Tilta balstu un pamatu uzdevums ir pārnest piepūles no tilta pašsvara un kustīgās slodzes uz pamatni un nodrošināt pamatnes un būves kopīgu darbu. Projektējot tilta balstu pamatus, inženierim ir plašas iespējas pamatu konstrukcijas, formas un novietojuma izvēlei. Tilta pamatu konstrukcijas veids un novietojums ir atkarīgs no projektētā laiduma garuma, pārejas vietas topogrāfijas un hidroģeoloģiskajiem apstākļiem. Tomēr der ievērot, ka optimālai laidumu garumu attiecībai, balstu un pamatu izmaksu summa aptuveni atbilst laiduma konstrukcijas izmaksām.

Tiltu inženieriem nav lielu iespēju mainīt tilta vai satiksmes pārvada balstu novietojumu, jo autoceļu tilti, visbiežāk, ir novietoti esošajās ceļu trasēs un upi tās šķērso visšaurākajā vietā (parasti, perpendikulāri upes straumes virzienam), vai uz stabilas vai pastiprinātas grunts posmiem. Tiltu balstu pamatu darbība ievērojami atšķiras no ēku pamatu darba. Tiltiem dominējošās ir kustīgās slodzes, kas sastāda apmēram pusi no pastāvīgajām slodzēm autoceļos. Kustīgās slodzes, kuras izraisa transportlīdzekļi, var radīt ievērojamus spēkus arī tilta garenvirzienā. Tilta garenvirzienā pieliktos spēkus var izraisīt arī rukums vai temperatūras izmaiņas laiduma konstrukcijā, turklāt uz brauktuvi var darboties vēja slodze, bremzēšanas izraisīti spēki, ledus un viļņu spiediena spēks, vai kuģu triecienu slodzes.

#### **3.1. Balstu projektēšana**

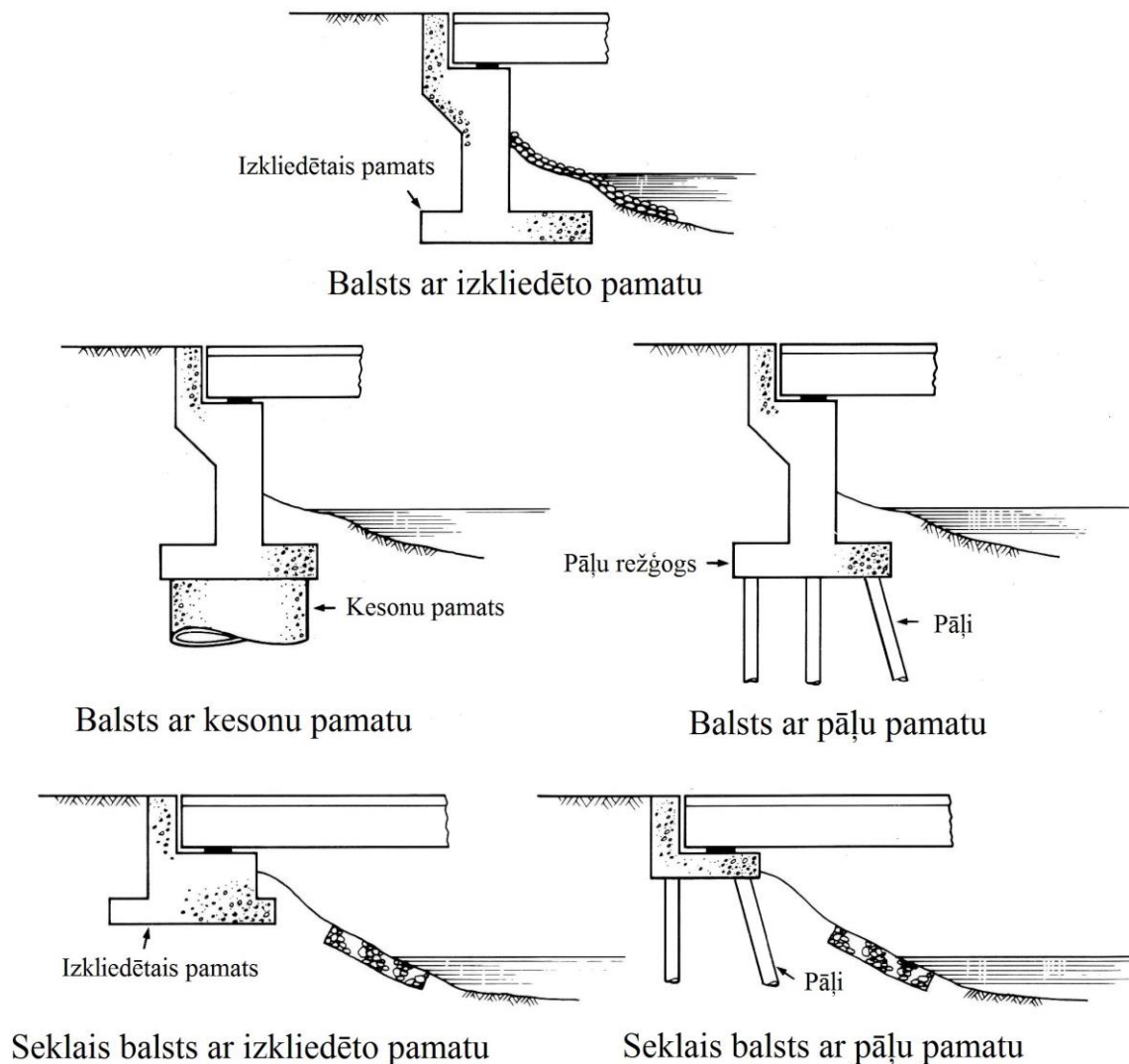
Tilta balstu un pamatu novietojums ir ļoti svarīgs, ņemot vērā to mijiedarbību ar upi. Tā kā izplatītākais atteices veids balstiem ir izskalojumu radītie bojājumi, nepieciešams īpašu uzmanību pievērst vispārīgiem un lokāliem izskalojumiem. Divi galvenie punkti, kas jāņem vērā, ir:

- vispārīgā izskalojumu zona nedrīkst tikt aizšķērsota, jo tādejādi tiks traucēta straume un tiks vēl vairāk veicināta izskalojumu veidošanās;
- lokālus izskalojumus veido turbulence un to var novērst, nostiprinot grunti.

Balstu atteice notiek arī gadījumos, kad grunts zem pamatiem nav ar pietiekami lielu nestspēju un tie nespēj pretoties kombinētajai konstrukcijas un uzbēruma slodzei. Visur, kur tas iespējams, ieteicams izmantot balstus ar izkliedēto pamatu, bet, ja tie nespēj nodrošināt pietiekamu nestspēju, tiek izmantoti pāļu balsti. Ja pietiekami stipra grunts atrodas ne pārāk



dziļi no balsta, var tikt izmantoti kesonu pamatu. Seklie balsti tiek izmantoti vietās, kur nestspējīgas gruntis atrodas salīdzinoši seklā līmenī un ceļš ar tilta konstrukciju ir tuvu esošajam reljefam (nav augsti uzbērumi tilta pieejās). Galvenie balstu veidi redzami 3.1. attēlā.



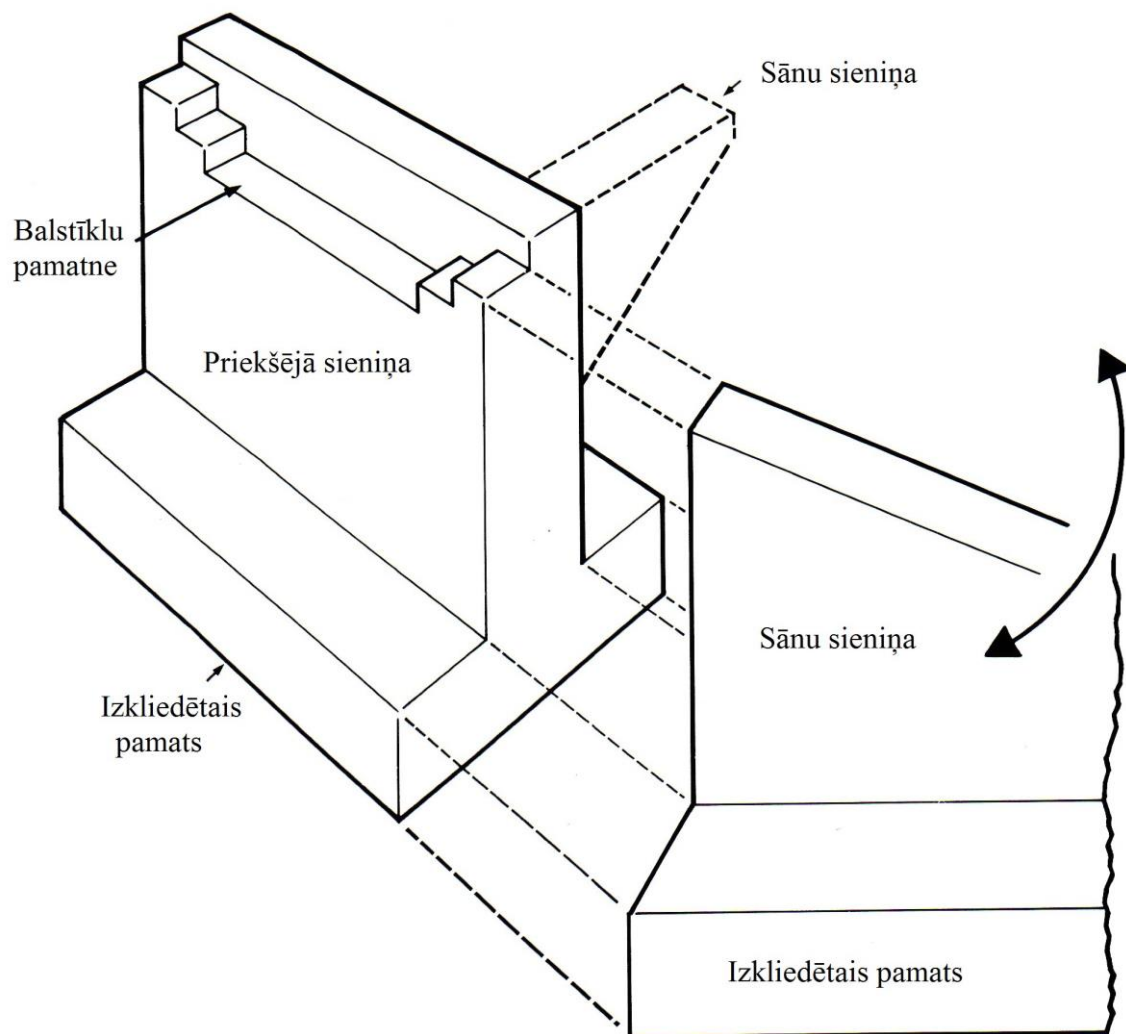
3.1. att. Galvenie balstu veidi [31]

Papildus laiduma konstrukcijas un balsta konstrukcijas balstīšanai, balstu pamatiem ir:

- jāpretojas vertikālajai un horizontālajai slodzei, ko izraisa kustīgā slodze (transportlīdzekļi);
- jābalsta pieeju uzbērumi un tiem pielikto kustīgo slodzi;
- jānodrošina vienmērīga pāreja no ceļa konstrukcijas uz tilta konstrukciju.

Galvenie balsta elementi (skat. 3.2. att.) ir:

- pamata plātne, kas pārnēs balsta pašsvaru un daļu no laiduma konstrukcijas uz balstošo grunti, vai arī kas var būt savienojošā plātne nesošo pāļu sistēmai;
- priekšējā sieniņa ar balstīklu pamatni, kas balsta laiduma konstrukciju un satur uzbēruma grunti;
- sānu sieniņas, kas satur pieeju uzbērumu un parasti ir izbūvētas tā, lai savienotu uzbērumu ar balsta konstrukciju.



3.2. att. Galvenie balsta elementi [31]

### 3.2. Pamatu projektēšana

7. Eurokodeksu grupas Latvijas standarts LVS EN 1997-1 "7. Eurokodekss. Ģeotehniskā projektēšana. 1.daļa: Vispārīgie noteikumi" iedala pamatu konstrukcijas un zemes darbus trīs ģeotehniskās kategorijās:

- Kategorijā No. 1 tiek ietvertas vieglās konstrukcijas, piemēram, ēkas ar slodzi zem kolonnām līdz 250 kN, vai ar slodzi zem sienām līdz 100 kN/m, zemas rievsienu, kā arī viena vai divu stāvu ēkas. Ģeotehnisko izmeklēšanu šai kategorijai var samazināt līdz minimumam, ja ir zināmi kādas iepriekš veiktas ģeoloģiskās izpētes rezultāti un projektēšanas noteikumi, un grunts slāņu slīpumi nav stāvi. Tādā gadījumā ģeotehniskā izpēte ietver vizuālu būvlaukuma inspekciju ar atsevišķu izpētes šurfu veidošanu vai virsmas urbumiem.
- Kategorijā No. 2 tiek ietverti normāliem būvlaukuma apstākļiem paredzēti pamati, kuros nav sagaidāmi kādi paaugstināta riska apstākļi, vai neparasti un sarežģīti grunts apstākļi vai paredzētas ļoti lielas slodzes. Šajā kategorijā tiek ietverti sekļie, plātņu un pāļu pamati, kā arī rievsienu, upes un krasta balsti tiltiem, grunts rakšana un būvbedres sienīņu nostiprināšana, un dambji, krastmalas un uzbērumi.
- Kategorijā No. 3 tiek ietverti lielu vai neparastu pamatu tipi (piemēram, gremdaku un kesonu pamati), vai pamati, kas strādā paaugstināta riska apstākļos, vai īpaši sarežģītos grunts apstākļos, vai paredzēti īpaši lielām slodzēm. Pie šīs kategorijas pieskaita pamatus, kas atrodas seismiski aktīvās zonās.

Standarts LVS EN 1997-1 paredz pamatu aprēķinu, izmantojot robežstāvokļu metodi. Nestspējas robežstāvoklis ir saistīts ar konstrukcijas drošību, tas ir ar risku, ka konstrukcija var sabrukt vai kā citādi ietekmēt cilvēku drošību. Lai netiktu sasniegts nestspējas robežstāvoklis, projektējot tiek izmantoti drošības koeficienti gan slodzēm, gan grunts pretestībai. Lietojamības robežstāvokļa uzdevums ir nodrošināt, lai netiktu sasniegtas nepieļaujami lielas deformācijas, kas var samazināt konstrukcijas kalpošanas laiku, vai radīt bojājumus sekundāros konstrukcijas elementos, vai iekārtās, kas uzstādītas uz konstrukcijas. Standarta LVS EN 1997-1 prasības nosaka, ka pamatu konstrukcijai ir jābūt pietiekoši izturīgai pret agresīvām vielām, kuras atrodas gruntī vai apkārtējā vidē. Šīs vielas var izraisīt ātrāku konstrukciju nodilumu un palielina risku, ka kāds no robežstāvokļiem var tikt sasniegts. Bez vispārējiem apsvērumiem par grunts piemērotību pamatu izbūvei un dažādu

ģeoloģisko un ģeotehnisko faktoru ievērtēšanas, standarts LVS EN 1997-1 nosaka, ka jāņem vērā arī šādi apsvērumi:

- iedarbes (t.s. spēki): to kombinācijas un slogošanas gadījumi;
- apkārtējās vides raksturs pamata izbūves vietā.

Standarts LVS EN 1997-1 apskata četras projektēšanas metodes:

- aprēķinu metode;
- projektēšanas tabulu izmantošana;
- izmēģinājuma slogošanas un eksperimentālu modeļu izmantošana;
- novērojumu metodes būvniecības laikā izmantošana.

### 3.2.1. Pamatu projektēšanas secība

Pamatu projektēšanas pirmajā posmā sastāda pamatu izvietojuma plānu un nosaka slodžu lielumus. Tiek precizētas pašsvara un kustīgās slodzes un noteikti momentu un šķērsspēku lielumi pamata pēdas līmenī.

Otrajā posmā ir jānosaka pamatnes grunts spēja uzņemt projektā dotās slodzes. Jāanalizē saņemtie grunšu izpētes rezultāti. Jānosaka grunts slāņi, uz kuriem varētu tikt balstīti pamati.

Trešajā posmā nosaka pamata pēdas izbūves dziļumu. Tas varētu būt minimālais grunts dziļums, kuru neietekmē sala iedarbība vai erozija, vai izskalojumu procesi. Šajā posmā ir arī jāizlemj vai tiks projektēti seklie vai dziļie pamati.

Ceturtajā posmā ir jānosaka pamata iespējamais sēšanās vai citu iespējamo deformāciju lielums (pārbaude pēc lietojamības robežstāvokļiem). Ja pieļaujamais līmenis tiek pārsniegts, tad ir jāsamazina spiediens uz pamatu, veidojot dziļākus vai platākus pamatus. Ja seklie pamati nenodrošina slodzes uzņemšanu, tad jāprojektē pāļi pamati.

### 3.3. Balstu konstrukcija tipveida pārvietojamiem koka tiltiem

Balstu konstrukcija tipveida pārvietojamu koka tiltu projektam laidumiem 6 m, 8 m, 10 m un 12 m, kas apskatīts 5. nodaļā.

3.1. tabula

## Specifikācijas tilta balstu konstrukcijai

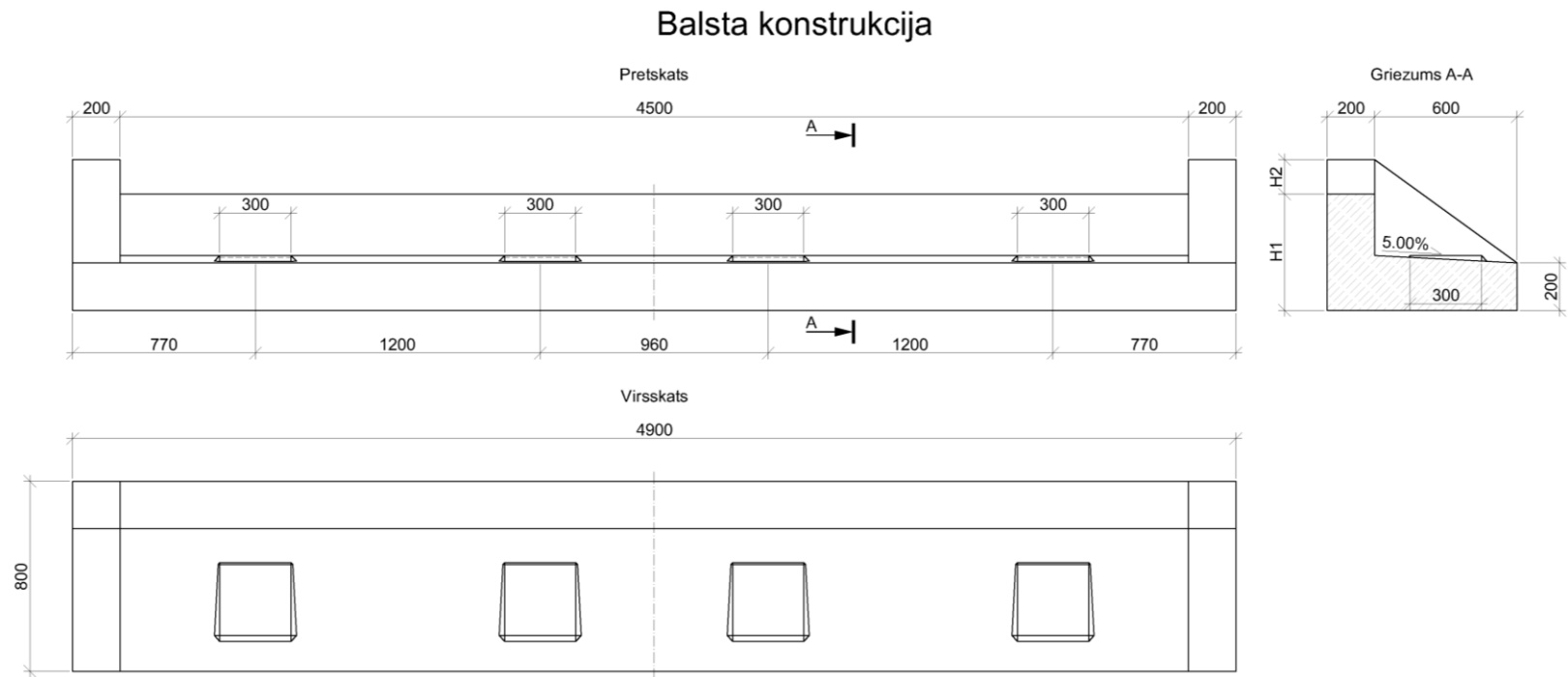
Betona specifikācija		
Detaļa	Stiprības klase	
Betona balsts	C35/45	
Stiegrojuma specifikācija		
Detaļa	Klase	Diametrs
Stiegra Nr. 1	B500B	12
Stiegra Nr. 2	B500B	12
Stiegra Nr. 3	B500B	12
Stiegra Nr. 4	B500B	12

3.2. tabula

## Tilta balstu konstrukcijas parametri dažādiem laidumiem

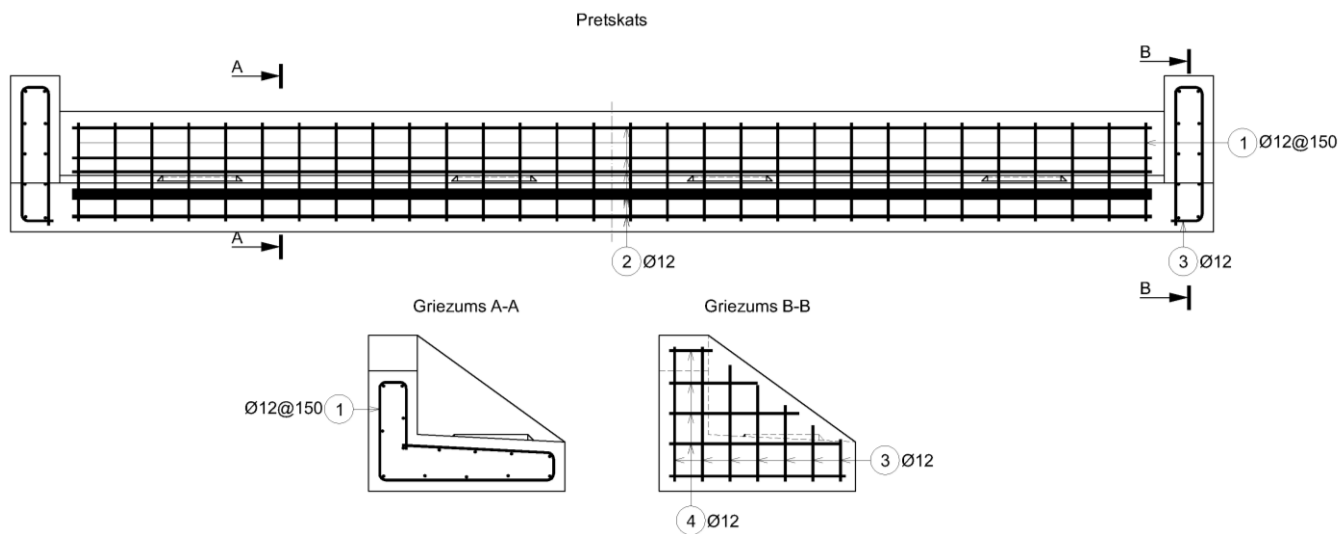
Detaļa	Apzīm.	Laiduma garums			
		6 m	8 m	10 m	12 m
Betona balsts	H1 (mm)	540	540	720	720
	H2 (mm)	685	685	955	955

### 3.3.1. Balstu konstrukciju rasējumi



3.3. att. Balsta konstrukcijas rasējums

## Balsta stiegrojums



3.4. att. Balsta stiegrojuma rasējums

## 4. TILTA LAIDUMU KONSTRUKCIJU PROJEKTĒŠANA

### 4.1. Koka tiltu konstrukciju projektēšana un aprēķins

Koka elementi jāprojektē un aprēķini jāveic atbilstoši standartiem LVS EN 1995-1-1 "5. Eirokodekss. Koka konstrukciju projektēšana. 1-1. daļa: Vispārīgi. Vispārīgie noteikumi un noteikumi būvēm" un LVS EN 1995-2 "5. Eirokodekss. Koka konstrukciju projektēšana. 2. daļa: Tilti".

#### 4.1.1. Robežstāvokļu metode

Koka tiltu elementus aprēķina pēc robežstāvokļu metodes, ņemot vērā LVS EN 1991-2 dotās slodžu shēmas.

Nestspējas robežstāvoklis ietver daļēju vai pilnīgu sabrukumu, tādu kā materiālu pārraušanu, pārmērīgas deformācijas, stabilitātes zudumu vai mehānismu veidošanos. Šī robežstāvokļa sasniegšana var tieši ietekmēt cilvēku drošību.

Lietojamības robežstāvoklis veidojas situācijā, kad konstrukcijas stāvoklis vairs nenodrošina tai paredzēto funkciju veikšanu, t.i., tādas deformācijas, kas bojā konstrukcijas izskatu vai rada bojājumus mazāk svarīgos konstrukcijas elementos, materiālu ilgmūžības īpašību izmaiņas vai nepatīkamas vibrācijas. Lietojamības robežstāvokļa sasniegšana tieši neietekmē cilvēku drošību.

#### 4.1.2. Aprēķinu vērtības

Aprēķina vērtības iedarbēm un materiālu īpašībām tiek iegūtas raksturīgās jeb normatīvās vērtības dalot vai reizinot ar parciāliem koeficientiem.

Iedarbes aprēķina vērtība tiek aprēķināta:

$$F_d = \gamma_f \cdot F_k, \quad (4.1)$$

kur  $F_d$  – iedarbes aprēķina vērtība;

$\gamma_f$  – iedarbes parciālais faktors (drošuma koeficients), kas ievēro iedarbes nelabvēlīgas novirzes iespējas no reprezentatīvām vērtībām (4.1. tabula);

$F_k$  – iedarbes raksturīgā vērtība.



4.1. tabula

Iedarbes daļējais faktors (drošuma koeficients) nestspējas robežstāvokļa aprēķinam [36]

Slodze	Apzīmējums	Aprēķina situācijas	
		P/I	Ā
<u>Ilglaicīgas iedarbes slodzes: nesošo u.c. būvkonstrukciju pašsvars; grunts, gruntsūdens un ūdens spiediens</u>			
Nelabvēlīga iedarbe	$\gamma_{Gsup}$	1,35	1,00
Labvēlīga iedarbe	$\gamma_{Ginf}$	1,00	1,00
<u>Satiksmes kustīgā slodze</u>			
Nelabvēlīga iedarbe	$\gamma_Q$	1,35	1,00
Labvēlīga iedarbe		0	0
<u>Citas mainīgās slodzes</u>			
Nelabvēlīga iedarbe	$\gamma_Q$	1,50	1,00
Labvēlīga iedarbe		0	0
<u>Ārkārtējā slodze</u>	$\gamma_A$	-	1,00

Materiālu īpašības tiek raksturotas ar to raksturīgajām vērtībām  $X_k$ , kas atbilst materiāla pieņemtā statistiskās izkliedes sadalījumam. Materiāla vai izstrādājuma īpašības aprēķina vērtība tiek iegūta:

$$X_d = k_{mod} \cdot \frac{X_k}{\gamma_M}, \quad (4.2)$$

kur  $X_d$  – materiāla vai izstrādājuma īpašības aprēķina vērtība;

$X_k$  – materiāla vai izstrādājuma īpašības raksturīgā vērtība;

$\gamma_M$  – materiāla vai izstrādājuma īpašības daļējais faktors (drošuma koeficients), kas ņem vērā materiāla vai izstrādājuma īpašības nelabvēlīgas novirzes iespēju no raksturojošajām vērtībām (koksnes izstrādājumiem tilta konstrukcijām 4.2. tabula);

$k_{mod}$  – modifikācijas koeficients, kas ievērtē materiāla stiprību atkarībā no slodzes laika (4.3. tabula) un klimatiskajiem apstākļiem (4.4. tabula) un kuru nosaka saskaņā ar 4.5. tabulu.

4.2. tabula

## Parciālie faktori koka izstrādājumiem [37]

<u>1. Koks un koksnes materiāli</u>	
Normāla pārbaude	
– apaļkoks	$\gamma_M=1,3$
– līmēts daudzslāņains koka materiāls	$\gamma_M=1,25$
– LVL, saplāksnis, OSB	$\gamma_M=1,2$
Noguruma pārbaude	$\gamma_{M, fat}=1,0$
<u>2. Savienojumi</u>	
– normāla pārbaude	$\gamma_M=1,3$
– noguruma pārbaude	$\gamma_{M, fat}=1,3$
<u>3. Kompozītajās daļās izmantotajam tēraudam</u>	$\gamma_M=1,15$
<u>4. Kompozītajās daļās izmantotajam betonam</u>	$\gamma_M=1,5$
<u>5. Bīdes stiprinājumi starp koku un betonu kompozītajās daļās</u>	
– normāla pārbaude	$\gamma_{M, v}=1,25$
– noguruma pārbaude	$\gamma_{M, v, fat}=1,0$
<u>6. Saspriegotiem tērauda elementiem</u>	$\gamma_{M, s}=1,3$

4.3. tabula

## Slodzes iedarbības ilguma klases

Slodzes darbības laika klases	Darbības laiks	Slodžu piemēri
Pastāvīga	> 10 gadiem	pašsvars
Ilglaiķīga	No 6 mēn. līdz 10 gadiem	uzlikta slodze
Vidēja ilguma slodze	No 1 ned. līdz 6 mēnešiem	uzlikta slodze
Īslaicīga slodze	< 1 ned.	vēja un sniega slodze
Ārkārtas slodze		trieciens slodze

4.4. tabula

## Lietojamības klašu raksturojums

<b>Lietojuma klases</b>	<b>Vides raksturojums</b>
1	Koka konstrukcijas, kas atrodas siltās telpās, aizsargātās no tvaikiem. Piemēram, iekšējās sienas, grīdas, griesti.
2	Koka konstrukcijas pārsegtās ēkās. Piemēram, apakšējo stāvu grīdas, aukstie jumti, ārējais apšuvums.
3	Koka konstrukcijas, kas pilnīgi pakļautas atmosfēras iedarbībai. Piemēram, ēku ārējās sienas, tiltu konstrukcijas, konstrukcijas jūrā.

4.5. tabula

Modifikācijas koeficienta  $k_{mod}$  vērtības masīvai un līmētai koksnei

<b>Slodzes darbības laika klases</b>	<b>Lietojuma klases</b>		
	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>
Pastāvīga	0,60	0,60	0,50
Ilglaicīga	0,70	0,70	0,55
Vidēja ilguma slodze	0,80	0,80	0,65
Īslaicīga slodze	0,90	0,90	0,70
Ārkārtas slodze	1,10	1,10	0,90

## 4.1.3. Materiāli

Kā tika apskatīts 1.2. nodaļā, koka tiltu konstrukcijās pārsvarā tiek izmantota masīvā koksne un līmētā koksne. Šie materiāli tiek iedalīti stiprības klasēs. Masīvās koksne stiprības klases un to īpašību raksturīgās vērtības atbilstoši standartam LVS EN 338 "Konstrukciju kokmateriāli. Stiprības klases" parādītas 4.6. un 4.7. tabulās. Homogēnas līmētās koksnes un kombinētas līmētās koksnes stiprības klases un to īpašību raksturīgās vērtības atbilstoši standartam LVS EN 14080 "Koka konstrukcijas. Līmēti kokmateriāli. Prasības" parādītas 4.8. un 4.9. tabulās.

4.6. tabula

Skuju koku sugu stiprības klases un to raksturīgās vērtības [9]

Īpašība	Apz.	C14	C16	C18	C20	C22	C24	C27	C30	C35	C40	C45	C50
Stiprības īpašības (N/mm <sup>2</sup> )													
Liece	$f_{m,k}$	14	16	18	20	22	24	27	30	35	40	45	50
Stiepe paralēli šķiedrām	$f_{t,0,k}$	8	10	11	12	13	14	16	18	21	24	27	30
Stiepe perpendikulāri šķiedrām	$f_{t,90,k}$	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
Spiede paralēli šķiedrām	$f_{c,0,k}$	16	17	18	19	20	21	22	23	25	26	27	29
Spiede perpendikulāri šķiedrām	$f_{c,90,k}$	2,0	2,2	2,2	2,3	2,4	2,5	2,6	2,7	2,8	2,9	3,1	3,2
Bīde	$f_{v,k}$	3,0	3,2	3,4	3,6	3,8	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0
Stinguma īpašības (kN/mm <sup>2</sup> )													
Vid. elastības modulis paralēli šķiedrām	$E_{0,mean}$	7	8	9	9,5	10	11	11,5	12	13	14	15	16
5% fraktīles elastības modulis paralēli šķiedrām	$E_{0,05}$	4,7	5,4	6,0	6,4	6,7	7,4	7,7	8,0	8,7	9,4	10,0	10,7
Vid. elast. modulis perpendikulāri šķiedrām	$E_{90,mean}$	0,23	0,27	0,30	0,32	0,33	0,37	0,38	0,40	0,43	0,47	0,50	0,53
Vid. bīdes modulis	$G_{mean}$	0,44	0,5	0,56	0,59	0,63	0,69	0,72	0,75	0,81	0,88	0,94	1,00
Blīvums (kg/m <sup>3</sup> )													
Blīvums	$\rho_k$	290	310	320	330	340	350	370	380	400	420	440	460
Vid. blīvums	$\rho_{mean}$	350	370	380	390	410	420	450	460	480	500	520	550

4.7. tabula

Cieto lapu koku sugu stiprības klases un to raksturīgās vērtības [9]

Īpašība	Apz.	D18	D24	D30	D35	D40	D50	D60	D70
Stiprības īpašības (N/mm <sup>2</sup> )									
Liece	$f_{m,k}$	18	24	30	35	40	50	60	70
Stiepe paralēli šķiedrām	$f_{t,0,k}$	11	14	18	21	24	30	36	42

Īpašība	Apz.	D18	D24	D30	D35	D40	D50	D60	D70
Stiepe perpendikulāri šķiedrām	$f_{t,90,k}$	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
Spiede paralēli šķiedrām	$f_{c,0,k}$	18	21	23	25	26	29	32	34
Spiede perpendikulāri šķiedrām	$f_{c,90,k}$	7,5	7,8	8,0	8,1	8,3	9,3	10,5	13,5
Bīde	$f_{v,k}$	3,4	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,5	5,0
Stinguma īpašības (kN/mm <sup>2</sup> )									
Vid. elastības modulis paralēli šķiedrām	$E_{0,mean}$	9,5	10	11	12	13	14	17	20
5% fraktīles elastības modulis paralēli šķiedrām	$E_{0,05}$	8	8,5	9,2	10,1	10,9	11,8	14,3	16,8
Vid. elast. modulis perpendikulāri šķiedrām	$E_{90,mean}$	0,63	0,67	0,73	0,80	0,86	0,93	1,13	1,33
Vid. bīdes modulis	$G_{mean}$	0,59	0,62	0,69	0,75	0,81	0,88	1,06	1,25
Blīvums (kg/m <sup>3</sup> )									
Blīvums	$\rho_k$	475	485	530	540	550	620	700	900
Vid. blīvums	$\rho_{mean}$	570	580	640	650	660	750	840	1080

#### 4.8. tabula

Homogēnas līmētās koksnes stiprības klases un to raksturīgās vērtības [38]

Īpašība	Apz.	GL20h	GL22h	GL24h	GL26h	GL28h	GL30h	GL32h
Stiprības īpašības (N/mm <sup>2</sup> )								
Liece	$f_{m,k}$	20	22	24	26	28	30	32
Stiepe paralēli šķiedrām	$f_{t,0,k}$	16	17,6	19,2	20,8	22,3	24	25,6
Stiepe perpendikulāri šķiedrām	$f_{t,90,k}$	0,5						
Spiede paralēli šķiedrām	$f_{c,0,k}$	20	22	24	26	28	30	32
Spiede perpendikulāri šķiedrām	$f_{c,90,k}$	2,5						
Bīde	$f_{v,k}$	3,5						
Stinguma īpašības (kN/mm <sup>2</sup> )								
Vid. elastības modulis paralēli šķiedrām	$E_{0,g,mean}$	8,4	10,5	11,5	12,1	12,6	13,6	14,2
5% fraktils elastības modulis paralēli šķiedrām	$E_{0,g,05}$	7,0	8,8	9,6	10,1	10,5	11,3	11,8
Vid. elast. modulis perpendikulāri šķiedrām	$E_{90,g,mean}$	0,30						
5% fraktils elastības modulis perpendikulāri šķiedrām	$E_{90,g,05}$	0,25						
Vid. bīdes modulis	$G_{g,mean}$	0,65						

Īpašība	Apz.	GL20h	GL22h	GL24h	GL26h	GL28h	GL30h	GL32h
5% fraktīles bīdes modulis	G <sub>g,05</sub>	0,54						
Blīvums (kg/m <sup>3</sup> )								
Blīvums	ρ <sub>k</sub>	340	370	385	405	425	430	440
Vid. blīvums	ρ <sub>mean</sub>	370	410	420	445	460	480	490

4.9. tabula

Kombinētas līmētās koksnes stiprības klases un to raksturīgās vērtības [38]

Īpašība	Apz.	GL20c	GL22c	GL24c	GL26c	GL28c	GL30c	GL32c
Stiprības īpašības (N/mm <sup>2</sup> )								
Liece	$f_{m,k}$	20	22	24	26	28	30	32
Stiepe paralēli šķiedrām	$f_{t,0,k}$	15	16	17	19	19,5	19,5	19,5
Stiepe perpendikulāri šķiedrām	$f_{t,90,k}$	0,5						
Spiede paralēli šķiedrām	$f_{c,0,k}$	18,5	20	21,5	23,5	24	24,5	24,5
Spiede perpendikulāri šķiedrām	$f_{c,90,k}$	2,5						
Bīde	$f_{v,k}$	3,5						
Stinguma īpašības (kN/mm <sup>2</sup> )								
Vid. elastības modulis paralēli šķiedrām	E <sub>0,g,mean</sub>	10,4	10,4	11,0	12,0	12,5	13,0	13,5
5% fraktīles elastības modulis paralēli šķiedrām	E <sub>0,g,05</sub>	8,6	8,6	9,1	10,0	10,4	10,8	11,2
Vid. elast. modulis perpendikulāri šķiedrām	E <sub>90,g,mean</sub>	0,30						
5% fraktīles elastības modulis perpendikulāri šķiedrām	E <sub>90,g,05</sub>	0,25						
Vid. bīdes modulis	G <sub>g,mean</sub>	0,65						
5% fraktīles bīdes modulis	G <sub>g,05</sub>	0,54						
Blīvums (kg/m <sup>3</sup> )								
Blīvums	ρ <sub>k</sub>	355	355	365	385	390	390	400
Vid. blīvums	ρ <sub>mean</sub>	390	390	400	420	420	430	440

#### 4.1.4. Liektu elementu projektēšana

Liektu elementu projektēšana saskaņā ar LVS EN 1995 prasībām ietver šādu pārbažu veikšanu:

1. lieces pretestības;
2. sāniskās noturības;
3. bīdes (skaldes) pretestības;
4. virsmas spiedes;
5. lieces deformācijas.

### 1. Lieces pretestība

Lai koka elements nezaudētu savu stiprību liecē, tam ir jāizpilda šādi nosacījumi:

$$\frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1,00 \quad (4.3)$$

$$k_m \cdot \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1,00, \quad (4.4)$$

kur  $\sigma_{m,y,d}$  un  $\sigma_{m,z,d}$  – ārējās slodzes izraisītās spriegumu aprēķina vērtības liecē pret galvenajām asīm (skat. 4.1. att.);

$f_{m,y,d}$  un  $f_{m,z,d}$  – aprēķina pretestības liecē;

$k_m$  – faktors (koeficients), kura vērtība masīvai koksnei un līmētai koksnei  $k_m = 0,7$  taisnstūra šķēsgriezumiem un  $k_m = 1,0$  citas formas šķēsgriezumiem.

Aprēķina pretestību liecē nosaka:

$$f_{m,d} = k_{mod} \cdot \frac{f_{m,k}}{\gamma_M}, \quad (4.5)$$

kur  $f_{m,k}$  – raksturīgā pretestība liecē.

Taisnstūra masīvai koksnei ar raksturīgo koksnes blīvuma vērtību  $\rho_k \leq 700 \text{ kg/m}^3$  bāzes augstums liecē vai platums (maksimālais šķēsgriezuma izmērs) stiepē ir 150 mm. Masīvās koksnes augstumiem liecē vai platumiem stiepē mazākiem par 150 mm raksturīgās vērtības  $f_{m,k}$  un  $f_{t,0,k}$  var palielināt reizinot ar faktoru (koeficientu)  $k_h$ , ko nosaka:

$$k_h = \min \left\{ \left( \frac{150}{h} \right)^{0,2}, 1,3 \right\}, \quad (4.6)$$

kur  $h$  ir liektu elementu augstums vai stiepto elementu platums, mm.

Taisnstūra šķērsriezuma līmētai koksnei bāzes augstums liecē vai platums stiepē ir 600 mm. Masīvās koksnes augstumiem liecē vai platumiem stiepē mazākiem par 600 mm raksturīgās vērtības  $f_{m,k}$  un  $f_{t,0,k}$  var palielināt reizinot ar faktoru (koeficientu)  $k_h$ , ko nosaka:

$$k_h = \min \left\{ \left( \frac{600}{h} \right)^{0,1}, 1,10 \right\}, \quad (4.7)$$

kur  $h$  ir liektu elementu augstums vai stiepto elementu platums, mm.

Sijām ar taisnstūrveida šķērsriezumu, slodzes izraisītos spriegumus nosaka pēc formulas:

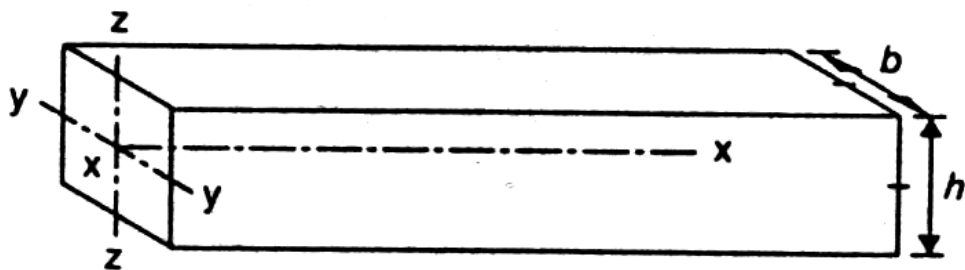
$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_y}{W_y} = \frac{M_y}{b \cdot h^2/6} \quad (4.8)$$

$$\sigma_{m,z,d} = \frac{M_z}{W_z} = \frac{M_z}{h \cdot b^2/6}, \quad (4.9)$$

kur  $M_y$  un  $M_z$  – lieces momenti ap galvenajām asīm;

$b$  – sijas platums;

$h$  – sijas augstums.

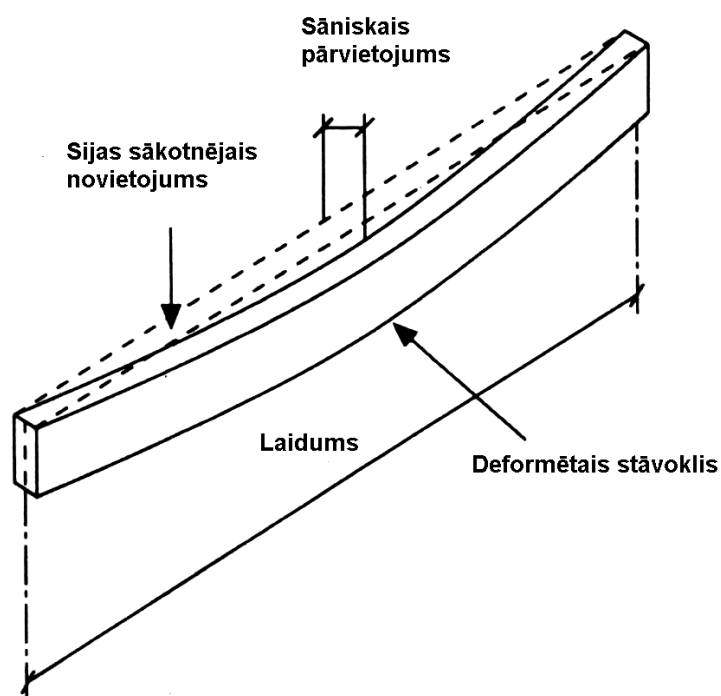


4.1. att. Galveno asu novietojumu shēma

## 2. Sāniskā noturība

Sijas, kuru augstuma un garuma attiecība pret sijas platumu ir ļoti liela (slaidas sijas), var sabrukt pie salīdzinoši zemām slodzēm, to sienīņām sāniski izlīdzoties un zaudējot noturību darba plaknē (skat. 4.2. att.).





4.2. att. Sijas sāniskās noturības zaudēšana

Ja darbojas tikai lieces moments  $M_y$  pret lielākā stinguma asi  $y$ , tad pārbaudi uz noturības zaudēšanu darba plaknē veic pēc izteiksmes:

$$\sigma_{m,d} \leq k_{crit} \cdot f_{m,d}, \quad (4.10)$$

kur  $\sigma_{m,d}$  – ārējās slodzes izraisītā lieces sprieguma aprēķina vērtība;

$f_{m,d}$  – lieces aprēķina pretestība;

$k_{crit}$  – faktors (koeficients), kas ievērtē lieces pretestības samazinājumu zaudējot noturību darba plaknē, ko nosaka pēc formulas:

$$k_{crit} = \begin{cases} 1 & \text{pie } \lambda_{rel,m} \leq 0,75 \\ 1,56 - 0,75 \cdot \lambda_{rel,m} & \text{pie } 0,75 \leq \lambda_{rel,m} \leq 1,4, \\ 1/\lambda_{rel,m}^2 & \text{pie } 1,4 \leq \lambda_{rel,m} \end{cases} \quad (4.11)$$

kur  $\lambda_{rel,m}$  – elementa relatīvais lokanums liecē:

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{f_{m,k}}{\sigma_{m,crit}}}, \quad (4.12)$$

kur  $\sigma_{m,crit}$  - kritiskā lieces sprieguma vērtība, kas aprēķināta saskaņā ar klasisko noturības teoriju, lietojot stinguma moduļa 5 % fraktīles vērtības.

Kritiskā lieces sprieguma vērtību nosaka pēc formulas:

$$\sigma_{m,crit} = \frac{M_{y,crit}}{W_y} = \frac{\pi \cdot \sqrt{E_{0,05} \cdot I_z \cdot G_{0,05} \cdot I_{tor}}}{l_{ef} \cdot W_y}, \quad (4.13)$$

kur  $E_{0,05}$  – elastības moduļa 5 % fraktīles vērtība paralēli šķiedrām;

$G_{0,05}$  – bīdes moduļa 5 % fraktīles vērtība paralēli šķiedrām;

$I_z$  – šķērsriezuma inerces moments pret mazākā stinguma asi  $z$ ;

$I_{tor}$  – moments vērpes gadījumā;

$l_{ef}$  – sijas laiduma efektīvais garums, kas atkarīgs no balstījuma nosacījumiem un sloģojuma veida (skat. . tabulu);

$W_y$  – šķērsriezuma pretestības moments pret lielākā stinguma asi  $y$ .

Masīva taisnstūra šķērsriezuma skujkoku koksnes elementam  $\sigma_{m,crit}$  vērtību var iegūt ar vienkāršotu formulu:

$$\sigma_{m,crit} = \frac{0,78 \cdot b^2}{h \cdot l_{ef}} \cdot E_{0,05}, \quad (4.14)$$

kur  $b$  – sijas platums;

$h$  – sijas augstums.

4.10. tabula

Efektīvais garums kā laiduma proporcija [35]

Sijas tips	Sloģojuma veids	$l_{ef}/l^*$
Brīvi balstīta sija	Pielikts nemainīgs lieces moments	1,0
	Vienmērīgi izkliedēta slodze	0,9
	Koncentrēts spēks laiduma vidū	0,8
Konsolsija	Vienmērīgi izkliedēta slodze	0,5
	Koncentrēts spēks konsoles brīvajā galā	0,8
* PIEZĪME: Efektīvā garuma $l_{ef}$ un laiduma $l$ attiecība ir spēkā sijām, kas balstos ir nostiprinātas pret savērpšanos, un slodze ir pielikta smagumcentrā. Ja slodze ir pielikta sijas spiestajai malai, tad lielumu $l_{ef}$ palielina par $2h$ un to var samazināt par $0,5h$ , ja slodze pielikta sijas stieptajai malai.		

### 3. Bīdes (skaldes, cirpes) pretestība

Liektu koka elementu stiprību bīdē (skaldē) pārbauda pēc nosacījuma:

$$\tau_d \leq f_{v,d} , \quad (4.15)$$

kur  $\tau_d$  – bīdes sprieguma aprēķina vērtība;

$f_{v,d}$  – aprēķina pretestība bīdē.

Sijām ar taisnstūra veida šķērsriezuma laukumu bīdes sprieguma aprēķina vērtību var noteikt pēc formulas:

$$\tau_d = \frac{3 \cdot V_d}{2 \cdot A} , \quad (4.16)$$

kur  $V_d$  – aprēķina šķērsspēks attiecīgajā šķēlumā;

$A$  – aprēķina šķērsriezuma laukums attiecīgajā šķēlumā.

Lai pārbaudītu liektu elementu skaldes pretestību, jāņem vērā plaisu ietekme, izmantojot elementa efektīvo platumu, kuru nosaka pēc formulas:

$$b_{ef} = k_{cr} \cdot b , \quad (4.17)$$

kur  $b$  ir elementa platums atbilstošajā šķērsriezumā;

plaisu faktors skaldes pretestībai  $k_{cr}=0,67$  masīvai un līmētai koksnei,  $k_{cr}=1,0$  citiem koksnes produktiem atbilstoši EN 13986 un EN 14374.

Sijām, kuru galos ir izveidoti iecirtumi (skat. 4.3.att.), jāizpildās nosacījumam:

$$\tau_d = \frac{1,5V}{b \cdot h_{ef}} \leq k_v \cdot f_{v,d} , \quad (4.18)$$

kur  $h_{ef}$  – sijas efektīvais augstums (skat. 4.3. att.);

$k_v$  – stiprības samazinājuma faktors (koeficients), kas sijām, kam iecirtums izveidots balstam pretējā malā (skat. 4.3. (b) att.) ir  $k_v=1,0$ , bet sijām, kam iecirtums izveidots balstījuma malā (skat. 4.3. (a) att.) nosaka pēc formulas:

$$k_v = \min \left\{ \begin{array}{l} 1 \\ \frac{k_n \left( 1 + \frac{1,1i^{1,5}}{\sqrt{h}} \right)}{\sqrt{h} \left( \sqrt{\alpha(1-\alpha)} + 0,8 \frac{x}{h} \sqrt{\frac{1}{\alpha} - \alpha^2} \right)} \end{array} \right. , \quad (4.19)$$

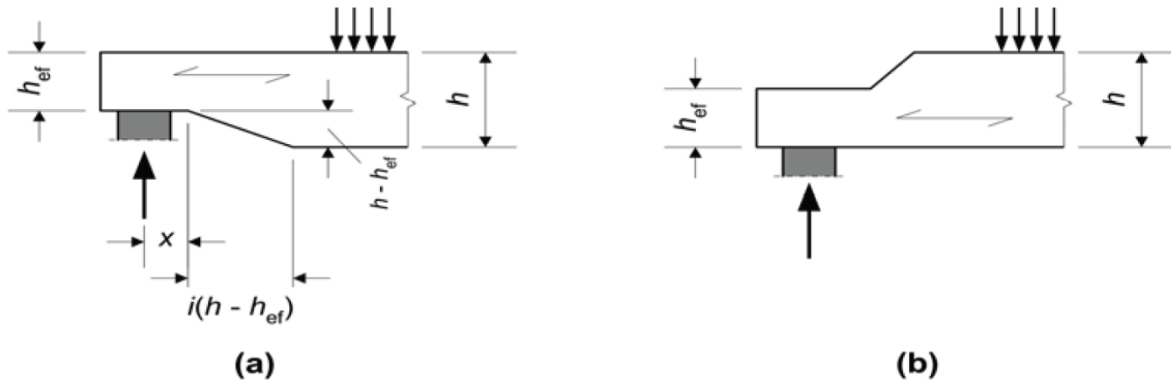
kur  $i$  – piezāģējuma slīpums (skat. 4.3. (a) att.);

$h$  – sijas šķērsriezuma augstums, mm;

$x$  – attālums no balsta reakcijas iedarbes darbības līnijas līdz iecirtuma stūrim;

$$\alpha = \frac{h_{ef}}{h};$$

$k_n=5$  masīvai koksnei un  $k_n=6,5$  līmētai koksnei.



4.3. att. Sijas ar iecirtumiem [35]

#### 4. Virsmas spiede (spiede perpendikulāri šķiedrām)

Virsmas spiedi perpendikulāri šķiedrām pārbauda pēc nosacījuma:

$$\sigma_{c,90,d} \leq k_{c,90} \cdot f_{c,90,d}, \quad (4.20)$$

ar:

$$\sigma_{c,90,d} = \frac{F_{c,90,d}}{A_{ef}}, \quad (4.21)$$

kur  $\sigma_{c,90,d}$  – virsmas spiedes aprēķina vērtība perpendikulāri šķiedru garenvirzienam no pieliktās slodzes;

$f_{c,90,d}$  – aprēķina pretestība spiedē perpendikulāri šķiedru garenvirzienam;

$F_{c,90,d}$  – spiedes aprēķina spēks perpendikulāri šķiedru garenvirzienam;

$k_{c,90}$  – faktors (koeficients), kas ievērtē slodzes konfigurāciju, plaisu veidošanās iespēju un spiedes deformācijas lielumu;

$A_{ef}$  – efektīvais atbalsta laukums perpendikulāri šķiedru garenvirzienam, ko nosaka ņemot vērā efektīvo kontaktgarumu paralēli šķiedrām, kur faktiskais saskarsmes garums  $l$  katrā pusē ir pagarināts par 30 mm, bet ne vairāk kā  $a$ ,  $l$  vai  $l_1/2$  (skat. 4.4. att.)

Koeficients  $k_{c,90}=1,0$ , ja elementa slogojumam nav piemērojami šādi gadījumi:

Siju elementiem ar nepārtrauktiem balstiem (skat. 4.4. (a) att.), ja  $l_1 \geq 2h$ :

masīvai skujkoku koksnei:  $k_{c,90}=1,25$ ;

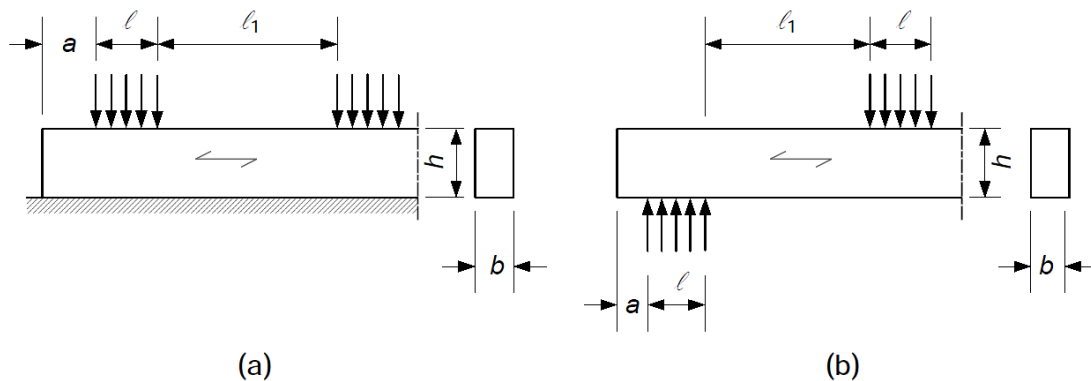
līmētai skujkoku koksnei:  $k_{c,90}=1,5$ ;

siju elementiem uz atsevišķiem balstiem (skat. 4.4. (b) att.), ja  $l_1 \geq 2h$ :

masīvai skujkoku koksnei:  $k_{c,90}=1,5$ ;

līmētai skujkoku koksnei:  $k_{c,90}=1,75$ ;

kur  $l$  – kontaktvirsmas garums,  $h$  – elementa augstums.



4.4. att. Elements uz nepārtraukta balstījuma (a) un atsevišķiem balstiem (b) [35]

## 5. Lieces deformācija

Izlieces komponentes, kas summējas iedarbju kombinācijā, ir parādītas 4.5. attēlā, kur apzīmējumi ir definēti:

$w_c$  – konstruktīvā priekšizliece nenoslogotā konstruktīvā elementā;

$w_{inst}$  – sijas elastīgā izliece;

$w_{creep}$  – izlieces komponente, kas radusies materiāla šļūdes rezultātā;

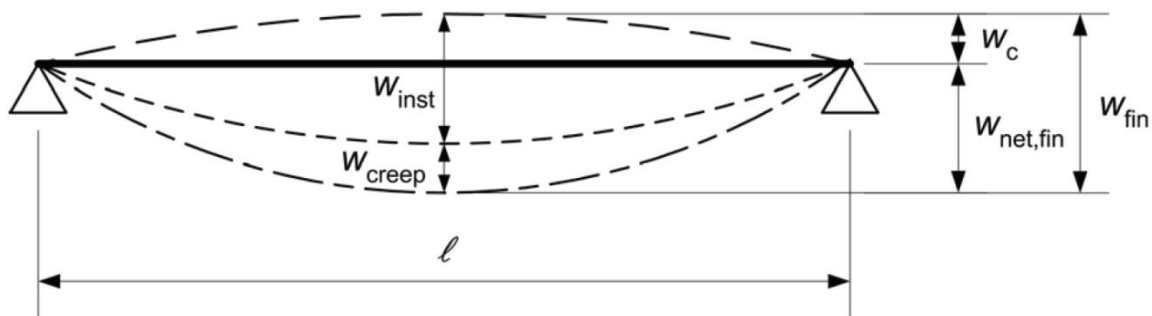
$w_{fin}$  – sijas galīgā izliece;

$w_{net,fin}$  – sijas galīgās izlieces neto lielums.

Sijas galīgās izlieces neto lielumu  $w_{net,fin}$ , kas vienāds ar maksimālo attālumu no taisnes starp balstu centriem, jānosaka pēc izteiksmes:

$$w_{net,fin} = w_{inst} + w_{creep} - w_c = w_{fin} - w_c \quad (4.22)$$

Tilta laiduma konstrukcijas izliece raksturīgās satiksmes slodzes ietekmē atbilstoši standarta LVS EN 1995-2 Nacionālajam pielikumam LVS EN 1995-2/NA nedrīkst pārsniegt  $l/400$ , kur  $l$  – laiduma garums.



4.5. att. Izlieces komponentes [35]

#### 4.1.5. Stieptu elementu projektēšana

Koksnes elementu nestspēju stiepē pārbauda pēc nosacījuma:

$$\sigma_{t,0,d} \leq f_{t,0,d}, \quad (4.23)$$

kur  $\sigma_{t,0,d}$  – stiepes sprieguma aprēķina vērtība šķiedru garenvirzienā;

$f_{t,0,d}$  – aprēķina pretestība stiepē šķiedru garenvirzienā.

Stiepes spriegumus no pieliktās slodzes nosaka pēc formulas:

$$\sigma_{t,0,d} = \frac{N_d}{A}, \quad (4.24)$$

kur  $N$  – asspēka aprēķina vērtība;

$A$  – šķērsriezuma laukums pārbaudāmajā aprēķina šķēlumā.

#### 4.1.6. Spiestu elementu projektēšana

Centriski spiestu koka elementu nestspēju pārbauda pēc nosacījuma:

$$\sigma_{c,0,d} \leq f_{c,0,d}, \quad (4.25)$$

kur  $\sigma_{c,0,d}$  – spiedes sprieguma aprēķina vērtība šķiedru garenvirzienā;

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

Spiedes spriegumus no pieliktās slodzes nosaka pēc formulas:

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{N_d}{A}, \quad (4.26)$$

kur  $N$  – asspēka aprēķina vērtība;

$A$  – šķērsriezuma laukums pārbaudāmajā aprēķina šķēlumā.

#### 4.1.7. Elementu projektēšana saliktā slogojumā

##### Stiepti liekts elements

Elementiem, kas pakļauti saliktam lieces un stiepes slogojumam, jāizpildās šādiem nosacījumiem:

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1,00 \quad (4.27)$$

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1,00, \quad (4.28)$$

kur  $k_m$  vērtības skatīt 4.1.4. apakšnodaļā.

##### Spiesti liekts elements

Elementiem, kas pakļauti saliktam lieces un spiedes slogojumam, jāizpildās šādiem nosacījumiem:

$$\left( \frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1,00 \quad (4.29)$$

$$\left( \frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d}} \right)^2 + k_m \cdot \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1,00, \quad (4.30)$$

kur  $k_m$  vērtības skatīt 4.1.4. apakšnodaļā.

Spiesti liekti elementi arī jāpārbauda uz noturību darba plaknē. Vispirms jānosaka elementa relatīvais lokanums pēc formulām:

$$\lambda_{rel,y} = \frac{\lambda_y}{\pi} \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0.05}}} \quad (4.31)$$

$$\lambda_{rel,z} = \frac{\lambda_z}{\pi} \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0.05}}}, \quad (4.32)$$

kur  $\lambda_y$  un  $\lambda_{rel,y}$  – elementa lokanums pret  $y$  asi (izliece  $z$  ass virzienā);

$\lambda_z$  un  $\lambda_{rel,z}$  – elementa lokanums pret  $z$  asi (izliece  $y$  ass virzienā);

$E_{0.05}$  – elastības moduļa 5 % fraktīles vērtība šķiedru garenvirzienā;



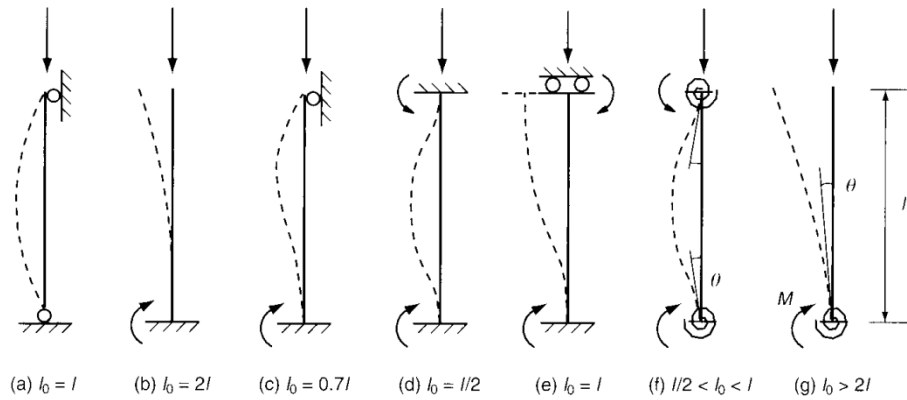
$f_{c,0,k}$  – raksturīgā pretestība spiedē šķiedru garenvirzienā.

Elementa lokanumu nosaka pēc formulas:

$$\lambda = \frac{l_{ef}}{i}, \quad (4.33)$$

kur  $l_{ef}$  – elementa efektīvais garums, ko nosaka atbilstoši 4.6. attēlam.

$i$  – šķērsriezuma laukuma inerces rādiuss.



4.6. att. Spiestu elementu efektīvā garuma noteikšanas shēma

Jā  $\lambda_{rel,y} \leq 0,3$  un  $\lambda_{rel,z} \leq 0,3$ , tad spriegumiem jāapmierina (4.29) un (4.30) nosacījumi. Pārējos gadījumos spriegumiem jāapmierina šādi nosacījumi:

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y} \cdot f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1,00 \quad (4.34)$$

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} \cdot f_{c,0,d}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1,00, \quad (4.35)$$

kur

$$k_{c,y} = \frac{1}{k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{rel,y}^2}} \quad (4.36)$$

$$k_{c,z} = \frac{1}{k_z + \sqrt{k_z^2 - \lambda_{rel,z}^2}} \quad (4.37)$$

$$k_y = 0,5(1 + \beta_c * (\lambda_{rel,y} - 0,3) + \lambda_{rel,y}^2) \quad (4.38)$$

$$k_z = 0,5(1 + \beta_c * (\lambda_{rel,z} - 0,3) + \lambda_{rel,z}^2), \quad (4.39)$$

kur  $\beta_c=0.2$  masīvai koksnei un  $\beta_c=0.1$  līmētai koksnei.

#### 4.1.8. Slāņainu plātņu projektēšana

Atbilstoši standartam LVS EN 1995-2 "5. Eirokodekss. Koka konstrukciju projektēšana.

2. daļa: Tilti" par pamatu slāņainas plātnes aprēķinam jāizmanto:

- ortotropo plātņu teorija;
- plātnes modelēšana ar režģveida modeli;
- vienkāršotā metode, kas apskatīta tālāk nodaļā.

Projektējot plātnes ar datorizētām aprēķina programmām, plātņu sistēmas īpašības dotas 4.11. tabulā. Puasona koeficients  $\vartheta$  var tikt pieņemts kā nulle.

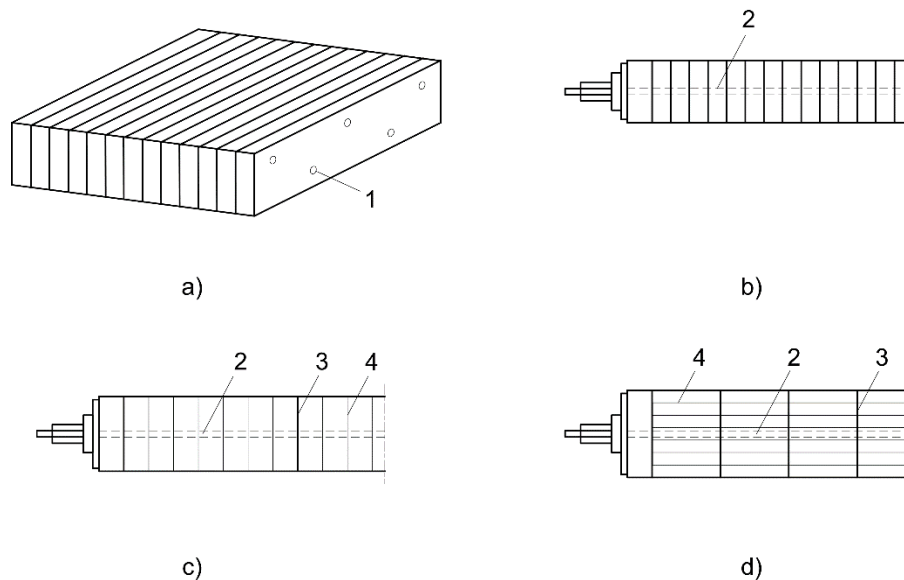
4.11. tabula

Slāņainas plātņu sistēmas īpašības [37]

Plātnes tips	$\frac{E_{90,mean}}{E_{0,mean}}$	$\frac{G_{0,mean}}{E_{0,mean}}$	$\frac{G_{90,mean}}{G_{0,mean}}$
Nagloti slāņi	0	0,06	0,05
Saspriegti slāņaini materiāli:			
– zāģēti	0,015	0,06	0,08
– ēvelēti	0,020	0,06	0,10
Līmēti slāņi	0,030	0,06	0,15

Plātņu konstrukciju ar sāniski novietotiem slāņiem piemēri doti 4.7. attēlā, kur variantā:

- a) slāņi savienoti ar naglām vai skrūvēm;
- b) plātne ir saspriegta, bet ne salīmēta;
- c) līmētas un saspriegtās līmētās koksnes sijas ar plakanisku slāņu novietojumu;
- d) līmētas un saspriegtās līmētās koksnes sijas ar sānisku slāņu novietojumu.



4.7. att. Plātņu konstrukciju ar sāniski novietotiem slāņiem piemēri (1 – nagla vai skrūve; 2 – spriegojošais stienis vai kūlis; 3 – līmējuma līnija starp slāņaina elementa daļām; 4 – līmējuma līnija starp slāņiem slāņainā elementā) [37]

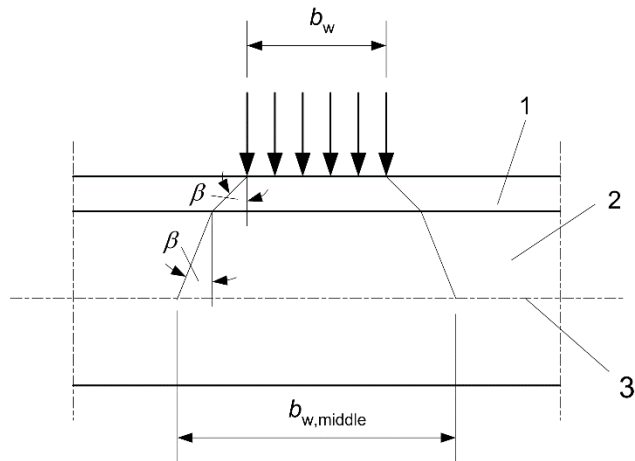
### Vienkāršotais aprēķins

Vienkāršotajā aprēķinā plātne tiek aizvietota ar vienu vai vairākām slāņu virzienā novietotām sijām ar efektīvo platumu  $b_{ef}$ , ko aprēķina pēc formulas:

$$b_{ef} = b_{w,middle} + a, \quad (4.40)$$

kur  $b_{w,middle}$  – slogotā laukuma platums atskaites plaknē klāja plātnes vidusdaļā (skat. 4.8. att.);

$a$  – pieņem  $a=0,1$  plātnei ar naglotiem slāņiem un  $a=0,3$  plātnei ar spriegtiem vai līmētiem slāņiem.



4.8. att. Koncentrētās slodzes izkliede ( $b_w$  - slogotā laukuma platums uz klātnes konatktivirsmas;  $\beta$  – izkļiedes leņķis (skat. 4.12. tab.), 1 – segums, 2 – koka plātne, 3 – koka plātnes vidus līnija) [37]

4.12. tabula

Slodzes izkļiedes leņķis dažādiem segumiem

Segums (atbilstoši LVS EN 1991-2, 4.3.6. apakšpunktam)	45°
Dēļi	45°
Slāņaina koka plātne:	
– šķiedru virzienā	45°
– šķērsvirzienā šķiedrām	15°

### Nestspējas aprēķins

Veicot nestspējas aprēķinu slāņainai plātnei, lieces un bīdes aprēķina pretestību nosaka pēc formulām:

$$f_{m,deck} = k_{sys} \cdot f_{m,d,lam} \quad (4.41)$$

$$f_{v,deck} = k_{sys} \cdot f_{v,d,lam} , \quad (4.42)$$

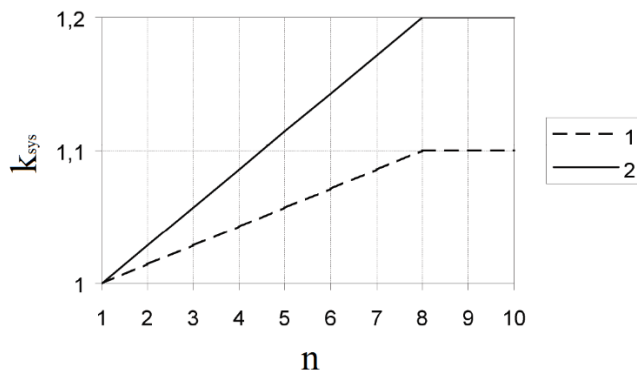
kur  $f_{m,deck}$  – plātnes aprēķina pretestība liecē;

$f_{v,deck}$  – plātnes aprēķina pretestība bīdē;

$f_{m,d,lam}$  – slāņaina materiāla aprēķina pretestība liecē;

$f_{v,d,lam}$  – slāņaina materiāla aprēķina pretestība bīdē;

$k_{sys}$  - sistēmas pretestības koeficients, ko nosaka atbilstoši 4.9. attēlā dotajam grafikam (plātnēm, kas dotas 4.7. d) attēlā, jāizmanto grafika līnija Nr.1).



4.9. att. Sistēmas stiprības koeficienta  $k_{sys}$  noteikšanas grafiks ( $n$  – slogoto slāņu skaits; 1 – naglotiem vai skrūvētiem elementiem; 2 – iepriekš saspriegtiem vai kopā salīmētiem elementiem) [35]

Slogoto slāņu skaitu nosaka pēc formulas:

$$n = \frac{b_{ef}}{b_{lam}}, \quad (4.43)$$

kur  $b_{ef}$  – efektīvais platums;

$b_{lam}$  – slāņainā materiāla viena slāņa platums.

Stiprības pārbaudi, ņemot vērā slodzi sadalošo sistēmu, veic pie īslaicīgas iedarbības slodzēm.

### Saspriegtu slāņu plātnes

Lai neveidotos starpslāņu nobīdīšanās, sasprieguma spēkam ilgtermiņā jābūt pietiekamam un jāizpildās nosacījumam:

$$F_{v,Ed} \leq \mu_d \cdot \sigma_{p,min} \cdot h, \quad (4.44)$$

kur  $F_{v,Ed}$  – aprēķina bīdes spēks uz garuma vienību, ko rada vertikālās un horizontālās iedarbes;

$\mu_d$  – berzes koeficienta aprēķina vērtība (skat. 4.13. tab.);

$\sigma_{p,min}$  – sasprieguma izraisītā minimālā ilgtermiņā paliekošā spiedes pretestība;

$h$  – plātnes biezums.

Starpslāņu nobīdīšanas pārbaude ir lokāla pārbaude, kurai aprēķinam atbilstoši LVS EN 1991-2 standartam tiek izmantots slodžu modelis LM2.

4.13. tabula

Berzes koeficienta  $\mu_d$  aprēķina vērtība

Slāņu virsmas raupjums	Šķērsām šķiedrām		Šķiedru virzienā	
	Mitruma daudzums	Mitruma daudzums	Mitruma daudzums	Mitruma daudzums
	$\leq 12\%$	$\geq 16\%$	$\leq 12\%$	$\geq 16\%$
Zāgēts koks pret zāgētu koku	0,30	0,45	0,23	0,35
Ēvelēts koks pret ēvelētu koku	0,20	0,40	0,17	0,30
Zāgēts koks pret ēvelētu koku	0,30	0,45	0,23	0,35

Vietās, kur pielikta koncentrēta slodze, sasprieguma izraisītā minimālā ilgtermiņa spiedes pretestība  $\sigma_{p,min}$  starp slāņiem, nedrīkst būt mazāka par  $0,35 \text{ N/mm}^2$ . Minimālo ilgtermiņā paliekošo spiedes pretestību, parasti, pieņem lielāku par  $0,35 \text{ N/mm}^2$ , paredzot, ka:

- sākotnējais saspriegums ir vismaz  $1,0 \text{ N/mm}^2$ ;
- mitruma saturs slāņainā materiāla saspriegšanas laikā ir mazāks par 16%;
- mitruma izmaiņas klātnes plātnē ekspluatācijas laikā tiek ierobežotas, izmantojot adekvātu aizsardzību, piemēram, aizsargpārklājumu.

Uz četriem blakus esošiem slāņainās plātnes elementiem ir pieļaujams ne vairāk kā viens sadursavienojums ar soli  $l_1$ , kuru nosaka atbilstoši formulai:

$$l_1 = \min \left\{ \begin{array}{l} 2d \\ 30t \\ 1,2 \text{ m} \end{array} \right. , \quad (4.45)$$

kur  $d$  – attālums starp spriegojošajiem elementiem;

$t$  – slāņainā materiāla biezums saspriegšanas virzienā.

## 4.2. Koka plātņu tilta aprēķina piemērs

### 1. Plātnes konstrukcija un izmēri

Plātnes konstrukcija tiek projektēta atbilstoši 4.7. d) attēlam – līmētas un saspriegtas līmētās koksnes sijas ar sānisku slāņu novietojumu.

Plātnes izmēri:

Augstums  $h = 405,00 \text{ mm}$ ;

Platums  $b = 1800,00 \text{ mm}$ ;

Aprēķina garums  $l = 8000,00 \text{ mm}$ ;

Lamelas platums  $b_{lam} = 120,00 \text{ mm}$ .

## 2. Koksnes raksturīgās īpašības

Līmētās koksnes stiprības klase GL 28c. Atbilstošās līmētās koksnes raksturīgās īpašības:

Raksturīgā pretestības vērtība liecē  $f_{m,g,k} = 28,00 \frac{N}{mm^2}$ ;

Raksturīgā pretestības vērtība skaldē  $f_{v,g,k} = 3,50 \frac{N}{mm^2}$ ;

Raksturīgā pretestības vērtība spiedē perpendikulāri šķiedru garenvirzienam

$f_{c,90,g,k} = 2,50 \frac{N}{mm^2}$ ;

Elastības moduļa vidējā vērtība  $E_{0,g,mean} = 12500,00 \frac{N}{mm^2}$ .

## 3. Piepūles

Piepūles iegūtas no Latvijai raksturīgās kokvedēju slodzes, kas apskatīta 2.3. nodaļā.

Aprēķina lieces moments  $M_{y,d} = 393,77 \text{ kN} \cdot \text{m}$

Aprēķina šķērsspēks  $V_d = 236,19 \text{ kN}$

## 4. Drošuma koeficienti un modifikācijas faktori

Drošuma koeficients līmētai koksnei  $\gamma_M = 1,25$ .

Stiprības modifikācijas faktors tiek noteikts līmētai koksnei ar lietojamības klasi 3 un vidēja ilguma slodzi  $k_{mod} = 0,65$ .

Deformāciju modifikācijas faktors tiek noteikts līmētai koksnei ar lietojamības klasi 3  $k_{def} = 2,00$ .

## 5. Sistēmas stiprības faktors

Lai noteiktu sistēmas stiprības faktoru, vispirms jānosaka sijas efektīvais platums. Sapārotām riepām slodzes laukums atbilstoši LM2 slodžu modelim tiek pieņemts ar izmēriem 0,60 m platums un 0,35 m garums. Izklīdes leņķis  $\beta$  atbilstoši 4.12. tabulai šķērsvirzienā ir  $15^\circ$ , bet garenvirzienā  $45^\circ$ . Izklīdētā slodze šķērsvirzienā plātnes vidū atbilstoši 4.8. attēlam tiek aprēķināta:



$$b_{w,middle} = b_w + 2 \cdot \frac{h}{2} \cdot \tan\beta = 600,00 + 2 \cdot \frac{405,00}{2} \cdot \tan 15^\circ = 708,52 \text{ mm}$$

Platums  $a$  atbilstoši 4.13. tabulai saspriegtam slāņainam materiālam ir  $a = 0,3 \text{ m}$ , līdz ar to sijas efektīvais platums:

$$b_{ef} = b_{w,middle} + a = 708,52 + 300,00 = 1008,52 \text{ mm}$$

Kad noteikts sijas efektīvais platums, var noteikt slogoto slāņu skaitu:

$$n = \frac{b_{ef}}{b_{lam}} = \frac{1008,52}{708,52} = 8,40$$

Atbilstoši 4.9. attēlā dotā grafika līknei 1, pie slogoto slāņu skaita, kas vienāds vai lielāks par 8, stiprības faktors  $k_{sys} = 1,10$ .

## 6. Nestspējas robežstāvokļa pārbaude liecē

Nestspējas robežstāvokļa pārbaudei liecē jāizpildās nestspējas nosacījumiem. Tā kā liece ir tikai pa vienu galveno asi, nestspējas nosacījums liecē ir:

$$\frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,d,deck}} \leq 1,00$$

Lai noteiktu lieces momenta izraisītos normālspriegumus, jānosaka sijas ar efektīvo platumu pretestības moments:

$$W_y = \frac{b_{ef} \cdot h^2}{6} = \frac{1008,52 \cdot 405,00^2}{6} = 27570399,72 \text{ mm}^3$$

Lieces momenta izraisītie normālspriegumi:

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_{y,d}}{W_y} = \frac{393,77 \cdot 10^6}{27570399,72} = 14,28 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Plātnes lieces aprēķina pretestība:

$$f_{m,d,deck} = k_{sys} \cdot f_{m,d,lam} = k_{sys} \cdot k_{mod} \cdot \frac{f_{m,g,k}}{\gamma_M} = 1,10 \cdot 0,65 \cdot \frac{28,00}{1,25} = 16,02 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Nosacījuma pārbaude:

$$\frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,d,deck}} = \frac{14,28}{16,02} = 0,89$$

Pārbaude izpildās.

## 7. Nestspējas robežstāvokļa pārbaude skaldē

Nestspējas robežstāvokļa pārbaudei skaldē jāizpildās nestspējas nosacījumam:

$$\tau_d \leq f_{v,d,deck} \Rightarrow \frac{\tau_d}{f_{v,d,deck}} \leq 1,00$$

Lai noteiktu skaldes izraisīto tangensiālo spriegumu, jānosaka sijas ar efektīvo platumu laukums, izmantojot efektīvo platumu, kas ņem vērā plaisu ietekmi (plaisu faktors skaldes pretestībai līmētai koksnei  $k_{cr} = 0,67$ ):

$$A_{ef} = k_{cr} \cdot b_{ef} \cdot h = 0,67 \cdot 1008,52 \cdot 405,00 = 273661,75 \text{ mm}^2$$

Skaldes izraisīto tangensiālo spriegumu aprēķina:

$$\tau_d = \frac{3 \cdot V_d}{2 \cdot A} = \frac{3 \cdot 236,19 \cdot 10^3}{2 \cdot 273661,75} = 1,29 \frac{N}{\text{mm}^2}$$

Plātnes skaldes aprēķina pretestība:

$$f_{v,d,deck} = k_{sys} \cdot f_{v,d,lam} = k_{sys} \cdot k_{mod} \cdot \frac{f_{v,g,k}}{\gamma_M} = 1,10 \cdot 0,65 \cdot \frac{3,50}{1,25} = 2,00 \frac{N}{\text{mm}^2}$$

Nosacījuma pārbaude:

$$\frac{\tau_d}{f_{v,d,deck}} = \frac{1,29}{2,00} = 0,65$$

Pārbaude izpildās.

## 8. Starpslāņu nobīdīšanās pārbaude

Starpslāņu nobīdīšanās pārbaudei jāizpildās nosacījumam:

$$F_{v,Ed} \leq \mu_d \cdot \sigma_{p,min} \cdot h \Rightarrow \frac{F_{v,Ed}}{\mu_d \cdot \sigma_{p,min} \cdot h} \leq 1,00$$

Lai noteiktu aprēķina bīdes spēku uz garuma vienību, jānosaka slodzes platums un garums plātnes vidū:

$$b_{w,middle} = 708,52 \text{ mm}$$

$$b_{l,middle} = b_l + 2 \cdot \frac{h}{2} \cdot \tan\beta = 350,00 + 2 \cdot \frac{405,00}{2} \cdot \tan 45^\circ = 755,00 \text{ mm}$$

Sasprieguma spēka pārbaude ir lokāla pārbaude, kurai izmanto viena riteņa slodzi. Šajā gadījumā aprēķina slodze tiek noteikta  $F = 107,81 \text{ kN}$ .

Aprēķina bīdes spēks uz garuma vienību:

$$F_{v,Ed} = \frac{F}{b_{l,middle} \cdot \frac{b_{w,middle}}{b_{lam}}} = \frac{107,81 \cdot 10^3}{755,00 \cdot \frac{708,52}{120,00}} = 24,19 \frac{N}{\text{mm}}$$

Berzes koeficients ēvelētam kokam pret ēvelētu koku atbilstoši 4.13. tabulai  $\mu_d = 0,20$ .

Sasprieguma izraisītā minimālā ilgtermiņā paliekošā spiedes pretestība tiek pieņemta

$$\sigma_{p,min} = 0,50 \frac{N}{\text{mm}^2}.$$

Nosacījuma pārbaude:

$$\frac{F_{v,Ed}}{\mu_d \cdot \sigma_{p,min} \cdot h} = \frac{24,19}{0,20 \cdot 0,50 \cdot 405,00} = \frac{24,19}{40,50} = 0,60$$

Pārbaude izpildās.

## 9. Spriegojošo stieņu un elementu aprēķins

Sākotnējais saspriegums:

$$\sigma_p = \frac{\sigma_{p,min}}{0,4} = \frac{0,50}{0,4} = 1,25 \frac{N}{mm^2}$$

Solis starp spriegojošajiem stieņiem tiek pieņemts  $s = 500,00 \text{ mm}$ . Spriegojošo stieņu skaits:

$$n_p = \frac{l}{s} = \frac{8000,00}{500,00} = 16,00$$

Saspriegšanas spēks vienam stienim tiek aprēķināts:

$$P = h \cdot s \cdot \sigma_p = 405,00 \cdot 500,00 \cdot 1,25 \cdot 10^{-3} = 253,13 \text{ kN}$$

Spriegojošajiem stieņiem spriegotiem plātņu tiltiem sasprieguma spēka izraisītais spriegums nedrīkst būt lielāks par 80% no tērauda 0,2% plastiskuma robežas.

Minimālā spriegojošā stieņa nestspēja:

$$F_p = \frac{P}{0,8} = \frac{253,13}{0,8} = 316,41 \text{ kN}$$

Spriegojošo stieņu radītā spiede uz līmētās koksnes plātņi tiek izklaidēta ar tērauda plāksnes palīdzību. Pieņemtie tērauda plāksnes izmēri – garums  $l_{pl} = 8000,00 \text{ mm}$ , augstums  $h_{pl} = 300,00$ . Spriegojošo elementu skaits uz plāksni  $n_{p,pl} = 16,00$ . Spiedes radītais normālspriegums uz līmētās koksnes plātnes malu:

$$\sigma_{c,90,d} = \frac{F_p \cdot n_{p,pl}}{l_{pl} \cdot h_{pl}} = \frac{253,13 \cdot 10^3 \cdot 16,00}{8000,00 \cdot 300,00} = 1,69 \frac{N}{mm^2}$$

Virsmas spiedes nestspējas nosacījums:

$$\sigma_{c,90,d} \leq k_{c,90} \cdot f_{c,90,d} \Rightarrow \frac{\sigma_{c,90,d}}{k_{c,90} \cdot f_{c,90,d}} \leq 1,00$$

Līmētai koksnei pie attiecīgā slogojuma slodzes konfigurācijas faktors  $k_{c,90} = 1,50$ . Aprēķina pretestības vērtība spiedē perpendikulāri šķiedru garenvirzienam ar slodzes konfigurācijas faktoru:

$$k_{c,90} \cdot f_{c,90,d} = k_{c,90} \cdot k_{mod} \cdot \frac{f_{c,90,g,k}}{\gamma_M} = 1,50 \cdot 0,65 \cdot \frac{2,50}{1,25} = 1,95 \frac{N}{mm^2}$$

Nestspējas pārbaude:

$$\frac{\sigma_{c,90,d}}{k_{c,90} \cdot f_{c,90,d}} = \frac{1,69}{1,95} = 0,87$$

Pārbaude izpildās.

## 10. Izlieču pārbaude

Izlieču pārbaudei tiek pieņemts nosacījums:

$$w_{fin} \leq \frac{l}{300}$$

Elastīgā izliece no pašsvara slodzes:

$$w_{inst,G} = 3,37 \text{ mm}$$

Elastīgā izliece no transporta slodzes:

$$w_{inst,Q} = 15,81 \text{ mm}$$

Galīgā izliece no pašsvara slodzes:

$$w_{fin,G} = w_{inst,G} \cdot (1 + k_{def}) = 3,37 \cdot (1 + 2,00) = 10,11 \text{ mm}$$

Galīgai izliece no pašsvara slodzes jāņem vērā faktors (koeficients) mainīgo iedarbju kvazi-pastāvīgām vērtībā, kas satiksmei slodzei ir  $\psi_{2,1} = 0,00$ :

$$w_{fin,Q} = w_{inst,Q} \cdot (1 + \psi_{2,1} \cdot k_{def}) = 15,81 \cdot (1 + 0,00 \cdot 2,00) = 15,81 \text{ mm}$$

Galīgā izliece tiek aprēķināta:

$$w_{fin} = w_{fin,G} + w_{fin,Q} = 10,11 + 15,81 = 25,93 \text{ mm}$$

Tiek noteikta pieļaujamā izliece:

$$\frac{l}{300} = \frac{8000,00}{300,00} = 26,67 \text{ mm}$$

Izlieču nosacījuma pārbaude:

$$w_{fin} \leq \frac{l}{300} \Rightarrow 25,93 \text{ mm} \leq 26,67 \text{ mm}$$

Pārbaude izpildās.

## 4.3. Savienojumu projektēšana

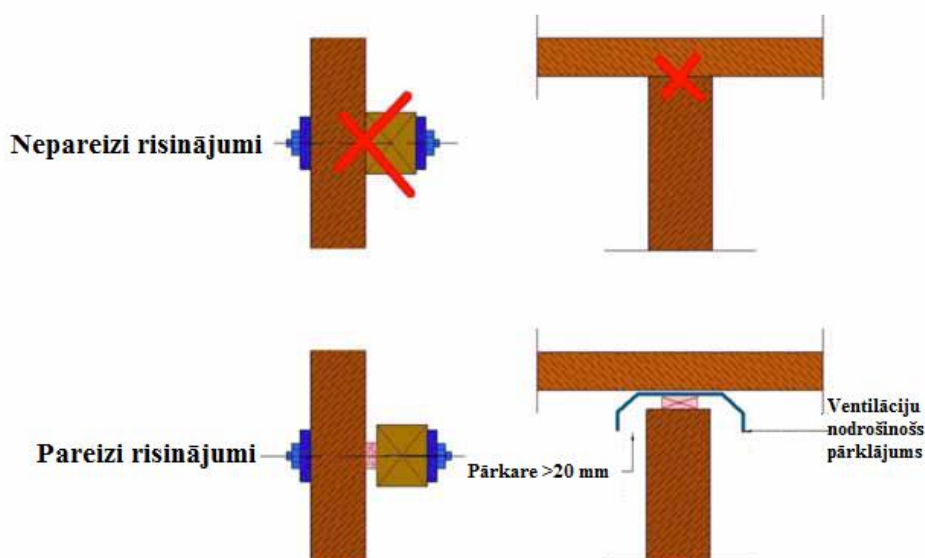
Koka elementiem svarīga ir pareizu savienojumu projektēšana. Veidojot korektus savienojumus, tiks nodrošināta pareiza un ilglaicīga konstrukcijas darbība. Lieliem koksnes elementiem savienojumi un atbilstoša detalizācija ir vēl svarīgāka. Projektējot koka elementus un to savienojumus, jāņem vērā, ka koksnes elementi maina izmērus atkarībā no mitruma tajā.

Savienojumu projektēšanas pamatnoteikumi ir:

- kad vien iespējams, slodzes savienojumā pārnest spiedē;
- nodrošināt iespēju izmēru izmaiņām mitruma ietekmē;
- izvairīties no savienojumiem, kas elementu slogu stiepē perpendikulāri šķiedru garenvirzienam;
- izvairīties no savienojumiem, kuros var uzkrāties mitrums;
- nepieļaut tiešu koka elementu un betona vai mūra saskari;
- izvairīties no ekscentritātes savienojumos;
- pēc iespējas mazināt atklātas gala šķiedras.

#### 4.3.1. Savienojumi, kas nodrošina koksnes vēdināšanos

Lai nodrošinātu ātru izžūšanu pēc koksnes samitrināšanās, vajadzētu izvairīties no divu koka elementu tieša savienojuma lielos garumos. Labāks risinājums ir veidot pēc iespējas mazāku saskares virsmu un nodrošināt atstatumu, lai koks vēdinātos. Piemērs redzams 4.10. attēlā. Uz nesošās sijas klāju vajadzētu savienot ar starpliku un metāla pārklājumu, lai mitrums, kas nāk no klāja vai spraugām tajā, nenokļūtu uz sijas, bet gan tiktu aizvadīts prom. Šāds risinājums nodrošina arī labāku siju vēdināšanos.



4.10. att. Vēdināšanos nodrošinoši savienojumi risinājumi [13]

Projektējot koka elementu savienojumus, jāpievērš uzmanība, lai neveidotos vietas, kur var uzkrāties ūdens. Viena raksturīga problēmu vieta, kur var uzkrāties ūdens un mitrināt konstrukciju, ir savienojumi elementiem šaurā leņķī. Kā redzams 4.11. attēlā, savienojumam nav pārklājuma aizsardzība, tāpēc koksne ir pārmitrināta un var veidoties bojājumi. Šādus savienojumus nepieciešamas aizsargāt ar pārklājumiem no metālā loksnēm, kā redzams 4.12. attēlā.

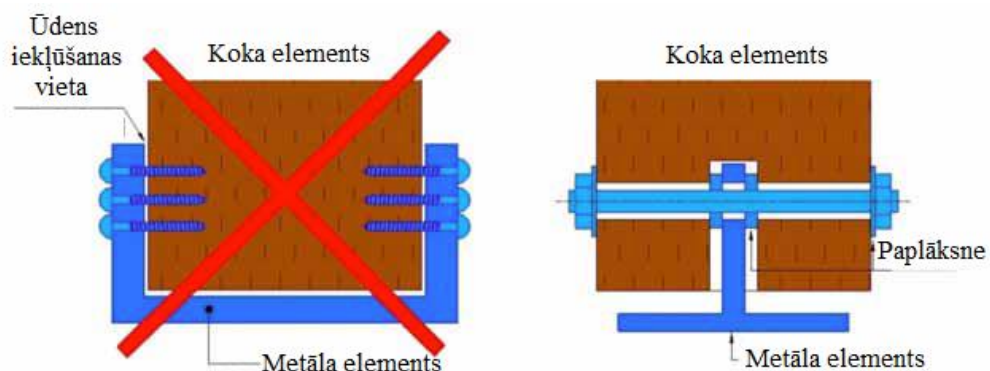


4.11. att. Neaizsargātā savienojumā  
uzkrājas mitrums [39]



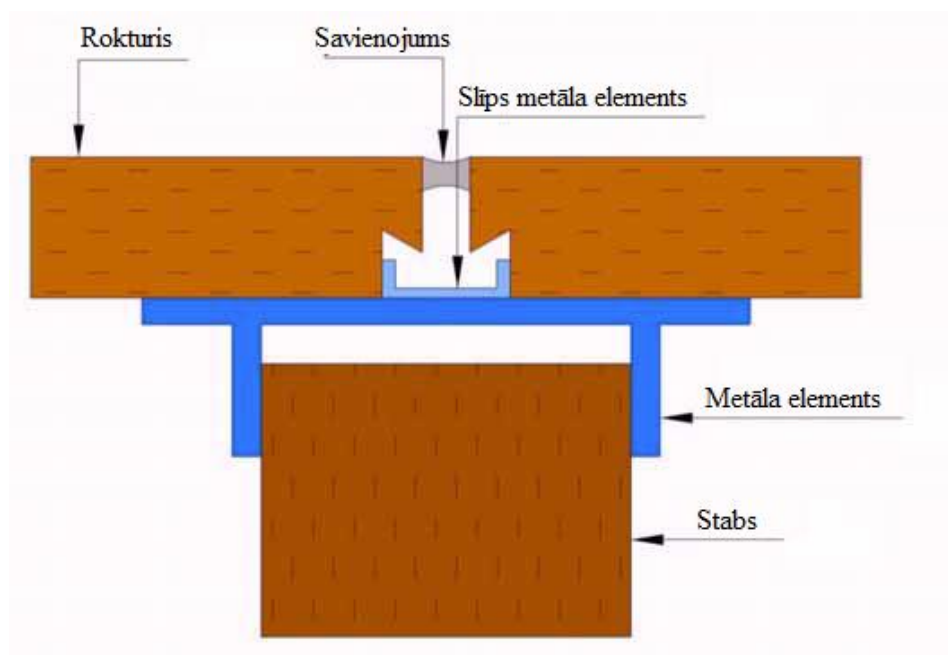
4.12. att. Savienojums aizsargāts ar metāla  
pārklājumu [13]

Pēc norvēģu pieejas modernu koka tiltu projektēšanā, visus savienojumus vajadzētu projektēt ar kokā ievietotām metāla plāksnēm. Tas palīdz izvairīties no ūdens iekļūšanas starp metāla plāksni un koku, kā arī pasargā metālu no korozijas. Papildus tam, ka metālu pasargā koks, plāksnes tiek cinkotas un pārklātas ar epoksīda pulveri, jo tās ir sarežģīti apsekot. Tapas tiek izmantotas no skābju izturīga nerūsējošā tērauda. Savienojuma piemērs parādīts 4.13. attēlā.



4.13. att. Savienojuma risinājums ar kokā ievietotu plāksni [13]

Arī margām, ja tās veidotas no koka, jānodrošina pareizi savienojumi un pienācīga vēdināšanās. Margu rokturi jāveido vai nu no formas, kas ātri aizvada ūdeni, vai ar slīpumu, lai ūdens nekrātos uz horizontālās virsmas. Margu šuves jāveido tā, lai ūdens tiktu aizvadīts prom un pēc iespējas maz pieklūtu koka elementiem (skat. 4.14. att.).



4.14. att. Garenvirziena margas šuves risinājums [13]

Piemērs, kur mitrums koncentrētā formā nokļūst no metāla daļām uz koka, ir barjeru un margu stiprinājumi pie tilta klāja. Nepareizs risinājums redzams 4.15. attēlā, jo ūdens pa metāla daļu uzsūcas kokā. Pareizāks risinājums ar skrūvēm un metāla plāksnēm redzams 4.16. attēlā, jo mitrums pa stabu notek lejā.

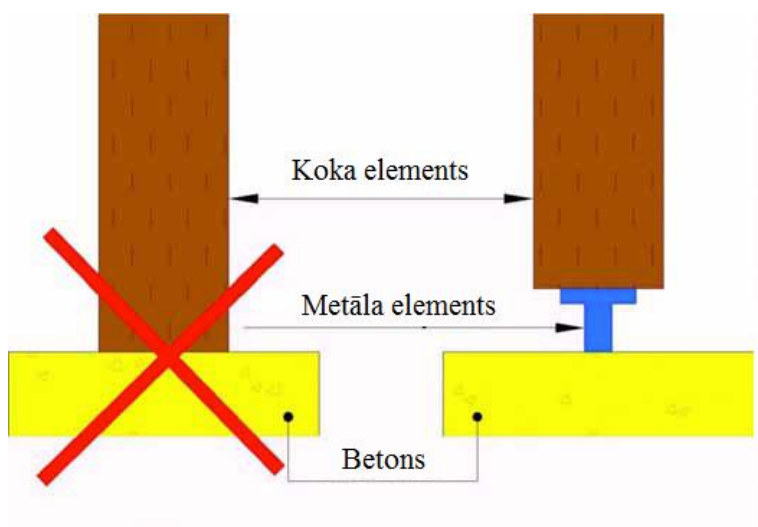


4.15. att. Ūdens pa metāla detaļu nokļūst uz koka [39]



4.16. att. Ūdens tiek aizvadīts prom no staba [39]

Koka savienojumos ar betonu būtu jāizvairās no tieša kontakta, jo mitrums no betona var bojāt koka konstrukciju. Tiešā savienojumā uzkrāsies mitrums, un netiek nodrošināta vēdināšanās. Risinājums ir atdalīt koka konstrukciju no betona ar metāla detaļu. Tas atdalīs konstrukcijas un nodrošinās labāku vēdināšanos. Metāla daļai, kas balsta koku vajadzētu būt mazākai par koka konstrukciju (vismaz 10 mm no katras puses), lai izvairītos no kapilāriem ūdens šķēršļiem (skat. 4.17. att.). Piemērs redzams 4.18. attēlā. Risinājumu vēl varētu uzlabot, izveidojot pilinātāju.



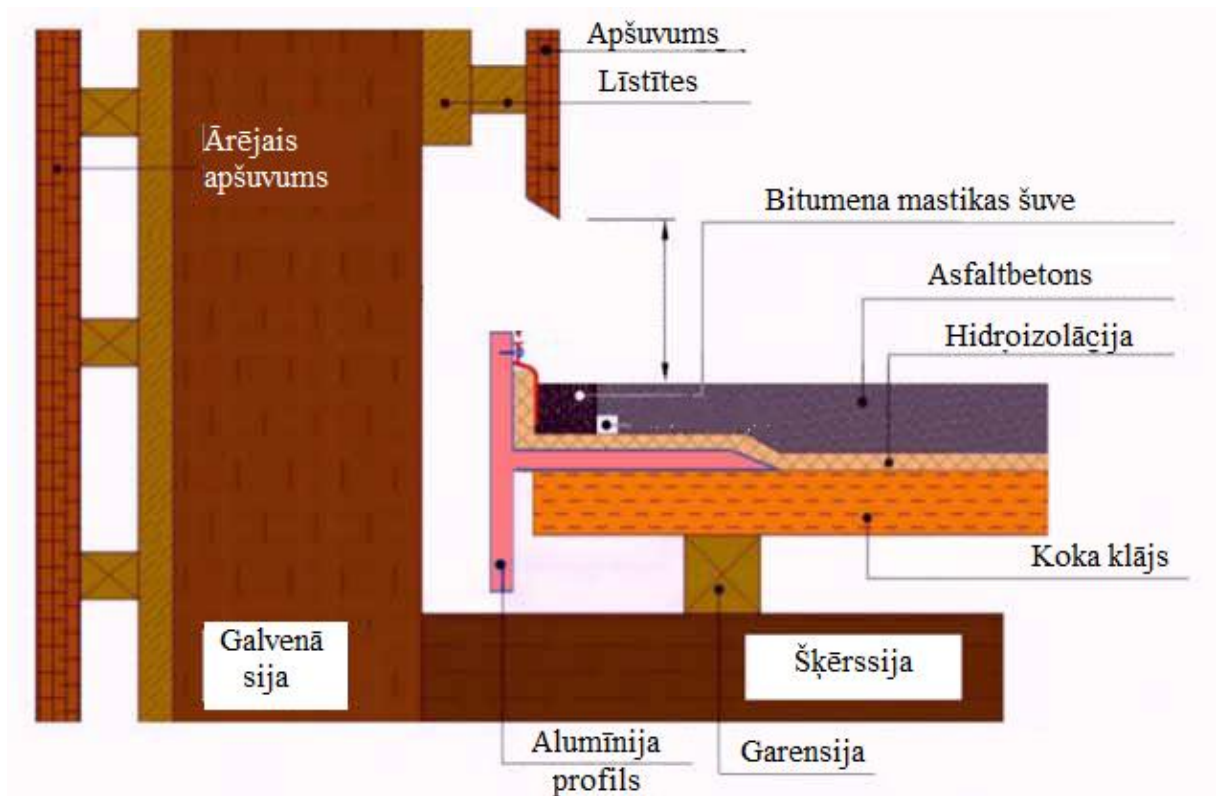
4.17. att. Koka elementa savienojums ar betonu [13]



4.18. att. Koka un betona konstrukciju savienojuma piemērs [13]

Ja tiltam ir asfaltbetona segums, ir jānodrošina, lai nebūtu saskare starp asfaltbetonu un koka konstrukcijām, tāpēc svarīga ir hidroizolācija. Piemērā 4.19. attēlā pie brauktuves malas asfaltbetons no koka klāja ir atdalīts ar alumīnija profilu. Tāpat jāievēro, lai citas konstrukcijas, piemēram, apskatītajā piemērā apšuvums, netraucētu tīrīt asfaltbetona segumu.





4.19. att. Asfaltbetona seguma risinājums [13]

#### 4.4. Koka elementu aizsardzība

Galvenais uzdevums, lai nodrošinātu ilgzturīgu koka konstrukciju, ir pasargāt to no samitrināšanās. Tāpēc koka konstrukcijām ir svarīga ne tikai galveno konstrukciju projektēšana, bet gan arī rūpīga konstruktīvo detaļu projektēšana jeb detalizācija.

Lai nodrošinātu labu konstruktīvo aizsardzību konstrukcijām, nepieciešams, lai:

- minimāls ūdens daudzums var nonākt saskarsmē ar koku;
- ūdens tiek aizvadīts prom pēc iespējas ātrāk;
- koks tiek labi vēdināts.

##### 4.4.1. Apjuntie tilti

Liela daļa no ilgzturīgākajiem tiltiem un gājēju tiltiem ir jumts, kas pasargā nesošās konstrukcijas no nelabvēlīgas laikapstākļu ietekmes. Apjuntie tilti var sasniegt ievērojamu

kalpošanas laiku. Šāda tipa tilti bija populāri Amerikas Savienotajās Valstīs 19. gadsimtā, un tie uzrādīja ievērojamu kalpošanas laiku. Apjuntie tilti mūsdienās ir zaudējuši savu popularitāti, taču vēl arvien tiek būvēti (skat. 4.20. un 4.21. att.).

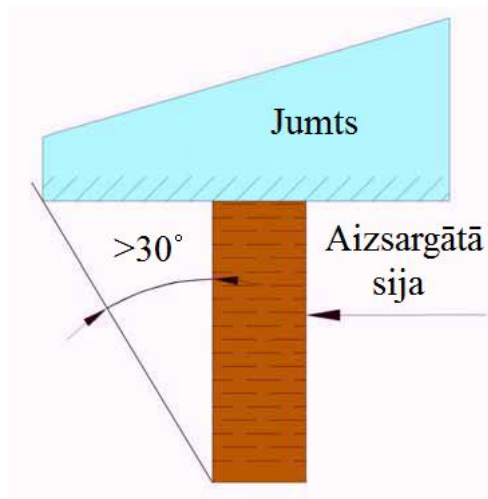


4.20. att. *Kössen* autotransporta apjumtais tilts Austrijā, būvēts 2004. gadā [42]



4.21. att. *Pinot* apjumtais gājēju tilts Francijā, būvēts 1998. gadā [13]

Apjuntam tiltam ir lielākas sākotnējās izmaksas, bet tas nodrošina ilgāku konstrukcijas kalpošanas laiku. Sija tiek uzskatīta par aizsargātu no laikapstākļu ietekmes, ja jumta pārkare nodrošina, ka sijas paliks sausas pie lietus līšanas leņķa, kas ir ne mazāks, kā 30 grādi no vertikāla (skat. 4.22. att.).



4.22. att. Paredzētais leņķis, lai aizsargātu siju [13]

#### 4.4.2. Koka konstrukciju aizsardzība ar apšuvumu

Alternatīvs risinājums konstrukcijas aizsargāšanai no mitruma piekļuves ir veidot konstrukcijām apšuvumu. Tas ir lētāks risinājums kā būvēt visam tiltam jumtu. Horizontālās virsmas parasti tiek veidots ar metāla pārklājumu, bet sānu virsmām var veidot apšuvumu no koka dēļiem. Šāds apšuvums pasargās nesošos koka elementus no saules un lietus iedarbības, kā arī no ūdens šļakatām, ko var izraisīt autotransports. Koka apšuvumam var izmantot dēļšus no koka sugas ar lielāku dabisko ilgzturību.

Apšuvumu var veidot no dēļiem ar biezumu 18 vai 27 mm un platumu 80 līdz 200 mm. Lai nerastos nevēlamas deformācijas, ieteicams, lai platuma un biezuma attiecība nepārsniegtu 7 reizes. Dēļi var tikt izkārtoti vertikāli vai horizontāli, bet abos gadījumos svarīgi ir nodrošināt labu ventilāciju.



4.23. att. Vertikālais apšuvums [13]

Vertikālais izkārtojums (skat. 4.23. att.) nodrošina ātrāku ūdens notecēšanu. Vienkāršākais pielietošanas veids ir izmantot pamīšus pārklājošos apšuvumu. Lai nodrošinātu labu ventilāciju starp apšujamo elementu un apšuvumu, atstarpī veido ar līstīšu tīkla palīdzību. Vislabāko ventilāciju nodrošinās līstītes, kas izvietotas divās kārtās (skat. 4.24. att.). Var arī izmantot diagonālas līstītes. Vertikālā dēlīša apakšā jāveido pilinātāja rieva.



4.24. att. Neveiksmīgs, vidēji labs un labs līstīšu izvietojums vertikālajam apšuvumam [13]

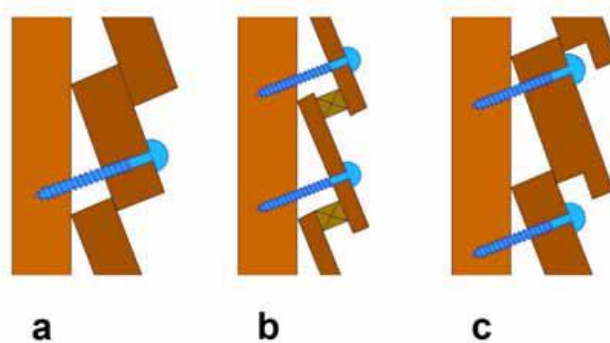
Apšuvums var tikt veidots arī no horizontāliem dēļiem. Attēlā 4.25. parādīti dažī shematiski risinājumi:

a) no variantiem ir sliktākais, jo veidojas salīdzinoši liels laukums, kur dēļi pārklājas un tajā vietā koks slikti vēdināsies. Tāpat tam arī nav pilinātājs.

b) un c) tiek nodrošināta labāka ventilācija un veidojas pilinātājs

c) priekšrocība ir, ka no lietuses tiek pasargāts arī stiprinājums.

Var veidot arī atvērta tipa apšuvumu (skat. 4.26. att.), kas ļauj redzēt nesošos elementus, bet tajā pašā laikā pasargā tos no sliktiem laikapstākļiem.



4.25. att. Horizontālā apšuvuma veidi [13]

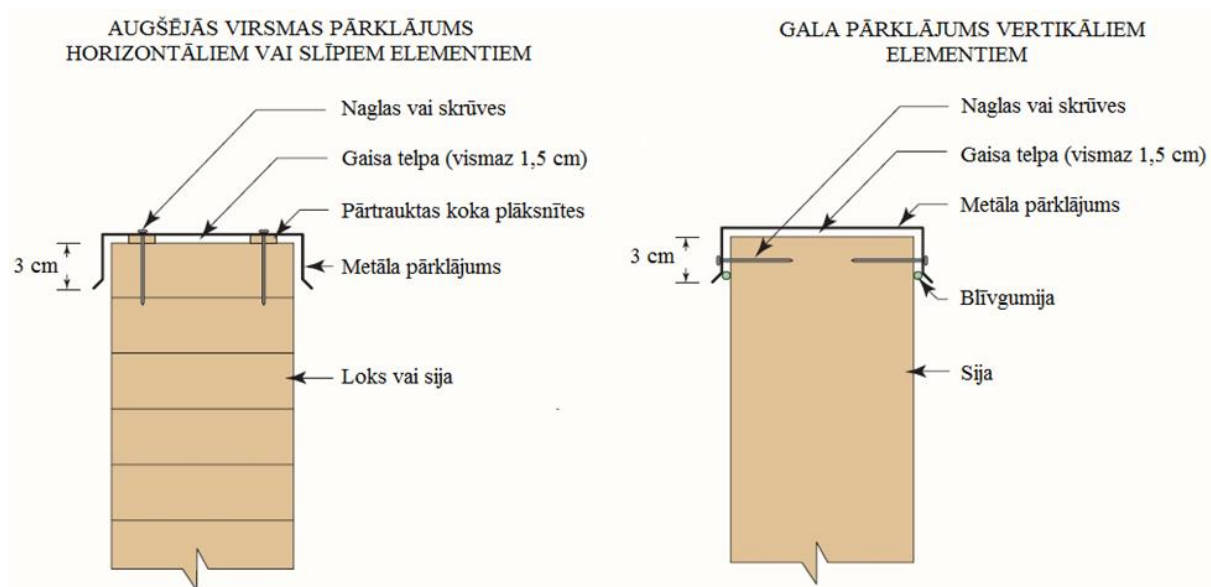




4.26. att. Atvērta tipa horizontālais apšuvums *Fretheim* tiltam Norvēģijā [22]

#### 4.4.3. Horizontālo virsmu aizsardzība

Koka konstrukciju horizontālās virsmas tiltiem visbiežāk aizsargā ar metāla pārklājumu. Parasti izmanto nerūsējošā tērauda, vara vai alumīnija metāla loksnes. Piemēri horizontālo virsmu pārklājumiem redzami 4.27. attēlā. Uzmanība jāpievērš, lai starp pārklājumiem un savienojumiem no dažādiem metāliem nebūtu tiešs kontakts vai iespēja nokļūt ūdenim no viena metāla uz otru. Iemesls tam ir, ka ūdens transportē jonus no metāla ar lielāku elektrisko potenciālu uz metālu ar mazāku elektrisko potenciālu, kā rezultātā veidojas bimetāliskā korozija. Tā strauji sabojā cinkotā tērauda cinka slāni, līdz ar to tas zaudē aizsardzību. Lai novērstu šādu bojājumu rašanos, ir jāizmanto saderīgi metāli vai jānodrošina ūdens atvade no augšējā elementa uz piemērotu vietu.



4.27. Horizontālo virsmu pārklājumu piemēri [43]

#### 4.4.4. Koka elementu galu aizsardzība

Koka elementu galu aizsardzība ir viena no svarīgākajām aizsardzības formām. Caur atvērtām gala šķiedrām koka elementā ļoti viegli var iekļūt mitrums, kā arī var notikt strauja žūšana, kas var radīt šķelšanos un plaisāšanu elementā. Tāpēc svarīgi ir nosegt visiem koka elementiem galus, pirms tie tiek uzstādīti. Galus var nosegt ar metāla plāksni (skat. 4.29. att.) vai koka apšuvumu, kā parādīts 4.28. attēlā. Šeit gan jāpiebilst, ka risinājumam ar koka apšuvumu varēja būt nodrošināta labāka ventilācija.



4.28. att. Koka elementa gala aizsardzība ar koka apšuvumu [13]



4.29. att. Koka elementa gals nosegts ar metāla plāksni [44]

## 5. TIPVEIDA PĀRVIETOJAMU KOKA TILTU PROJEKTS LAIDUMIEM 6 m, 8 m, 10 m UN 12 m

Dotās tipveida pārvietojamo koka tiltu konstrukcijas izstrādātas četru dažādu laidumu garumiem – 6 m, 8 m, 10 m un 12 m. Pārvietojamo tiltu aprēķins un projektēšana veikta atbilstoši Eirokodeksa standartiem, ar izņēmumu pieliktajām slodzēm. Piepūļu aprēķinam elementos tiek izmantota Latvijai raksturīgās meža nozares transportlīdzekļu slodzes, kas apskatītas 2.3. nodaļā. Dimensionēšana veikta atbilstoši 4.2. nodaļā parādītajam koka plātņu tilta aprēķina, piemēram, kurā veikta 8 m laiduma tipveida konstrukcijas aprēķins.

Tilta konstrukcija tiek veidota no divām 1,8 m platām plātnēm, kas veidotas no līmētām un saspriegtām līmētās koksnes sijām ar sānisku novietojumu. Savietojot plātnes uz balstiem, veidojas 3,6 m plata tilta brauktuve. Visi plātņu izmēri un raksturlielumi norādīti tabulās pie rasējumiem. Tipveida konstrukcijas tiek nosacīti iedalītas divās grupās – 6 m un 8 m garu laidumu konstrukcijas un 10 m un 12 m garu laidumu konstrukcijas.

Visi izmēri rasējumos, kas norādīti attēlos tipveida konstrukcijām, doti milimetros.

5.1. tabula

### Specifikācijas tilta laiduma konstrukcijai

<b>Koka specifikācija</b>			
No.	Detaļa	Stiprības klase	Garums (mm)
1	Līmētās koksnes plātne	-	L
4	Līmētās koksnes savienošais bloks	GL28h	520
5	Līmētās koksnes apmale	GL28h	L
7	Līmētās koksnes barjeras stabs	GL28h	H+750
10	Līmētās koksnes atvairs	GL28h	L
<b>Tērauda specifikācija</b>			
No.	Detaļa	Stiprības klase	Garums
2A	Saspriegumu izkliedējošā plātne (ārējā)	S275	L
2B	Saspriegumu izkliedējošā plātne (iekšējā)	S275	L
3	Spriegojošais stienis Y1030H26,5R + 2 enkurplātnes + 2 uzgriežņi	Y1030H	2120
6	Vītņstienis M20 + 2 paplāksnes + 2 uzgriežņi	8.8	L(A)
8	Bultskrūve M24 + 2 paplāksnes + uzgrieznis	8.8	400
9	Bultskrūve M20 + 2 paplāksnes + uzgrieznis	8.8	220
11	Bultskrūve M16 + 2 paplāksnes + uzgrieznis	8.8	400

5.2. tabula

## Tilta laiduma konstrukcijas parametri dažādiem laidumiem

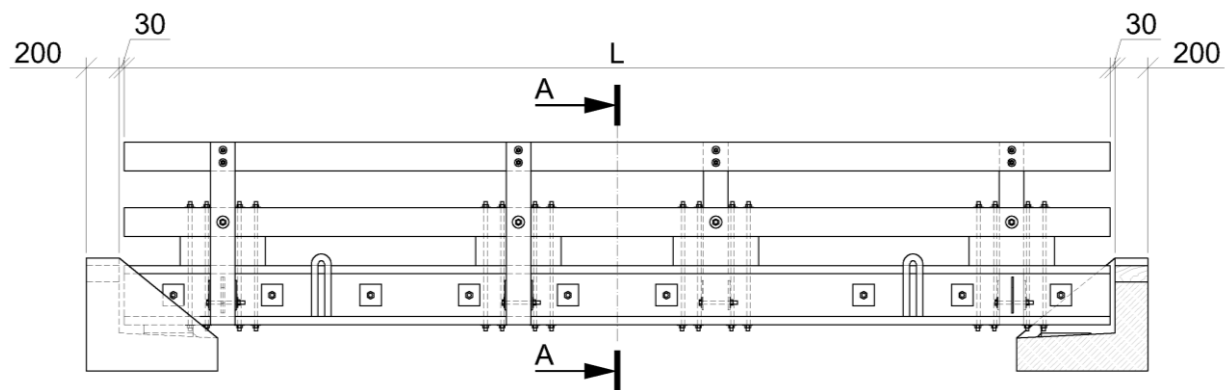
Detaļa	Apzīm.	Laiduma garums			
		6 m	8 m	10 m	12 m
Brauktuves plātne (Detaļa 1)	L (mm)	6000	8000	10000	12000
	H (mm)	360	405	540	675
	Līmētās koksnes stiprības klase	GL24c	GL28c	GL26c	GL28c
Spriegojošais stienis (Detaļa 3)	N(S)	9	15	19	19
	S (mm)	600	500	500	600
	Saspriegšanas spēks P (kN)	270	260	170	260
Izkliedējošā plātne (Detaļas 2A, 2B)	L (mm)	6000	8000	10000	12000
	H(P) (mm)	260	300	400	500
	H(C) (mm)	380	422,5	540	657,5
Barjeru konstrukcija (Detaļas 5, 10)	N(B)	1	2	-	-
	L(B1) (mm)	600	500	500	600
	L(B2) (mm)	1800	1500	1500	1800
	L(B3) (mm)	1200	1000	-	-
Apmales vītņstienis (Detaļa 6)	L(A)	800	840	980	1120



## 5.1. Tiltu ar 6 m 8 m gariem laidumiem rasējumi

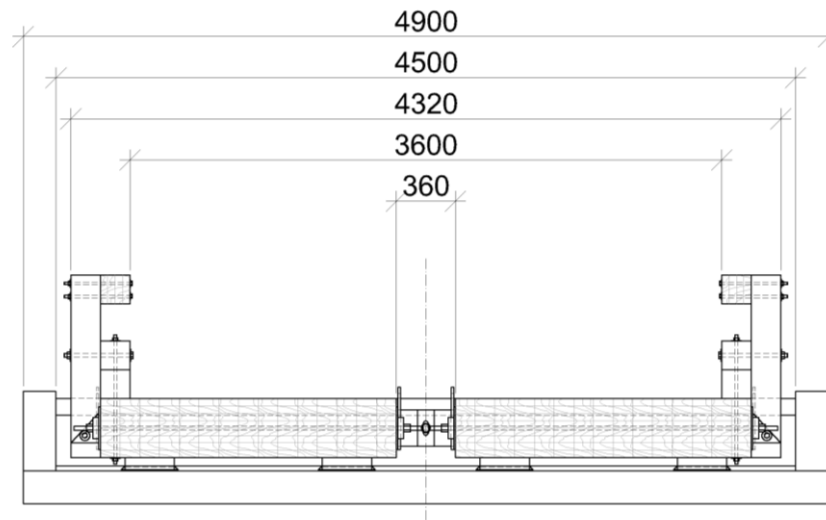
### 5.1.1. Tiltā kopskata rasējumi

#### Tiltā sānskats/griezums pa asi



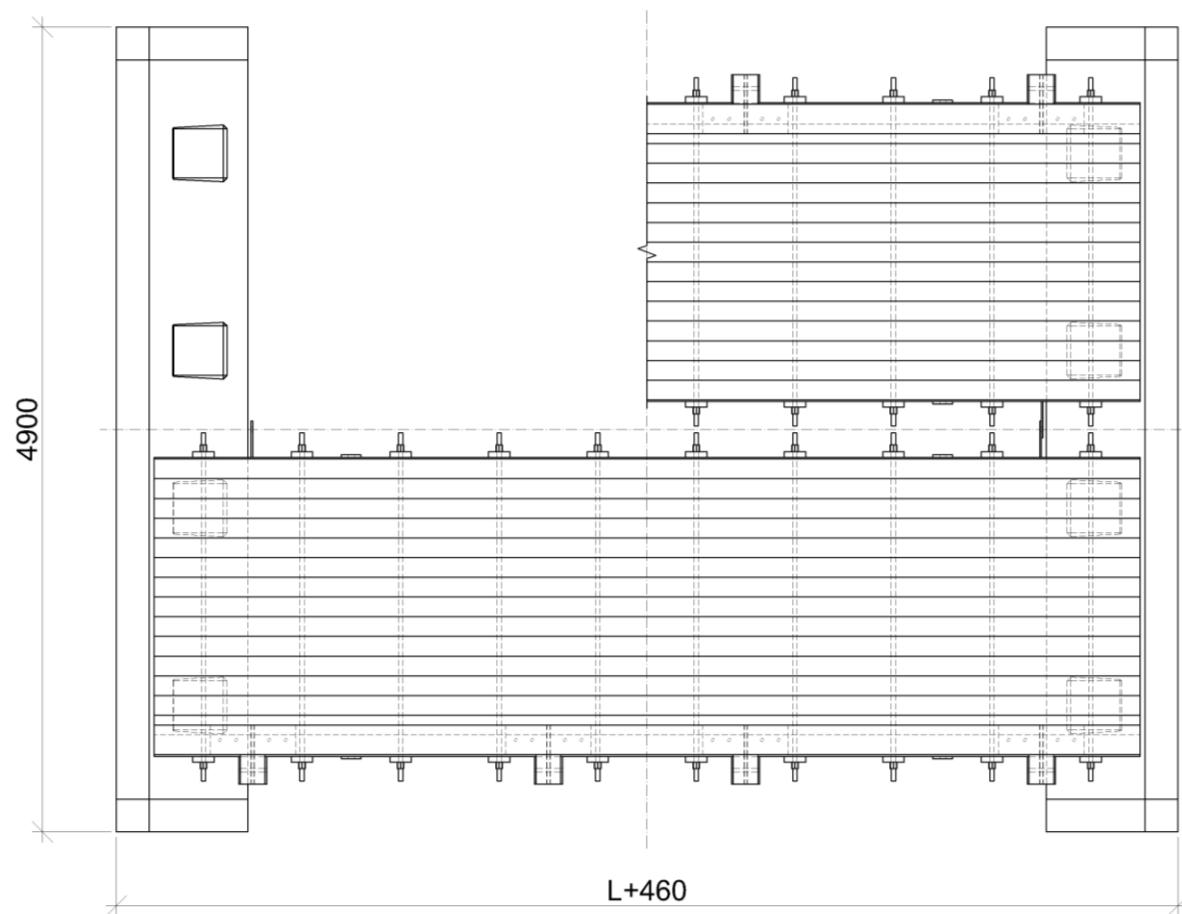
5.1. att. Tiltā sānskata un griezuma pa asi rasējums

## Griezums A-A



5.2. att. Griezuma A-A rasējums

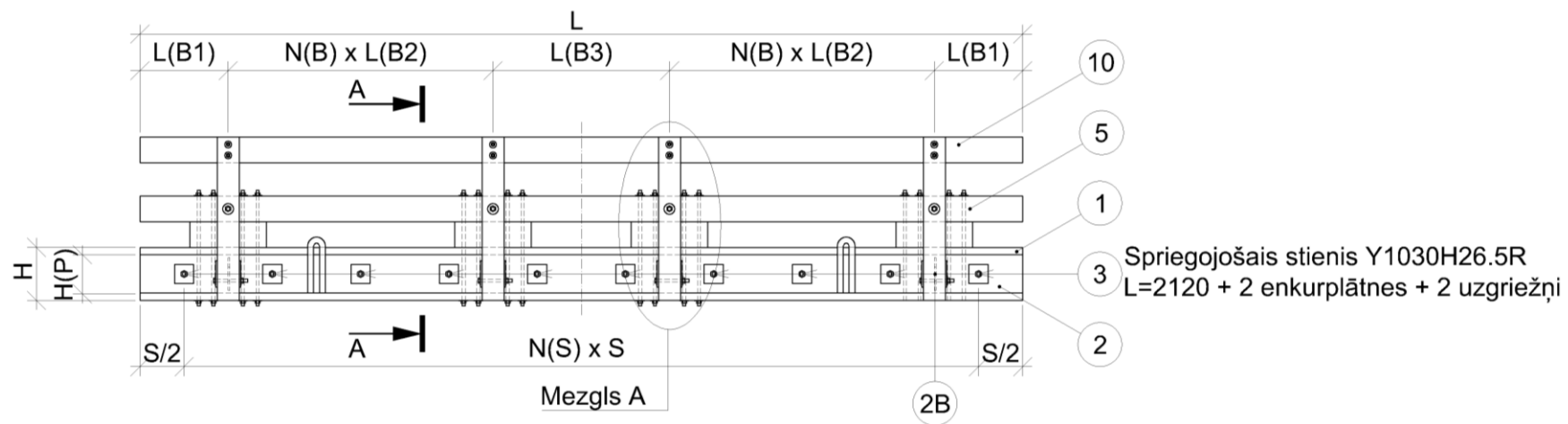
## Tilta virsskats



5.3. att. Tilta virsskata rasējums

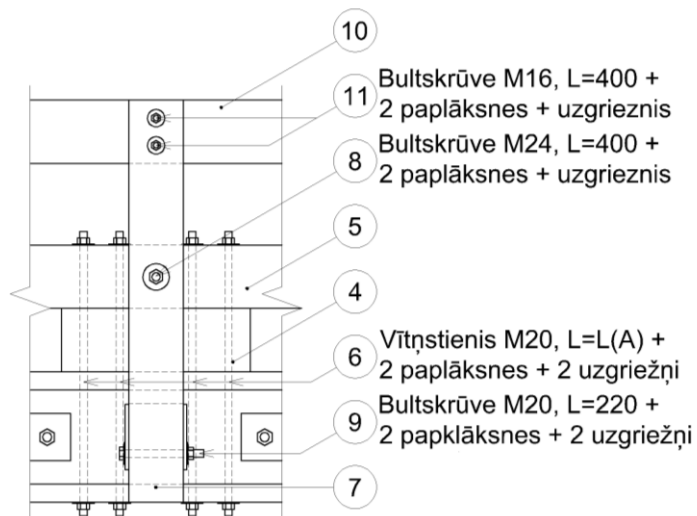
### 5.1.2. Tilta laiduma konstrukcijas rasējumi

## Tilta plātnes sānskats



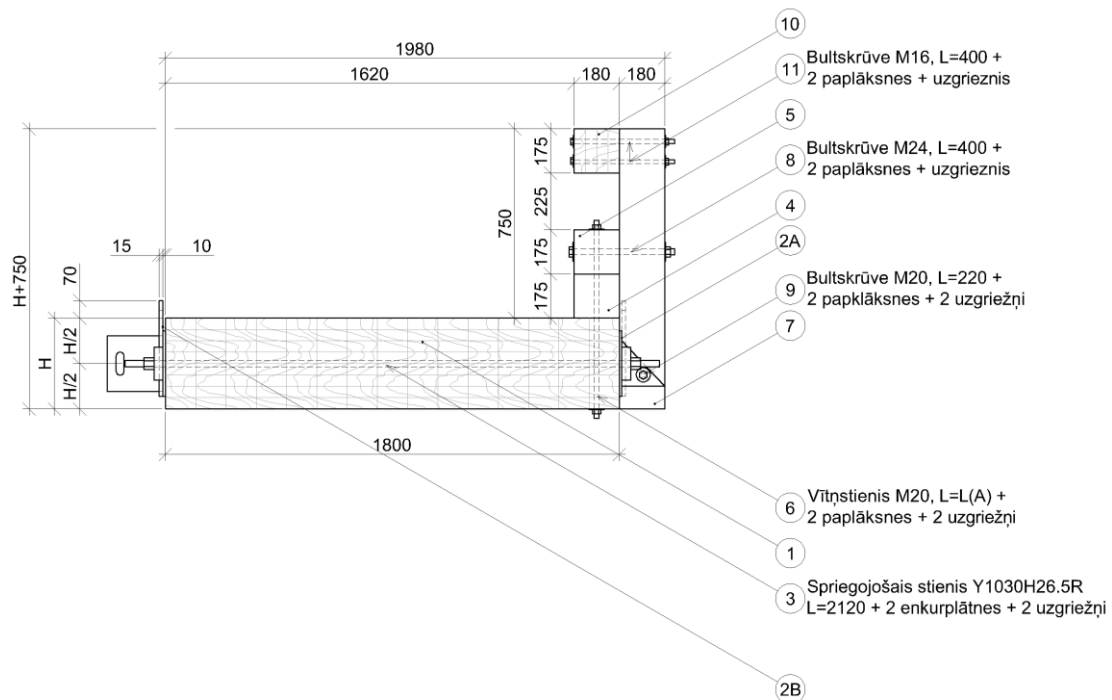
5.4. att. Tilta plātnes sānskats rasējums

## Mezgli A



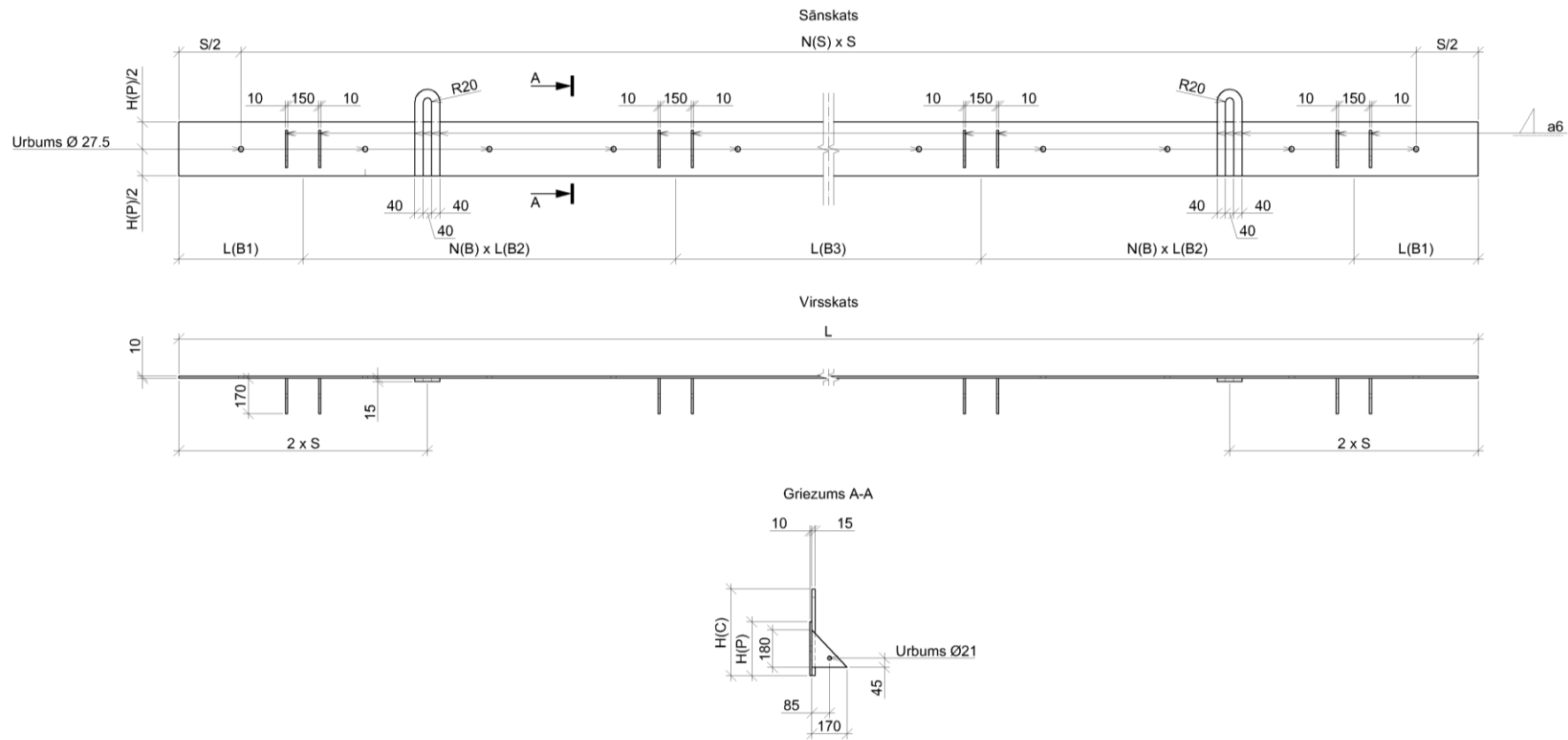
5.5. att. Mezgla A rasējums

## Griezums A-A



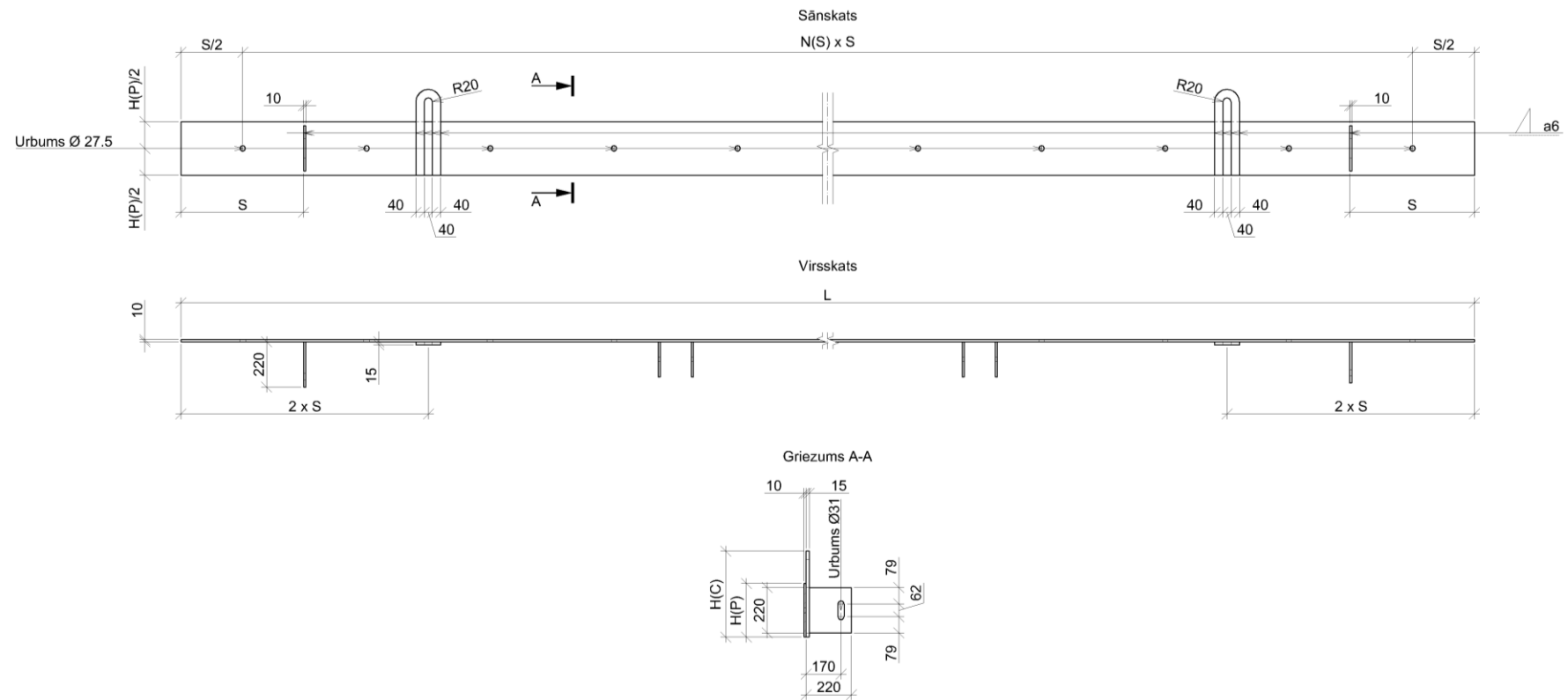
5.6. att. Griezuma A-A rasējums

Detala 2A



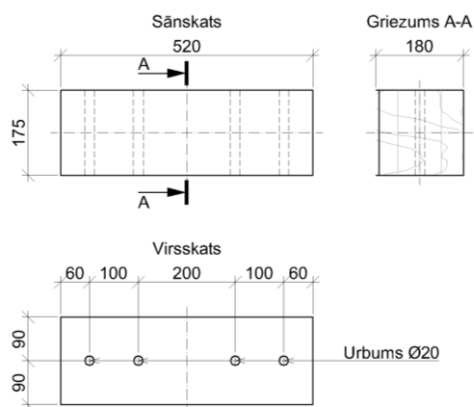
5.7. att. Detaļas 2A rasējums

## Detaļa 2B



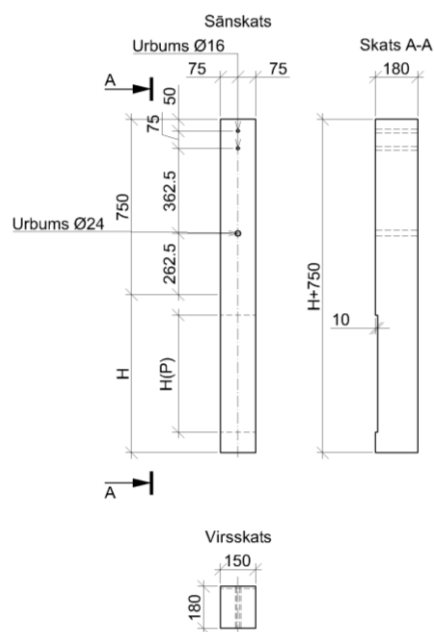
5.8. att. Detaļas 2B rasējums

## Detaļa 4



5.9. att. Detaļas 4 rasējums

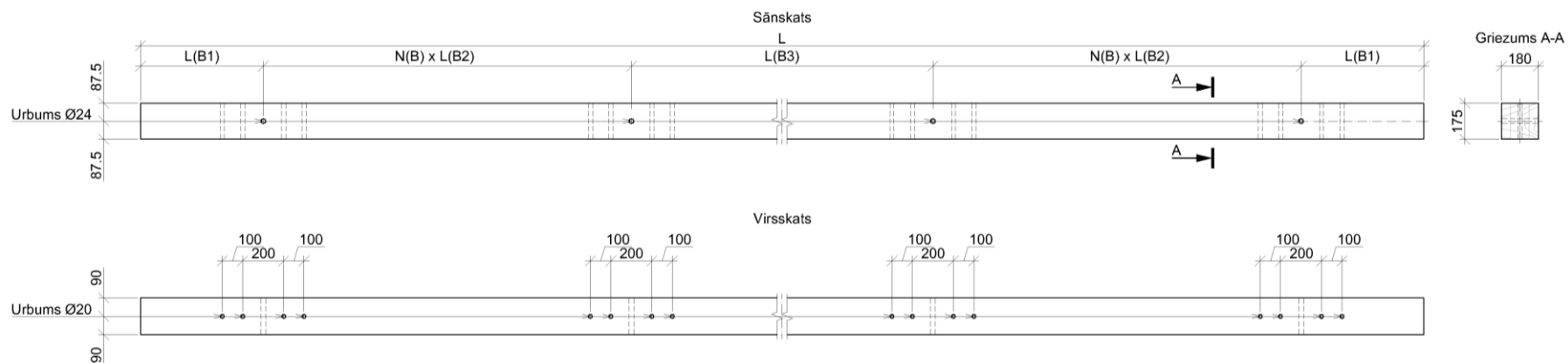
## Detaļa 7



5.10. att. Detaļas 7 rasējums

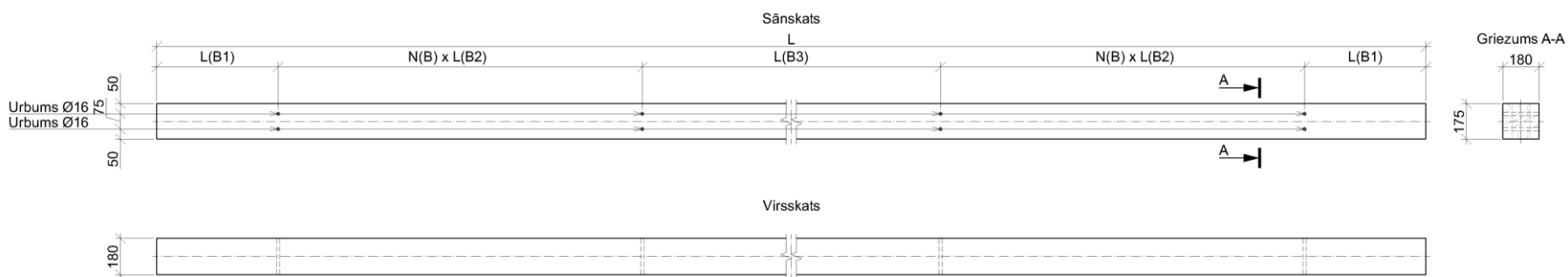


## Detaļa 5



5.11. att. Detaļas 5 rasējums

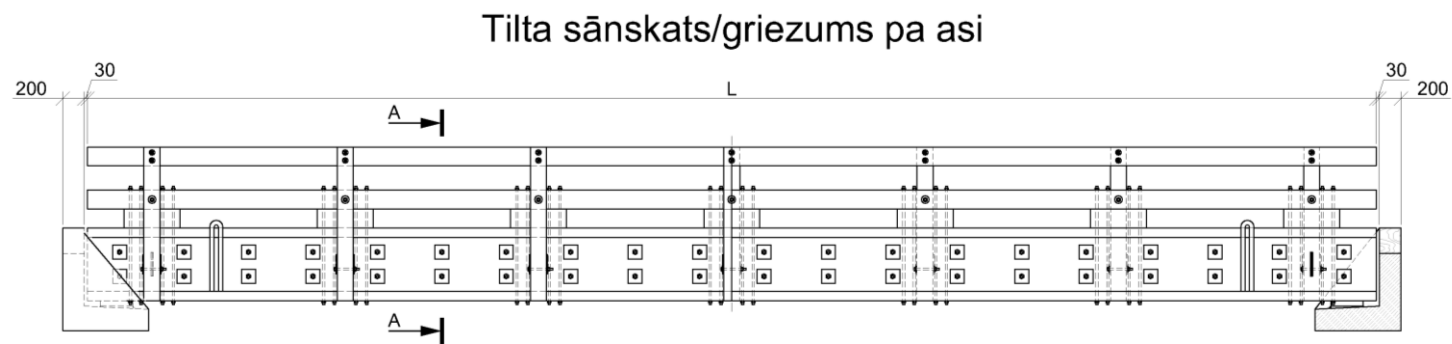
## Detaļa 10



5.12. att. Detaļas 10 rasējums

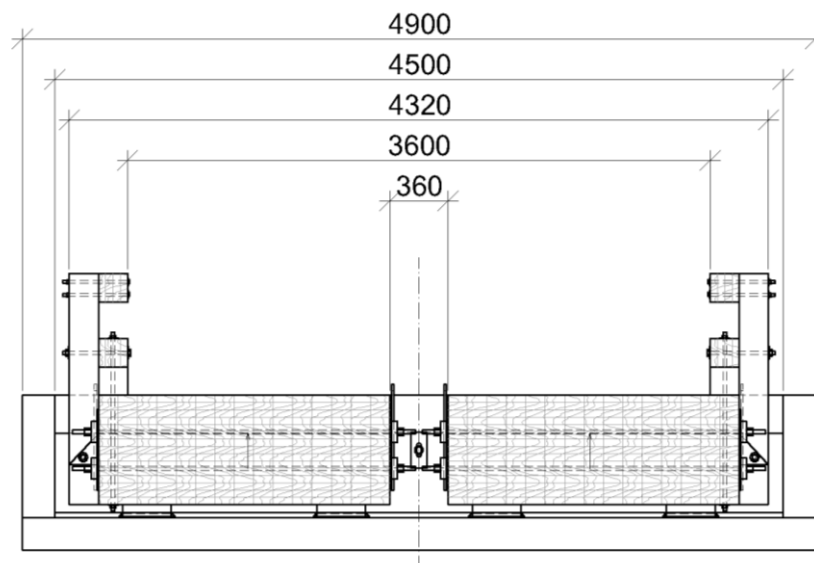
## 5.2. Tiltu ar 10 m 12 m gariem laidumiem rasējumi

### 5.2.1. Tiltu kopskata rasējumi



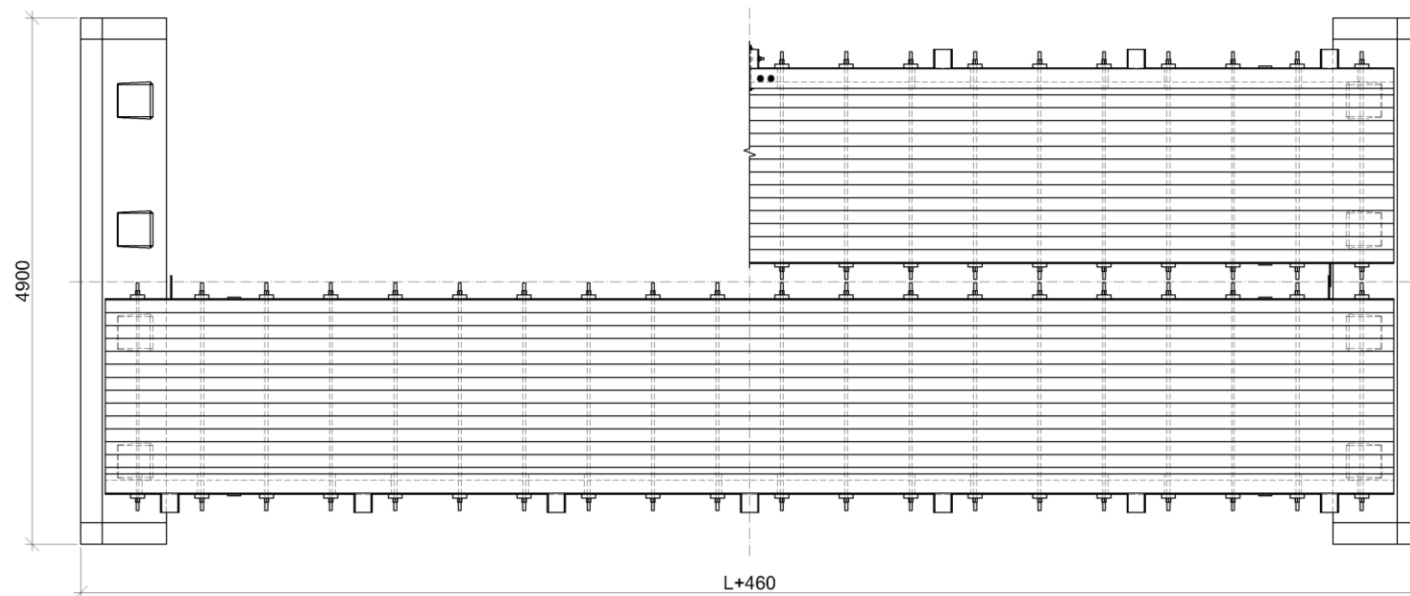
5.13. att. Tiltu sānskata un griezumā pa asi rasējums

## Griezums A-A



5.14. att. Griezuma A-A rasējums

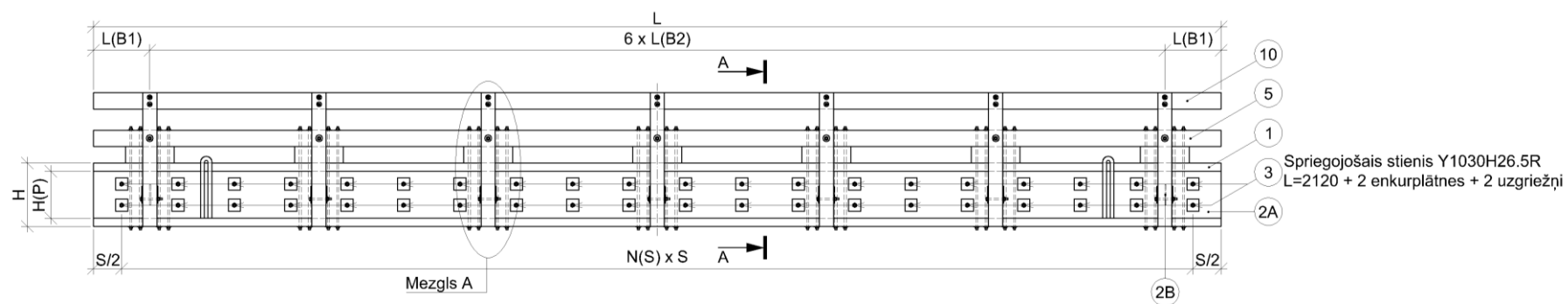
## Tilta virsskats



5.15. att. Tilta virsskata rasējums

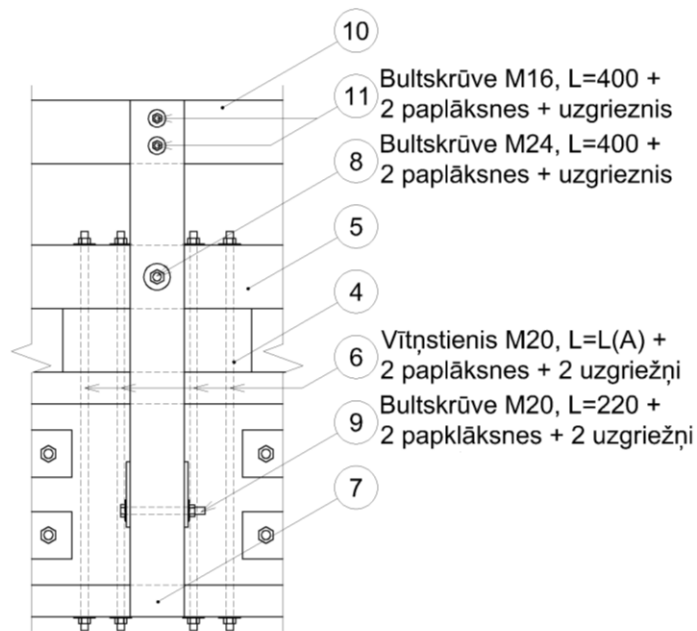
### 5.2.2. Tilta laiduma konstrukcijas rasējumi

#### Tilta plātnes sānskats



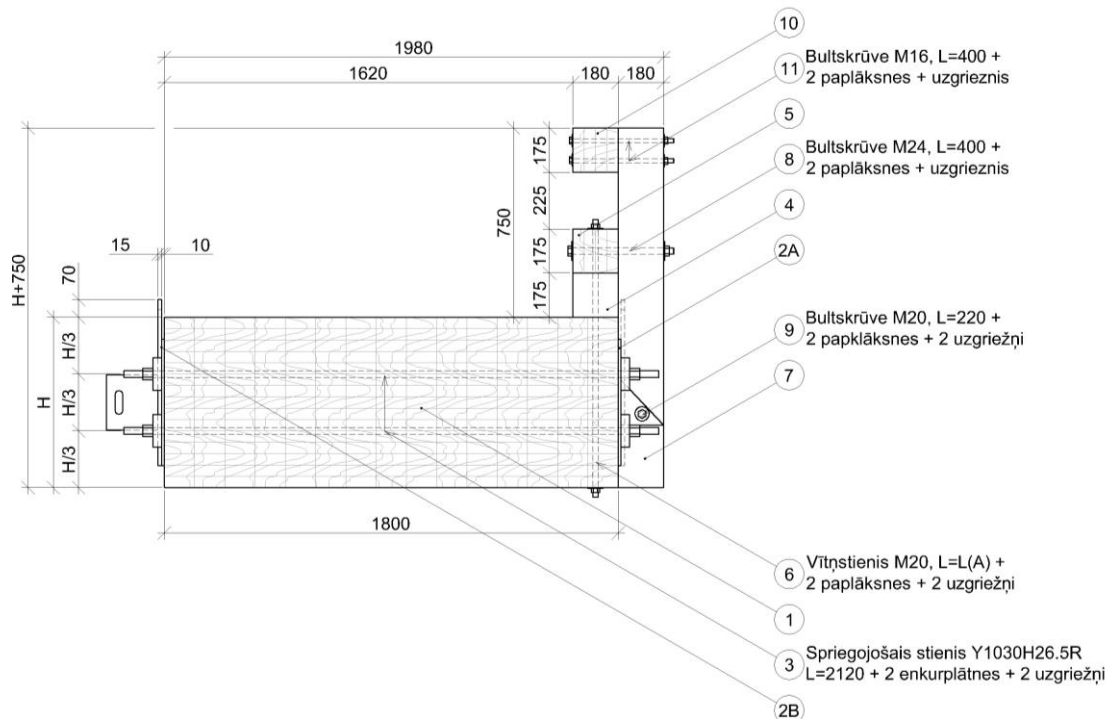
5.16. att. Tilta plātnes sānskata rasējums

## Mezglis A



5.17. att. Mezgla A rasējums

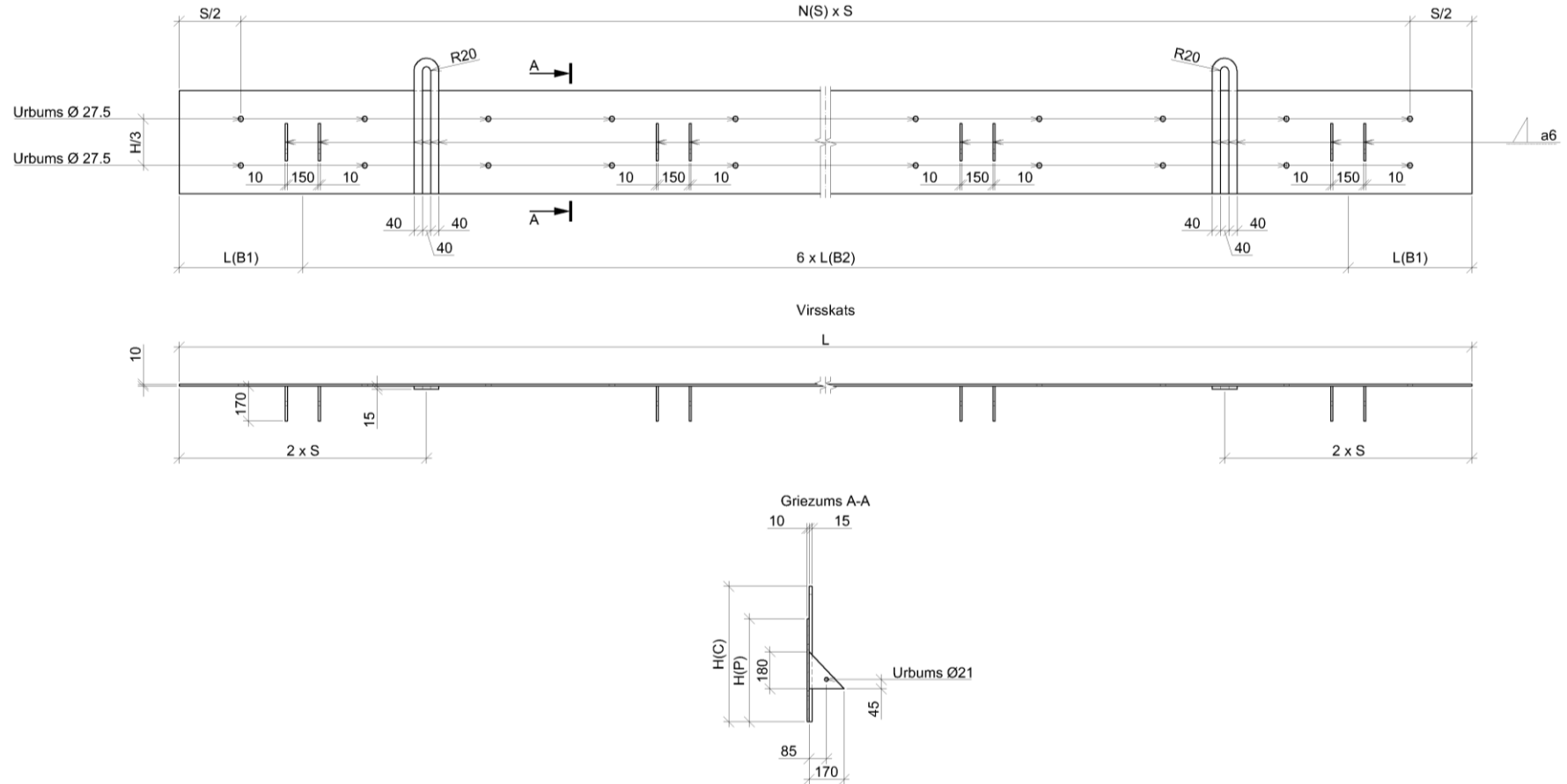
## Griezums A-A



5.18. att. Griezuma A-A rasējums

### Detaja 2A

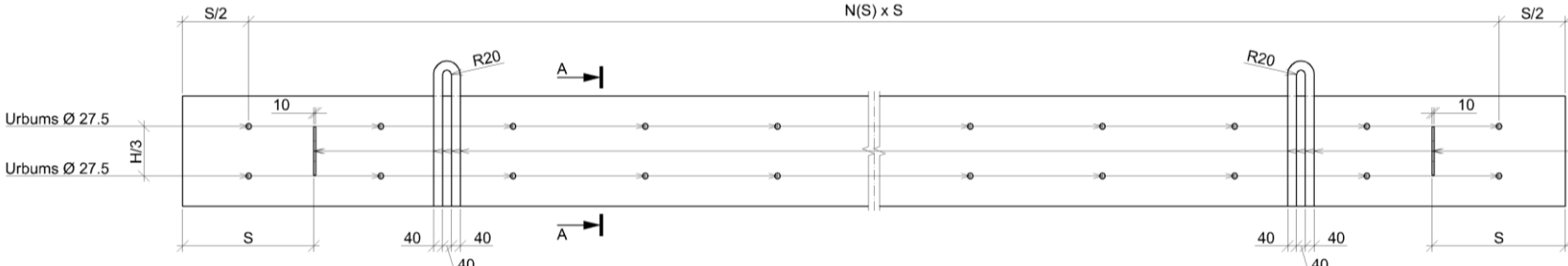
## Sānskats

$$N(S) \times S$$


5.19. att. Detaļas 2A rasējums

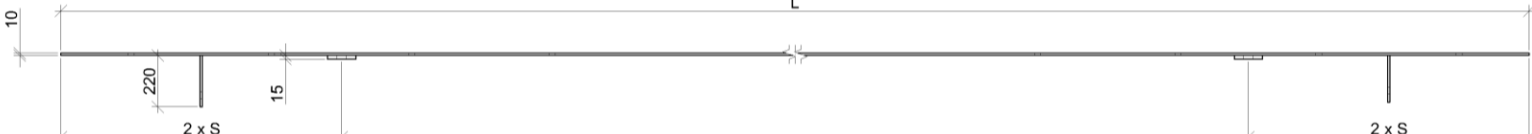
### Detala 2B

## Sānskats

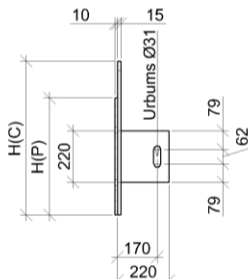
 $N(S) \times S$ 

Virsskats

L



Griezums A-A

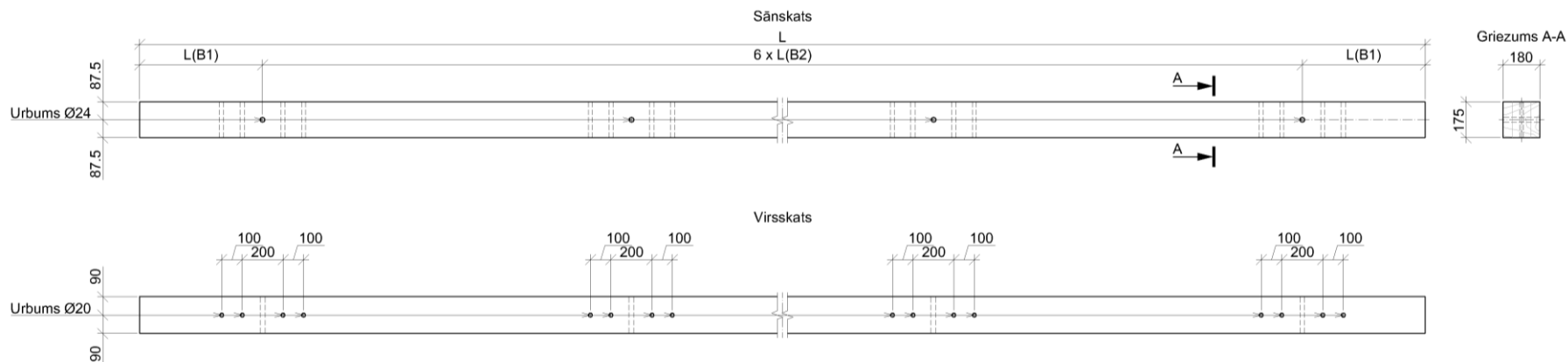


5.20. att. Detaļas 2B rasējums



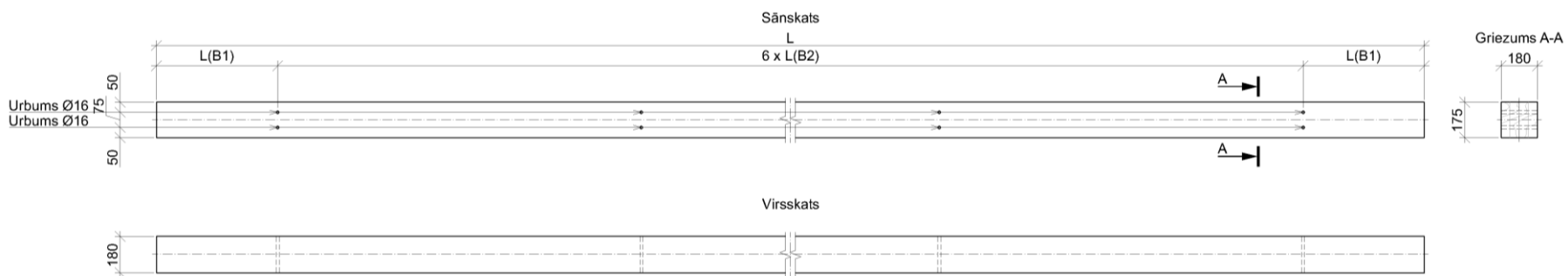


## Detaļa 5



5.23. att. Detaļas 5 rasējums

## Detaļa 10



5.24. att. Detaļas 10 rasējums

## 6. TILTA PIEEJAS UN UZBĒRUMA NOSTIPRINĀJUMS

Tiltu pieejas ir jāprojektē atbilstoši Latvijas standartu LVS 190 sērijas standartiem un Ceļu specifikācijām. Pieeju segas konstrukcija ir tāda pati, kā tiek projektēta ceļam, uz kura tilts atrodas.

Norādījumi par uzbēruma nostiprinājumu tiek sniegti Latvijas standartā LVS 190-2 "Ceļu projektēšanas noteikumi. Normālprofili", Latvijas standartā LVS 190-5 "Ceļu projektēšanas noteikumi. 5. daļa: Zemes klātne" un Ceļu specifikācijās.

Uzbēruma nogāzes visbiežāk paredz nostiprinātas ar augu zemi un zālāju – nogāžu vai citu virsmu nostiprināšana, tās nosedzot ar augu zemi un iesējot zālāju. Šāda veida nogāzēs nostiprinājumu parasti izmanto nogāzēm, kuru slīpums nav lielāks par 1:1,5.

Ja ir nepieciešamības veidot nogāzes ar lielāku slīpumu, nogāžu nostiprināšanu veic ar ģeosintētiskiem materiāliem, lietojot ģeosintētiskos un citus materiālus, kā arī atbilstošas tehnoloģijas.

Var tikt izmantota nogāžu nostiprināšana ar hidrosēšanu – nogāžu vai citu virsmu nostiprināšana ar speciāli sagatavotu šķiedrvielu, mēslojuma, zālāju sēklu un citu sastāvdaļu maisījumu, to izsmidzinot (izlejot) uz sagatavotas nostiprināmās virsmas.

Armēšanai ieteicams lietot ģeorežģus, austos, armētos un neaustos ģeotekstilus, armogrunti – kompozītmateriālu no ģeorežģa un grunts. Armogrunti lieto nogāžu, kas stāvākas nekā 1:1, ieskaitot vertikālas, vai atbalsta sienu izveidei.

Var lietot arī alternatīvus nogāžu nostiprināšanas paņēmienus, ja iepriekš minētie nav pietiekoši efektīvi, un alternatīvo paņēmienu efektivitāte un ilgmūžība ir pierādāma.

Ja zemes klātnes nogāzes paredz ar slīpumu, kas stāvāks par izmantotā materiāla dabīgā nobiruma leņķi, vai ierakumus un uzbērumus, kas ir augstāki par 6 m, tad nogāžu nostiprināšanai jāizstrādā ar aprēķinu pamatots risinājums.

Lai uzlabotu satiksmes drošību, nogāzes jāparedz lēzenākas nekā dotas 6.1. tabulā, ja tas nav saistīts ar ievērojamām izmaksām.

6.1. tabula

Minimālie nogāžu slīpumi

Ieži un gruntis	Nogāzes augstums	Nogāzes slīpums
Rupjas gruntis	līdz 12 m	1:1 – 1:1,5
Smilšainas gruntis	līdz 6 m	1:2
	6 līdz 12 m	1:1,5

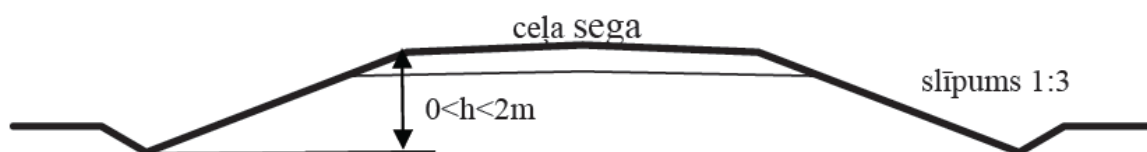
Ieži un gruntis	Nogāzes augstums	Nogāzes slīpums
Smalka kāpu smilts	līdz 2 m	1:3
	2 līdz 12 m	1:2
Mālainas, putekļainas, viendabīgas gruntis, cietas un puscietas	līdz 6 m	1:1,5
	6 līdz 12 m	1:1,5

Ieteicamie nogāžu slīpumi norādīti 6.2. tabulā. Ja nogāzes tiek paredzētas stāvākas nekā uzrādīts 6.2. tabulā, projektā ir jāparedz pasākumi satiksmes drošības un nogāžu noturības nodrošināšanai.

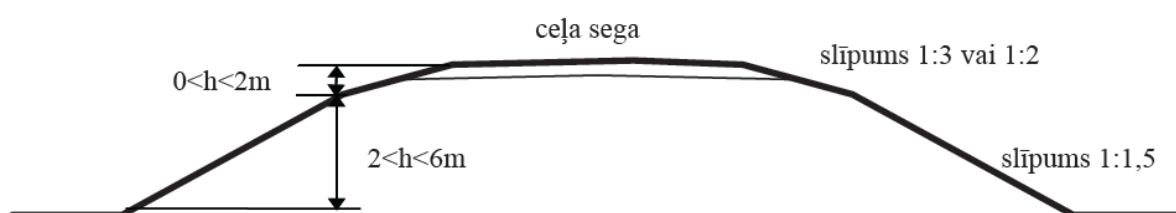
6.2. tabula

#### Ieteicamie nogāžu slīpumi

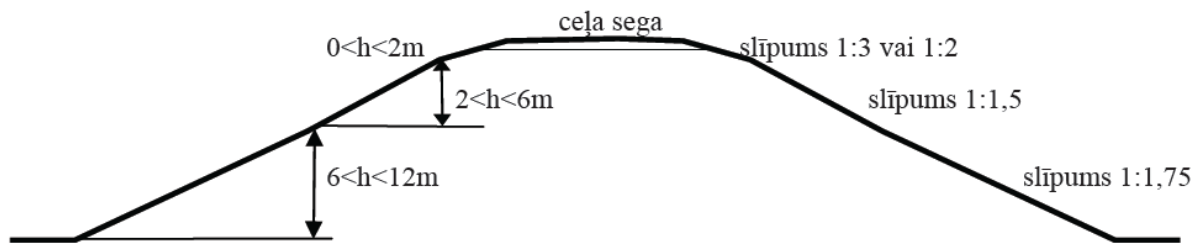
Zemie uzbērumi (augstums līdz 2 m)		
Uzbēruma augstums	Nogāzes slīpums	Attēls
0 līdz 2 m	1:3	6.1. att.
Vidējie un augstie uzbērumi (augstums lielāks par 2 m)		
Uzbēruma augstuma diapazons	Nogāzes slīpums	Attēls
0 līdz 2 m	1:3 vai 1:2	6.2. att.
2 līdz 6 m	1:1,5	6.2. att.
6 līdz 12 m	1:1,75	6.3. att.
>12 m	1:m jāaprēķina	



6.1. att. Zemo uzbērumu nogāzes slīpums [45]

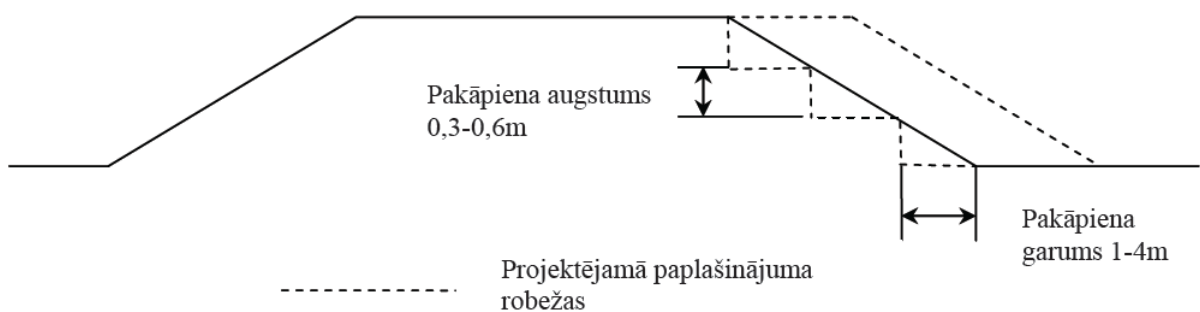


6.2. att. Vidēji augsto uzbērumu nogāzes slīpums [45]



6.3. att. Augsto uzbērumu nogāzes slīpums [45]

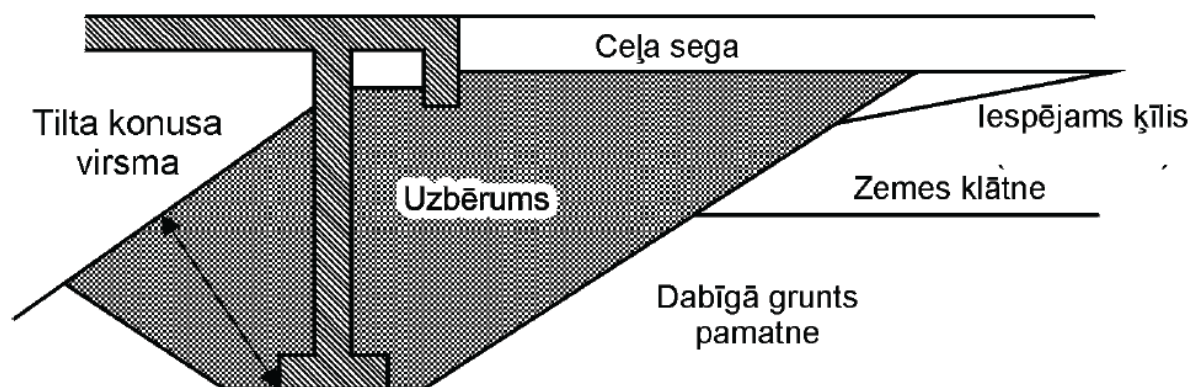
Projektējot uzbērumus vai esošo uzbērumu paplašinājumus uz nogāzēm, kuras stāvākas par 1:5, jāparedz esošajā uzbērumā vai nogāzē veidot 1 – 4 m platus un 0,3 – 0,6 m augstus pakāpienus. Uzbēruma paplašinājuma piemērs attēlots 6.4. attēlā



6.4. att. Uzbēruma paplašinājums [45]

Tilta konusa nostiprinājumiem ir jāievēro tās pašas prasības, kas ir ceļa nogāžu nostiprinājumiem.

Tilta konusi sasilstot nedrīkst radīt spiedienu uz tilta konstrukciju. Tilta konusi jābūvē no drenējoša materiāla, filtrācijas koeficients  $> 2 \text{ m/dienn.}$  Tilta konusa un uzbēruma novietojums attēlots 6.5. attēlā.



6.5. att. Tilta konusa izveidojums [45]

Ja uzbērums jāizbūvē ūdenī, jāizvēlas sadrupināti akmens materiāli, lai varētu veikt nepieciešamos sablīvēšanas darbus. Ja ūdens straumes ātrums ir liels, akmens materiāli jāiebūvē līdz visaugstākajam ūdens līmenim, lai novērstu izskalošanu. Konusa virsmas slīpums atkarībā no materiāla norādīts 6.3. tabulā.

6.3. tabula

Tilta konusu nogāžu slīpumi

Materiāls	Visstāvākā nogāze
Uzbēruma augšējā daļa:	
rupjas klints iežu šķembas (drupināti vai spridzināti klints iežu gabali)	1:1,3
grants + 0,7 m bieza šķembu kārtā	1:1,5
grants	1:1,7
klinkers (izdedži) un poroplasts	saskaņā ar speciālu izpēti
Dabīga zemes klātne:	
klints ieži	1:1
rupjas vai jauktas gruntis	1:1,5
smalkas gruntis	saskaņā ar speciālu izpēti

Ja tilta konusa nogāze tiek veidota no akmens materiāliem, kas pasargā uzbēruma nogāzi un upes krastu no izskalošanas, tiek noteikts šāds nogāzes slīpums: 1:1, ja ūdens dziļums nepārsniedz 2,0 m; 1:1,5, ja ūdens dziļums ir no 2 līdz 6 m; 1:2, ja ūdens dziļums ir lielāks par 6 m. Akmens materiālu uzbērumu nogāžu slīpumi doti 6.4. tabulā.

6.4. tabula

## Akmens materiālu uzbērumu nogāžu slīpums

Uzbēruma veids	Uzbēruma augstums	Nogāzes slīpums
Uzbērums no akmens materiāliem, kas sabērti bez izlases	līdz 6 m	1:1,3
	6 līdz 20 m	1:1,5
Uzbērums no akmens materiāliem, kas lielāki par 25 cm, veidojot nogāzes pareizās kārtās	līdz 20 m	1:1
Uzbērums no akmens materiāliem, kuru augstums ir lielāks par 40 cm, veidojot nogāzes pareizās kārtās	līdz 5 m	1:0,5
	5 līdz 10 m	1:0,7
	vairāk nekā 10 m	1:1

Ja uzbēruma konuss ir nostiprināts ar augu zemi un zālāju un netiek appludināts, konusa nogāzi veido ar slīpumu 1:1,5, ja uzbēruma augstums ir līdz 6 m. Ja augstums ir no 6 līdz 12 m, tad nogāzes augšējo daļu līdz 6 m veido ar slīpumu 1:1,5, bet apakšējo daļu lēzenāku – 1:1,75.

Ja uzbēruma konusa nogāze ir bruģēta, to veido ar slīpumu 1:1, ja uzbēruma augstums ir līdz 3 m, un ar slīpumu 1:1,25, ja uzbēruma augstums ir līdz 6 m. Ja uzbērums augstums ir 6 līdz 12 m, tā apakšējai daļai līdz 0,25 m atzīmei virs augstākā ūdens līmeņa nogāze tiek veidota ar slīpumu 1:1,5 bet nogāzes augšējā daļa ar slīpumu 1:1,25.

## **7. LĪMĒTA KOKA TILTU KONSTRUKCIJU SPECIFIKĀCIJAS**

### **7.1. Specifikācijas**

Visām koka konstrukcijām jāatbilst Latvijas standartu prasībām un arī jāievēro norādījumi, kas doti rokasgrāmatā "Tiltu specifikācijas 2005".

#### **Konstruktīvais kokmateriāls (masīvā koksne)**

Konstruktīvo kokmateriālu klasificē saskaņā ar LVS EN 338 "Konstrukciju kokmateriāli. Stiprības klases". Visām konstrukcijām jāpielieto C24 vai augstākas klases konstruktīvais kokmateriāls.

Zobotos konstruktīvā kokmateriāla savienojumus izgatavo saskaņā ar EN 15497 "Masīvkoksnes konstrukciju kokmateriāli ar ķīļtapu savienojumiem. Veiktspējas prasības un minimālās prasības ražošanai"

#### **Līmētais kokmateriāls (līmētā koksne)**

Līmētais kokmateriāls ir jāizgatavo un tā stiprība jānosaka saskaņā ar Latvijas standartu LVS EN 14080 "Koka konstrukcijas. Līmēti kokmateriāli. Prasības" prasībām, vai testējot saskaņā ar Latvijas standartu LVS EN 408 "Koka konstrukcijas. Konstrukciju kokmateriāli un kārtām salīmēti kokmateriāli. Dažu fizikālo un mehānisko īpašību noteikšana" prasībām.

Līmētās koksnes siju ražošanā ir jāizmanto līme kas atbilst Latvijas standarta LVS EN 301 "Fenoplastiskās un aminoplastiskās nesošo koka konstrukciju līmes. Klasifikācija un veiktspējas prasības" III ekspluatācijas klasei. Impregnēta līmēta kokmateriāla ražošanā izmanto priedes koksni.

#### **Koka sastiprinājumu un savienojumu detaļas**

Tērauda savienotājelementu stiprībai un citām materiāla īpašībām ir jāatbilst "Tiltu specifikācijas 2005" S4 nodaļas prasībām.

Vītņotajiem stieņiem jābūt vismaz no 8.8 klases skrūvju tērauda saskaņā ar Latvijas standarta LVS EN ISO 898-1:2013 "Oglekļa tērauda un tērauda sakausējuma stiprinātāju mehāniskās īpašības. 1. daļa: Pēc stiprības klasificētas bultskrūves, skrūves un tapskrūves. Rupjā vītne un smalkvītne (ISO 898-1:2013)" prasībām.



Apaļajām tapām ir jābūt no skābes izturīga tērauda saskaņā ar Latvijas standarta LVS EN 10088 “Nerūsējošie tēraudi - 1.daļa: Nerūsējošo tēraudu saraksts” prasībām un apzīmējumiem 1.4404, 1.4418, 1.4435, 1.4436 vai ekvivalentiem.

Caurumotajām plātnēm ir jābūt ar apaļiem stūriem un neasām malām.

Sastiprinājumu un savienojuma elementu virsmai ir jābūt karsti cinkotai saskaņā ar Latvijas standarta LVS EN ISO 1461 „Dzelzs un tērauda izstrādājumu karstie galvaniskie pārklājumi. Specifikācijas un testa metodes (ISO 1461:2009)” prasībām ar B. klases cinka kārtas biezumu.

Skrūvēm un uzgriežņiem ir jābūt karsti cinkotiem saskaņā ar Latvijas standarta LVS EN ISO 10684 “Stiprinātāji - Karstā cinkošana iemērcot” prasībām. Caurumotās plātnes ir karsti cinko saskaņā ar S4.3.4. specifikācijas prasībām ar B. klases cinka kārtas biezumu un pēc tam pārklāj ar pulverpārklājumu saskaņā ar "Tiltu specifikācijas 2005" S4.3.6. nodaļas prasībām.

### **Koka konstrukciju izgatavošana**

Koka konstrukciju izgatavošana jāveic personām ar nepieciešamo kvalifikāciju un pieredzi. Konstrukcijām, kas tiks impregnētas ar kreozotu, ir jābūt izgatavotām pirms impregnēšanas.

Kokmateriāla sagatavošanu saspriegtiem slāņainiem tilta klājiem ir jāveic tā, lai kokmateriālu savienojuma šuves būtu optimāli sadalītas visā klāja garumā.

Izmantojot mezglu savienojumus ar koksni iefrēzētām tērauda plāksnēm un tapām, iefrēzējuma platums nedrīkst pārsniegt tērauda plāksnes biezumu ne vairāk kā par 2 mm. Urbumu diametrs kokā nedrīkst pārsniegt tapas diametru.

### **Pielaides**

Pielaides prasības konstrukcijas koksnei dotas Latvijas standartā LVS EN 336 “Konstrukciju kokmateriāli. Izmēri un pieļaujamās novirzes.”

Pielaides prasības līmētam kokmateriālam ir dotas Latvijas standartā LVS EN 14080 “Koka konstrukcijas. Līmēti kokmateriāli. Prasības”.

### **Kvalitātes kontrole**

Kontroli veic saskaņā ar LVS EN 1995 1. un 2. daļā norādītajām prasībām.

### **Kokmateriālu apstrāde zem spiediena**

Kokmateriālu apstrādi zem spiediena veic saskaņā ar LVS EN 351-1 “Koksnes un koksnes izstrādājumu ilgizturība. Antiseptizētā masīvkoksne. 1. daļa: Antiseptizējošo vielu iespiešanās un saglabāšanās klasifikācija” un LVS EN 351-2 “Koksnes un koksnes izstrādājumu ilgizturība. Antiseptizētā masīvkoksne. 2. daļa: Norādījumi antiseptiski apstrādātas koksnes analīzes paraugu ņemšanai” prasībām.

Kokmateriāla apstrādi veikt vismaz NP5 iesūcināšanas klases līmenī, saskaņā ar LVS EN 351-1 “Koksnes un koksnes izstrādājumu ilgizturība. Antiseptizētā masīvkoksne. 1. daļa: Antiseptizējošo vielu iespiešanās un saglabāšanās klasifikācija” prasībām. Koksnes apstrādi zem spiediena var veikt tikai pēc tam, kad konstrukcija vai elements ir pilnībā izgatavots, bez iestiprinātām tērauda loksnēm un tapām.

Konservējošās vielas iespiešanas dziļums:

- aplievas koksnes slānim jābūt gandrīz pilnīgi piesūcinātam;
- salīmējot līmkoksnes blokus, aplievas koksnes slānim, kas atrodas ārējās virsmās un nav ierobežots ar kodola koksni vai līmēto šuvi, ir jābūt gandrīz pilnīgi piesūcinātam.

Piesūcināšana ar konservējošo vielu:

- daudzslāņaina materiāla loksnēm saspriegota klāja konstrukcijai un citām aizsargātām konstrukcijām, materiāla patēriņš ne mazāks par 80-90 kg/m<sup>3</sup> aplievas koksnes.
- plātņu malas sijām, kas izgatavotas no līmēta kokmateriāla un neaizsargātām līmētām konstrukcijām, materiāla patēriņš ne mazāks par 100-110 kg/m<sup>3</sup> aplievas koksnes.
- salīmējot līmkoksnes blokus, piesūcināšana attiecas uz aplievas koksnes slāni, kas atrodas ārējās virsmās.

## **7.2. Koka konstrukciju ķīmiskās aizsardzības metodes**

Saskaņā ar spēkā esošajiem normatīviem, tilti ir jāprojektē tā, lai galveno konstrukciju kalpošanas laiks būtu 100 gadi. Salīdzinot ar dzelzsbetonu un tēraudu, koks ir jūtīgāks pret klimatiskajām iedarbēm. Dzelzsbetona un tērauda tiltiem arī mēdz būt problēmas nodrošināt šo kalpošanas laiku, tomēr koka tiltu ilgizturībai ir jāpievērš īpaša uzmanība.

Koka konstrukcijām tiltiem izšķir divas raksturīgās aizsardzības metodes. Pirmā ir ķīmiskā aizsardzība. Tās pamatā ir koksnes piesūcināšana ar dažādām ķīmiskām vielām, kas mazina vai novērš bioloģisku organismu iedarbību, un regulē mitruma daudzumu koksnē. Otra aizsardzības metode ir konstruktīvā aizsardzība, kuras pamatā ir koksnes aizsardzība ar dažādiem konstruktīviem risinājumiem, parasti palīgdetaļām, aizsargājot pamata konstrukcijas no mitruma (skat. 4.3. un 4.4. nodaļas). Bieži tiltiem tiek izmantotas abas aizsardzības metodes vienlaicīgi, lai varētu nodrošināt normatīvos prasīto 100 gadu ilgu kalpošanas laiku.

Veicot detalizētu projektēšanu, pārdomājot tilta konstrukciju ilgizturības nodrošināšanu un regulāri veicot tilta uzturēšanas darbus, šo kalpošanas laiku koka tiltiem var pat palielināt.

#### 7.2.1. Koksnes apstrāde ar ķīmiskajiem aizsarglīdzekļiem

##### **Kokmateriālu sagatavošana**

Pienācīgai apstrādei un labai lietojamībai kokmateriāli ir atbilstoši jāsgatavo. Pirms ķīmiskās apstrādes kokmateriāli ir jānomizo un jāizžāvē, pirms tiek veikta apstrāde. Vēlams pirms apstrādes veikt arī visu nepieciešamo mehānisko apstrādi, piemēram, zāģēšanu un urbšanu.

1. Koka mizošana ir nepieciešama, lai ļautu koksnei izžūt pietiekami ātri, lai tajā neveidotos trupe vai kukaiņu radītie bojājumi, kā arī lai būtu apmierinoša aizsarglīdzekļu penetrācija koksnē. Pat nelielas iekšējās mizas strēmeles, kas paliek uz koksnes apstrādes laikā, parasti laika gaitā atdalās un atsedz neapstrādātu koksni, kas veicina trupes iekļūšanu materiāla iekšienē. Tas ir īpaši svarīgi, ja tiek veikta apstrāde bez spiediena.

2. Žāvēšana ir process, kurā tiek samazināts mitruma daudzums koksnē pirms apstrādes ar aizsarglīdzekļiem. Raksturīgākās metodes ir dabiskā žāvēšana un žāvēšana kamerā koksnei, kuru izmantos apstrādātu vai neapstrādātu, kā arī tvaicēšana un *Boulton* žāvēšana koksnei pirms apstrādes ar aizsarglīdzekļiem. Dabiskā žāvēšana ir vismazāk intensīvā žāvēšana. Koksnei ir jābūt noteiktai dabiskajai noturībai pret trupi, jo process ir lēns un var ilgt no sešiem mēnešiem līdz trijiem gadiem un vairāk. Parasti koksnē parādās trupes sēnītes, taču, ja žāvēšanas laiks ir ierobežots, tad tā nerada bojājumus. Pirms apstrādes koksne ir pienācīgi jāsterilizē. Žāvēšanā kamerā kokmateriāli tiek ievietoti slēgtā kamerā ar paaugstinātu temperatūru un ventilāciju, līdz koksne sasniedz nepieciešamo mitruma daudzumu. Žāvēšanas laiks ir atkarīgs no kokmateriālu izmēriem. Tvaicēšanas žāvēšanā kokmateriāli tiek ievietoti

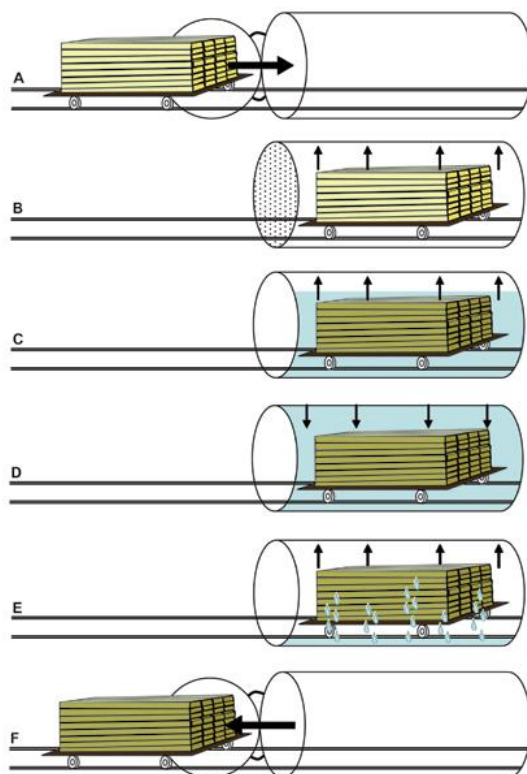
apstrādes cilindrā un vairākas stundas tiek sildīti ar tvaiku. Kad tvaicēšanas process ir pabeigts, cilindrā tiek veidots vakuums, samazinot vārīšanās punktu un veicinot mitruma iztvaikošanu no koka. Pietiekama tvaicēšana arī sterilizēs koksni un izskaudīs trupes sēnīti. *Boulton* žāvēšana ir saistīta ar koksnes sildīšanu eļļā vakuuma stāvoklī. Šim žāvēšanas procesam ir neliela ietekme uz koksnes stiprību, taču ūdens, kas paliek pāri no koksnes žāvēšanas, ir piesārņots un no tā nepieciešams attiecīgi atbrīvoties.

### **Ķīmisko aizsarglīdzekļu apstrādes metodes**

Divas pamatmetodes koksnes apstrādei ar aizsarglīdzekļiem ir bezspiediena un spiediena metodes.

Bezspiediena metodes ir virsmas apstrāde ar īsu iemērkšanu, piesūcināšana ar aizsarglīdzekļiem, difūzijas process ūdensbāzes aizsarglīdzekļiem, vakuuma apstrāde un citas metodes. Kokmateriāliem, ko izmanto tiltu konstrukcijās bezspiediena metodes praktiski netiek izmantotas. Lai aizsargātu iegriezumus vai urbuma caurumus, kas veikti laukā pēc spiediena apstrādes, izmanto smērēšanu vai mērcēšanas metodi.

Tirdzniecības jomā izplatītie kokmateriāli parasti ir apstrādāti ar aizsarglīdzekļiem ar kādu no spiediena metodēm. Process notiek augstspiediena iekārtā, lai ievadītu aizsarglīdzekļus koksnē. Galvenais princips parasti ir vienāds (skat. 7.1. att.), atšķiras tikai detaļas.



7.1. att. Spiediena apstrādes process. A – neapstrādāti kokmateriāli tiek ievietoti cilindrā, B – tiek radīts vakuums, lai izsūktu gaisu no koksnes, C – kokmateriāli tiek iegremdēti aizsarglīdzeklī, kamēr cilindrā vēl ir vakuums, D – tiek radīts spiediens, lai iespiestu aizsarglīdzekli koksnē, E – aizsarglīdzeklis tiek izsūknēts no cilindra un vakuuma ietekmē tiek atdalīts liekais aizsarglīdzeklis, F – tiek aizsūknēts liekais aizsarglīdzeklis, un kokmateriāli tiek izņemti no cilindra [3]

Kokmateriāli uz vagoniem tiek ievesti garā tērauda cilindrā, kurš tiek aizvērts un piepildīts ar aizsarglīdzekli. Spiediens iespiež aizsarglīdzekli koksnē, līdz tā absorbē nepieciešamo daudzumu. Tiek absorbēts ievērojams daudzums aizsarglīdzekļa relatīvi dziļā slānī. Spiediena apstrādei parasti tiek izmantota viena no metodēm: pilno šūnu metode, modificētā pilnā šūnu metode vai tukšo šūnu metode.

Pilno šūnu metode tiek izmantota, kad nepieciešams saglabāt koksnē pēc iespējas vairāk aizsarglīdzekļa. Procesa rezultātā aizsarglīdzeklis pārklāj koksnes šūnu sienas un mainīgā daudzumā piepilda dobumšūnu tukšumus. Šī apstrāde, izmantojot eļļas tipa aizsarglīdzekļus, vairāk ir ieteicama, ja apstrādātā konstrukcija tiks ekspluatēta kontaktā ar grunti vai ūdeni, bet nav ieteicama tiltu konstrukcijām, jo uz koksnes virsmas var veidoties vērā ņemami izsvīdumi. Parasti šī metode tiek izmantota ūdensbāzes aizsarglīdzekļiem vai jūras balstiem ar kreozotu.

Tukšo šūnu metodē koksnes šūnu sienīgas tiek pārklātas ar aizsarglīdzekli, taču dobumi koksnē paliek relatīvi tukši. Šo metodi parasti izmanto ar eļļas tipa aizsarglīdzekļiem, kad nepieciešams saglabāt koksni relatīvi maz aizsarglīdzekļa. Rezultātā ir mazāka iespējamība veidoties izsvīdumiem, tāpēc šī metode ir ieteicama visām tiltu konstrukciju apstrādēm ar eļļas tipa aizsarglīdzekļiem.

#### 7.2.2. Ķīmiskie aizsarglīdzekļi

Mūsdienās ilgizturīgu koka tiltu projektēšanā koksnes ķīmiskā apstrāde, ko parasti veic ar spiedienu, tiek uzskatīta kā trešais aizsardzības līdzeklis pēc rūpīgas detalizācijas un koka sugas izvēles. Tomēr ilgmūžīgākā risinājumā ir jāizmanto vietēji pieejamie kokmateriāli, piemēram, skujkoki ar zemu ilgizturību, palielinot to kalpošanas laiku ar ķīmisko apstrādi. Tas vienlaikus arī dod pietiekami ilgu laiku, lai mežu atjaunošanās kompensētu koksnes patēriņu.

Jāpiebilst, ka tradicionāli izmantotie aizsarglīdzekļi tiltu konstrukcijām ir ķīmiski agresīvi, tāpēc to pielietojums arvien vairāk tiek ierobežots, jo tie ir toksiski videi, kā arī negatīvi ietekmē cilvēkus un dzīvniekus. Arvien vairāk vielas tiek noteiktas kā ierobežota pielietojuma un mājtsaimniecībām vairs nav pieejamas, taču rūpnieciskam pielietojumiem kā stabiem un tiltiem vēl tiek atļautas, kontrolējot to pielietojumu. Tas nozīmē, ka industrijai nepārtraukti ir jāmeklē jauni risinājumi, lai iegūtu videi draudzīgus aizsarglīdzekļus.

Divas galvenās ķīmiskās apstrādes aizsarglīdzekļu grupas ir:

- ūdensbāzes aizsarglīdzekļi;
- eļļas tipa aizsarglīdzekļi.

##### **Ūdensbāzes aizsarglīdzekļi**

Ūdensbāzētie risinājumi tiek uzskatīti par neorganiskiem aizsarglīdzekļiem, un tos raksturo fakts, ka galvenais aizsarglīdzekļa ķīmikāliju pārvietotājs ir ūdens. Šajos risinājumos ķīmikālijas nogulsnējas koksnes substrātā un tiek pievienotas koksnes šūnām, mazinot pārvietošanos, kad tās ir nostabilizējušās vai pievienojas koksnes šūnām. Lielā mērā visi ūdensbāzes aizsarglīdzekļi darbojas līdzīgā veidā. Pēc šo aizsarglīdzekļu lietošanas koka virsmas paliek relatīvi tīras gaiši zaļā, pelēki zaļā vai brūnā krāsā, atkarībā kāda veida ķīmikālija ir izmantota. Ūdensbāzētos aizsarglīdzekļus nav ieteicams lietot liela izmēra

līmētās koksnes sijām, kuras salīmētas pirms apstrādes, jo mitrināšana un žāvēšana apstrādes laikā var radīt nevēlamas izmēru izmaiņas, vērpšanos, šķelšanos un plaisāšanu.

Ūdensbāzēto aizsarglīdzekļu priekšrocība ir tā, ka atšķirībā no eļļas tipa aizsarglīdzekļiem, šie risinājumi neizraisa ādas iekaisumus un ir piemēroti virsmām, kuras var būt ierobežotā saskarsmē ar cilvēkiem vai dzīvniekiem. Virsmas pēc nožūšanas var arī krāsot vai beicēt.

Kā trūkumu ūdensbāzētajiem aizsarglīdzekļiem var minēt, ka tie nenodrošina aizsardzību pret mitruma daudzuma izmaiņas izraisītu koksnes šķelšanos un plaisāšanu, kā to dara eļļas tipa aizsarglīdzekļi. Tāpat noteikti ūdensbāzētie aizsarglīdzekļi var veicināt stiprinājumu koroziju, tāpēc ir nepieciešama to apstrāde vai speciāla tipa stiprinājumi.

### **Vara hroma arsenāts (*Chromated Copper Arsenate jeb CCA*)**

Vara hroma arsenāts ir ūdensbāzes aizsarglīdzeklis, kuru bieži izmanto skujkoku līmētās koksnes sijām tiltiem. Apstrāde ar aizsarglīdzekli var tikt veikta gan atsevišķām līmējamajām daļām, gan visai detaļai pēc tās izgatavošanas. Pirms apstrādes kokmateriāli ir jāizžāvē un pēc augstspiediena apstrādes tiem jāļauj atkal septiņas līdz četrpadsmit dienas žūt, kamēr ķīmikālijas pievienojas koksnes šūnām. CCA priekšrocības ir, ka apstrādātajai koksnei nav smakas un virsmas var krāsot.

Eiropas Savienībā CCA tiek identificēts kā cilvēkiem kaitīga viela un tā pieeja ir ierobežota. Ar CCA apstrādāta koksne ir pielietojama tikai noteiktām konstrukcijām, tai skaitā tiltiem, kurām iespējamais kontakts ar cilvēkiem vai dzīvniekiem ir minimāls. To ir aizliegts izmantot konstrukcijām, kurām var būt regulārs kontakts ar cilvēkiem, piemēram, ietves segumam vai margām.

### **Amonija vara cinka hromāts (*Ammoniacal Copper Zinc Chromate jeb ACZA*)**

Vēl viens ūdensbāzes aizsarglīdzeklis, ko izmanto tiltu ķīmiskajai apstrādei, ir ACZA. Apstrādātajai koksnei ir zaļgana nokrāsa un neliels amonjaka aromāts, kas ar laiku izzūd. Pateicoties tā ķīmiskajam sastāvam un stabilitātei apstrādes laikā augstās temperatūrās, to izmanto, lai apstrādātu grūti impregnējamās koku sugas. ACZA tiek izmantots, lai pasargātu koksni no trapes un kukaiņu uzbrukumiem.

### **Sārmu vara kvartārs (*Alkaline Copper Quaternary jeb ACQ*)**

Izgatavots salīdzinoši nesen kā alternatīva CCA, tā tirgošanas ierobežojumu dēļ. Piešķir koksnei zaļganīgi brūnu vai gaiši brūnu nokrāsu un tam ir neliels aromāts, līdz aizsarglīdzeklis ir pilnībā nožuvis. Šo aizsarglīdzekli plaši izmanto gan mājstarpniecībās, gan tirdzniecības nozarē, un tas tiek dēvēts kā vispārējās lietošanas aizsarglīdzeklis.

### **Eļļas tipa aizsarglīdzekļi**

Eļļas tipa koksnes aizsarglīdzekļi ir vieni no vecākajiem aizsarglīdzekļiem un vēl tiek izmantoti arī mūsdienās. Koksnei nav uzbriešana no apstrādes ar aizsargājošajām eļļām, tomēr var veidoties rukums, ja samazinās mitruma daudzums apstrādes laikā. Risinājumi ar smagākām, mazāk gaistošām naftas eļļām bieži aizsargā koksni no laikapstākļu iedarbības, tomēr var nelabvēlīgi ietekmēt tās aromātu, krāsu, iespēju krāsot virsmas un ugunsizturību. Virsmas, kas apstrādātas ar gaistošākām naftas eļļām, pēc apstrādes ir tīrākas, taču var sniegt mazāku aizsardzību.

Parasti eļļas tipa aizsarglīdzekļus izmanto konstrukcijām, kuras nav saistītas ar biežu kontaktu ar cilvēkiem. Izņēmums ir vara naftenāts, līdzeklis, kurš pēdējā laikā ir kļuvis pieejamāks, taču nav līdz šim tik plaši izmantots. Eļļas tipa aizsarglīdzekļus vispārēji ir ieteicams izmantot nesošajām konstrukcijām, pateicoties to īpašībai stabilizēt elementu izmēru ziņā, un tie labi darbojas kā mitruma barjeras. Tāpat šie aizsarglīdzekļi mazina koksnes tieksmi plaisāt un palīdz mazināt mitruma migrāciju pa elementu.

### **Kreozots (*Creosot*)**

Kreozots ir vecākais un plašāk izmantotais eļļas tipa aizsarglīdzeklis šobrīd ekspluatācijā, ko plaši izmanto tiltu konstrukcijām. Parasti to izmanto rūpniecības jomās, piemēram, dzelzceļa gulšņiem, stabiem, balstiem un tiltiem. Ar kreozotu apstrādātai koksnei var būt dažāds pielietojums, kam nepieciešama saskarsme ar grunti vai ūdeni. Tai arī ir ilga vēsture kā ļoti efektīvam aizsarglīdzeklim un nav neierasti atrast tiltu konstrukcijas, kuras saglabājušās labā lietojamības stāvoklī pēc 50 līdz 90 gadu kalpošanas.

Kreozotu iegūst akmeņogļu darvas destilācijas procesā un tā ir melna vai brūngana eļļa. Tā priekšrocības ir toksiskums koksni iznīcinošiem organismiem, tas nešķīst ūdenī un tas ir maz gaistošs. To ir viegli pielietot, viegli var noteikt tā penetrācijas dziļumu, un tam ir zemas izmaksas. Tomēr ir arī savi trūkumi. Tam ir daudziem nepatīkams aromāts, tā iztvaikojumi ir kaitīgi augošiem augiem. Tāpat strādniekiem, kas strādā ar koksni, kas apstrādāta ar kreozotu, var būt pretenzijas, jo tas smērē apģērbus un tas ir kaitīgs tiešā saskarē ar ādu. Tomēr, ievērojot darba drošību, risks, strādājot ar apstrādātu koksni vai blakus tai, ir minimāls.



Eiropas Savienībā kreozots tiek klasificēts kā kancerogēna viela un tā pieeja ir ierobežota. Tas nav pieejams mājstaiimniecībām, bet gan tikai noteiktiem rūpnieciskam pielietojumiem, tai skaitā tiltu konstrukcijām, kurām iespējamaais kontakts ar cilvēkiem vai dzīvniekiem ir minimāls. To ir aizliegts izmantot konstrukcijām, kurām var būt regulārs kontakts ar cilvēkiem, piemēram, ietves segumam vai margām.

### **Pentahlorfenols (*Pentachlorophenol* jeb PHA)**

Šis aizsarglīdzeklis cietā veidā tiek izšķīdināts šķīdinātājā, kas darbojas kā vielas pārvietotājs. To plaši izmanto kā aizsarglīdzekli masīvai koksnei un līmētai koksnei stabiem, kā arī ēkām un tiltiem. Tāpat kā kreozotu – to nav ieteicams izmantot iekštelpās.

Apstrādāta virsma nav krāsojama, un to nevajadzētu pielietot konstrukcijām, kurām var būt saskarsme ar cilvēkiem vai dzīvniekiem. Pie priekšrocībām minams, ka PHA mazina mitruma iesūkšanos konstrukcijā, kā arī koksnes šķelšanos un vērpšanos.

Tāpat kā kreozots, PHA Eiropas Savienībā tiek definēts kā cilvēkiem un videi bīstama viela, tāpēc tā pielietojums un pieejamība ir ierobežota. To var izmantot tikai rūpnieciskam pielietojumam konstrukcijām, kuras atrodas ārpus telpām un kuru iespējamā saskare ar cilvēkiem vai dzīvniekiem ir minimāla. Ar PHA rūpnieciski apstrādātu koksni ir atļauts izmantot tilta konstrukcijām.

### **Vara naftenāts (*Copper Naphtenate* jeb CuN)**

CuN tiek iegūts naftas izcelsmes naftenāta skābēm, reaģējot ar vara sāļiem. Tam ir zema toksicitāte dzīvniekiem, tāpēc tas ir pieejams arī veikalos plašākai publikai. Apstrādātā koksne ir spilgti zaļā krāsā un ārējās vides ietekmē kļūst gaiši brūna. Tikko apstrādātai koksnei ir aromāts, kas ar laiku izgaist. CuN iegūst popularitāti koka konstrukcijām, jo pēc apstrādes virsma ir tīra un laika gaitā neveidojas izsvīdumi. Apstrādāto virsmu ir iespējams krāsot. Kā priekšrocības šim aizsarglīdzeklim var minēt, ka tas uzlabo izmēru stabilitāti, tam ir labas lietošanas īpašības, tas atstāj tīru virsmu, tas ir viegli pieejams un nodrošina labu ilgizturību, atstājot mazāku ietekmi uz vidi.

#### **7.2.3. Apstrādes ar ķīmiskajiem aizsarglīdzekļiem ietekme uz mehāniskajām īpašībām**

Kreozots un pentahlorfenols ir praktiski inerti koksnei, tāpēc tiem nav ķīmiska ietekme, kas varētu ietekmēt koksnes stiprību. Ķīmikālijas, kas tiek izmantotas ūdensbāzes aizsarglīdzekļiem, parasti reaģē ar koksni. Tas nozīmē, ka tās var potenciāli samazināt mehānisko stiprību un veicināt mehānisko stiprinājumu koroziju.

Ievērojams samazinājums var tikt novērots, ja žāvēšanas un apstrādes procesi netiek kontrolēti pieņemamajās robežās. Faktori, kas ietekmē apstrādes efektu mehāniskajām īpašībām, ir koka suga, kokmateriālu mitruma daudzums un izmēri, temperatūras un spiediens, ko pielieto žāvēšanas un apstrādes procesos. Lielākā ietekme ir sildīšanas un žāvēšanas procesiem.

#### 7.2.4. Koksnes termiskā apstrāde

Koksnes termiskā apstrāde izmaina tās īpašības. Apstrādātai koksnei ir uzlabota izmēru stabilitāte un ilgizturība. Vienlaikus pasliktinās koksnes mehāniskās īpašības – palielinās trauslums un daži stiprības rādītāji. Termiski apstrādāta koksne ir tumšāka un tai ir tieksme vieglāk plaisāt un šķelties.

Termiskās apstrādes rezultātā tiek izmainīta koksnes ķīmiskā uzbūve. Sildot tiek iztvaicēts ūdens un, ceļoties temperatūrai, šūnu sienīgas sāk degradēties. Uzlabotā koksnes stabilitāte un ilgizturība tiek panākta, zaudējot higroskopiskos hemicelulozes cukurus un tiem pārveidojoties ne tik higroskopiskos polimēros. Samazinātais cukuru daudzums nozīmē paaugstinātu izturību pret organiskiem organismiem.

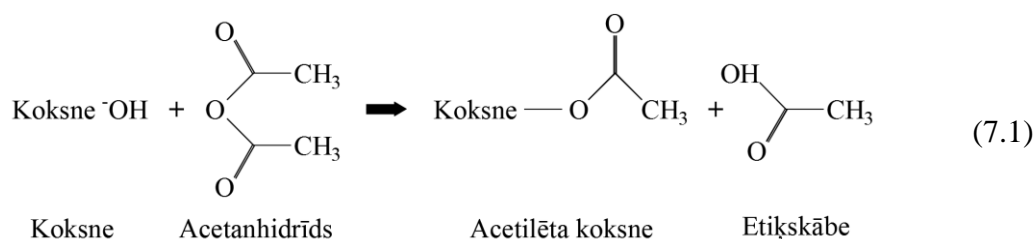
Koksne var tikt apstrādāta dažādos veidos: sildīšana ar mitrumu, sildīšana ar mitrumu, kam seko spiede, sausa koksnes sildīšana un sausa koksnes sildīšana, kam seko spiede. Izplatītāka ir sildīšana ar mitrumu. Pēc sildīšanas veicot spiedi, koksne saspiežas un paliek šādā saspīestā stāvoklī ar palielinātu cietību. Pēc koksnes samitrināšanās, tā atgriežas sākotnējos izmēros.

Termiski apstrādātas koksnes priekšrocība ir, ka tiek uzlabotas ilgizturības īpašības (noturība pret bioloģiskām iedarbēm) un stabilitāte nepievienojot ķīmikālijas. Tomēr šādu koksni nav ieteicams lietots konstrukcijām, kas saskaras ar grunti un tā kā pasliktinās mehāniskās īpašības, termiski apstrādātu koksni neiesaka izmantot nesošajām konstrukcijām.

#### 7.2.5. Ķīmiski modificēta koksne

Ķīmiskās koksnes modificēšanas pamatā ir ķīmiska reakcija starp koksni un reaģentu, kas izveido kovalento saiti. Apstrādē un impregnēšanā ar ķīmiskajiem aizsarglīdzekļiem šāda saite netiek izveidota. No koksnes ķīmiskās modificēšanas veidiem izplatītākais ir acetilēšana.

Neapstrādātai koksnei tajā esošais brīvais hidroksils piesaista un atbrīvo ūdeni atkarībā no apkārtējās vides apstākļiem. Šis ir galvenais koksnes uzbriešanas un rukuma iemesls. Acetilēšanas procesā, koksnei reaģējot ar acetanhidrīdu, šis brīvais hidroksils tiek pārveidots par acetila grupu (skat. formulu (7.1)). Rezultātā veidojas acetilēta koksne, kurai ir ievērojami samazināta spēja absorbēt ūdeni. Koksnes mehāniskās īpašības acetilēšana nemaina.



Acetilētas koksnes ir ievērojami stabilāka, jo netiek piesaistīts ūdens, kā arī tā ir ļoti ilgzsturīga, jo tā vairs nav derīga dažādiem bioloģiskiem organismiem (kukaiņiem un dažādiem mikroorganismiem). Tā atbilst augstākajai ilgzsturības klasei un ir videi draudzīgs produkts. To var mehāniski apstrādāt un pārklāt ar dažādiem pārklājumiem. Atšķirībā no impregnētiem ķīmiskajiem aizsarglīdzekļiem, acetilētu koksni var pārstrādāt.

## **8. PRASĪBAS NO LĪMĒTAS KOKSNES IZBŪVĒTU TILTU UZTURĒŠANAI**

### **8.1. Uzturēšanas prasības**

Koks ir viens no ilgizturīgākajiem tiltu materiāliem, ja konstrukcijas ir pienācīgi un detalizēti projektētas, kā arī tiek veikta regulāra tilta apkope un uzturēšana.

Tilta uzturēšanas mērķis ir veikt darbus, kas novērš nepieciešamību mainīt tilta elementus un veikt to labošanu, kā arī nodrošināt drošus apstākļus satiksmei.

Ikdienas uzturēšanas darbos ietilpst:

- Tilta klātnes tīrīšana. Plātnes sānu malu un margu tīrīšanu veic ne retāk, kā divas reizes gadā: maija 1. nedēļā un oktobra 1. nedēļā. Tīrīšana jāveic, izmantojot augsta spiediena tīra ūdens strūklu. Nenoskalotie netīrumi ir jāsavāc ar lāpstām un birstēm.
- Tilta balstu attīrīšana no netīrumiem.
- Skrūvju savienojumu pievilkšana, kur tas nepieciešams.
- Aizsargpārklājuma atjaunošana, kur tas nepieciešams (īpašu uzmanību pievēršot koka elementu galiem).
- Bojāto konstrukcijas elementu un aizsargkonstrukciju sīkais remonts (ieskaitot margu un barjeru remontu).
- Ja uzbēruma nogāzēs pirms laiduma konstrukcijas ir izveidojušies grunts erozijas bojājumi, tad tie ir nekavējotī jānovērš.
- Sanesumu tīrīšana no upes gultnes.

Papildus ikdienas uzturēšanas darbiem ik gadu ieteicams veikt aizsargājošu apkopi zonās, kas pakļautas augstam riskam (koksnes bojājumiem):

- atjaunot ķīmisko aizsardzību pieejamām virsmām;
- atjaunot koka elementu galu aizsardzību, kur nepieciešams;
- atjaunot šuves noteces un aizsargpārklājumu sistēmās;
- aizpildīt plaisas brauktuves segumam (asfaltbetona gadījumā).

Vispārīgi saspriegtā koka plātņu tiltiem nepieciešama neliela apkope, salīdzinot ar citu konstrukciju koka tiltiem.

## 8.2. Tilta inspekcijas

Tilta inspekciju vispārējais mērķis ir:

- noteikt iepriekš veikto uzturēšanas darbu efektivitāti;
- atzīmēt izmaiņas elementiem, kuriem iepriekš konstatētas problēmas;
- identificēt problēmu zonas, kur nepieciešams veikt uzturēšanas vai remontdarbus;
- identificēt problēmas, kas var attīstīties un nākotnē radīt uzturēšanas darbu nepieciešamību.

Katru gadu ieteicams veikt tilta ikgadējo vizuālo inspekciju. Vizuālā inspekcija ietver:

- visas pieejamās un atklātās tilta konstrukcijas, iekļaujot balstus;
- kustīgas slodzes ietekmes uz tiltu novērošanu;
- defektu un bojājumu identifikāciju;
- elementu nolietojuma identifikāciju;
- īpašās uzmanības pievēršanu iepriekš atzīmētām zonām ar problēmām.

Pārbaudot kustīgas slodzes ietekmi uz tilta konstrukciju, uzmanība jāpievērš:

- visiem elementiem un savienojumiem laiduma konstrukcijai un balstiem;
- kopējai deformācijai, kā arī lokālām kustībām zem riteņa slodzes;
- nesošo konstrukciju vertikālai izliecei;
- visām kustībām balstos.

Pastiprināta uzmanība jāpievērš:

- redzamām pārmērīgiem pārvietojumiem, salīdzinot ar vairumu pārējo elementu;
- nekonsekventai vai nevienmērīgai darbībai;
- pārvietojumiem savienojumos.

Papildus jāpārbauda arī visu apsekojamo aizsardzības līdzekļu darbība zonās, kas pakļautas augstam riskam (koksnes bojājumiem), lai nodrošinātu, ka tie darbojas. Šī pārbaude iekļauj:

- ķīmiskos aizsarglīdzekļus;
- koka elementu galu aizsardzību;
- noteces un aizsargpārklājumu sistēmas;
- brauktuves segumu.

Vienlaikus arī jāpārbauda konstrukcijas un elementi, kas var ietekmēt tilta ilgizturību, piemēram:

- noteces zonas;
- tilta šuves;
- ugunsdrošības apdraudējumus.

Vispārīgi saspriegti plātņu tilti ir stingi un darbojas kā konstruktīva plātne. Tāpēc, apsekojot saspriegto plātņu tiltus, uzmanība jāpievērš:

- pārmērīgām deformācijām no kustīgās slodzes (arī nekonsekventām, lokālām izliecēm);
- ūdens aizsprostiem vai bloķētai notecei no brauktuves seguma;
- spriegojošo elementu, enkuru (uzgriežņu) stāvoklim.

Saspriegtajām plātnēm ieteicams reizi gadā pārbaudīt spriegojošo elementu sasprieguma spēku.

## IZMANTOTĀ LITERATŪRA

- [1] C. Mettem, Timber Bridges, New York: Spon Press, 2011, p. 176.
- [2] A. Aghayere and J. Vigil, Structural wood design: a practice - oriented approach using the ASD method, Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons, Inc., 2007, p. 396.
- [3] Forest Products Laboratory, "Wood handbook - Wood as an engineering material," Forest Products Laboratory, Madison, 2010.
- [4] G. Freedman, C. Mettem, P. Larsen, S. Edwards, T. Reynolds and V. Enjily, "Timber Bridges and Foundations," Forestry Commission, 2002.
- [5] Delaware Department of Transportation, Bridge Design Manual, Dover, Delaware: Department of Transportation, 2005, p. 387.
- [6] *Latvijas standarts LVS EN 1991-1-1:2003 "Eiropas kodekss 1: Iedarbes uz konstrukcijām—1-1.daļa: Vispārīgās iedarbes – Ēku blīvums, pašsvars un lietderīgās slodzes".*
- [7] *Latvijas standarts LVS EN 1992-1-1:2005 "2. Eiropas kodekss: Betona konstrukciju projektēšana. 1-1. daļa: Vispārīgie noteikumi un noteikumi ēkām".*
- [8] *Latvijas standarts LVS EN 1993-1-1+AC:2006 "3. Eiropas kodekss. Tērauda konstrukciju projektēšana. 1-1. daļa: Vispārīgie noteikumi un noteikumi ēkām".*
- [9] *Latvijas standarts LVS EN 338:2010 "Konstrukciju kokmateriāli. Stiprības klases".*
- [10] Forest and Wood Products Research and Development Corporation, "Wood Products Victoria," 2004. [Online]. Available:  
[http://www.wpv.org.au/6star/docs/PN005\\_95\\_Environmental\\_Properties\\_of\\_Timber.pdf](http://www.wpv.org.au/6star/docs/PN005_95_Environmental_Properties_of_Timber.pdf).  
[Accessed 16 March 2014].
- [11] R. Bergman, M. Puettmann and A. Taylor, "Western Wood Preservers Institute," Center of Renewable Carbon, 2011. [Online]. Available:  
<http://www.wwpinstitute.org/documents/CIWPpub.pdf>. [Accessed 16 March 2014].
- [12] Tasmanian Timber, "Tasmanian Timber," 2010. [Online]. Available:  
[http://www.tastimber.tas.gov.au/Species/pdfs/Reduce\\_brief.pdf](http://www.tastimber.tas.gov.au/Species/pdfs/Reduce_brief.pdf). [Accessed 16 March 2014].
- [13] V. Barbier, J. Berthelley, D. Calvi, S. Jelden, J. Chazelas, P. Corfdir, J. Laplane and R. Leroy, Timber Bridges: How to Ensure Their Durability. Technical Guide., Paris: Sétra, 2006, p. 172.

- [14] M. Ritter, *Timber Bridges: Design, Construction, Inspection and Maintenance*, Washington, DC: United States Department of Agriculture, Forest Service, 1990, p. 944.
- [15] R. Krisciunas, "Two Structural Composite Lumber Bridges in Northwestern Ontario,," *Structural Engineering International*, vol. 10, no. 3, pp. 158-160, August 2000.
- [16] M. Ritter, J. Kainz and G. Porter, *Field Performance of Timber Bridges - 5. Little Salmon Creek Stress-Laminated Deck Bridge*, Madison: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory, 1996, p. 15.
- [17] Wilhelm Ernst & Sohn Verlag, "Wooden Bridge (Crest, 2001)," 29 July 2014. [Online]. Available: <http://structurae.net/structures/wooden-bridge>. [Accessed 19 October 2014].
- [18] Mairie de Crest, "Le pont de bois - Ville de Crest," [Online]. Available: <http://www.mairie-crest.fr/-Le-pont-de-bois-.html>. [Accessed 24 October 2014].
- [19] C. Cremona, P. Hallak, F. Barbosa, J. Lavigne, J.-M. Dourthe, P. Coutelier and O. Moretti, "Field dynamic performance of an exceptional timber bridge," [Online]. Available: <http://www.ufjf.br/lrm/files/2009/04/iabse2004.pdf>. [Accessed 26 October 2014].
- [20] F. Dubois, N. Sauvat and C. Petit, "Modeling of the Long Term Behavior of the Merle Timber Bridge," in *9th World Conference on Timber Engineering 2006*, Portland, 2006.
- [21] Schaffitzel+Miebach GmbH 2009, "SCHAFFITZEL + MIEBACH Projects Rigid frame bridge Benneckenstein," Schaffitzel+Miebach GmbH, [Online]. Available: <http://www.schaffitzel-miebach.com/english/projects/overview/rigid-frame-bridge-benneckenstein/3-rigid-frame-bridge-benneckenstein.html?Seite=&Total=>. [Accessed 19 October 2014].
- [22] Educational Materials of Designing and Testing of Timber Structures - TEMTIS, Handbook 1 - Timber Structures, 2008, p. 243.
- [23] Outdooractive, "Holzweltobjekt "Holzeuropabrücke, St. Georgen ob Murau",," [Online]. Available: <http://www.outdooractive.com/de/bruecke/murtal/holzweltobjekt-holzeuropabruecke-st-georgen-ob-murau/7879249/>. [Accessed 27 October 2014].
- [24] B. Stensvold, "The future for Timber Bridge," in *NVF conference on Timber Bridges*, Hamar, 2005.
- [25] E. J. Bjertnæs, "Flisa Bridge - bridge-info.org," [Online]. Available: <http://bridge-info.org/bridge/index.php?ID=63>. [Accessed 26 October 2014].



- [26] P. Ekeberg and K. Søyland, "Flisa Bridge, Norway—a record-breaking timber bridge," *Proceedings of the ICE - Bridge Engineering*, vol. 158, no. 1, pp. 1-7, 1 March 2005.
- [27] R. Abrahamsen, "Rena Bridge – The world's strongest timber bridge?," in *NVF conference on Timber Bridges*, Hamar, 2005.
- [28] E. J. Bjertnæs, "Kjøllesæter Bridge - bridge-info.org," [Online]. Available: <http://bridge-info.org/bridge/index.php?ID=50>. [Accessed 28 October 2014].
- [29] P. Fast and J. Stahl, "Pedestrian Bridge on the Black Sea," *Wood Design & Building magazine*, vol. 19, no. 61, pp. 21-24, 2013.
- [30] INGENIEURBÜRO-MIEBACH, "IB-MIEBACH::Projekte::Pylonbrücke Almere," [Online]. Available: [http://www.ib-miebach.de/cms/front\\_content.php?idart=371](http://www.ib-miebach.de/cms/front_content.php?idart=371). [Accessed 30 October 2014].
- [31] Transport and Road Research Laboratory Overseas Unit, Overseas Road Note 9: A Design Manual for Small Bridges, Crowthorne, Berkshire: Transport and Road Research Laboratory, 1992, p. 223.
- [32] *Latvijas standarts LVS EN 1991-2:2004 "1. Eirokodekss: Iedarbes uz konstrukcijām - 2. daļa: Satiksmes slodzes tiltiem"*.
- [33] A. Paeglītis, *Transportbūvju pamati un pamatnes*, Rīga: Rīgas Tehniskā universitāte, Transportbūvju institūts, 2008, p. 100.
- [34] *Latvijas standarts LVS EN 1997-1:2005 "7. Eirokodekss. Ģeotehniskā projektēšana. 1. daļa: Vispārīgie noteikumi"*.
- [35] *Latvijas standarts LVS EN 1995-1-1+AC+A1:2012 "5. Eirokodekss. Koka konstrukciju projektēšana. 1-1. daļa: Vispārīgi. Vispārīgie noteikumi un noteikumi būvēm"*.
- [36] *Latvijas standarta labojums LVS EN 1990:2003/A1:2006 "Eirokodekss. Konstrukciju projektēšanas pamatprincipi"*.
- [37] *Latvijas standarts LVS EN 1995-2:2009 "5. Eirokodekss. Koka konstrukciju projektēšana. 2. daļa: Tilti"*.
- [38] *Latvijas standarts LVS EN 14080:2013 "Koka konstrukcijas. Līmēti kokmateriāli. Prasības"*.
- [39] O. Kleppe, H. Kepp and T. Dyken, "Contribution to Structural Details on Timber Bridges," in *2nd International Conference of Timber Bridges*, Washington, DC, 2013.
- [40] T. Dyken, "The Norwegian Approach to Modern Timber Bridge Design," in *25th*

*International Baltic Road Conference*, Vilnius, 2003.

- [41] V. Barbier, "The Durability of Timber Bridges," in *IABSE symposium; Improving infrastructure worldwide*, Weimar, 2007.
- [42] M. Flach, "How to design timber bridges," in *International Conference Timber Bridges*, Trondheim, 2010.
- [43] APA - The Engineered Wood Association, Glulam Connection Details, Tacoma: APA - The Engineered Wood Association, 2007, p. 21.
- [44] Roads and Traffic Authority of NSW, Timber Bridge Manual, Sydney: Roads and Traffic Authority of NSW, 2008.
- [45] *Latvijas standarts LVS 190-5:2011 "Ceļu projektēšanas noteikumi. 5.daļa: Zemes klātne"*.
- [46] J. Lūsis, E. Slēde un J. Mengots, Autoceļi, Rīga: "Liesma", 1972, p. 376.
- [47] T. LaDoux, "Wood Preservative Solutions for Creative And Sustainable Bridge Design and Construction," in *International Conference on Timber Bridges*, Washington, DC, 2013.
- [48] J. Bigelow, S. Lebow, A. Clausen, L. Greimann and J. Wipf, "Preservation Treatment for Wood Bridge Application," *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, vol. 2108, no. Volume 2108 / 2009 Maintenance and Management of the Infrastructure, pp. 77-85, 2009.
- [49] R. Rowell, "Chemical Modification of Wood," in *Handbook of Wood Chemistry and Wood Composites*, R. Rowell, Ed., Boca Raton, CRC Press, 2012, p. 703.