



EESTI MAAÜLIKOOL

Metsandus- ja maaehitusinstituut

Ragnar Kapp

AUGUSTATUD PUITTALADE UURIMINE
INVESTIGATION OF TIMBER BEAMS WITH
HOLES

Ehitusinseneriõppe lõputöö

Maaehituse õppekava

Juhendaja: lektor Villu Leppik

Tartu 2015

| | | | |
|---|---------------|--|------------|
| Eesti Maaülikool Kreutzwaldi 1, Tartu 51014 | | Magistritöö lühikokkuvõte | |
| Autor: Ragnar Kapp | | Õppekava: Maaehitus | |
| Pealkiri: Augustatud puittalade uurimine | | | |
| Lehekülgi: 86 | Jooniseid: 70 | Tabeleid: 15 | Lisasid: 0 |
| Osakond: Uurimisvaldkond: Juhendaja(d): Kaitsmiskoht ja aasta: | | Metsandus- ja maaehituse Puitkonstruktsioonid Villu Leppik Tartu 2015 | |
| <p>Puittaladesse on vaja teha auke läbimõõduga 120mm kanalisatsiooni torude läbiviimiseks, kuid standardit, mis nii suurt auku lubaks, ei ole. Suurem osa sarnaseid uurimusi on läbi viidud liimpuittaladega.</p> <p>Töö eesmärk on uurida 120mm aukude puhul puittala läbipainde suurenemist sama koormuse juures, jääkpaindetugevust ning võimalikke tugevduslahendusi.</p> <p>Katsetamisel painutati tala nii augustamata kui ka augustatult läbipaindeni $L/300$, et määrata elastsusmooduli muutus. Katsetati ka oksakoha läheduse mõju paindetugevusele. Tugevdati oksakoha lähedal asuvat auku kolmel meetodil: kruvidega, kruvitud vineerplaadiga kui ka terasest ümbrisega. Mõõdeti elastsusmooduli muutus ning uuriti paindekandevõimet.</p> <p>Käesoleva lõputöö tulemusena saab öelda, et nii kruvitud vineerplaat kui ka terasest ümbris augu ümber suurendasid elastsusmoodulit võrreldes esialgse, augustamata talaga. Talad vastasid tugevdamise järel paindetugevuse poolest puidu tugevusklassile C24.</p> <p>Statistiliselt olulise tulemuse saamiseks tuleb töös kasutatud tugevdustega teha rohkem katseid.</p> | | | |
| Märksõnad: auk, läbipaine, elastsusmoodul, paindetugevus, tugevdamine, | | | |

| | | | |
|--|---------------------------------|------------------------------------|---------------|
| Estonian University of Life Sciences Kreutzwaldi 1, Tartu 51014 | | Abstract of Master's Thesis | |
| Author: Ragnar Kapp | | Specialty: Civil Engineering | |
| Title: Investigation of timber beams with holes | | | |
| Pages: 86 | Figures: 70 | Tables: 15 | Appendixes: 0 |
| Department: | Department of Rural Engineering | | |
| Field of research: | Timber Structures | | |
| Supervisors: | Villu Leppik | | |
| Place and date: | Tartu, 2015 | | |
| <p>There is a need to make holes as big as 120mm in to the beams for sewage pipes, but there is no standard that allows it. Most of the similar researches are made with gluelam beams.</p> <p>This Master's thesis studies growth of deflection with 120mm hole, the remained bending strength and possible methods of strengthening of timber beams.</p> <p>In the tests the beam was bended to L/300 without and with a hole, to determine modulus of elasticity. The influence of nearby knot to a bending strength was investigated. The hole nearby the knot was reinforced with three different methods: screws, screwed on plywood and with steel bracket. The modulus of elasticity and bending strength was measured.</p> <p>As a result of this Master's thesis it can be said that reinforcing beam with plywood and steel bracket the modulus of elasticity grewed greater than the beam without hole. The bending strength of all beams with reinforcement were greater than the wood strength class C24.</p> <p>To achieve the statistically important result, these same tests should be made with greater number of specimen.</p> | | | |
| Keywords: hole, deflection, modulus of elasticity, bending strength, reinforcement, | | | |

Sisukord

| | |
|--|----|
| SISSEJUHATUS | 6 |
| 1 KIRJANDUSE ÜLEVAADE | 8 |
| 1.1 Mõned juhendid talade augustamise kohta..... | 8 |
| 1.1.1 Rootsi liimpuidu käsiraamat | 8 |
| 1.1.2 AITC TECHNICAL NOTE 19 | 11 |
| 1.1.3 DIN 1052:2008-12 | 13 |
| 1.1.4 DIN 1052:2004-08 | 15 |
| 1.1.5 International Residential Code (IRC) R502.8 ja 802.7 | 16 |
| 1.1.6 International Building Code 2308.8.2..... | 16 |
| 1.1.7 LABC HERTFORDSHIRE Technical Guidance Note No.22 Notching Of Joists 17 | |
| 1.1.8 SINTEF 522.351 | 17 |
| 1.1.9 Juhendite kokkuvõte..... | 19 |
| 1.2 Varasemad uurimused | 20 |
| 1.2.1 Falk-i katsed ebatsuugaga | 20 |
| 1.2.2 Puidu tugevuse muutlikkus Isaksoi järgi | 21 |
| 1.2.3 Puidu tugevuse hindamine Johansoni järgi | 22 |
| 1.2.4 Paindekandevõime prognoosimine puittaladel kasutades FEM mudelit okste ja puidu kiudude suuna jaoks | 23 |
| 1.2.5 OSB-st seina ja puidust flantsidega augustatud I-talade käitumine nihkepinge korral 25 | |
| 1.2.6 Kandevõime hindamine kõrg I-talal..... | 27 |
| 1.3 Aukude tugevdamise meetodid | 30 |
| 1.3.1 Augud liimpuidus ja võimalikud tugevduse meetodid | 30 |
| 1.3.2 Spoonliimpuit (levinud nimi on ka kertopuu) tugevdusmeetodid | 33 |
| 1.3.3 IWS (Intelligent wood system) | 39 |
| 1.3.4 MiTek Lumberlock | 40 |
| 1.3.5 MetWood 2810HR tala tugevdus..... | 41 |
| 1.3.6 Branz appraisal nr.570 | 42 |
| 1.3.7 Tugevduste kokkuvõte | 43 |
| 2 MATERJAL JA METOODIKA | 44 |
| 2.1 Andmetöötlus programmid..... | 44 |
| 2.2 Ehitusinseneri eriala diplomitöö ülesanded ja eesmärk..... | 44 |
| 2.3 Teoreetiline osa | 45 |
| 2.4 Praktiline osa | 46 |
| 2.4.1 Talade katsetamine..... | 46 |
| 2.4.2 Talade katsetamine standardi EVS-EN 408:2010+A1 2012 järgi | 47 |
| 2.4.3 Maksimaalsete aukude arvudega katse | 49 |
| 2.4.4 Talade augustamine oksakohtade juures..... | 50 |
| 2.4.5 Tugevdamine kruvidega..... | 51 |
| 2.4.6 Tugevdamine vineerplaatide ja kruvidega | 52 |
| 2.4.7 Tugevdamine terasest ümbrisega | 53 |

| | | |
|-------|--|----|
| 3 | KATSETULEMUSED..... | 55 |
| 3.1 | Maksimaalsete aukude arvuga talad..... | 55 |
| 3.2 | Halvima võimaliku juhu katsetamine oksakohtade juures..... | 57 |
| 3.3 | Kruvidega tugevdamine..... | 60 |
| 3.4 | Talade tugevdamine kruvitud vineerplaatidega..... | 63 |
| 3.5 | Talad tugevdatud terasest ümbrisega..... | 65 |
| 4 | ANALÜÜS JA ARUTELU..... | 67 |
| 4.1 | Elastsusmooduli ja paindetugevuse leidmine..... | 67 |
| 4.2 | Maksimaalsete aukude arvuga talad..... | 68 |
| 4.2.1 | Halvima võimaliku juhu katsetamine oksakohtades..... | 71 |
| 4.2.2 | Tugevdamine kruvidega..... | 73 |
| 4.2.3 | Tugevdamine vineerist plaatidega..... | 76 |
| 4.2.4 | Tugevdamine metallist ümbrisega..... | 79 |
| | KOKKUVÕTE..... | 82 |
| | Kasutatud kirjandus..... | 84 |
| | SUMMARY..... | 86 |

SISSEJUHATUS

Uued ehitusmaterjalid vähendavad puidu osakaalu uusehitistes kuid päris maha kanda puitu ei saa. Suurem osa Eestis toodetavatest puitehitistest ja konstruktsioonidest läheb ekspordiks välismaale.

Puitu tasub kasutada ehitusmaterjalina, sest see on taastuvast maavarast, omab head massi ja tugevuse suhet ning on hea vastupanuvõimega tulele. Lisaks sellele saab puitu ka lihtsasti taaskasutada. Utiliseerimisel on puitu võimalik ära kasutada küttematerjalina, ehituses saab vanad talad ära kasutada nii toestamiseks kui ka konstruktsioonide osana.

Kasutades tänapäevased ehituslikke lahendusi, kus üritatakse materjali ja kasutat tühja ruumi võimalikult palju kokku hoida, on hakatud paigutama torustike läbiviike põrandataladesse ja vahelagedesse. Talad ei pruugi pärast augu tekitamist vastata enam normeeritud läbipaindele ja paindetugevusele.

Magistritöö valisin koos juhendaja Villu Leppiku ja Kodumaja AS arendusdirektori Elar Viltiga. Arendusdirektori ja Juhendaja huvi oli teada saada, mil määral suureneb läbipaine taladesse tehtavate aukude tõttu. Eelkõige huvitas just 120 mm aukude mõju läbipainde suurenemisele. Lisaks läbipaindele huvitas, kas oleks vajalik ja mõistlik augustamisest tingitud läbipainde suurenemist vähendada. Pärast läbipainde katseid kontrollitakse tala jääkpaindetugevust saamaks teada, kas tala vastab etteantud paindetugevusele.

Magistritöö eesmärgiks on katsetada augustatud puittala läbipainet ning võrrelda seda augustamata tala läbipaindega. Eelduseks on, et augustamine suurendab läbipainet. Kui eeldus leiab kinnitust ka katsetamise käigus, siis on järgmiseks sammuks katsetada erinevaid tehnilisi lahendeid läbipainde vähendamiseks. Esimeseks läbipainde vähendamise lahendiks oleksid isepuuvivad kruvid, teiseks vineerplaat koos kruvidega ning kolmandaks metallümbris koos kruvidega. Teiseks eelduseks on, et paindekandevõime vastab pärast augustamist normidele

lähtuvalt SINTEF 522.351 juhendist, kus lubatakse aukude omavaheliseks kauguseks kahe tala kõrguse suurst vahemaad.

Katsetame seetõttu, et AS Kodumaja tootmisliinis tehakse auke läbimõõduga 120mm taladesse, mille kõrgus on 245mm. Ühtki normi, mis lubaks selliseid auke, ei ole. Seetõttu on oluline teada saada, kas talad vastavad pärast augustamist kande- ja kasutuspiirseisundile.

Suur tänu lõputöö kaasaitamisel Elar Vilt-ile AS Kodumaja arendusdirektorile ja AS Kodumajale eraldatud materjali eest, Martti - Jaan Miljanile maaülikooli laboris aparaatide kasutamise instrueerimise eest, Villu Leppikule tema poolt juhendamisele pühendatud aja eest lõputööga seotud probleemidega tegelemisel.

1 KIRJANDUSE ÜLEVAADE

1.1 Mõned juhendid talade augustamise kohta

Suurem osa juhendeid on mõeldud liimpuittaladele. Antud juhul tuuakse töös ära Rootsi liimpuidu käsiraamatu juhendi, Ameerika Ühendriikide AITC juhendi, Saksamaa ehitusstandardi DIN lähenemise auguga tala arvutamiseks, Skandinaavia suurima iseseisva uurimisasutuse SINTEF 522.351 juhendi, LABC HERTFORDSHIRE Technical Guidance Note No.22 Notching Of Joists tehnilise juhendi, International Building Code 2308.8.2 , International Residential Code R502.8 ja 802.7 .

1.1.1 Rootsi liimpuidu käsiraamat

Rootsi liimpuidu käsiraamat (Limträ handbok) ei ole Rootsi norm, kuid annab juhiseid kasutamaks liimpuitu. Ära on toodud põhilised piirid, millest üle astumine võib tuua avarii olukorra. Augustamist tuleks vältida kui võimalik. Olukordades, kus seda teha pole võimalik ning vajalik siiski augustamine, tuleks auk teha kõrguse suhtes tala keskele. Augu asukoha liigutamine tala kõrgusest 10% üles- või allapoole on lubatud. Auk ei või ületada poolt tala kõrgusest. Augu pikkus ei või olla üle kolme tala kõrguse. Augu servade raadius peab olema suurem kui 25mm kandiliste aukude korral, et vältida pragude teket augu servades tala niiskuse muutuste tõttu. Paindetugevuse näitajad vähenevad 25% kui ülemises või alumises osas on vähem kui neli lamelli kokku liimitud. Rohkema kui ühe augu puhul peab aukude vahekaugus teineteisest servast servani olema suurem kui tala kõrgus . [1]

Augustatud tala kontroll meetodiga 1

Empiirilise meetodiga käsitletakse eraldi nii paindemomendi mõju kui põikjõu mõju. Nihkepinged ei tohi ületada vähendatud nihketugevust $\tau \leq f_{v,red}$. Kontroll augu peal oleva ja augu all oleva osa kohta tehakse eraldi. Nihketugevust τ vähendatakse kujuteguriga k_{hole} , ning laiust teguri k_{vol} -iga.

Nihkepinge valem on ülemise osa korral

$$\tau = \frac{1,5 \cdot V_u}{T \cdot h_u}, \quad (1.1)$$

kus u - ülemise osa tunnus (*upper*),

V_u - põikjõud,

T - tala laius,

h_u - augu peale jääv talaosa kõrgus.

Alumise osa korral on valem sarnane

$$\tau = \frac{1,5 \cdot V_l}{T \cdot h_l}, \quad (1.2)$$

kus l - alumise osa tunnus (*lower*).

V_l - põikjõud,

T - tala laius,

h_l - talaosa kõrgus augu all.

Redutseeritud nihketugevus on avaldatav valemist

$$f_{v,red} = k_{vol} \cdot k_{hole} \cdot f_{v,d}, \quad (1.3)$$

kus k_{hole} - kujutegur,

k_{vol} - laiusest sõlvuv vähendustegur,

$f_{v,d}$ - arvutuslik nihketugevus.

$$k_{vol} = \left(\frac{90}{T}\right)^{0,2}, \quad (1.4)$$

kus T - tala laius, mis peab jääma vahemikku $90 \leq T \leq 215$ mm.

Väiksemaid kui 90mm laiusega talasid ei ole käsitletud. [1]

$$k_{hole} = \begin{cases} 1 - 555 \left(\frac{D}{H}\right)^3 & \text{juhul kui } D/H \leq 0,1 \\ \frac{1,62}{(1,8 + \frac{D}{H})^2} & \text{juhul kui } \frac{D}{H} > 0,1 \end{cases}, \quad (1.5)$$

$$D = \begin{cases} \sqrt{a^2 + b^2} & \text{juhul kui tegu on kandilise auguga} \\ \emptyset & \text{juhul kui tegu on ümmarguse auguga} \end{cases}. \quad (1.6)$$

[1]

Augustatud tala kontroll meetodiga 2

Kontrollitakse nagu tala, mille otsas on sisselõige. Sisselõikel tekkivate pingete jaotus on sarnane sellele, mis tekib augu ümber. Kontrollida tuleb samuti, nagu empiirilise meetodi puhulgi, eraldi augu alla ja peale jäävat osa. Alumise ja ülemise osa määrab tekkiva põikjõu suund. Kui auk tehakse tala keskele, on ülemise ja alumise põikjõu väärtused võrdsed. Eelduseks on, et auk on tala otsapiirkonnas, kus domineerivateks jõududeks on põikjõud ning paindemomendi mõju jäetakse käsitlemata. Eurokoodeks 5-es on käsitletud toel sisselõikega tala, mis on antud arvutusmeetodi analoogia.

Nihkepinge valem on ülemise osa korral

$$\tau = \frac{1,5 \cdot V_u}{T \cdot h_u}, \quad (1.7)$$

kus ala indeks u - ülemise osa tunnus (*upper*).

Alumise osa korral on valem

$$\tau = \frac{1,5 \cdot V_l}{T \cdot h_l}, \quad (1.8)$$

kus alaindeks l - alumise osa tunnus (*lower*).

Tala redutseeritud nihketugevus ülemise osa jaoks leitakse valemiga

$$f_{v,red} = k_{v,u} \cdot f_{v,d}, \quad (1.9)$$

alumise osa jaoks

$$f_{v,red} = k_{v,l} \cdot f_{v,d}, \quad (1.10)$$

kus $k_{v,u}$ ja $k_{v,l}$ on vastavalt ülemise osa ja alumise osa vähendustegurid ning $f_{v,d}$ on arvutuslik nihketugevus. Augu alla jääva osa puhul on vähendustegur $k_{v,l} = 1,0$, augu kohale jääv osa on avaldatav valemist, kus tingimuseks on, et auk paikneb tala keskel $h = T/2$. [1]

$$k_{v,u} = \min \left\{ \frac{1,0}{6,5 \left(1 + \frac{1,1 \cdot j^{1,5}}{\sqrt{h}} \right)}, \frac{\sqrt{h} \left(\sqrt{\alpha - \alpha^2} + 0,8 \cdot \frac{e}{h} \cdot \sqrt{\frac{1}{\alpha} - \alpha^2} \right)}{\sqrt{h} \left(\sqrt{\alpha - \alpha^2} + 0,8 \cdot \frac{e}{h} \cdot \sqrt{\frac{1}{\alpha} - \alpha^2} \right)} \right\}, \quad (1.11)$$

$$\alpha = \frac{h_u}{h}, \quad (1.12)$$

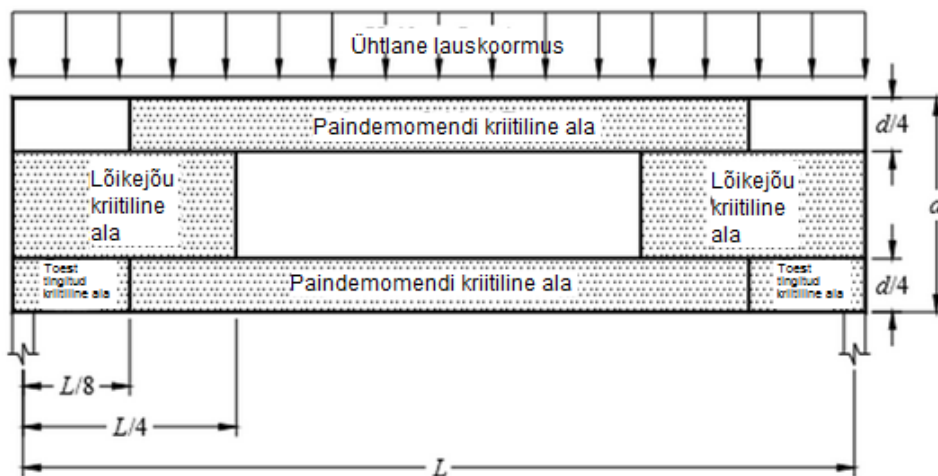
$$j = \begin{cases} 0 & \text{neljakandilise augu jaoks} \\ 1 & \text{ümmarguse augu jaoks} \end{cases}, \quad (1.13)$$

$$e = \begin{cases} \frac{\alpha}{2} & \text{neljakandilise augu jaoks} \\ 0 & \text{ümmarguse augu jaoks} \end{cases}. \quad (1.14)$$

[1]

1.1.2 AITC TECHNICAL NOTE 19

Antud juhend on pärit Ameerikast, ning kasutatakse liimpuittalade puhul. Juhendi on välja andnud *American Institute of Timber Construction*. Tegemist on juhendiga, mille järgi saab hinnata aukusid ja sisselõikeid liimpuittaladel.



Joonis 1.1 Kriitilised alad ühtlasel lauskoormisel lihttala puhul.[2]

Augud on lubatud teha ühtlaselt koormatud lihttala mitte kriitilistesse piirkondadesse (joonis 1.1) järgmisi nõudeid järgides:

1. Augud peavad olema minimaalselt 4 augu diameetrit ülemisest ja alumisest servast ja 8 augu diameetrit tala otsast. Kaugus arvestatakse augu lähimast servast.
2. Augu suurus peab olema väiksem kui 38,1mm või augu diameeter väiksem kui 1/10 tala kõrgusest.
3. Maksimaalne aukude esinemine ei tohiks ületada üht auku 1,52m peale (Ei kehti omavahelisele kaugusele).
4. Aukude vaheline kaugus peab olema suurima külgneva augu 8 diameetrit ning kaugus mõõdetakse aukude servadest.

Aukudele, mis on antud nõuetest suuremad või asuvad kriitilistes tsoonides, tuleb teha eraldi tugevuskontroll. Augustatud talal tuleb kontrollida paindekandevõimet, nihkekandevõimet ja pingekontsentratsioone. Nõuded augustamisel on järgmised:

1. Vältida punktkoormuste sattumist augu kohale.
2. Augud peaksid olema geomeetriselt kas ümmargused või kandilised ümardatud nurkadega, mille raadius on suurem kui 25,4mm.

3. Kaugus tala otsa toetuspunktist kuni augu lähima servani peab olema suurem või võrdne poole tala kõrgusega.
4. Kaugus tala otsast augu lähima servani peab olema võrdne või suurem tala kõrgusega.
5. Neljakandiliste aukude nurkade raadius peab olema suurem või võrdne 25,4mm-ga.
6. Augu kõrgus peab olema võrdne või väiksem kui pool tala kõrgusest, kuid väiksem kui 355,6mm.
7. Nii augu alla kui augu peale peab jääma materjali vähemalt 0,15 tala kõrgust.
8. Mitme augu korral peavad augud olema omavahel eraldatud kaugusega lähimatest nurkadest suurima suurusega järgnevatest (1) 305mm (2) tala kõrguse jagu (3) neljakordne augu läbimõõt või kandilise augu puhul neljakordse diagonaali võrra.

Pingekontsentratsioonide arvutuse aluseks on Weibulli meetod ehk nõrgima lüli meetod. [2]

1.1.3 DIN 1052:2008-12

Tegemist on Saksamaa standardiga, mis käsitleb saepuidu tugevust.

Auguks defineeritakse ava, mille läbimõõt on suurem või võrdne 50mm. Et auk vastaks normile, tuleb täita järgmised tingimused:

1. Augu lähimast servast tala otsani peab olema vahe suurem või võrdne tala kõrgusega.
2. Mitme augu korral peab aukude vaheline kaugus olema 1,5 tala kõrgust või vähemalt 300mm.
3. Augu lähimast servast toe keskpunktini peab olema vähemalt pool tala kõrgusest.
4. August alla ja ülesse poole jääva puidu osakaal peab olema vähemalt 0,35 tala kõrgust.
5. Nelinurkse augu korral peab augu pikkus olema väiksem kui 0,4 tala kõrgust, ümmarguse augu korral peab augu diameeter olema väiksem kui 0,4 tala kõrgust.
6. Augu kõrgus h_d peab olema väiksem või võrdne 0,15 tala kõrgusest.

Ülaltoodud tingimuste täitmisel ei vaja tala tugevdamist.

Auguga tala kandevõime tagamiseks peab olema täidetud järgnev tingimus:

$$\frac{F_{t,90,d}}{0,5 \cdot l_{t,90} \cdot b \cdot k_{t,90} \cdot f_{t,90,d}} \leq 1, \quad (1.15)$$

kus: $F_{t,90,d}$ - resultant jõud,

$l_{t,90}$ - ristikiudu tõmbepinge tekkiva pinge kolmnurga eeldatav pikkus,

b - tala laius,

$k_{t,90}$ - arvutustegur,

$f_{t,90,d}$ - puidu arvutuslik tõmbetugevus ristikiudu.

Pingekolmnurga pikkus ümmarguse augu puhul leitakse valemiga

$$l_{t,90} = 0,353h_d + 0,5h. \quad (1.16)$$

Nelinurkse augu korral

$$l_{t,90} = 0,5(h_d + h). \quad (1.17)$$

Teguri $k_{t,90}$ väärtus saadakse võrrandist

$$k_{t,90} = \min \left\{ \frac{1}{(450/h)^{0,5}}, \right. \quad (1.18)$$

kus tala kõrgus h võetakse millimeetrites.

Tegur $k_{t,90}$ suurendab pingeid juhul kui tala kõrgus on suurem kui 450mm.

Resultant jõud ($F_{t,90,d}$) koosneb kahest osast, mis omavahel liidetakse. Lõikejõudu arvestav osa ($F_{t,v,d}$) ja paindemomenti arvestav osa ($F_{t,m,d}$).

$$F_{t,90,d} = F_{t,v,d} + F_{t,m,d}. \quad (1.19)$$

Lõikejõudu arvestav osa on

$$F_{t,v,d} = \frac{V_d \cdot h_d}{4 \cdot h} \left(3 - \frac{h_d^2}{h^2} \right), \quad (1.20)$$

kus V_d - lõikejõud auguga ristlõikes,

h_r - tegur, mis arvestab augu paiknemist tala kõrguse suhtes,

h - tala kõrgus.

Paindemomenti arvestav osa on

$$F_{t,m,d} = 0,008 \cdot \frac{M_d}{h_r},$$

(1.21)

kus M_d - paindemoment auguga ristlõikes.

h_r on ümmarguse augu puhul leitav valemist

$$h_r = \min \begin{cases} h_{ro} + 0,15d \\ h_{ru} + 0,15d \end{cases}, \quad (1.22)$$

nelinurkse augu puhul

$$h_r = \begin{cases} h_{ro} \\ h_{ru} \end{cases}, \quad (1.23)$$

kus h_{ro} - augu kohale jääv puidu osa kõrgus,

h_{ru} - augu alla jääv puidu osa kõrgus.

Valemis

$$F_{t,v,d} = \frac{V_d \cdot h_d}{4 \cdot h} \left(3 - \frac{h_d^2}{h^2} \right), \quad (1.24)$$

võib h_d asendada $0,7d$ -ga. [3]

1.1.4 DIN 1052:2004-08

Tegemist on vana saksa normdokumendiga, mis kehtis enne DIN 1052:2008-12 kasutusele võttu.

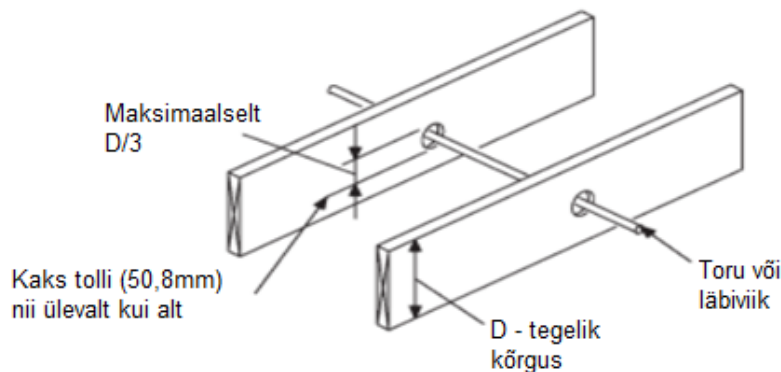
1. Kaugus tala otsast augu servani peab olema suurem või võrdne tala kõrgusega h , kuid mitte alla 300mm.
2. Kaugus augu servast toeni peab olema suurem või võrdne $h/2$ -ga.
3. August üles- ja allapoole jääva puiduosa kõrgus peab olema vähemalt 0,25 kõrgust.
4. Ristküliku kujulise augu küljepikkus või ümmarguse augu läbimõõt peab olema väiksem või võrdne tala kõrgusega.
5. Augu kõrgus h_d peab olema väiksem kui 0,4 tala kõrgust.

[4]

1.1.5 International Residential Code (IRC) R502.8 ja 802.7

International Residential Code on kasutusel Ameerika Ühendriikides. Selle on välja töötanud organisatsioon nimega *International Code Council*, mis tegelebki juhendite ja normide väljatöötamisega ühendriikides.

1. Lubatud on augud kuni $1/3$ tala kõrgusest
2. Augu peale ja alla peab jääma puitu $1/3$ tala kõrgusest, kuid mitte vähem kui 50,8mm
3. Auk peab olema sisselõigetest ja teistest aukudest vähemalt 50,8mm kaugusel.
4. Kaugust tala otstest ei ole täpsustatud (joonis 2) [5]



Joonis 1.2. Joonis tala augustamiseks IRC järgi.[5]

1.1.6 International Building Code 2308.8.2

International Building Code on samuti kasutusel Ameerika Ühendriikides. Sellegi on välja töötanud organisatsioon nimega *International Code Council*.

Selle kohaselt:

1. Tala laius ei tohi olla väiksem kui 50,8mm kogu tala ulatuses
2. Sisselõiked otstes ei tohi ületada $1/4$ tala kõrgusest
3. Auk võib olla kuni $1/3$ tala kõrgusest
4. Augu alla ja peale peab jääma vähemalt 50,8mm materjali
5. Sisselõikeid ei tohi teha tala keskmisesse kolmandikku

[6]

1.1.7 LABC HERTFORDSHIRE Technical Guidance Note No.22 Notching Of Joists

Antud juhendit kasutatakse Inglismaal. Selle on välja töötanud organisatsioon nimega: *Local Area Building Control*.

Turvaline ala augu puurimiseks on 0,25 x puhas sille kuni 0,4 x puhta silde vahel. Augu suurus võib olla kuni 0,25 tala kõrgust. Maksimaalne lubatud auk on 65mm. Aukude omavaheline kaugus peab olema suurima augu 3 diameetrit. Sisselõigetest peab auk olema vähemalt 100mm kaugusel.

Seega 3,9 meetrise tala puhul mõõtmatega 45mm x 245mm, on lubatud puurimise koht $0,25 \cdot 3900\text{mm} = 975\text{mm}$ ja $0,4 \cdot 3900\text{mm} = 1560\text{mm}$ vahel.

Lubatud augu diameeter on $0,25 \cdot 245 = 61,3\text{mm}$ [7]

1.1.8 SINTEF 522.351

SINTEF on skandinaavia suurim iseseisev teadusasutus. Nende uurimuse põhjal on välja tulnud juhend massiivpuidu, liimpuidu, komposiitmaterjalide ja I-talade augustamise kohta. Juhendi number on 522.351. Selle juhendi järgi on puidu augustamisel järgnevad reeglid:

Ümmarguse augu puhul

1. Augu läbimõõt ei või olla üle poole tala kõrgusest.
2. Augu tsenter peab asuma tala keskel.
3. Toe lähim serv augule ja augu tsentri kaugus peab olema vähemalt kaks tala kõrgust.
4. Kahe augu vaheline kaugus peab olema vähemalt kaks tala kõrgust tsentrist- tsentrisse mõõdetuna.
5. Kui auk on väiksem või võrdne kui 20mm, siis võib auk olla 50 mm tala ülemisest või alumisest servast eemal tsentrist mõõdetuna.
6. Kahe 20mm või väiksema augu vahe võib olla 60mm tsentrist-tsentrisse
7. 20mm või väiksema augu kaugus üle 20mm suurusest august peab olema tala kõrguse kaugusel mõõdetuna tsentrist tsentrisse .

[8]

Kandiliste aukude puhul

1. Augu kõrgus võib olla $\leq 0,5$ kõrgusest.
2. Augu laius võib olla kuni kõrguse pikkune.
3. Augu serva kaugus toetuspinna lähimast punktist peab olema vähemalt 4 kõrgust.
4. Kahe augu omavaheline kaugus lähimast servast serva peab olema suurem või võrdne kahe kõrgusega.
5. Nelinurkse augu nurkade raadius peab olema suurem või võrdne 25mm-ga.
6. Puit peab vastama standardile NS3420-1.
7. Vastavusarvutusi ei ole.

[8]

1.1.9 Juhendite kokkuvõte

Tabel 1.1 Juhendites lubatud avade ja kauguste tabel.

| Juhend | Lubatav auk | Lubatav 245mm korral | Lubatav augu asukoht | Kaugus teisest august |
|-----------------|------------------------|----------------------|---------------------------------------|----------------------------------|
| Limträ handbook | 0,5h | 122,5mm | Tala keskel(+/-10%) | puhasvahe 1h |
| AITC | 0,5h väiksem kui 356mm | 122,5mm | Ülevall/alt servast 0,15h | 4 x augu diameeter, 305mm, või h |
| DIN | 0,15h | 50mm | Ülevall ja alt servast vähemalt 0,35h | 1,5h, kuid vähemalt 300mm |
| DIN vanem | 0,4h | 98mm | Ülevall ja alt servast vähemalt 0,25h | h, kuid vähemalt 300mm |
| SINTEF | 0,5h | 122,5mm | Tala keskel | Tsentrist tsentrisse 2h |
| IBC | 1/3h | 82mm | 2 tolli ülevall ja alt servast | - |
| IRC | 1/3h | 82mm | 1/3h, kuid mitte vähem kui 2 tolli | Vähemalt 2 tolli |

1.2 Varasemad uurimused

Augustamist ja aukude tugevdamist on ka varem uuritud kuid suurem osa neist on liimpuit talade kohta.

1.2.1 Falk-i katsed ebatsuugaga

Falk katsetas ebatsuugade kandevõimet augustamise puhul. Katsetes tehtud avade suurused olid 25,4mm ja 44mm. Talad olid nominaal kõrgusega 8 tolli ehk 203,2mm (tegelik 191mm) ja nominaal laiusel 4tollil ehk 101,6mm (tegelik 89mm). Augud olid puuritud silde keskele. Talad jaotati 7 erineva grupi vahel nii, et elastsusmoodulid oleks võimalikult sarnased. Igasse gruppi sai katsekehasid kokku 22. Grupid olid A,B,C,D,E,H,I ning augustamine on ära toodud tabelis 1.2. [9]

Tabel 1.2 aukude suurused ja asukohad gruppide kaupa [9].

| Grupp | Augu suurus | Augu asukoht |
|-------|-------------|---|
| A | 25,4mm | Ülevast servast 25,4mm |
| B | 25,4mm | Alt servast 25,4mm |
| C | 0mm | Augud puudusid |
| D | 25,4mm | Alt servast 6mm |
| E | 25,4mm | Ala servas poolringi suurune sisselõige |
| H | 44mm | Ülevast servast 25,4mm |
| I | 44mm | Alt servast 25,4mm |

Koormamised teostati 440kN koormamisvõimega universaalse katsemasinaga. Koormamine teostati sümmetriliselt kahest punktist. Katsekehadele määrati kõigile eraldi purustav koormus ning purunemise viis.

Kui auk oli ülemise serva juures nagu gruppide A ja H puhul, siis enamjaolt toimus ülemise serva läbi nõtkumine, millele järgnes tala alumise osa ehk tõmbetsooni purunemine. Grupi B, D ja I puhul, kus auk oli tala alumises osas ehk tõmbetsoonis, hakkas purunemine suuremal juhtudel ikkagi augu juurest.

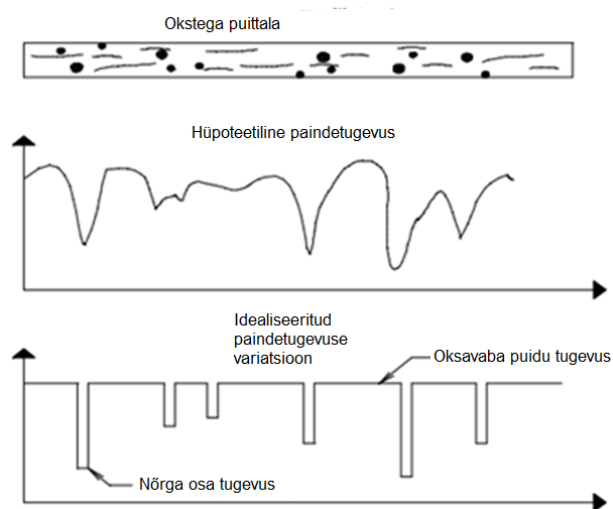
Grupi E ehk poolringi suuruse sisselõike korral tala alumisse serva purunes ainult 32% taladest tehtud sisselõike juurest.

Suurimaks nõrgestuseks sai 6mm alumisest servast olev 25,4mm auk. Seega on kõige halvem nõrgestuseks ikkagi tala alumine osa ehk tõmbetsoon. Välja toodi, et augu asukoht mõjutab

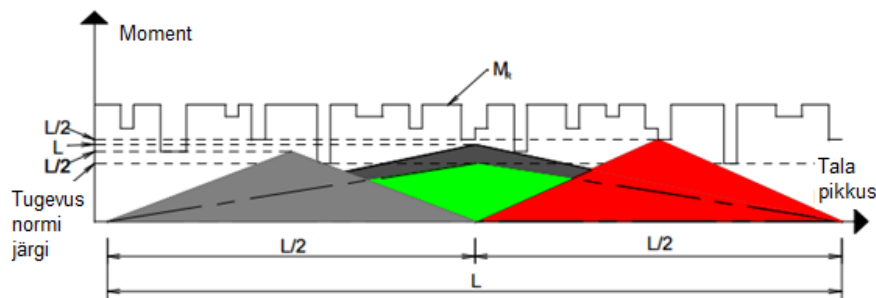
tala tugevust rohkem kui tehtav augu suurus. Kõik augustatud talad olid kontrollgrupist C nõrgemad. [9]

1.2.2 Puidu tugevuse muutlikkus Isaksoi järgi

Ehitusliku puitmaterjali tugevusomadused varieeruvad nii materjali enda sees kui samast puust erinevate tükkide vahel. Üks võimalus väljendada erinevuse fenomeni ja selle mõju näiteks puittala tugevusele on toodud joonisel 1.3. Eeldatakse, et tala koosneb erinevatest nõrkadest tsoonidest, mis on ühendatud tugevamate osadega ning koormamisel toimub purunemine põhiliselt nendes nõrkades tsoonides. Nõrgad tsoonid on vastavuses oksakohtadega või oksakohtade grupiga, mis asuvad talal juhuslikus kohas. Puittala pikkus mõjutab nähtavalt tala tugevust, sest mida pikem on tala, seda suurem on võimalus nõrkade tsoonide tekkimiseks. Tala tugevus sõltub ka momendi jaotumisest talal. Näiteks punktkoormusega koormatud tala keskel on tugevus suurem kui samal talal, mis on koormatud sama suure jõuga jaotunud ühtlase lauskoormisega. Joonisel 1.4 on näide, kuidas tala pikkus ning koormuse asukoht mõjutavad tala kandevõimet. Tugevus, mis on antud mõnede juhiste/normidega, vastab tugevusele kõige nõrgemas osas. [10]



Joonis 1.3 Tala mudeldatud tugevus.[10]



Joonis 1.4 Näide paindetugevuse ja maksimaalse paindemomendi varieerumisest tala ulatuses ning erinevatel tala osadel. [10]

Struktuuri erinevuse tõttu varieeruvad materjali tugevus omadused erinevates suundades koormates, näiteks pikikiudu ja ristikiudu. Puit on seetõttu väga anisotroopne materjal. Ristikiudu olevad aastarõngad on tähtsad määramaks tugevust. Suuremad aastarõngad tähendavad väiksemat tihedust ja seega ka väiksemat tugevust. Aastarõngaid on kahte liiki: sügispuut ja kevadpuut. Kevadpuudu aastaring tekib kevade jooksul ja varasuvel, ja sügispuut areneb suve jooksul. Esimese 15-20 aasta jooksul puudu elust on puut kategoriseeritud kui noorpuut, mis on madalama tiheduse ja jäikusega. Puudu tugevus on seotud põhiliselt puudu defektide esinemisega nagu oksad, ränipuit ja puu kiudude kõrvale kalle. Oksakoht on haru, mis kinnitub puu tüve külge ja on kahtlemata põhiliseks mõjukaks defektiks. Niikaua kuni haru kasvab, on oks "tihe", kui haru sureb, kutsutakse oksakohta kaetud oksaks. Okaspuude korral esinevad harud väiksema või suurema regulaarse intervalliga tekitades oksa kobara. Oks tekitab puu kiududes suunamuutust ning kiudude vahelisi pingeid ja seetõttu väheneb ka tala tugevus. [10]

1.2.3 Puudu tugevuse hindamine Johanssoni järgi

Puudu paremaks ja optimaalsemaks kasutamiseks on mõistlik puutu sorteerida. Puut talade hindamiseks kasutatakse peamiselt kahte meetodit:

1. Visuaalne sorteerimine, kus hinnatakse välimuse järgi puudu defekte ning nende jäämist teatud piiridesse vastavalt asjakohastele hindamisjuhenditele.
2. Tugevuse määramine masinaga, mis mõõdab mitte-purustaval meetodil ühte või mitut parameetrit.

Vastavalt mõõtmistulemustele ennustatakse tala tugevus ja jäikus. Kõigil mehaanilistel hindamismeetoditel on ühine puudus võrreldes visuaalse hindamisega. Nimelt saab arvesse võtta vaid määratavaid omadusi ning kasutada ainult väheseid määramise kombinatsioone korraga. Tähtsaid tugevusmääramise karakteristikuid nagu tihedust ei saa rahuldavalt määrata. Idee kasutamaks mittepurustavat mõõtmist tugevuse teada saamiseks ning põhiliseks määramiseks tuli USA-st ja Austraaliast 1950 lõpus. Põhiliseks eesmärgis oli parandada tugevuse määramise protsessi täpsust, et puitu paremini ära kasutada. Puidu parameetrite määramisel ei ole tähtis ainult tugevusomadused. Et puitu saaks kasutada konstruktsioonis, tuleb piiritleda ja kontrollida ka puidu läbipainet. Tihedus on samuti oluline tugevuse määramisel. Puit sisaldab tavaliselt erinevaid defekte nagu oksad, ränipuit, ristkiulisus, mädanik, korbataskud, vaigupesad ja nii edasi. Oksakohtasid tuleb vaadelda kui väga tõsist defekti, sest need vähendavad tugevust ning esinevad suurenumbriliselt puidus. Põhiline määramisviis on ühe või mitme parameetri mõõtmine, mis on tugevusomadustega seotud. Hindamissüsteemi võimekus sõltub sellest kui täpselt antud parameetrid suudavad määrata puidu tugevust ning kui täpselt parameetrit on võimalik mõõta. Determinatsioonikordajat R^2 kasutatakse, et hinnata kui suur on seos kirjeldava parameetri ja tugevuse vahel. [11]

1.2.4 Paindekandevõime prognoosimine puittaladel kasutades FEM mudelit okste ja puidu kiudude suuna jaoks

Tala kandevõimet üritas prognoosida Vanesa Baño, luues arvutisse oksakohtadega talade FEM mudelid programmiga ANSYS platvormiga Plane 42, mis võtab arvesse 2D mudelina materjali mõõtmed ning liited, ning suudab simuleerida ka kiudude tugevust.

FEM mudelitest saadud maksimaalseid koormusi taladele võrreldi katsetel saadud tulemustega.

Oksakoha mõju hindamiseks kasutati kolme erinevat mudelit.

1. Oksakoht kui auk.
2. Oksakoht kui seotud puidu kiududega ning kiud on jätkuvad.
3. Kiud osaliselt seotud oksakohaga.

Katsekehasid oli 10, millest 7 purunes oksakoha mõju tõttu. Katsekehad olid männist mõõtmetega 45mm x 145mm x 3000mm.

Tabelis 1.3 on esitletud 7 tala tulemused, mis purunesid oksakoha tõttu. Seal on ära toodud ka kolme erineva meetodi täpsus tugevuse hindamisel. Lisaks on seal toodud kolm tala (2, 9 ja 10) tugevused, mis ei purunenud oksakoha mõju tõttu. Esimese mudeli puhul, kus oksa käsitleti kui auku ning ümber selle kiud suunamuutusega, oli parim meetod hindamaks maksimaalset tala tugevust. Maksimaalsed väärtused, mis olid saadud FEM mudeliga, olid väga sarnased eksperimentaalsetele tulemustele. Veaks oli vaid 9,7%, determinatsioonikordajaga $R^2=0,88$. Teised kaks mudelit ei olnud nii täpsed, saades maksimaalseteks vigadeks vastavalt 67,5% ja 15,3% Ebatäpseks läheb tugevuse hindamine ka siis kui oksakoht ei asu tõmbetsioonis ning katsekeha ei purune oksa tõttu. [12]

Tabel 1.3 Mudeliga A, B ja C simuleeritud oksakohtadega talade maksimaalsete paindekoormuste tulemused [12].

| Tala | Oksakoha mudel | Fmax(kN) | Viga(%) |
|------|----------------|----------|---------|
| 01 | mudel A | 8,4 | 5,8 |
| | mudel B | 9,5 | 16,6 |
| | mudel C | 9,1 | 12,9 |
| 02 | - | 21,1 | 24,6 |
| 03 | mudel A | 9,8 | 7,5 |
| | mudel B | 10,8 | 15,7 |
| | mudel C | 10,7 | 14,8 |
| 04 | mudel A | 11,6 | 9,7 |
| | mudel B | 18,4 | 43,3 |
| | mudel C | 12,1 | 13,6 |
| 05 | mudel A | 5,0 | 5,3 |
| | mudel B | 7,1 | 32,6 |
| | mudel C | 5,6 | 15,3 |
| 06 | mudel A | 11 | 7,5 |
| | mudel B | 11,8 | 0,8 |
| | mudel C | 11,5 | 2,9 |
| 07 | mudel A | 6 | 2,5 |
| | mudel B | 12,5 | 52,8 |
| | mudel C | 6,7 | 2,8 |
| 08 | mudel A | 7,7 | 7,5 |
| | mudel B | 12,4 | 67,5 |
| | mudel C | 8,1 | 7,9 |
| 09 | - | 19,5 | 13,8 |
| 10 | - | 20,5 | 16,6 |

1.2.5 OSB-st sein ja puidust flantsidega augustatud I-talade käitumine nihkepinge korral

Aastal 1995 katsetasid Sammy Wang ja J.J.Roger Cheng Alberta ülikoolis OSB seinaga puidust flantsidega 24 I-tala. Talad olid kõrgustega 241mm, 406mm ja 610mm. OSB paksus oli 9,5mm ning puidust flantside suurused 63 mm x 38mm.

Katsekehade kirjeldus on toodud tabelis 1.4.

Tabel 1.4 Katsekehade kirjeldus [13].

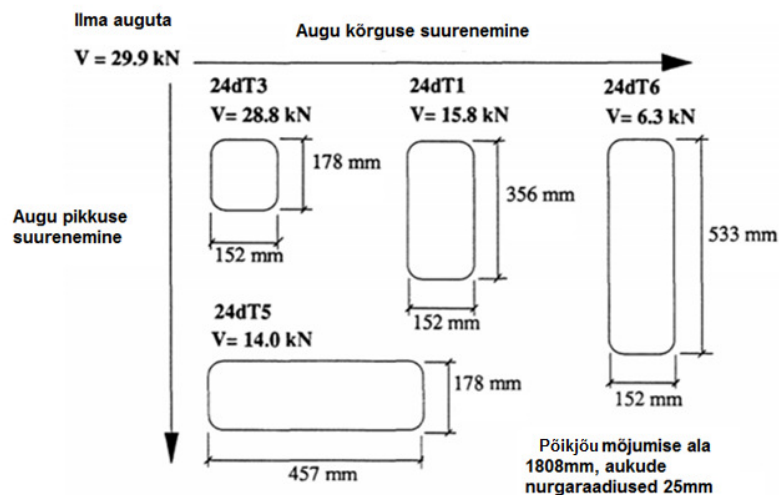
| Katsekeha | Tala kõrgus, d, mm | augu asukoht, x_0 , mm | vaheseina kõrgus, h, mm | augu kõrgus, h_0 , % | augu laius, w_0 , mm | põikjõu mõjumise ala, l_s , mm | Tala pikkus, L, mm |
|-----------|--------------------|--------------------------|-------------------------|------------------------|------------------------|----------------------------------|--------------------|
| 24dT1 | 610 | 675 | 534 | 67 | 152 | 1808 | 3616 |
| 24dT2 | 610 | 675 | 534 | 33 | 152 | 1808 | 3616 |
| 24dT3 | 610 | 675 | 534 | 33 | 152 | 1808 | 3616 |
| 24dT4 | 610 | Auguta | 534 | Auguta | Auguta | 1808 | 3616 |
| 24dT5 | 610 | 675 | 534 | 33 | 457 | 1808 | 3616 |
| 24dT6 | 610 | 675 | 534 | 100 | 152 | 1808 | 3616 |
| 24dT7 | 610 | Auguta | 534 | Auguta | Auguta | 1808 | 3616 |
| 9,5dT1 | 241 | 286 | 165 | 33 | 152 | 1000 | 3000 |
| 9,5dT2 | 241 | Auguta | 165 | Auguta | Auguta | 1000 | 3000 |
| 9,5dT3 | 241 | 286 | 165 | 33 | 305 | 1000 | 3000 |
| 9,5dT4 | 241 | 286 | 165 | 67 | 305 | 1000 | 3000 |
| 9,5dT5 | 241 | 286 | 165 | 100 | 305 | 1000 | 3000 |
| 9,5dT6 | 241 | 286 | 165 | 33 | 305 | 1000 | 3000 |
| 9,5dT7 | 241 | 286 | 165 | 33 | 305 | 1000 | 3000 |
| 9,5dT8 | 241 | 286 | 165 | 33 | 305 | 1000 | 3000 |
| 16dT1 | 406 | 450 | 340 | 33 | 305 | 1250 | 2750 |
| 16dT2 | 406 | 450 | 340 | 67 | 305 | 1250 | 2750 |
| 16dT3 | 406 | Auguta | 340 | Auguta | Auguta | 1250 | 2750 |

Tähelepanek: katsekeha 24dT2 ülesannet korrati katses 24dT3 kandevõime järele andmise tõttu. katsekeha 24dT4 ülesannet korrati katsekehaga 24dT7 toe kiivumise tõttu. Kõikidel katsekehadel on nurgaraadius 25mm välja arvatud katsekehad 9,5dT7 ja 9,5dT8, millel on vastavalt nurga raadius kandiline ja 12mm.

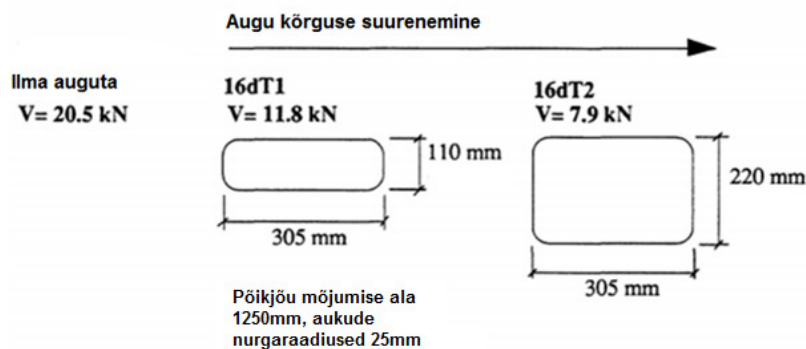
610mm tala puhul olid augu mõõdud vastavalt katsekehadele 24dT3 152mm x 178mm (1/3h), 24dT1 152mm x 356mm (2/3h), 24dT6 152mm x 533mm(h), kus augu pikkus oli 152mm. Auk katsekehas 24dT6 vähendas tala nihketugevust 79%. Katsekehas 24dT5 oli auk mõõtmetega 457mm x 178mm(1/3h), mis vähendas tala nihketugevust 53% (joonis 1.5).

406 mm katsetel 16dT1 ja 16dT2 oli sama augu pikkus, aga augu kõrgused olid vastavalt 110mm(1/3h) ja 220mm(2/3h). Auguta tala oli 61% tugevam kui katsekeha 16dT2 (joonis 1.6).

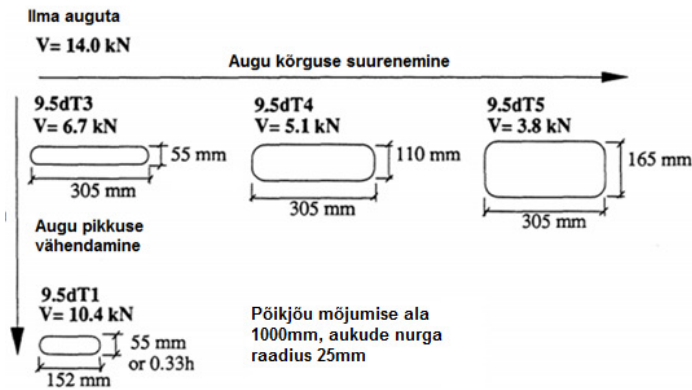
Sarnasel 241mm katsekehadel 9.5dT3, 9.5dT4 ja 9.5dT5 oli augu laius 305mm, kõrgused vastavalt 55mm(1/3h), 110mm(2/3h) ja 165mm(h). Maksimaalne nihketugevuse vähenemine oli 73% aukudeta talaga võrreldes. 9.5dT1 auk oli 152mm x 55mm (1/3h), põhjustades 26% nihketugevuse vähenemist (joonis 1.7). [13]



Joonis 1.5 Aukude mõju 610mm kõrgusele talale.[13].

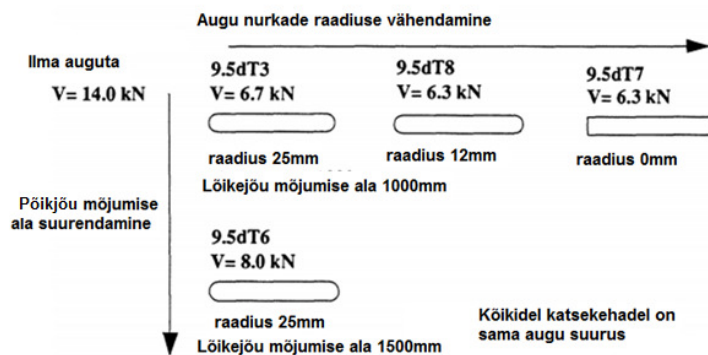


Joonis 1.6 Aukude mõju 406mm kõrgusega talas [13].



Joonis 1.7 Aukude mõju 241mm kõrgustele taladele [13].

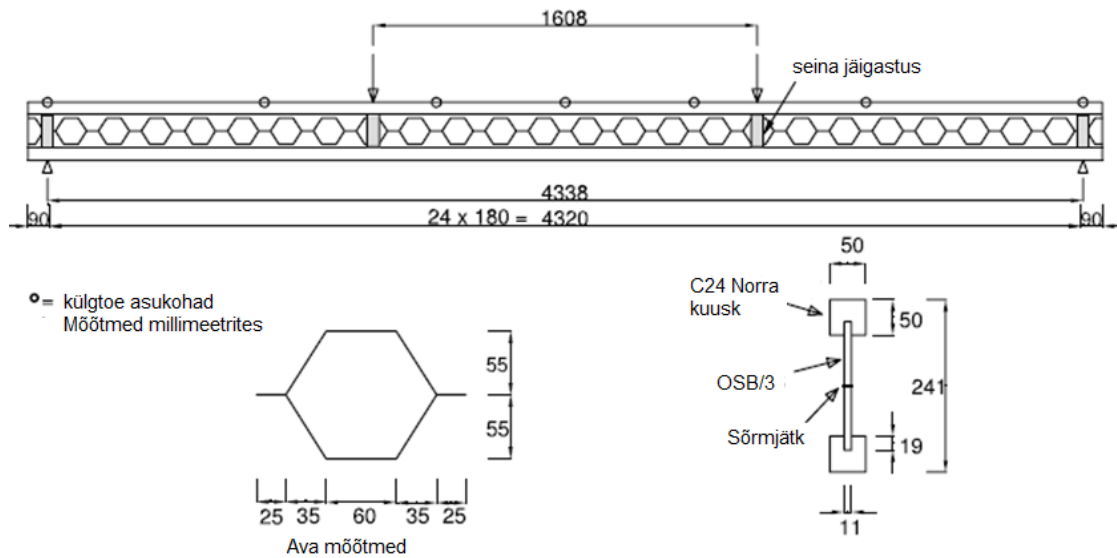
Lisaks uuriti augu nurgaraadiusest põhjustatud tugevuse vähenemist (joonis 1.8). Kõikidel taladel oli sama suur auk. Kõikidel taladel oli tala kõrguseks 241mm. 25mm nurga raadiusega auk kandis vaid 6% rohkem koormust kui 12mm ja teravate nurkadega augud. Küll aga kandis tala 6,7kN asemel 8kN, kui põikjõu mõjumise ala tõusis 1000mm-lt 1500mm-ni



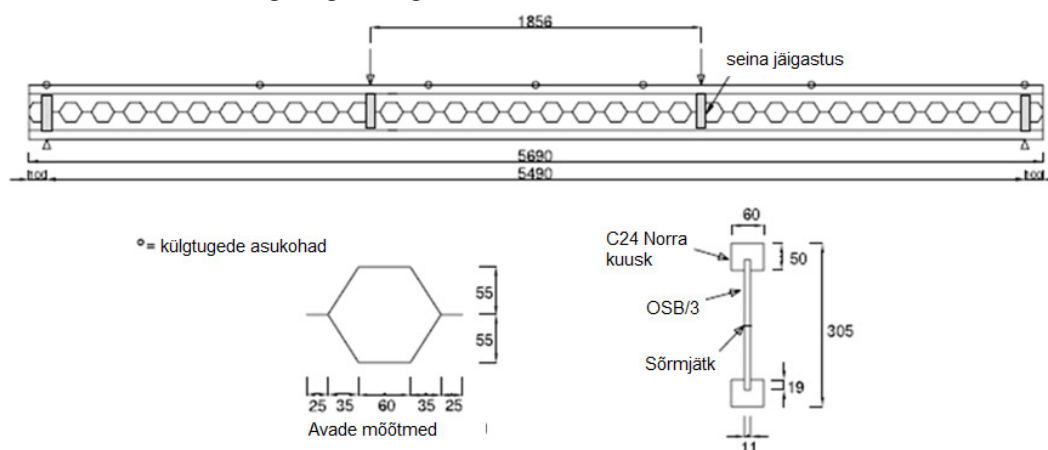
Joonis 1.8 Augu nurkade raadiuse mõju ja põikjõu mõjumise ala pikkuse mõju 241mm kõrgusega talale.[13]

1.2.6 Kandevõime hindamine kärg I-talal.

A.M.Harte ja G.Baylor katsetasid puidust kärg I-talaid. Puidust flantsid olid norra kuusest tugevusega C24, vahesein oli OSB-st paksusega 11mm. Nende talade eeliseks on minimaalne ülejääk OSB puhul ning piisavalt suured avad, et viia läbi torusid. Katsekehade mõõdud ja silded on toodud joonistel 1.9 ja 1.10 [14].



Joonis 1.9 241mm kõrgusega kärptala katse detailid [14].



Joonis 1.10 305mm kärptala katse detailid [14].

Kokku katsetati 9 tala kõrgusega 241mm. Mõõdeti talade jäikust (kN/mm), maksimaalset koormust (kN), purunemiseks vaja minevat momenti (kNm), purunemiseks vaja minevat nihkejõudu (kN). Lisaks kirjeldati purunemist: kas toimus paindele või nihkele.

Keskmine paindejäikus oli 0,365kN/mm, mis on 1,2 korda sama suur kui teoreetiline tugevus 0,309kN/mm. Keskmine purustav koormus oli 11,99kN, mis annab paindemomendiks 8,19kNm ning nihkejõuks 6,00kN. Eeldades, et talade tugevus on normaalselt jaotunud, on 5% vea väärtusega tugevus 10,00kN, vastava paindemomendiga 6,83kNm ja nihkejõuga

5,00kN. Tala 241-4 purustav jõud oli vaid 9,4kN, mis oli 18% väiksema tugevusega kui järgmise tugevusega tala 11,45kN. Nõrgema koormusega purunemisele oli kaks põhjust. Esiteks oli OSB paksus 11mm asemel 10mm ning teiseks oli sõrmjätku ühenduse kvaliteet kehv. Kui jätta see tala tulemuste arvestamisel kõrvale, siis tõuseks 5% vea väärtusega koormus 11,13kN juurde paindemomendiga 7,59kNm ning nihkejõuga 5,56kN. Üks tootja (*Boise Cascade* www.bc.com) sama suuruse flantsiga annab oma kärg I-talade hetkelise koormamise kasutus klass 2 puhul lubatud maksimaalseks paindemomendiks 7,41 kNm, maksimaalseks lühikese ajaliseks nihkejõuks 8,05kN. Jättes kõrvale defektse tala 241-4, on saadud momendiks 7,59kNm, mis on sarnane *Boise Cascade* talale. Küll aga jäävad katsetatud talad *Boise Cascade* talale alla nihkejõu poolest, tehtud aukude tõttu. I-talade tootja *Boise Cascade* annab kaasa valemid arvutamaks auguga tala. Arvestades, et talasse on tehtud ümmargune auk 100mm, on nihketugevus 5,00kN katsekehadel ning 3,56kN *Boise Cascade* talal. Kandilise augu puhul 95mm pikk ning 110mm kõrge on nihketugevused vastavalt 5,00kN katse taladel ning 2,33kN *Boise Cascade* taladel. OSB vaheseinaga kärg I-talade lõigetel oli kaks erinevat raadiust 3,18mm ja 6,35mm. Raadius ei omanud tugevuse puhul tähtsust.

305mm talade puhul oli paindejäikus 0,275kN/mm, mis oli 7% vähem kui teoorias olema peaks, vastavalt 0,295 kN/mm. Täie kindlusega ei saa öelda, et läbipainde suurenemine on tingitud avadest. See vajab lisa uurimisi. Keskmise purustav jõud oli 13,71kN. Sellele vastav paindemoment 12,46kNm ja nihkejõud 6,86 kN. 5% vea väärtusega on 11,64kN, vastav paindemoment 10,57kNm, nihkejõuks 5,82kN. 302mm kõrguse *Boise Cascade* I-tala maksimaalne hetkeline nihkejõu puhul kasutusklassis 2 on 9,80kN. Kui võtta sama tala näiteks 100mm diameetriga auguga või 95 x 110mm kandilise auguga, siis on saadud vähendatud tulemusteks vastavalt 4,93kN katsetalal ja 3,35kN *Boise Cascade* talal. Kärg tala toimib suurepäraselt võrreldes augustatud *Boise Cascade* talaga, olles ümmarguse või kandilise auguga tala puhul vastavalt 1,18 ja 1,74 korda sama suure kandevõimega. 305mm talade puhul seitse tala kaheksast purunesid samamoodi nagu 241mm talad. Talal 305_6 purunes tõmbe tsioonis flants. Lähemal uurimisel selgus, et flantsi sees purunemise kohas oli suur oks. Seda oleks saanud vältida materjali parema selekteerimisega. 241 ja 305mm tala puhul oli graafik koormuse all kuni teatud punktini lineaarne, kuni algas pragunemine.

Kokkuvõtteks

241mm talade puhul ei oma avad seinas mõju nii palju, et jääkuse näitajad ei mahuks piiridesse. Nihkejõud jäävad vastavatesse piiridesse, kui võrrelda katsetalasid augustatud ümmarguse 100mm augu või kandilise 95mm x 110mm auguga, olles 241mm tala puhul 1,56 korda sama suur ümmarguse auguga ja 2,39 korda sama suur kandilise auguga. 305mm tala puhul on vastavad kordajad 1,18 ja 1,74. [14]

1.3 Aukude tugevdamise meetodid

1.3.1 Augud liimpuidus ja võimalikud tugevduse meetodid

Växjö ülikoolis katsetasid Rawa Nawzad ja Rawaz Najat augustatud liimpuitu mõõtmetega 45mm x 300mm x 5200mm. Katsetamisel olid kahte tüüpi augud: 100mm x 100mm kandilised augud nurgaraadiusega 10mm, ja 100mm ümmargused augud. Igasse talasse tehti 2 auku, mille tsenter oli tala otsast 853,5mm kaugusel. Katsetati kahte tüüpi aukude tugevdamist: tugevdamine klaasfiiber kangaga mahukaaluga 165g/m^2 ja tugevdamine vineeriga, millel on 9 kihti ning kogupaksus 12mm. Katsete arvu suurendamiseks kasutati üht tala kahe augu jaoks.

Katsete puhul mõõdeti kolme aspekti

1. Deformatsiooni (prao tekkimist) augu servas toe poolt
2. Deformatsiooni (prao tekkimist) koormamise poolses servas
3. Tala läbipainet

Katse ülesehitus

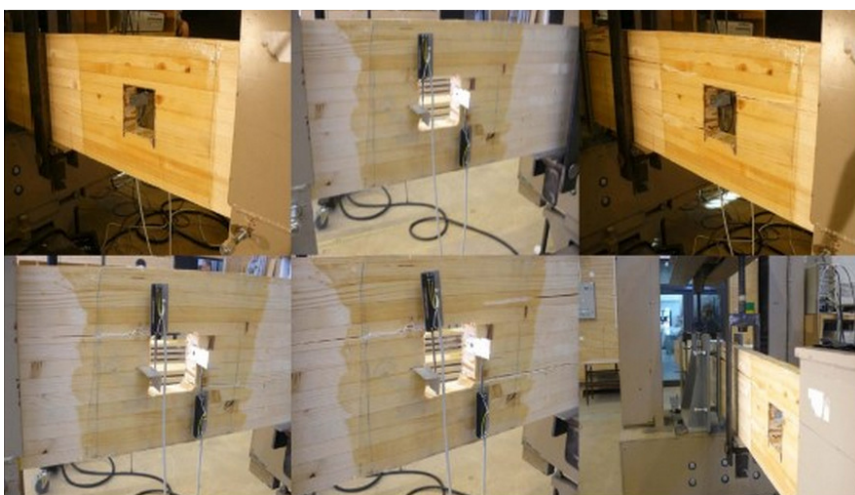
Uurimuses kasutati kolme erinevat katse ülesehitust. Põhjuseks oli see, et kahte otsa korraga ei olnud võimalik katsetada esialgsel kahel meetodil, nagu oli esialgselt plaanis. Pärast ühe poole katsetamist ei olnud võimalik enam teist otsa katsetada, sest tala oli kas keskelt või tõmbe tsoonist pragunenud ning seega muutnud tugevusomadusi teise katse tarbeks. Katseid tehes oli eesmärk tekitada nihkepinged toe juures ilma liigse paindemomendita. See tähendas, et auk peaks asuma toe juures, kuid samas mitte liiga lähedal, sest pinge ja pingeväljad võivad olla häiritud toereaktsioonist.

Tugevduseta kandiliste aukudega tala praod tekkisid umbkaudu 15kN jõu juures (joonis 1.11). Praod tekkisid nurkadesse ja arenesid aeglaselt . Maksimaalne jõud taladel oli 30kN kuni 48kN. Tugevuse varieerumist võib seletada kasutatava loodusliku materjali anisotroopsete omadustega.[15]



Joonis 1.11 Talade pragnemine kandiliste aukude puhul [15].

Kandiliste aukude tugevdamisel klaasfiibriga katsetati kolme nelinurksset auku, mis oli liimitud epoksiidliimiga tala külge. Tugevdamise eesmärgiks on suurendada tala kandevõimet ennetades pragude teket ning vältida habrast purunemist. Pragu algas koormuse 35kN juures ning maksimaalne tugevus oli 45-62 kN (joonis 1.12)[15].



Joonis 1.12 Tugevdamine klaasfiibri ja epoksiidliimiga [15].

Kandiliste aukude tugevdamisel vineeriga liimiti tala külge mõlemale poole auku vineerplaat. Plaadid kinnitati kumbki 8 naelaga, et hoida vineeri vastu tala ning liimühendus saaks korralikult ära kuivada. Katsetati kolme kandilist auku. Deformatsioon oli aukude ümber väga väike ning toimus tõenäoliselt talas, mitte liimitud vineeris (joonis 1.13). Koormus oli 47kN, enne kui tekkis pragu ning katse katkestati tala tõmbetsooni järeleandmise tõttu [15].



Joonis 1.13 Talade tugevdamine liimitud vineeriga, mis kinnitatud naeltega [15].

Ümmarguste aukude puhul viidi läbi kuus katset tugevdamata aukudega, kolm klaasfiiber tugevdusega ja kolm vineeri tugevdusega. Ilma tugevduseta taladel hakkas pragude teke 30-35 kN koormuse juures. Pärast seda toimus purunemine suhteliselt lühikese aja jooksul ja äkiliselt. Pragu arenes ja tala purunes, kui koormus jõudis 35 kN-ni. Tugevdamisel klaasfiibriga hakkas pragu tekkima koormuse 35kN juures ning maksimaalne koormus enne purunemist jäi vahemikku 39 kuni 60kN. Tugevdamisel vineeriga tekkisid praod talasse, aga mitte vineeri. Koormusel 50 kN, enne kui pragu arenes edasi, peatati katse, sest toimus murdumine koormuste vahel tõmbetsoonis. Ühel juhul pragu arenes ja tala purunes augu juures koormusel 75kN. Katsetati kahteist tugevduseta ja kahteist tugevdusega augustatud tala. Kahe grupi võrdluses saab teha järeldusi. Tugevdatud aukudel oli suurem tugevus ja jäikus nihkepingete vastuvõtmiseks. Esimesel juhul tugevdus hoiab ära pragude tekke, teisel juhul või tõstab pragude tekkimiseks vaja minevaid koormusi. Klaasfiibri ja vineeri võrdlusel tuleb ära märkida mõned erinevused. Klaasfiibri puhul tekkisid praod ümber augu, samas kui vineeriga tugevdamisel tekkis pragu vaid ühel juhul ning suurel koormusel. Vineeriga tugevduse puhul on tala tugevus suurem. Samas on vineer ka 12 mm paks, kui klaasfiiber on 1mm ning jätab tugevdamisel illusama välimuse. [15]

1.3.2 Spoonliimpuit (levinud nimi on ka kertopuu) tugevdusmeetodid

Canterbury ülikoolis Chrischurch-is Uus meremaal viidi läbi doktori töö raames uuring Manoochehr Ardalany poolt kertopuu (LVL - *Laminated veneer lumber*) augustamise ja aukude tugevdamise kohta. Kertopuu saadakse puidust 3mm spooni kihtidest nende kokkuliimimisel. Talade tavaline paksus jääb 36-105mm vahele. August kommunikatsioonide läbi viimisega hoitakse ära põranda konstruktsiooni paksenemine. Mõnikord lisavad augud ka arhitektuurset väärtust. Kui talasse lõigata suur auk, võib juhtuda, et ümber augu hakkavad koormamisel tekkima ja levima praod. Auk talas käitub kui pingete kontsentraator ja tõstab paindepingeid risti suunas kiududega enda ümber, kus ta asub. Kui tõmbejõud ületab materjali tugevust, tekivad praod ja tala puruneb pragude arenemise tõttu augu ümber. Kande võime ei anna enam välja seda tugevust, mis on augustamata tala korral. Et vältida olukorda, kus tala ei pea enam pingele vastu, on tarvis augu juurest tala tugevdada. Tugevdamise puhul tuleks üritada vältida pragude teket ning arengut ning tagada esialgne tugevus, kus talas ei olnud auke. Antud artiklis uuriti viite tugevduslahendust:

- 1) Isepuurivate kruvidega tugevdus, kus kruvid paigaldati kummalegi poole auku üks, millest üks puuriti alt ülesse, teine ülevalt alla.
- 2) Isepuurivad kruvid paigaldati kummalegi poole auku 45 kraadise nurga all. Paigaldamine samasugune, kui punktis 1.
- 3) Metallist keermelattidega, mis kinnitati epoksiidliimiga.
- 4) Augu külgedele liimitakse ja naelutatakse vineerplaadid
- 5) Augu ümber kinnitati naeltega terasest ümbris.

Testides kasutati Radiata pine'ist (kasvukoht kesk-ranniku alal California osariigis ja Mehhikos) tehtud LVL materjali, mis laborisse toodi 8000x1200x45mm tükina, kust lõigati välja vastavad katsekehad. Kasutatud LVL-i paindeelastsus moodul oli 10,7GPa. Materjali mahumass oli 573kg/m³, mis saadi kohapealsel mõõtmisel. Katsetamise ajal oli niiskus LVL-is 8 - 10% vahel. LVL-il oli keskmine tõmbetugevus ristkiudu 2MPa, mis saadi väikeste tükide katsetamiste näol. Ametlik tõmbetugevus pikkikiudu oli 33MPa.

Kruvid augu ümber ei tohi järgi anda ega kruvi pea läbi puidu tõmbuda ja peaksid efektiivselt jaotama tõmbepinged nii, et vältida pragusid. Lisaks peab olema tagatud nõutud miinimum

kaugused äärtest, et vältida puidu lõhestumist ümber kruvi. Kasutati SPAX isepuurivaid terasest kruve (joonis 1.14), mille purunemistugevus on 20kN/mm 8mm diameetriga kruvi korral. Katsetes paigaldati kruvid esimesel juhul otse ja teisel juhul 45 kraadise nurga all.



Joonis 1.14 SPAX kruvi, mida kasutati antud katsetes. Sakiline osa keermest vähendab puidu lõhestumist. [16].

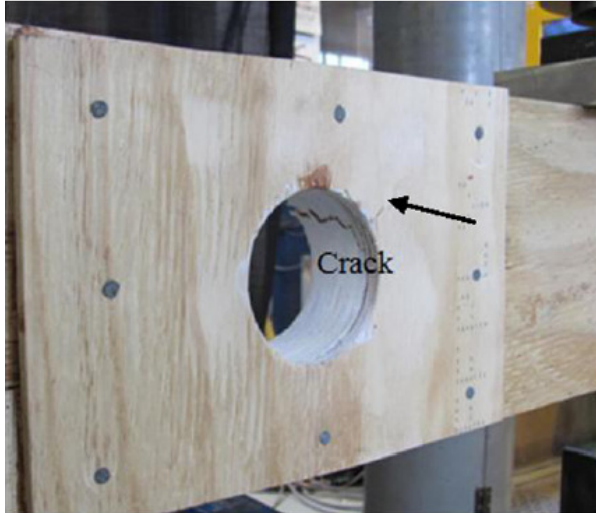
Epoksiidliimiga paigaldatud metallvarraste puhul katsetati kahte paigutust: ühel juhul paigaldati vardad täispikkuses läbi tala, teisel juhul läbis ainult üks varras tõmbetsooni. Kasutati täiskeermega metallvardaid elastsusmooduliga 210GPa ja tugevusnäitajaga 400MPa. Nende diameeter keermest oli 5,7mm ja keermest põhjast 5,5 mm. Vardad paigaldati 11mm vertikaalsetesse puuritud aukudesse ning liimiks kasutati HILTI HIT-RE-500-SD-d (joonis 1.15).



Joonis 1.15 Varraste asukohad talas [16].

Vineeriga tugevduse puhul saab katta tala mõlemalt poolt ning paigaldamiseks sobib kasutada liimi ning lisaks kinnitada naeltega, mille paigaldamisel seob liim tala korralikult vineeri külge. Liimühendus teeb võimalikuks kanda sisejõud üle vineerile ning vähendada jõudude kontsentreerumist ühte punkti, sest vineer jagab pinged üle laiemale alale. Mõjutatav ala on

seetõttu suurem kui kruvitugevduse puhul. Vineer koosneb kolmest kihist ning paksus on 8,8mm (joonis 1.16).



Joonis 1.16 Vineerist tugevdus(*Crack* - pragu) [16].

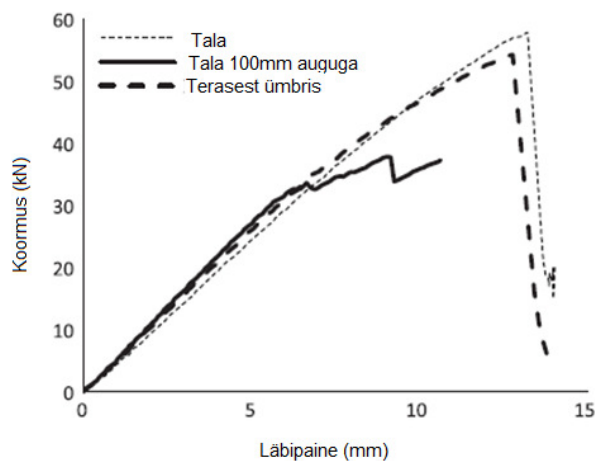
Terasest ümbris oli samuti üks lahendustest. Antud katsetes kasutatakse 1,16mm paksust metallplaati, mis paigaldati naeltega. Need terasest ümbrised tehakse vastavalt 45 ja 90mm paksusega talade jaoks. Paigaldamislihtsus on eeliseks, kuid puuduseks on see, et ümbris ei ole terve pinnaga ühenduses (joonis 1.17). Seetõttu saavad tekkida ja areneda praod. Kuna metallümbris on ühendatud vaid naeltega, on eeldatud et naelad kannavad löikejõud üle plaati.



Joonis 1.17 Tala tugevdus terasest ümbrisega, mis on kinnitatud naeltega [16].

Katsed teostati toetusel tugelede kasutades kolme ja neljapunkti koormamismeetodit mille koormuse kiiruseks oli 2mm/minutis. Koormust mõõdeti täpsusega $\pm 0,1\text{kN}$. Et vältida puidu muljumist kasutati kolme punkti meetodi puhul pressi ja tala vahel metallplaati suurusega 200x90x40mm. Neljapunkti paindekatses puhul jaotati jõud võrdselt tala kahe osa vahel. Metallplaate pandi kummassegi toetuspunkti üks.

Koormust lisades jälgiti lineaarset koormus-deformatsiooni graafikut (joonis 1.18).



Joonis 1.18 Koormuse - deformatsiooni graafik [16].

Koormuse tõstmisega ilmusid praod kõigepealt augu sisemisse külge. Ringikujuliste aukude mõranemine algas umbkaudu 45 kraadise nurga all, kandiliste aukude puhul algas pragunemine augu servadest, kuhu olid koondunud suuremad pinged. Esimese prao edasise arenemisel ning koormuse lisamisel tekkis teine pragu teisele poole auku. Järgnes edasine pragunemine tala ülemise ja alumise serva poole kuni pragu jõudis kriitilise piirini, mil toimus äkiline purunemine koormuse tõttu. Erinevad purunemised ilmnisid erinevate augutüüpide ja suurustega. Väikeste aukude puhul nõrgestuse mõju oli tühine ning ei põhjustanud tugevuse vähenemist LVL-is. Väikesteks aukudeks peetakse antud juhul kuni 50mm auke. Kolmepunkti katsel 200mm ja 300mm kõrgusega tala puhul toimus purunemine tala keskel. Keskmise suurustega aukude puhul (kuni 0,4h diameetriga) mõjutas tala tugevust aukude ümber tekkinud praod ja nende arenemine. Kõige suuremate aukude puhul oli oodatud tulemus, et purunemine tekib augu servades lõikejõu tõttu (tala servas). Suurem osa uuringust keskendus keskmise suurusega aukudele, nendele kaasnevate pragude tekkele ja levikule ümber augu, sest sellisel juhul oli kõige suurem võimalus seda tugevdada.

Kruvidega tugevdamine

Kruvi mõõtmed olid valitud nii, et LVL ei lõhestuks. Et teada saada ohutut kaugust augu servast, teostati enne mitu katset 8,2mm isepuuriva kruviga. Kaugemal kui 30mm augu servast ei olnud nähtavaid lõhestumise jälgi, seega kasutati kruvide paigaldamise kauguseks 30mm. Kruvi pikkuseks valiti vaid veidi vähem kui terve tala kõrgus (ei ole täpsustatud kui palju). Testide käigus kahe kruviga tugevdamisel kui koormus kasvas ja jõudis kriitilisele piirile, tekkisid praod ümber augu ja suurenesid järk-järgult kruvide poole. Kui pragu jõudis kruvini, jäi seisma edasine pragude teke koormuse kasvamisega. Kuni 0,4 tala kõrguse ja väiksema augu puhul toimus purunemine tala keskel kõige suurema momendiga osas. Kruvid peatasid pragude tekke ning tõstsid purustamiseks vajaminevat jõudu. Mõned katsed tehti ka kruvidega, mis olid paigaldatud 45 kraadise nurga all 30mm august. Neid katseid tehti vähe, sest kruvi juhtimine sirget joont pidi oli suurte tala kõrguste puhul keeruline. Rootsi liimpuidu käsiraamat lubab teha augu kuni 0,35 tala kõrgusest, kuid katsed näitasid, et ka 0,4 kõrguse puhul pidasid kruvid hästi vastu. Suuremate aukude puhul nagu 0,5 tala kõrgusest tekkis purunemine augu servas. Purunemine võib olla kombineeritud efekt pingete kontsentratsioonist kruvis ning kruvi tõttu antud lõigu nõrgestamise tõttu. Järelduste tegemiseks vajab täpsemat eksperimentaalset ja numbrilist analüüsi.

Tugevdamine keermelattidega, mis paigaldatud epoga.

Töömehanism on sarnane kruvidele. Pragu tekkis augu servades ning lõppes varda juures. Sõltuvalt varda pikkusest ning võimest kanda tõmbepingeid, tekkis kaht tüüpi purunemiseid. Varras tekitas vertikaalse augu ja nõrgestas lõiget. Teisel juhul oli ainult üks varras läbi kogu ristlõike, teine varras ei läbinud tõmbetsooni (joonis 1.15), lisaks oli tala alla liimitud 45 x 100 x 1mm metallriba, vältimaks tõmbetsooni purunemist. Tüüpiline jõu-deformatsiooni graafik oli sarnane kruvidega tugevdusele.

Tugevdamine vineeriga.

Vineeriga tugevdamisel mõlemalt poolt oli prao tekkimine välditud. Pragu tekkis tala keskele kõige suurema momendiga kohta. Talade tugevdamisel vaid ühepoolse vineeriga moodustusid praod kõrgemate koormuste juures kui tugevdamata tala puhul. Pragu algas tala keskelt ning

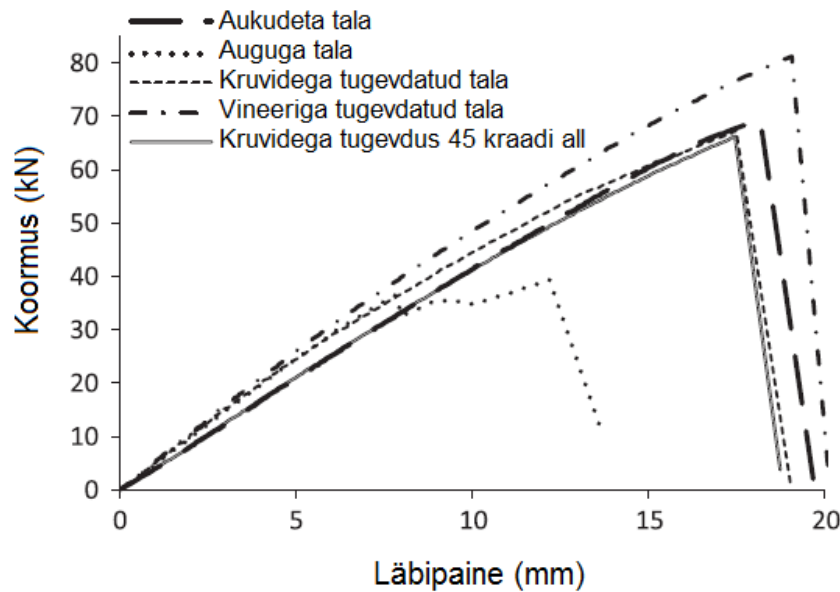
liikus otse tala keskmesse tala tugevduse otsani. Pärast seda arenes pragu edasi mööda tala telge.

Tugevdamine kasutades naelutatud terasest ümbrist

Uusmeremaal on üheks võimaluseks tugevdada tala terasest ümbrisega, mida toodetakse 140, 190, 240 ja 290mm kõrgusega talade jaoks. Tugevdus lahendus paigaldati 44 naelaga ja katsetati erinevate suurustega aukudega. Katsed näitasid, et praod võisid tekkida ning liikuda ümbrise poole, sest ümbrise serv ei hakka kohe augu servast pihta. Väiksemate kui 0,4 tala kõrguse augu puhul toimus purunemine tala keskel. Pinged koondusid naelte ümber ning purunemine algas ümbrise juurest ja liikus tala keskosa poole. Aukude puhul, mis olid pool tala kõrgusest, toimus augu peal asuva puiduosa muljumine ümbrise sees. Mida lähemal augule algas terasest ümbris, seda vähem oli pragudel võimalik tekkida.

Arutelu

Tugevdamise idee on tagada talale kandevõime, mis oleksid ilma augustamata talal. Uuriti viit meetodit: isepuurivad kruvid otse, isepuurivad kruvid nurga all, epoksiidliimiga vardad, vineeriga tugevdus (joonis 1.19), ning terasest ümbrisega tugevdus. Tugevdamise efektiivsus sõltus sidususest LVL-iga. Tugevdus vineeriga lõi hea ühenduse LVL-iga. Ühendus terasest ümbrisega ei olnud terviklik ning lubas karkassil painduda. Välja toodud tulemused on katsekehade keskmised, mis olid samade geomeetriliste ja mehaaniliste omadustega. Kasutades vineeriga tugevdust 0,5 tala kõrguse augu puhul vastasid näitajad täielikku tugevuse taastamist. Kruvidega tugevdamise puhul alla 0,4 tala kõrguse augu puhul näitab kruvi võimet tugevdada auguga tala. Purunemine selle meetodi puhul toimus samuti tala keskel. Naelutatud plaadil on mõned puudused tugevdusena kasutamisel. Ühendus tala ja ümbrise vahel ei ole täispinnaga. Kuigi tulemused näitavad, et ümbris aitas tugevdada, jääb tugevus ikka alla augustamata tala tugevusele. Selge on ka tugevduste kaasa aitamine läbipainde vähendamisel, sest tugevdused peatasid augu ümber pragude tekke. Tugevdades vineeriga pragusid üldjuhul tugevduse alla ei tekkinud. [16]



Joonis 1.19 Koormus - läbipainde graafik kõikide juhtudega [16].

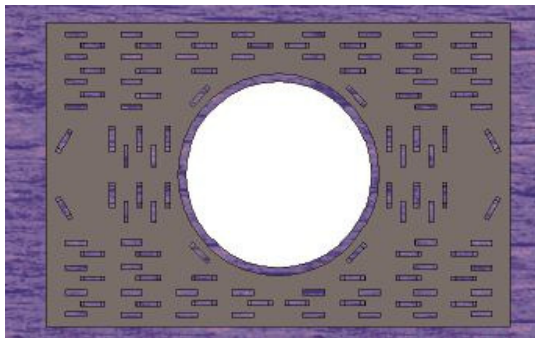
Kokkuvõtteks

Tulemused näitasid, et kuni 50mm augu puhul tala omadused ei vähenenud. Suuremate aukude puhul vähenes tala kandevõime 10 - 52%. Talas kõrgusega 190mm augud mõõtmetega 80, 100, 120mm vähendasid kandevõimet vastavalt 30%, 36% ja 52%. Auguga tugevdamata talades oli pragude tekkimiseks vaja minev jõud 8-46% väiksem kui tervetel taladel. Tugevdades tala augu juurest, saab tala käitumist parendada. Tugevdamist saab vaadata kahest aspektist: taastada tüüpiline painde purunemise mehhanism või tagades kandetugevuse, mis oleks talal enne augustamist. Isepuurivad kruvid on heaks meetodiks tugevdamaks auke väiksema diameetriga kui 0,4 tala kõrgust. Tuleb märkida, et kruvid ei hoidnud ära pragunemist kuid hoidsid ära nende arenemise. Kaldeall puuritud kruvid on hea moodus ära hoida pragusid, aga nende paigaldamine on keeruline ning kruvid ei pruugi korrektselt paigutuda. [16]

1.3.3 IWS (Intelligent wood system)

IWS ootab patenti oma lahendusele, milleks on toru läbiviimise jaoks paigaldatud talale tugevdus ogaplaadi näol. Plaadi suurus on 196 x 300mm (joonis 1.20). Sellise pressitud

ogaplaadi puhul lubatakse auku kuni 120mm diameetriga. Lubatakse, et kasutades seda süsteemi, ei ole mingit tugevuse vähenemist. Auk tehakse tala keskjoonele. Lubatud on augu paigutus kogu tala pikkuse ulatuses. Augu tsentrist tala ülemisse kui ka alumisse äärde peab jääma vähemalt 210mm. Seega on ogaplaadi kasutamise puhul tala minimaalne mõõde $210 + 210 = 420\text{mm}$. Augu kaugus tala otsast peab olema võrdne tala kõrgusega ning lisaks 0,5 augu diameetrit. Kahe augu vaheline kaugus on lubatud minimaalselt 3 augu diameetri

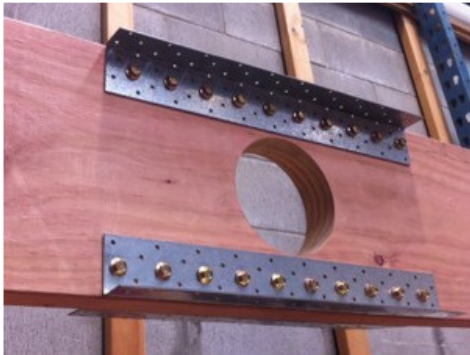


kaugusele tsentrist - tsentrisse [17].

Joonis 1.20 IWS ogaplaat lahendus torude läbiviimiseks[17].

1.3.4 MiTek Lumberlock

MiTek Lumberlock-i puhul on tegemist FJS 1.55mm G300 Z275 tsingitud terasest ribadega, mis on 400mm pikad, 48mm kõrged ning 32mm ärapööratud servaga (joonis 1.21). Kinnitamiseks kasutatakse kas 3,15 x 30mm naelasiid või Type 17-12g x 35 kruvisid. Toe lähimast punktist augu tsentrisse peab olema minimaalsel 300mm. Auk peab olema tehtud Lumberlock-i tugevduse keskele nii, et kummassegi tala otsa poole augu tsentrist jääb 200mm tugevdust. Talale mõõtmetega 240 x 45mm on lubatud teha kuni 126mm auk. Ühele talale läheb 4 terasriba, mille igale tükile kinnitatakse kas 10 kruvi või 20 naela. Terasest tugevdus on lubatud paigaldada nii enne kui pärast augu puurimist [18].



Joonis 1.21 Lumberlock süsteem [18].

1.3.5 MetWood 2810HR tala tugevdus

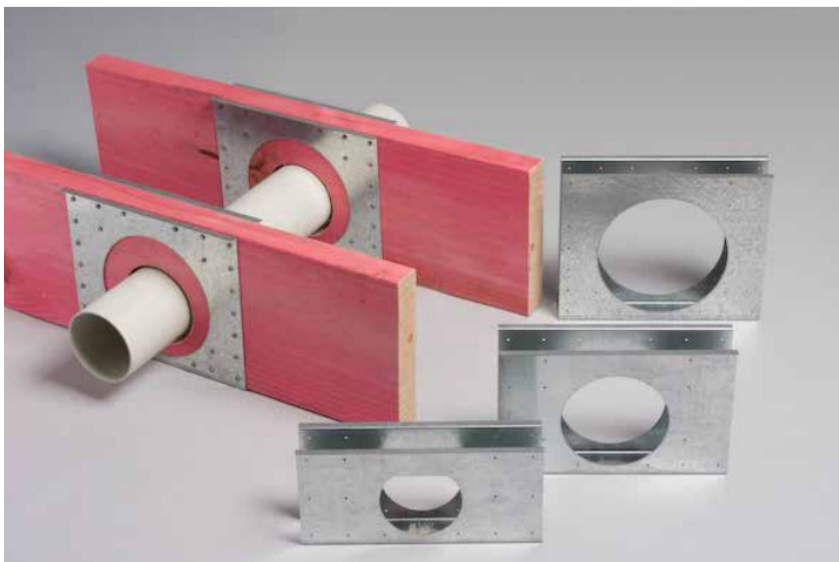
Terasest tugevdus taladele mõõtmetega 2 x 8 tolli (50,8 x 203,2mm) või 2 x 10 tolli (50,8 x 254mm). Lubatud auk on 2 x 8 tollisel talal 4 1/2 tolli ehk 114,3mm ja 2 x 10 tolli talal 6 tolli ehk 152,4mm (joonis 1.22). Talade materjaliks peab olema teise klassi määnd, mille puhas sille ei tohi ületada 15 jalga, ehk 4950mm 2 x 10 tollisel talal ja 12 jalga ehk 3960mm 2 x 8 tollisel talal. Tugevdus peab olema vähemalt 12 tolli ehk 305mm igast tala toest. Augud diameetriga kuni 1,5 tolli ehk 38,1mm võib teha tugevduse kõrvale aga vähemalt 20 tolli (508mm) kaugemale. Tugevdusi võib talale panna vaid ühe. On võimalus ka teha erilahendusi paigutamisel, kuid seda vaid tootjaga kooskõlas [19].



Joonis 1.22 Metwood 2810R lahendus torude jaoks [19].

1.3.6 Branz appraisal nr.570

Branz on Uusmeremaa uurimiskeskus, mis on väljatöötanud terasest tugevduse torude läbiviimiseks talast. Esimene juhend väljastati 2007 aastal, mille vahetas välja 2014 aasta juhend. Tugevdus vastab Uusmeremaa ehitusstandardile (NZBC) ja omab sertifikaate lume ja tuule koormusele, roomele ja eluea kestusele üle 50 aasta. Tugevdusi tehakse erineva suurusega taladele alates kõrgusest 140mm kuni 290mm. Kodumaja kasutatava 245mm tala jaoks lähim on 240mm kõrgusega tala jaoks tehtav THRU-JOIST (joonis 1.23). Sellise tugevduse mõõtmed on 240 x 45 x 300 mm. Mõeldud on tugevdus 45 mm paksusega talal. Materjal, millest tugevdused valmistatakse on tsingiga kaetud G250 terasest. Materjali paksus on 240 mm kõrgusega tala puhul 1,5mm. Kinnitamiseks kasutati 2014 aasta juhendis naelasid 3,15 x 30mm. Auk tugevduse sees on tehtud 187mm diameetriga, ning selle sisse on lubatud teha kuni 121mm diameetriga auk kuhu iganes selle 187mm sisse. Tugevdust võib panna tala pikkuse ulatuses igale poole. Kui paigaldada mitu tugevdust, peab tugevduste vahel olema minimaalselt 1500mm tsentrist -tsentrisse. Tugevdus ei muuda eriti tala üldiseid tugevusomadusi kui läbipaine muutub mingites kohtades oluliseks. Juhul kui põrand on lahti võetud, aga lagi selle all mitte, võib tugevdust paigaldada ka mitte alt ülesse, vaid ülevalt alla. [20]



Joonis 1.23 Thru-Joist - i jaoks välja töötatud lahend BRANZ-i poolt [20].

1.3.7 Tugevduste kokkuvõte

Tabel 1.5 Erinevad tugevduslahendused ja nende võimalused.

| Tugevdus | IWS | Mitek Lumberlock | Thru-Joist | Metwood |
|-------------------------------|---------------------------------|--|---|---|
| Lubatud auk | 120mm | 126mm | 121mm | 154mm |
| kaugus otsast või toest | otsast $h+0,5d$ | toest 300mm | otsast h , toest $h/2$ | toest 305mm |
| Kaugus teisest august | 3d | 508mm | 1500mm | 508mm |
| Meetod | ogaplaat 196 x300mm | 4x terasest ribad 10 krugi või 20 naelaga | terasest ümbris 30 naelaga | terasest ümbris kinnitatud kruidega |
| Lisaks | minimaalne tala kõrgus 420mm | teised augud maksimaalselt 38mm | paigaldatakse ülevalt alla ja ka vastupidi | teised augud maksimaalselt 38mm |

2 MATERJAL JA METOODIKA

2.1 Andmetöötlus programmid

Andmete töötlemiseks ja arvutamiseks on kasutatud programme Microsoft Excel 2007, Microsoft word 2007. Esialgused joonised talade katsetulemuste kohta on tehtud programmiga R-Studio. Jooniste tegemise jaoks on kasutatud Autocad 2010. Piltide ja jooniste töötlemiseks on kasutatud veel programme Paint, Powerpoint 2007, Microsoft Office Picture Manager ning Adobe Photoshop 2012.

2.2 Ehitusinseneri eriala diplomitöö ülesanded ja eesmärk

Aina rohkem läbiviike tuleb teha taladesse vastavalt kasvavale nõudlusele erinevate tehnosüsteemide paigaldamisele läbi põranda talade. Selle jaoks, et tala kandevõime säiliks ja ei tekiks põranda avarii olukorda, tuleb kontrollida tala reaalselt tugevust vastavalt normidele. Praegusel juhul on lõputöös valikusse võetud juhend SINTEF 522.351, mis lubab teha piisavalt suure augu, et ära mahutada kõige suuremad tehnosüsteemide elemendid, mis läbivad põrandatalasid - kanalisatsiooni torud, mille läbimõõt on 110mm.

Kasutatavad talad on mõõtmetega 4000x245x45mm. Põranda konstruktsioonis asetseva talad sammuga 600mm. Suurem osa eeskirju ja juhendeid ei luba teha 120mm suurust auku, mis on pool tala läbimõõdust. Neid auke oleks vaja teha ning kasutada põranda konstruktsioonides. Ainuke juhend, mis lubab antud auke teha on SINTEF 522.351, kus on lubatud tugevduseta teha kuni poole tala kõrguse suurune auk ehk siis antud juhul 122,5 mm, mis on piisav kanalisatsiooni torude läbi viimiseks. Et teada saada, kas realselt see juhend Eestis toodetava saepuidu ja halvima võimaliku olukorra puhul kehtib, tehtakse järgnevad katsed, mis on ära toodud järgnevate eesmärkidega.

Eesmärgid:

- Teha kindlaks, kas talade augustamine suurendab läbipainet sama koormuse juures.
- Teha kindlaks, kas augustamisel juhendi SINTEF 522.351 järgi vastab tala paindetugevusele.
- Teha kindlaks mil määral oksakoha lähedus mõjutab paindetugevust.
- Leida võimalikud lahendused oksakoha juures oleva augu tugevdamiseks.

2.3 Teoreetiline osa

Kasutatud on tala hindamiseks ehituskonstruktori käsiraamatus olevaid puittala andmeid. Katsetatavate talade tugevusnäitajad on saadud EVS-EN 408:2010+A1 2012 olevatest valemitest

Puittala C24 arvutuslik piirkoormus kandepiir seisundis omakaalu koormusega $g = 0,8 \text{ kN/m}^2$. Tala pikkus $L = 4,2$ meetrit, puhassille $l = 3,9$ meetrit, kõrgus $h = 245$ mm, laius $b = 45$ mm. Koormus on arvestatud põrandale talade sammuga 600 mm.

Tala paindetugevus 24 N/mm^2 [25]

Elastsusmoodul (C24 puhul) $= 11000 \text{ N/mm}^2$ [25]

G võetud standardist EVS-EN 408:2010+A1 2012 $= 650 \text{ N/mm}^2$ [21]

Arvutusliku piirkoormuse valem kasutuspiir seisundi jaoks on

$$P_d = \frac{\left(\frac{8 \cdot M}{l^2} - g \cdot 0,6\right)}{0,6}, \quad (2.1)$$

kus M - paindemoment,

l - tala puhassille,

g - tala omakaalu koormus.

Paindemoment on avaldatav valemist

$$M = \delta \cdot W_y, \quad (2.2)$$

kus δ - paindepinge.

W_y - ristlõike vastupanumoment

Paindepinge on C24 korral 24 N/mm^2

$$W_y = \frac{b \cdot h^2}{6}. \quad (2.3)$$

Arvutuslik piirkoormus q kandepiiriseisundis on $8,67\text{kN/m}^2$

Võttes arvesse varutegurid, tuleb piirkoormus kasutuspiiriseisundis $q = 3,25\text{kN/m}^2$

2.4 Praktiline osa

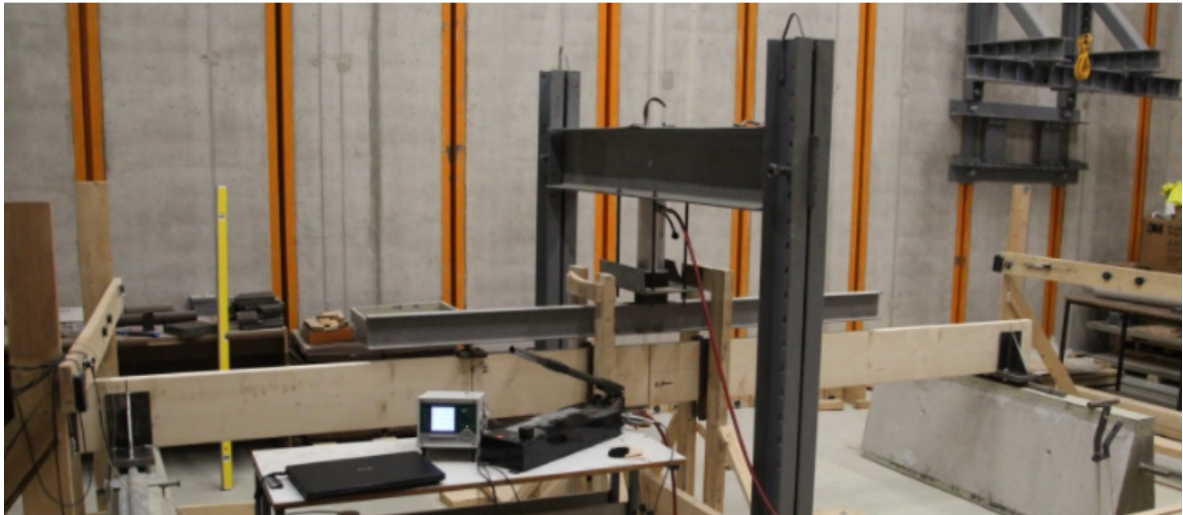
2.4.1 Talade katsetamine

Katsekehadeks on 15 kuusepuust tala mõõtmetega $45\text{mm} \times 245\text{mm}$ pikkusega 4200mm . Talade tugevusklassiks on antud C24. Enne katsetamist määrati niiskussisaldus puidus aparaadiga Ahlborn FHA 696 MF. Talad kaaluti enne katsetamist kaaluga, mille täpsus on $0,01\text{kg}$. Ristlõike parameetrid mõõdeti nihikkaliibriga täpsusega $0,01\text{mm}$ kuid arvutustes on kasutatud tootja poolt antud ristlõike mõõtmeid. Pikkused mõõdeti mõõdulindiga täpsusega 1mm . Elastsusmoodul saadi *Fakopp Microsecond Timer* - iga, korrates katset 5 korda, kui ka koormamisel saadud tulemustest.

Tala toetatakse külgedelt, et vältida kiivumist. Muljumise vältimiseks paigaldatakse koormuspea alla terasplaadid mõõtudega $100\text{mm} \times 100\text{mm} \times 20\text{mm}$. Tala toetatakse kahele toele, millest üks on liikuv ning teine liikumatu. Tala otsad pannakse eraldi tugevde vahele, et vältida otste kiivumist tugeudel. Talade puhassildevks on 3900mm .

Talade katsetamisel leitakse puidu globaalne paindeelastsusmoodul ja arvutatakse paindetugevus, et määrata, kas puit vastab nende järgi klassile C24. Lisaks uuritakse, kas tala augustamine suurendab tala läbipainet ning millisel määral.

Katsed viidi läbi Eesti Maaülikooli metsandus- ja maaehituse konstruktsioonide laboris, Kreutzwaldi 56 korpus 4, Tartu (joonis 2.1). Katsete tegemise aluseks võeti standard EVS-EN 408:2010+A1:2012. Koormamine toimus hüdropressiga Lukas LZM 25-200, ning andmed salvestas ALMEMO 2890-9.



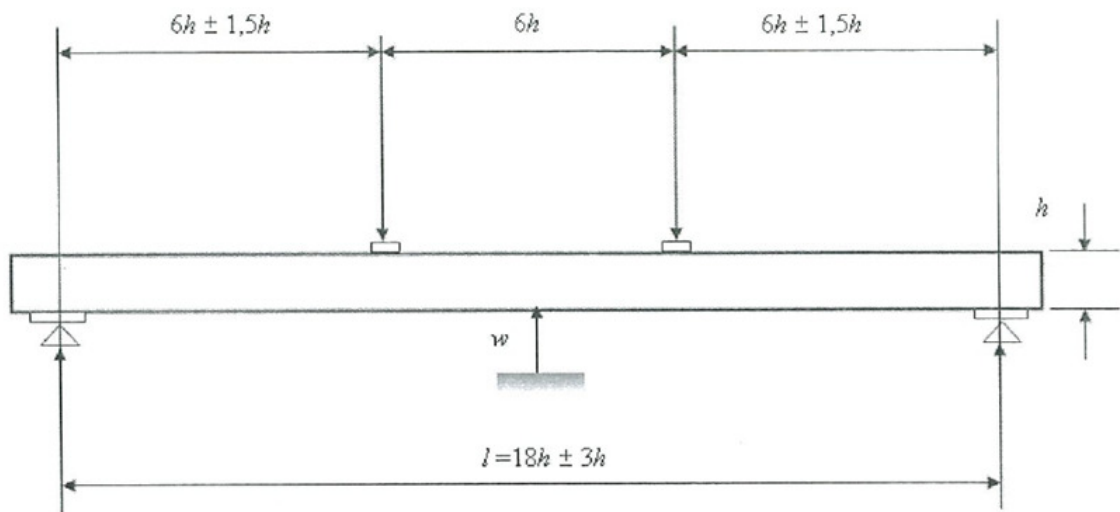
Joonis 2.1 Metsandus- ja maaehituse labor. Koormamine Lukas pressiga.

Katsekehad on nummerdatud juhuslikus järjekorras.

Antud katsed on viidud piiripealsetesse olukordadesse sihilikult. Eesmärgiks on kasutada võimalikest juhtudest halvimaid. Arvestades, et oksakoht on uuringu järgselt kõige täpsemalt arvestatult kui auk [12], peaks olema ristlõige vähendatud nii palju, et talad ei vasta enam normidele ning tugevdused peaksid korrigeerima tekkinud olukorra.

2.4.2 Talade katsetamine standardi EVS-EN 408:2010+A1 2012 järgi

Talade katsetamise skeem on joonisel 2.2.



Joonis 2.2 Katseskeem globaalse paindeeltsuse määramiseks [21].

$h = 245\text{mm}$, seega $6h = 1470\text{mm}$, mis jääb kahe toepunkti vahele.

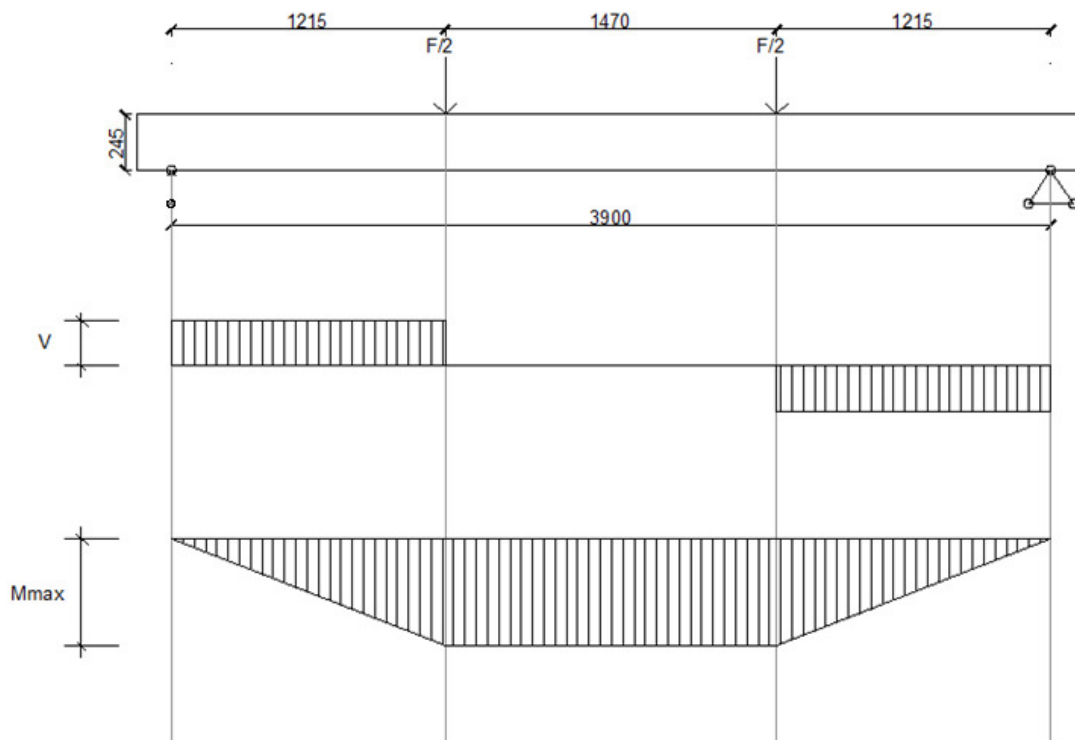
Seega jääb tala kumbagi otsa $(3900 - 1470)/2 = 1215\text{mm}$

Minimaalne lubatud vahe toe ja koormamispunkti vahel on $6h - 1,5h = 4,5h = 1102\text{mm}$, maksimaalne on $6h + 1,5h = 7,5h = 1838\text{mm}$.

$1102\text{mm} < 1215\text{mm} < 1838\text{mm}$, seega 1215mm on sobiv (joonis2.2).

Talasad katsetatakse läbipaindele $L/300 = 3900\text{mm} / 300 = 13\text{mm}$.

Augud tehakse 121mm ümmarguse augu freesiga.

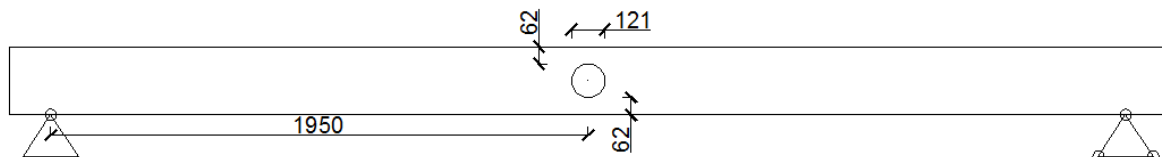


Joonis 2.3 Koormamisel tekkiva paindemomendi ja põikjõu jaotumine. [22]

2.4.3 Maksimaalsete aukude arvudega katse

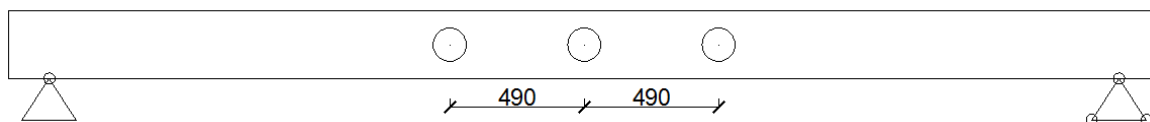
Taladele nr. 13, 14, 15 tehti kokku 7 auku. Auk tehti tala keskele nii, et üles- ja allapoole jäi sama palju puitu. Augustamist alustati keskelt, liikudes sümmeetriliselt otste poole. Augustamisel jälgiti juhendi SINTEF 522.351 puidu augustamisreegleid. Tala katsetati esialgu ilma aukudeta läbipaindeni $L/300$.

Teisel katsel puuriti auk keskele ning koormati uuesti $L/300$ läbipaindeni (joonis 2.4).



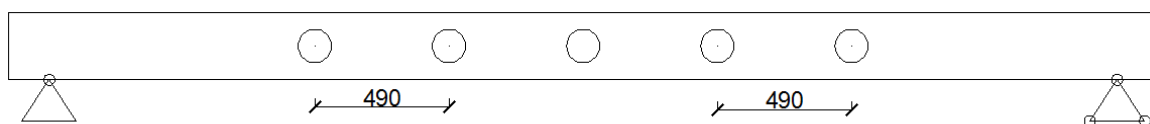
Joonis 24 Tala ühe auguga.

Kolmandal katsel puuriti augud olemasolevast august kummalegi poole sümmeetriliselt ja vastavalt Norra juhendis lubatule, kus tsentrist- tsentrisse peab olema vähemalt kahe tala kõrguse jagu vahet. Arvuliselt on see $2 \times 245\text{mm} = 490\text{ mm}$. Koormati uuesti läbipaindele $L/300$ (joonis 2.5) .



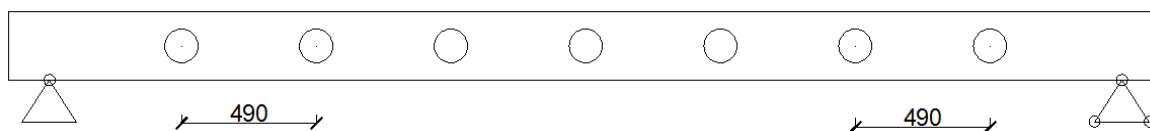
Joonis 2.5 Tala kolme auguga.

Neljandal katsel tehti järgmised augud sümmeetriliselt mõlemale poole eelmistest aukudest kahe kõrguse kaugusele tsentrist - tsentrisse mõõdetuna (joonis 2.6). Koormati uuesti $L/300$ - ni.



Joonis 2.6 Tala viie auguga.

Viiendal katsel tehti viimased augud vastavalt normile sümmeetriliselt mõlemale poole eelnevatest aukudest kahe tala kõrguse kaugusele. Koormati uuesti $L/300$ (joonis 2.7).



Joonis 2.7 Tala 7 auguga.

Kuuenda katsena uuriti tala jääktugevust koormates purunemiseni.

2.4.4 Talade augustamine oksakohtade juures.

Üldine suur küsimus on puittalade puhul see, mis juhtub kui talas satub olema oksakoht ning kuidas mõjutab tala tugevust eriti juhul kui augustamisel juhtub oksakoht olema augu juures. Sellest ajendatult katsetati kolme tala juhendi SINTEF 522.351 augustamise reeglite järgi, tehes igasse neist kolmest talast neli auku paigutades augud suurimatele oksakohtadele nii

lähedale kui võimalik (joonis 2.8). Nende katsete puhul uuriti elastsusmooduli muutust, läbipaindeks $L/300$ vaja minevat koormust ja painde tugevust, mis jäi pärast augustamist alles.

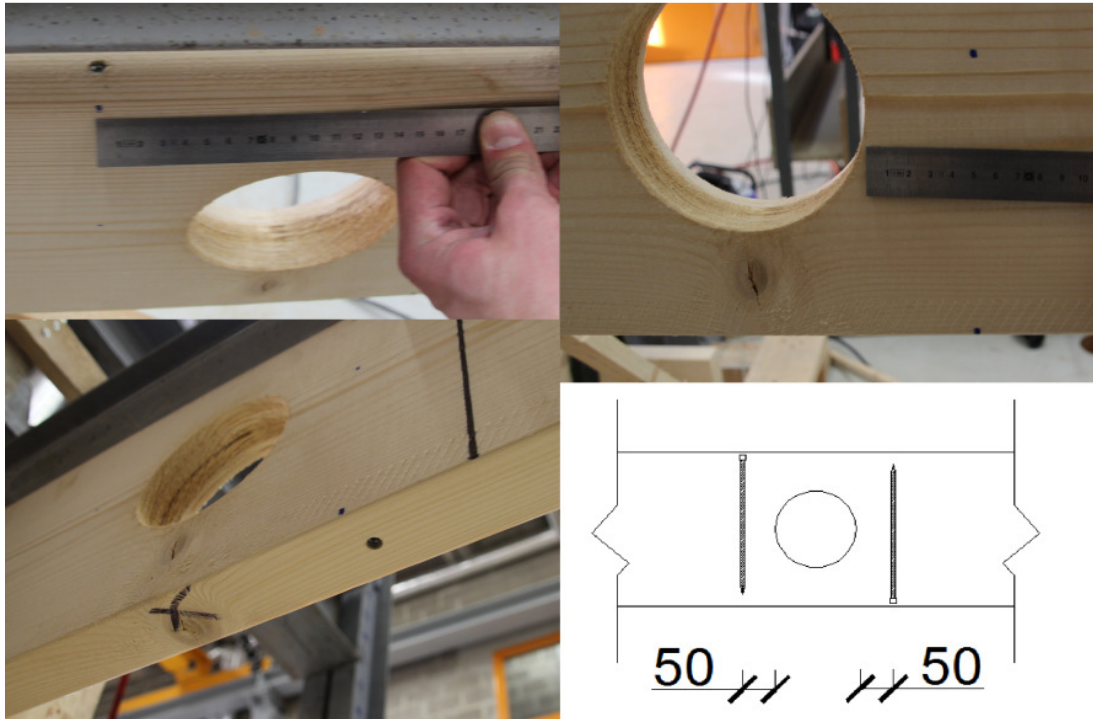


Joonis 2.8 121mm auk tehtud võimalikult lähedale oksakohale.

2.4.5 Tugevdamine kruvidega

Et teada saada, kuidas mõjutab tugevdamine tala omadusi, tehakse talasse vaid üks auk kõige suurema momendiga tala osasse oksakoha kohale. Esimeseks tugevdamise meetodiks on tugevdamine kruvidega, mis on peaaegu sama pikad kui tala kõrgus. Kruvid, mida kasutati tala jäigastamiseks, on 6,5 x 220mm ESSVE ET-T. Kruvid on kahe eraldi keermega, millest otsa poole jääv keere on hõredam ning pea poole jääv keere tihedam. Ühelt keermelt üle minemiseks teisele on 20mm keermestamata osa. Kruvi paigaldati talasse 50mm kaugusele augu lähimast servast (joonis 2.9). Kummalegi poole auku paigaldati üks kruvi. Tala keskele jääva augu serva juures paigaldati kruvi alt ülesse, toe poole jäävas augu servas ülevalt alla. Kruvid peaksid ära hoidma pragude tekke ning nende edasise arenemise augu servades. SFS juhendi järgi [23] on suurim lubatud ümmargune auk, mida võib kruvidega tugevdada, 0,4 tala kõrgust. Antud juhul oleks see $0,4 * 245\text{mm} = 98\text{mm}$. Antud katsetes käsitletav auk talas on aga 121mm. Arvestades asjaolu, et auk tehakse oksakoha peale, ning FEM uuringust [12] selgus, et kõige täpsema tulemuse tugevuse jaoks annab tala, millel oksakohta arvestatakse

kui auku, siis tõenäoliselt ei vasta tala paindetugevus normile. Kuid reaalsed tulemused saadakse katsetest. Antud katse jaoks kasutati kolme tala.

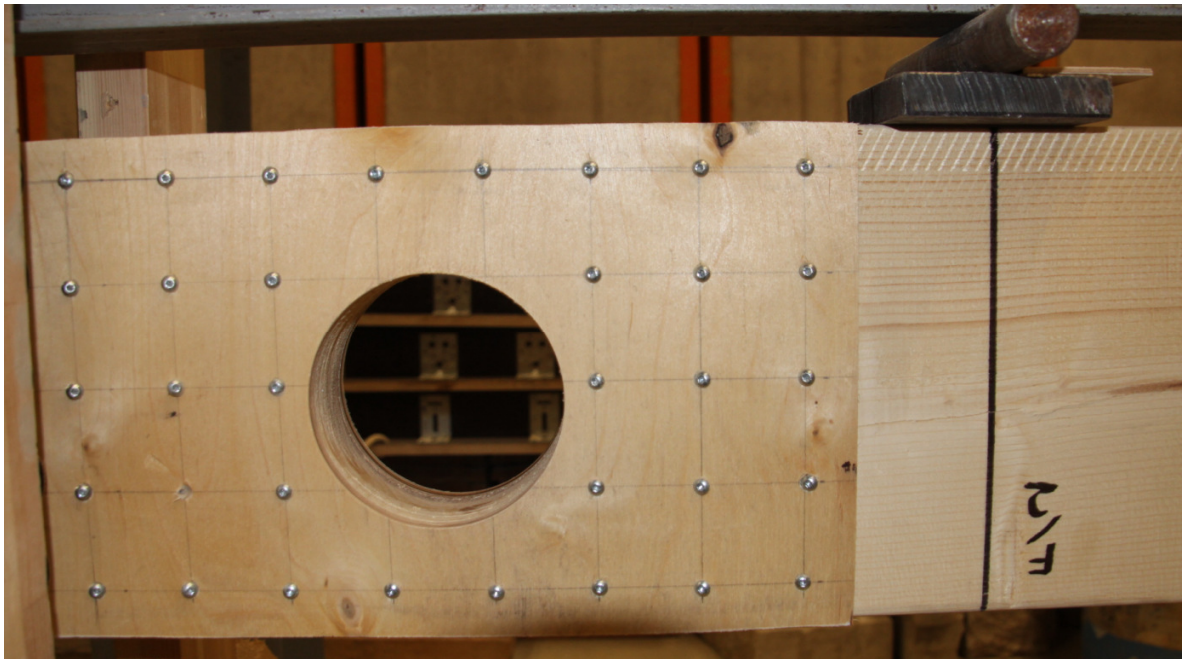


Joonis 2.9 Kruvide paigutamine talasse.

2.4.6 Tugevdamine vineerplaatide ja kruvidega

Teine lahendus, mida kasutati tala jäikuse taastamiseks ning tugevusomaduste tagamiseks, olid vineerplaadid, mis kinnitati kruvidega. Vineerist plaatidega tugevdamise puhul kasutati 9-kihilist kuusest vineeri paksusega 12mm. Vineerist lõigati tükid 245 x 400mm, mis paigaldati kummalegi poole augustatud kohta. Auk vineeridesse freesiti sama 121mm freesiga, millega ka talasse. Kinnitamiseks kasutati 4mm kruvisid pikkusega 40mm. Kruvid paigaldati 50 x 50mm ruudustikus kokku ühele vineerile 32 kruvi (joonis 2.10). Ühe augu tugevdamise jaoks kasutati kokku kahte vineeri ja 64 kruvi. Katsetamiseks kasutati kolme tala, millele puuriti 121mm auk oksakoha kohale. Plaatide kinnitamisel ei kasutatud liimi. Liimühenduse puhul oleksid pinnad olnud paremas kokkupuutes, ning tugevus ja jäikuse näitajad oleksid olnud tõenäoliselt kõrgemad kui antud katsetes. Katse eesmärk on katsetada halvimat võimalikku juhust. Võttes arvesse, et tala ei ole päris sile, vaid esineb kaardumist,

mis tekitaks kehva liimühenduse või suure liimi kulu, jäetigi ühendus liimimata. Liimimise kvaliteediga oli hädas ka Margit Metsallik oma lõputöös [24], kus I-talade liimühendused andsid järgi kui ka kärg I-tala katsetes, kus üks tala tuli sõrmjätkust koormamisel lahti kehva liimimise kvaliteedi tõttu [14]. Uuringute kohaselt sobib vineer liimühendusega tugevdamiseks kuni 0,5 tala kõrguselist ümmargust auku [16]. Vineer peaks ennetama pragude teket augu ümbruses ning purunemine peaks toimuma august eemal, tala keskel. Arvestades, et auk on maksimaalse lubatud suurusega, puudub liimühendus ning augu all asub oksakoht, toimub purunemine eeldatavasti augu juures. Katsetamise käigus uuritaksegi tala jäikusomadusi pärast tugevdamist ning vaadeldakse, kas tala paindetugevus pärast augustamist ja tugevdamist vastab normis antud C24 puidu tingimustele.

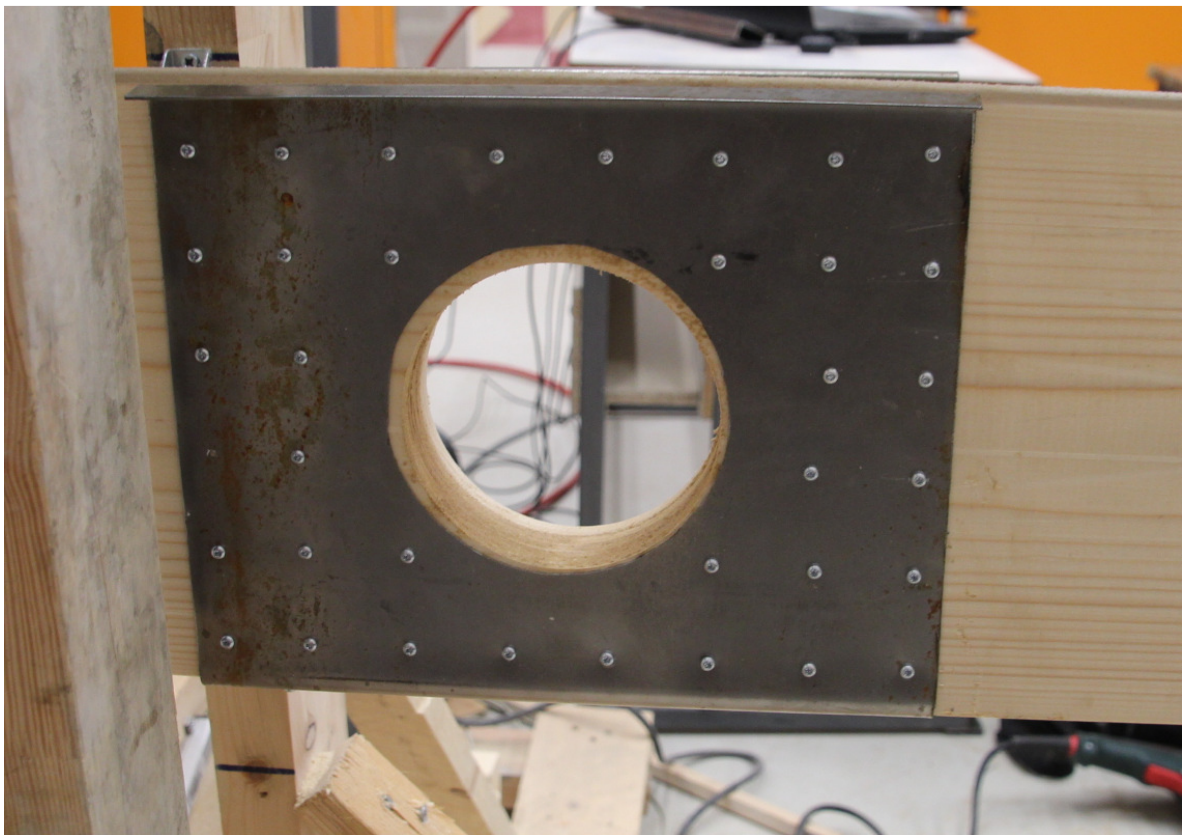


Joonis 2.10 Vineeriga tala tugevdamine.

2.4.7 Tugevdamine terasest ümbrisega

Uus-Meremaal ja Austraalias väga levinud metallümbrised aukude tugevdamiseks ei ole hetkel veel Eestis laialdaselt praktikas kasutuses. Arvutuslikke andmeid sellise huvipakkuva lahenduse jaoks ei ole saadaval. Seetõttu otsustatigi katseliselt uurida, kas selline lahendus on piisavalt hea, et luua puitmaterjali vastavus klassi C24 tingimustele. Antud tugevduse puhul

on 45mm x 245mm talale lubatud teha 121mm läbimõõduga ümmargune auk, mida antud katsetes ka tehakse. Auk asub jällegi oksakoha kohal, nagu eelnevateski katsetes. Selle tugevdusega katsetatakse kolme tala. Terasest tugevdus on 1,5mm plekist. Antud tugevdus paigaldatakse 3mm kruvidega, mille pikkus on 30mm (joonis 2.11). Eestis kasutatav okaspuu on tõenäoliselt okslikum kui Uus-Meremaal või Austraalias. Katsetest saadud tulemused näitavad, kas antud tugevdusel võiks olla perspektiivi ka Eestis kasutatavatel puittaladel.



Joonis 2.11 Terasest tugevdus.

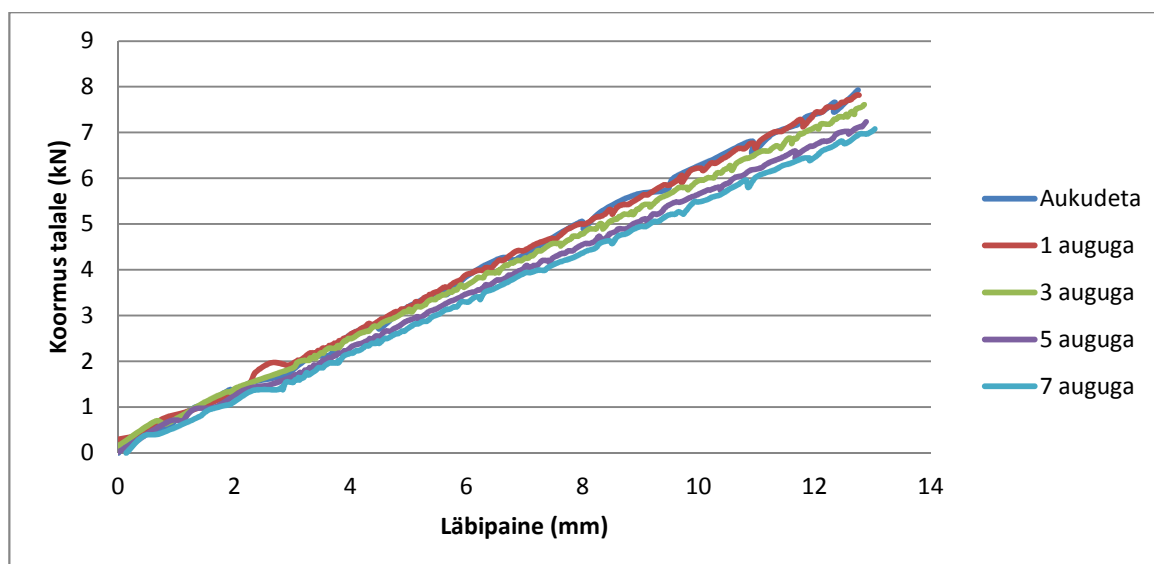
3 KATSETULEMUSED

3.1 Maksimaalsete aukude arvuga talad.

Kasutati talasid number 15, 14 ja 13. Läbipainde suurenemise näide tala 15 näol on ära toodud tabelis 3.1 ja joonisel 3.1. Joonis 3.2 on talade number 15, 14 ja 13 koormuse - deformatsiooni graafik.

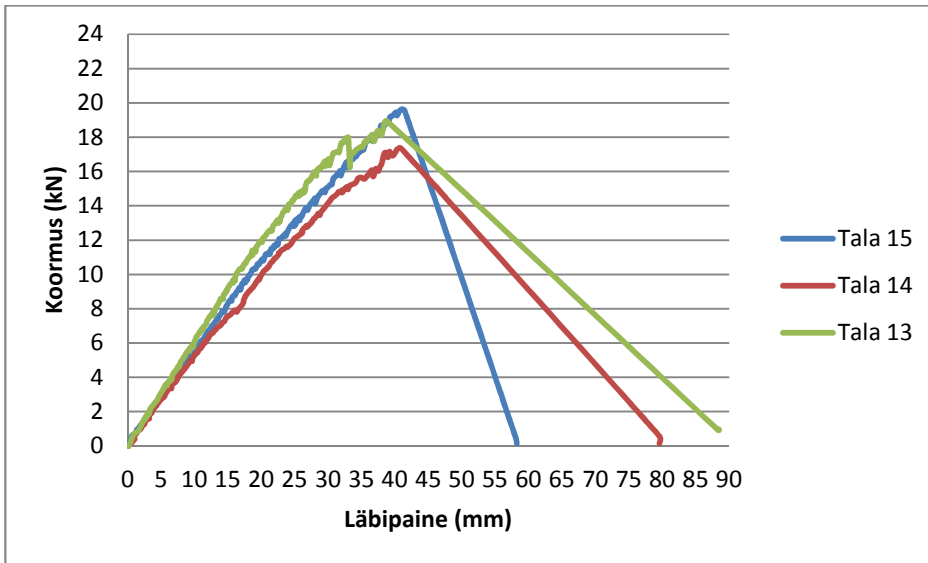
Tabel 3.1 Tala 15 koormused 13mm läbipaindel erinevate aukude arvuga (joonis 3.1).

| Katsekeha 1 | Aukudeta | 1 auguga | 3 auguga | 5 auguga | 7 auguga |
|-------------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Tala 15 | 7,93kN | 7,82kN | 7,60kN | 7,23kN | 7,07kN |

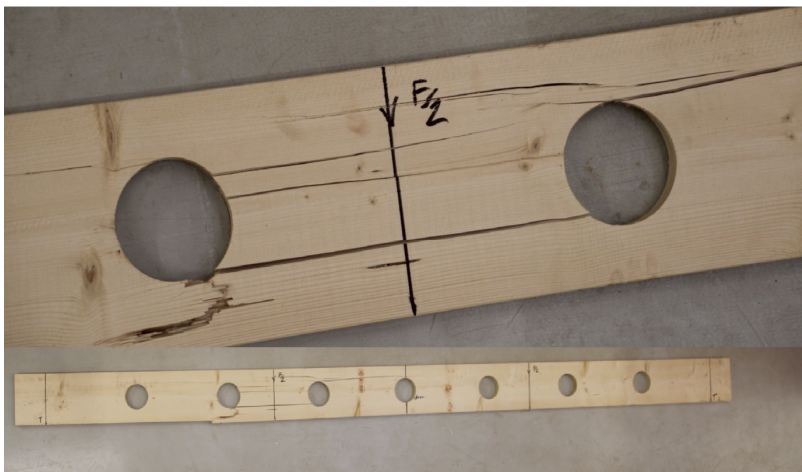


Joonis 3.1. Tala 15 läbipainde muutus erinevate aukude arvuga. Tala sille 3900mm, laius 45mm, kõrgus 245mm, aukude diameeter 121mm.

Talade number 15, 14, 13 maksimaalseteks koormusteks jäi vastavalt 19,63kN, 17,38kN ja 18,93kN, läbipainded maksimaalse koormuse juures olid vastavalt 41,1mm, 40,7mm ja 38,8mm (Joonis 3.2).

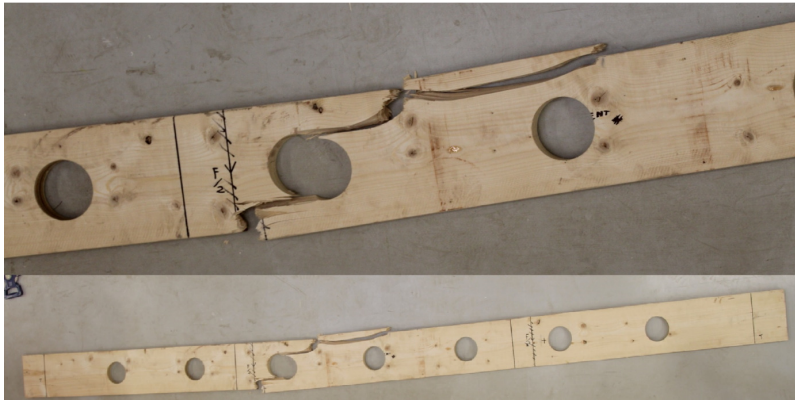


Joonis 3.2 Talade number 13, 14, 15 koormuse - deformatsiooni graafik.



Joonis 3.3 Tala 15 purunemine.

Tala 15 purunemine toimus koormamispunktile lähedal oleva augu alt (joonis 3.3). Purunemine toimus oksakoha mõjul. Purunemise koht ei asunud kõige suurema momendiga alas.



Joonis 3.4 Tala 14 purunemine.

Tala 14 purunemine sai alguse koormamispunkti lähedal oleva augu all asuvast oksakohast suurima paindemomendiga alas (joonis 3.4).

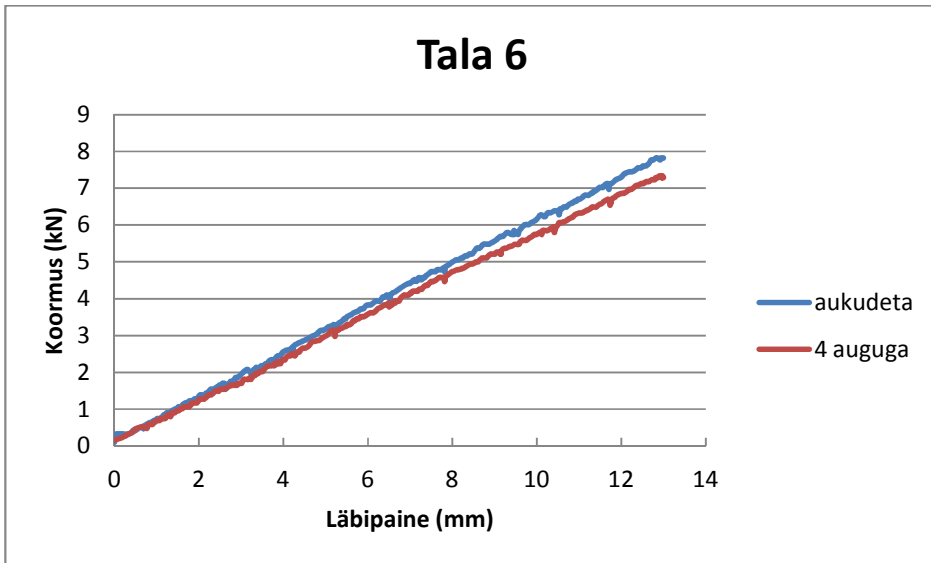


Joonis 3.5 Tala 13 purunemine ja asukoht talal.

Tala 13 purunemine toimus augu all asuva puiduosa järgi andmisel. Purunemine ei toimunud suurima paindemomendiga alas (joonis 3.5).

3.2 Halvima võimaliku juhu katsetamine oksakohtade juures

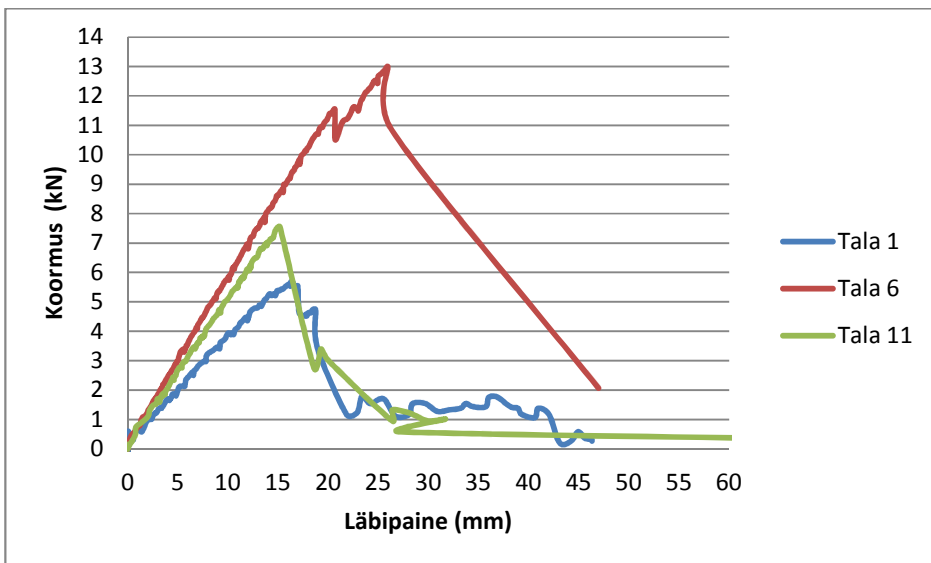
Taladesse number 1, 6 ja 11 tehti neli auku suurimate oksakohtade juurde jälgides juhendi SINTEF 522.351 augustamise reegleid. Tala 6 läbipainded avaldatud joonisel 3.6 ja Tala 6 koormused tabelis 3.2.



Joonis 3.6 Tala 6 koormuse - läbipainde graafik.

Tabel 3.2. Tala 6 koormused 13mm läbipainde juures aukudeta ja 4 auguga.

| Katse 5 | Aukudeta | 4 auku |
|---------|----------|--------|
| Tala 6 | 7,82kN | 7,34kN |



Joonis 3.7 Talade number 1, 6, 11 koormamine purunemiseni jääkkandevõime uurimisel.

Talade number 1, 6, 11 maksimaalsed koormused olid vastavalt 5,69kN, 12,99kN ja 7,55kN, läbipainded maksimaalse koormuse juures vastavalt 16,4mm, 25,9mm ja 15,2mm (joonis 3.7).



Joonis 3.8 Tala 1 purunemise koht ja asukoht talal.

Tala 1 puhul on tegemist suure defektiga talaga. Tala purunes oksapesast, mis oli augu all. Tõenäoliselt ei oleks tala kasutusse läinud põranda talana, sest defekt oli väga suur (joonis 3.8).



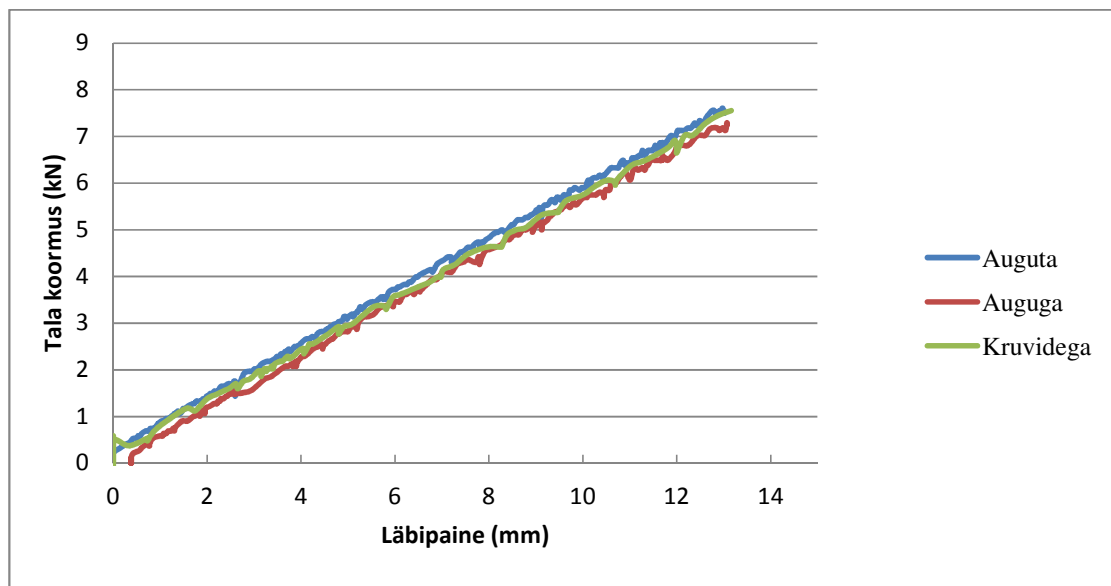
Joonis 3.9 Tala 6 purunemise koht ja asukoht.

Tala 11 ja Tala 6 (joonis 3.9) purunesid augu all asuva oksakoha tõttu suurima paindemomendiga alas. Kandma jäi vaid augu pealne puiduosa.

3.3 Kruvidega tugevdamine.

Taladesse number 12, 3 ja 2 tehti üks auk oksakoha juurde ja paigaldati kruvid pikkusega 220mm jämedusega 6,5mm augu servast 50mm kaugusele. Näitena toodud tala 12 koormamine joonisel 3.10. Tabelis 3.3 on toodud koormused nii auguta, auguga kui augu ja kruvidega.

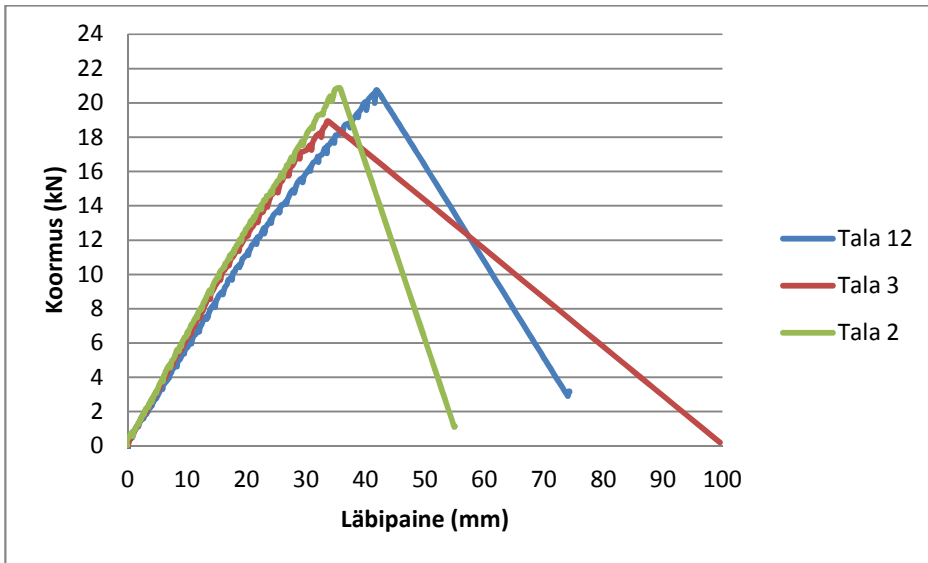
Tala 12 koormamine 13mm-ni on toodud joonisel 3.10.



Joonis 3.10 Tala 12 koormamine 13mm-ni erinevatel juhtudel.

Tabel 3.3 Tala 12 koormused läbipainde juures 13mm.

| Katsekeha 7 | Auguta | Auguga | Kruvidega |
|-------------|--------|--------|-----------|
| Tala 12 | 7,61kN | 7,29kN | 7,55kN |



Joonis 3.11 Talade number 12, 3 ja 2 purunemise graafik.

Talade number 12, 3 ja 22 maksimaalsed koormused olid vastavalt 20,7kN, 18,9kN ja 20,8kN, läbipainded nende koormuste juures olid vastavalt 42mm, 33,72mm ja 35,7mm (joonis 3.11).

Tala 12 ei purunenud augu juurest kuid talad 3 ja 2 purunesid.



Joonis 3.12 Tala 12 purunemise koht.

Tala 12 ei purunenud augu ega oksakoha tõttu. Kruvid hoidsid ära pragude tekke ja arenemise augu ümber. Tala purunemine algas tala keskosa lähedalt oksakoha juurest (joonis 3.12).



Joonis 3.13 Tala 3 purunemise koht.

Tala 3 purunes oksakoha mõjul augu alt, millele järgnes augu peal asuva puiduosa purunemine. Tala purunes momentselt (joonis 3.13).



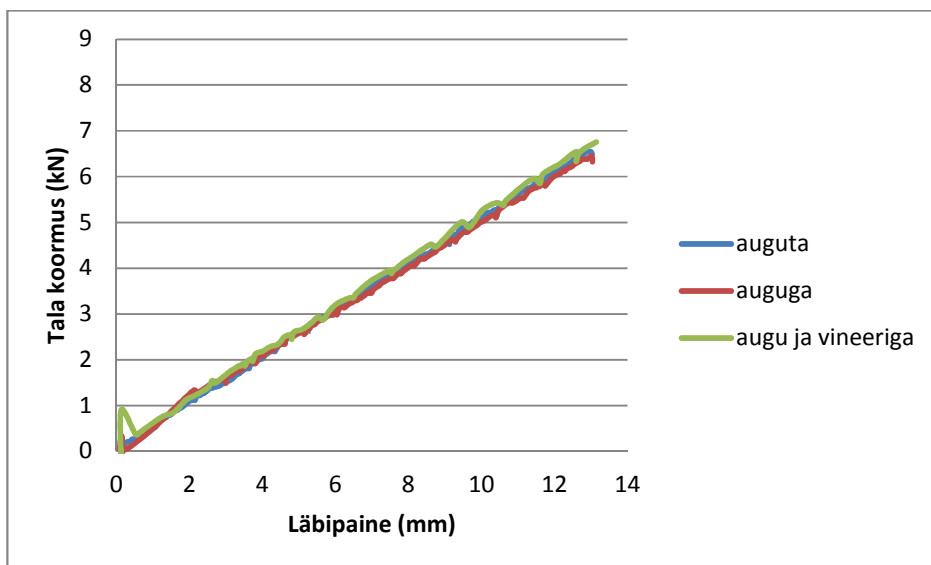
Joonis 3.14 Tala 2 purunemise koht.

Tala 2 purunes augu all asuva oksakoha mõjul. Pärast tala purunemist jäi hoidma vaid augu peal olev puidu osa (joonis 3.14).

3.4 Talade tugevdamine kruvitud vineerplaatidega

Taladesse numbriga 10, 9 ja 4 puuriti 121mm auk, mis tugevdati mõlema tala küljelt külge kruvitud vineerplaatidega ning koormati 13mm-ni.

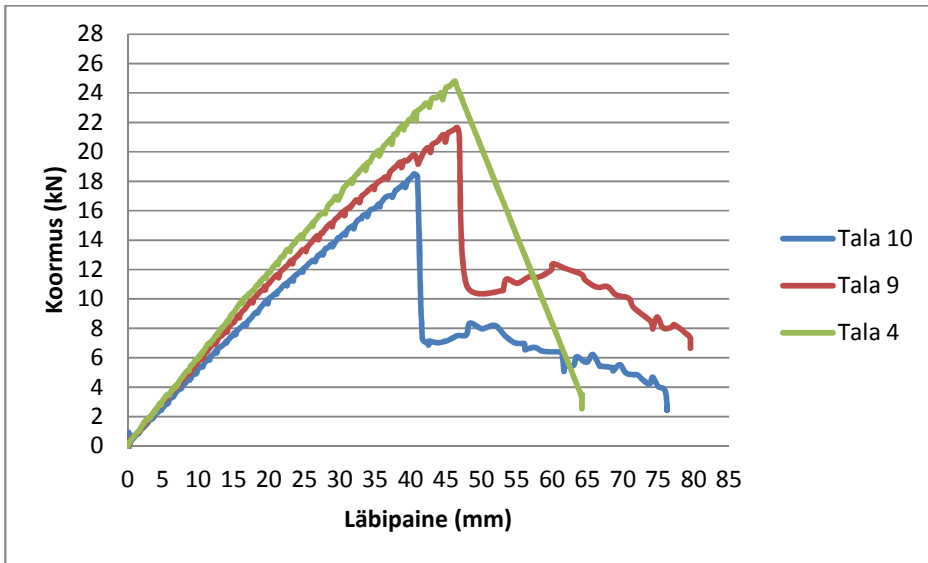
Tala 10 koormamine on ära toodud joonisel 3.15. Tala 10 koormused 13mm läbipainde juures auguta, auguga ja vineeritugevdusega on ära toodud tabelis 3.4.



Joonis 3.15 Tala 10 koormamine 13mm-ni erinevatel juhtudel.

Tabel 3.4 Tala 10 koormused 13mm juures.

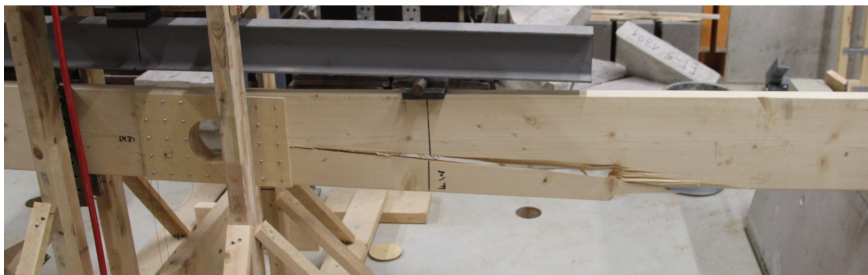
| Katsekeha 10 | Auguta | Auguga | Augu, vineeride ja kruvidega |
|--------------|--------|--------|------------------------------|
| Tala 10 | 6,54kN | 6,43kN | 6,75kN |



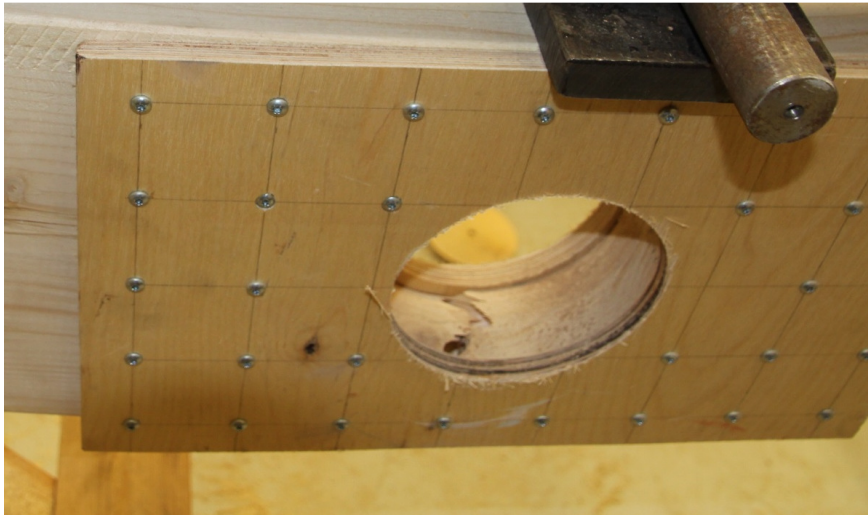
Joonis 3.16 Talade number 10, 9 ja 4 koormamine purunemiseni augu ja vineeri tugevdusega.

Talade number 10, 9 ja 4 maksimaalsed koormused olid vastavalt 18,5kN, 21,6kN, 24,8kN, ning koormustele vastavad läbipainded 40,5mm, 46,6mm ja 46,2mm (joonis 3.16).

Talad number 10 ja 9 purunesid oksakohast augu alt. Vineer jäi terveks. Tala 4 purunes august eemal, kuid pragu arenes kuni auguni (joonis 3.17). Antud tugevduse puhul jäi vähesel määral kandevõimet alles taladel number 10 ja 9 kui purunemine oli oksakoha mõjul toimunud. Tala 10 purunemine toodud joonisel 3.18.



Joonis 3.17 Tala 4 purunemine.

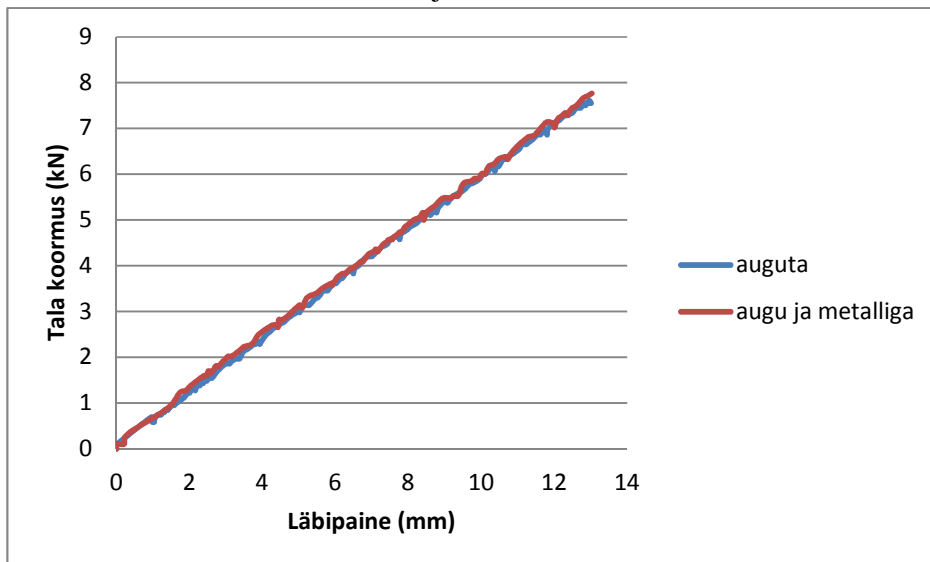


Pilt 3.18 Tala 10 purunemine.

3.5 Talad tugevdatud terasest ümbrisega.

Taladesse numbriga 5, 8 ja 7 puuriti 121mm auk ning tugevdati teras ümbrisega, mis kinnitati kruvidega.

Tala 5 koormamine on ära toodud joonisel 3.19.

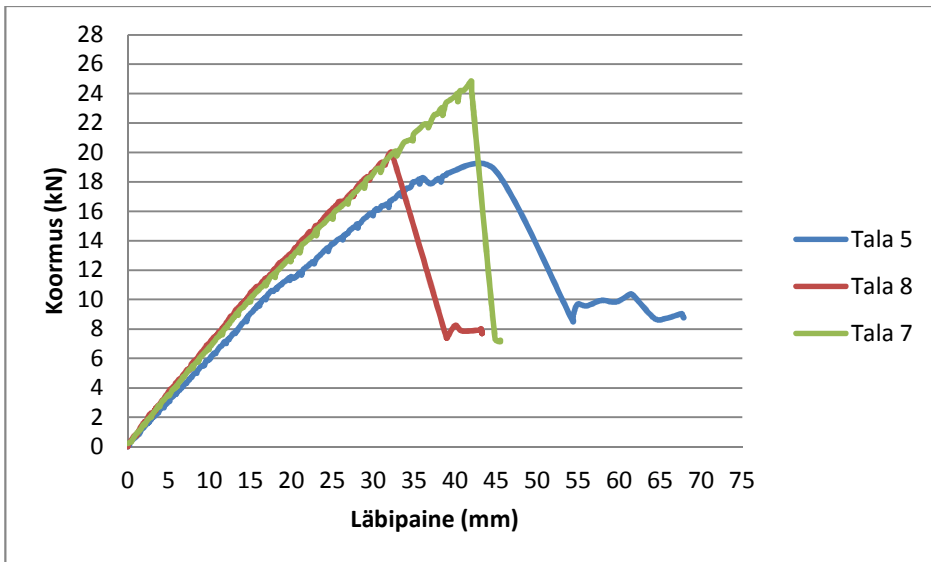


joonis 3.19 Tala 5 koormamine läbipaindeni 13mm.

Tala 5 koormused 13mm juures on avaldatud tabelis 3.5.

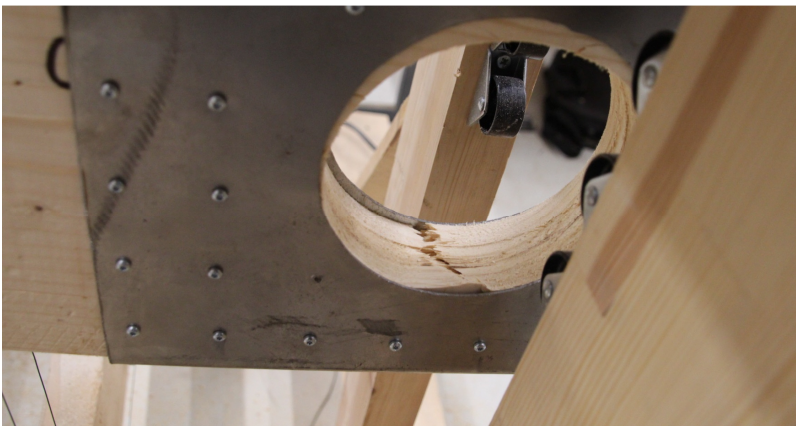
Tabel 3.5 Tala 5 koormused 13 mm juures.

| Katsekeha 12 | Auguta | Augu, metalli ja kruvidega |
|--------------|--------|----------------------------|
| Tala 5 | 7,61kN | 7,77kN |



Joonis 3.20 Talade number 5, 8 ja 7 purunemise graafikud terasest ümbrise tugevdusega.

Talade number 5, 8 ja 7 maksimaalsed koormused olid vastavalt 18,7kN, 20,0kN ja 24,9kN ning läbipainded vastavalt 44,9mm, 32,2mm ja 41,9mm (joonis 3.20). Kõik talad purunesid terasest ümbrise sees augu all olevast oksakohast.



Joonis 3.21 Tala 5 purunemine terasest ümbrise sees.

4 ANALÜÜS JA ARUTELU

4.1 Elastsusmooduli ja paindetugevuse leidmine

Saamaks elastsusmoodulit, kasutati kahte erinevat moodust.

- Puidu niiskuse mõõtmine aparaadiga Ahlborn FHA 696 MF ning Fakopp Microsecond Timer-iga.
- Standardist EVS-EN 408:2008+A1 2012 globaalse paindeelastsusmooduli valemist:

$$E_{m,g} = \frac{3al^2 - 4a^3}{2bh^3 \left(2 \frac{w_2 - w_1}{F_2 - F_1} - \frac{6a}{5Gbh} \right)}, \quad (4.1)$$

- kus
- a - kaugus toest kuni punkti, kuhu tuleb koormus,
 - l - silde pikkus,
 - b - tala laius,
 - h - tala kõrgus,
 - w - ta läbipaine,
 - F - jõud koormamisel,
 - G - nihkeelastsusmoodul, mis on võetud samuti standardist EVS_EN 408:2008+A1 2012, olles okaspuu puhul 650 N/mm².

Paindetugevuse arvutamiseks kasutati standardi EVS-EN 408:2008+A1 2012 valemit 17 [21]:

$$f_m = \frac{3 \cdot F \cdot a}{bh^2}, \quad (4.2)$$

- kus
- F - hüdrosilindri poolt talale rakendatud jõud,
 - a - toe ja koormatava punkti vaheline kaugus,
 - b - tala laius,
 - h - tala kõrgus.

Koormus leiti valemist

$$\Delta_d = \frac{5 \cdot q_k \cdot l^4}{384 \cdot E_0 \cdot I_y}, \quad (4.3)$$

- kus
- q_k - otsitav koormus,
 - Δ_d - läbipaine,
 - l - tala silde,
 - E₀ - tala elastsusmoodul,
 - I_y - inertsmoment.

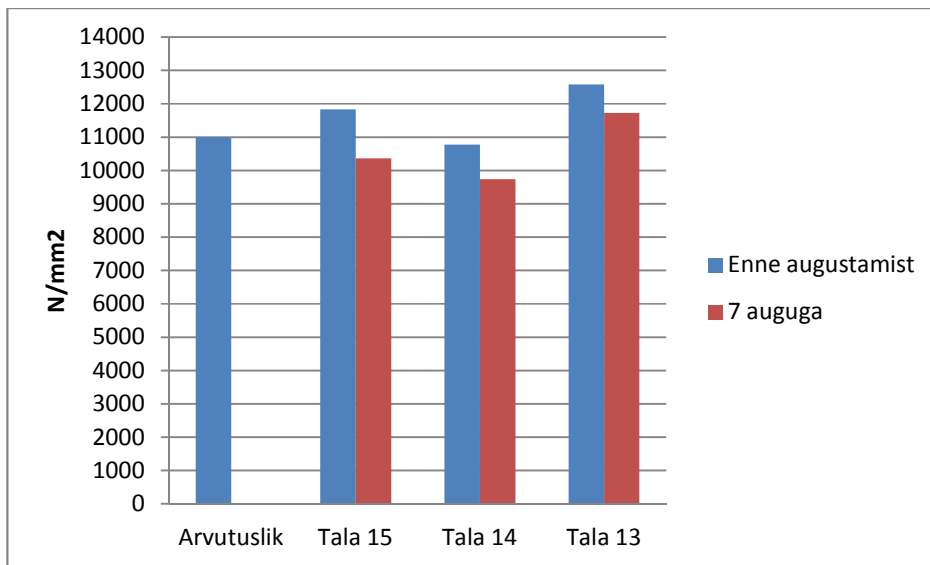
4.2 Maksimaalsete aukude arvuga talad

Tulemused talade 15, 14, 13 kohta toodud tabelis 4.1.

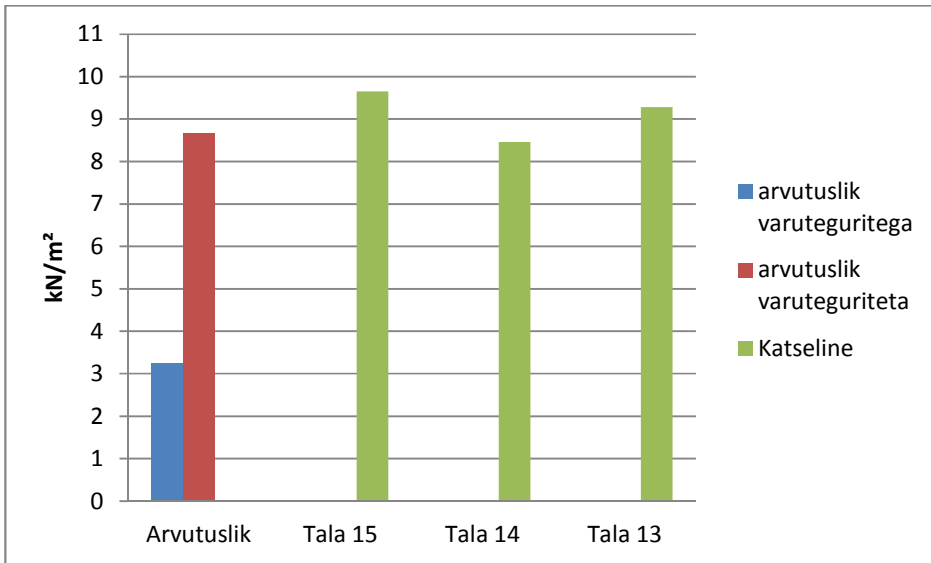
Tabel 4.1 Talade 15, 14 ja 13 leitud põhi parameetrid ja arvutuslikud näitajad.

| | | | Tala 15 | Tala 14 | Tala 13 |
|---|--------|-------------------|---------|---------|---------|
| Kõrgus | h | mm | 245 | 245 | 245 |
| Laius | b | mm | 45 | 45 | 45 |
| Pikkus | L | mm | 4124 | 4213 | 4214 |
| Kaal | m | kg | 18,97 | 19,37 | 20,04 |
| Puidu niiskus | w | % | 13,05 | 13,4 | 15,3 |
| Tihedus | ρ | kg/m ³ | 408 | 417 | 431 |
| Maksimaalne koormus | F | kN | 19,63 | 17,38 | 18,93 |
| Elastsusmoodul Fakopp | E_0 | N/mm ² | 11636 | 11075 | 10735 |
| Elastsusmoodul EVS-EN 408:2010 | E_0 | N/mm ² | 11828 | 10776 | 12574 |
| Elastsusmoodul 7-auguga EVS-EN 408:2010 | E_0 | N/mm ² | 10357 | 9734 | 11724 |
| Paindetugevus standardi EVS-EN 408:2010 | f_m | N/mm ² | 26,5 | 23,5 | 25,5 |

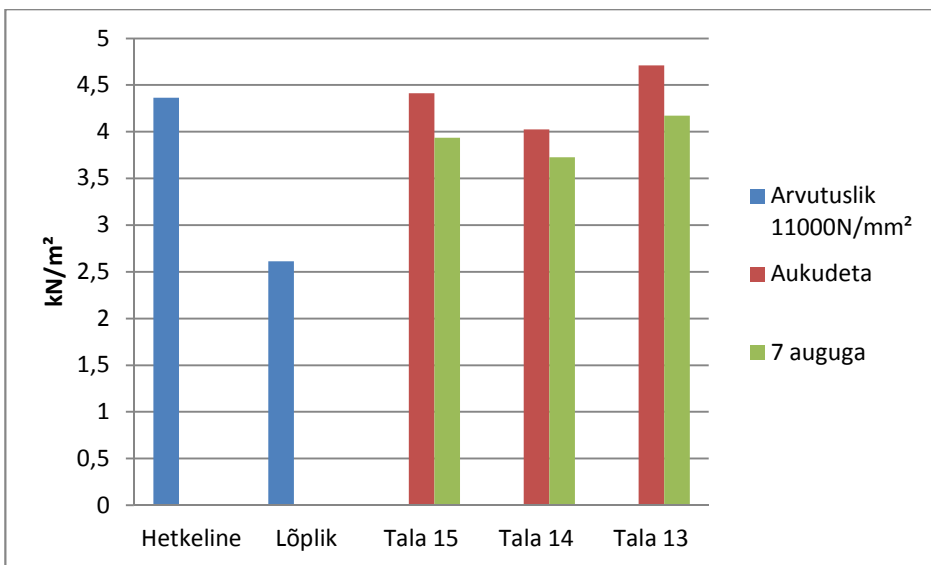
Mõõteriista Fakopp abiga saadud tulemustest ühel juhul ei vastanud tala elastsusmooduli järgi C24 kategooriasse, nimelt Tala 13. Katsetamisel EVS-EN standardi [21] järgi saadud tulemustest ei vastanud Tala 14 puidu klassi C24 elastsusmoodule. Kui talad olid augustatud, siis ei vastanud paindeelastsus moodul katseliselt puidu klassile C24 enam talal 15 ja 14. Augustamine vähendas elastsusmoodulit keskmiselt 1120N/mm^2 võrra (joonis 4.2). Kui vaadata elastsusmooduli järgi puidu kuulumist tugevusklassidesse, oleksid talad enne augustamist vastavalt C24, C22 ja C30, pärast augustamist C22, C18 ja C24. Paindetugevuse järgi ei vasta Tala 14 C24 tugevusele. See on tala, mille elastsusmoodul juba augustamata juhul ei vastanud puidu klassi C24 tingimustele (joonis 4.1) kuid vastas C22 tingimustele. Paindetugevus jäi $0,5\text{kN/m}^2$ alla poole C24 normile, mis on umbes 2% painde tugevusest. Keskmine paindetugevus oli $25,2\text{N/mm}^2$ isegi juhul kui taladesse oli tehtud 7 auku suurusega 121mm (Tabel 4.1).



Joonis 4.1 Paindeelastsusmoodul EVS-EN 408:2010+A1 2012 järgi. Arvutuslik paindeelastsusmoodul, Talade 15, 14, 13 katselised elastsusmoodulid enne aukude tegemist ning pärast seitsme augu tegemist.



Joonis 4.2 Augustatud talade arvutuslik varuteguritega, arvutuslik varuteguriteta ja katseline koormus enne purunemist 3,9 meetrise silde ja 600mm sammu puhul.



Joonis 4.3 Koormused taladele saamaks läbipainet 1/300 arvutuslik hetkeline ja lõplik, hetkeline aukudeta ja 7 auguga.

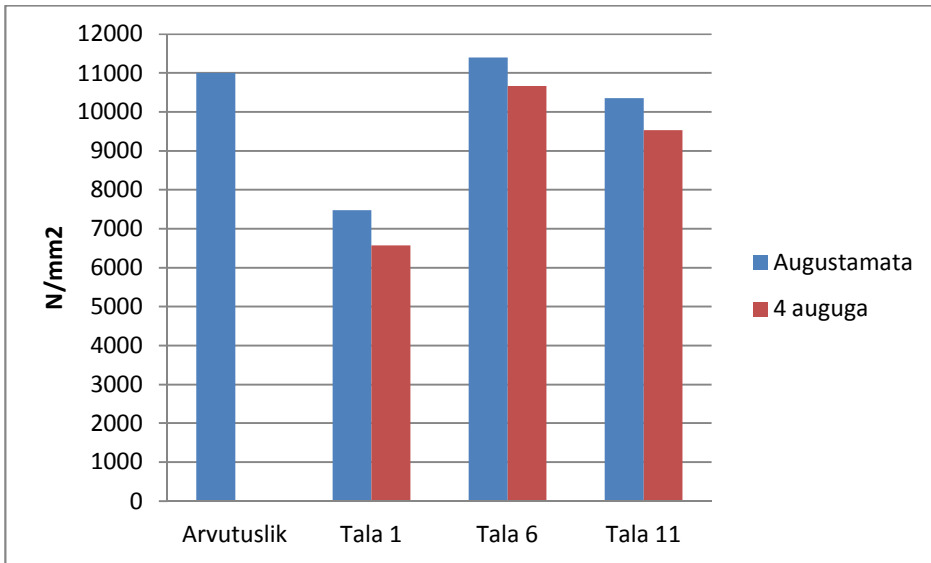
4.2.1 Halvima võimaliku juhu katsetamine oksakohtades.

Halvima võimaliku lahenduse jaoks valiti kõige suuremate oksakohtadega talad ning paigaldati nii, et oksad jääksid tõmbetsooni augu alla. Talade omadused toodud tabelis 4.2.

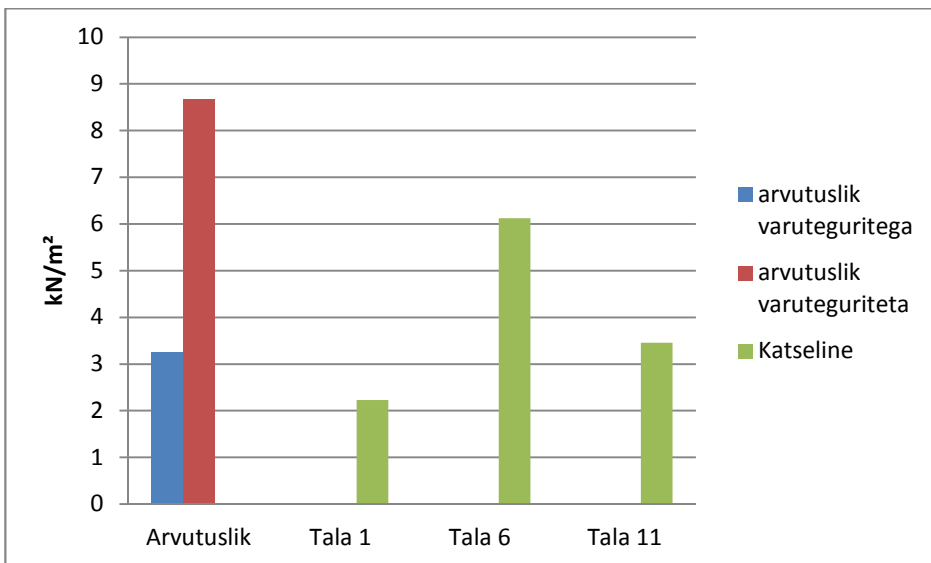
Tabel 4.2. Talade 1,6, 11 leitud põhi parameetrid ja arvutatud näitajad.

| | | | Tala 1 | Tala 6 | Tala 11 |
|---|----------------|-------------------|--------|--------|---------|
| Kõrgus | h | mm | 245 | 245 | 245 |
| Laius | b | mm | 45 | 45 | 45 |
| Pikkus | L | mm | 4125 | 4214 | 4216 |
| Kaal | m | kg | 19,48 | 19,47 | 19,12 |
| Puidu niiskus | w | % | 12,75 | 13,95 | 13,35 |
| Tihedus | ρ | kg/m ³ | 419 | 419 | 411 |
| Maksimaalne koormus F | F | kN | 5,69 | 12,99 | 7,55 |
| Elastsusmoodul Fakopp | E ₀ | N/mm ² | 8114 | 11266 | 11104 |
| Elastsusmoodul katsetusel EVS-EN 408:2010 | E ₀ | N/mm ² | 7479 | 11407 | 10358 |
| Elastsusmoodul aukudega EVS-EN 408:2010 | E ₀ | N/mm ² | 6574 | 10670 | 9528 |
| Paindetugevus | f _m | N/mm ² | 7,67 | 17,53 | 10,79 |

Fakopp-iga saadud tulemustest ei vastanud Tala 1 elastsusmooduli järgi C24 kategooriasse. Katsetamisel EVS-EN 408:2010+A1 2012 järgi saadud tulemustest ei vastanud Tala1 ja Tala 11 elastsusmoodulid C24 puidu klassile. Kui talad olid augustatud, siis ei vastanud ühegi tala elastsusmoodul katseliselt puidu klassile C24 (joonis 4.4). EVS-EN 408:2010+A1 2012 elastsusmooduli järgi oleksid talad enne augustamist vastavalt C14, C24 ja C22, pärast augustamist ei vastanud Tala 1 elastsusmoodul enam ühelegi standardis antud elastsusmooduli klassile. Tala 6 elastsusmoodul vastas puidu klassile C22-le ja Tala 11 elastsusmoodul vastas puidu klassile C18. Tala 1 omas suurt defekti, mistõttu ei oleks põranda talana kasutusse läinud, kuid antud katsetes on kasutatud tootja (Stora Enzo) poolt puiduklassi C24 tunnistatud talaga ning eesmärk ongi katsetada võimalikku halvimat juhtumit nii, nagu realselt võidakse puit ära kasutada.



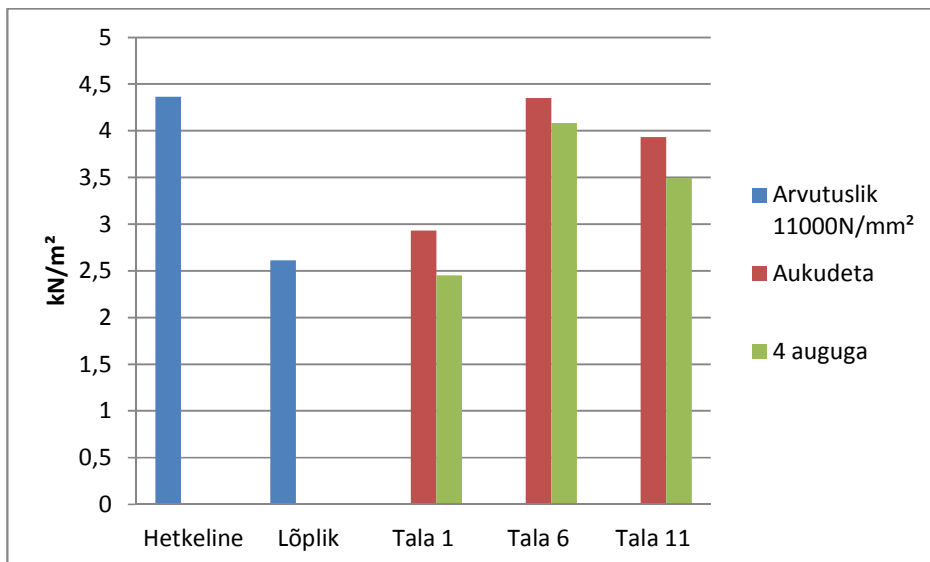
Joonis 4.4 Paindeelastsusmoodul EVS-EN 408:2010+A1 2012 järgi. Arvutuslik paindeelastsusmoodul, talade 1, 6, 11 katselised elastsusmoodulid enne aukude tegemist ning pärast nelja augu tegemist.



Joonis 4.5 Augustatud talade arvutuslik varuteguritega, arvutuslik varuteguriteta ja katseline koormus enne purunemist 3,9 meetrise silde ja 600mm sammu puhul.

Talade 1, 6 ja 11 paindetugevused ei vasta augustamise puhul arvutuslikule paindetugevusele kui varutegureid ei arvestata. Arvestades varutegureid, siis tala 6 ja 11 peaksid vastu põranda konstruktsioonis ettenähtud koormusele kuid tala 11 on ohtlikult ligidal sellele piirile ning

konstruktsioonis esineks suur läbipaine antud tala poolt. Tala 1 ei peaks põranda konstruktsioonis vastu ka siis kui kasutada arvutamisel varutegureid (joonis 4.5).



Joonis 4.6 Koormused taladele saamaks läbipainet $l/300$ arvutuslik hetkeline ja lõplik, hetkeline aukudeta ja 4 auguga.

Tulemused olukorras, kus augustatakse oksakohale võimalikult ligidal, on paindetugevuse poole pealt väga kehvad. Puit ei pea enam ettenähtud tingimustele vastu ning võib tekitada avarii olukord väiksema koormuse juures kui ette nähtud. Et antud olukorda vältida, on vajalik tugevdada tala augu ümbert. Järgnevalt katsetatakse kolme erinevat moodust tala tugevdamiseks augu ümber.

4.2.2 Tugevdamine kruvidega

Talad, mida kasutati augu tugevdamisel olid Tala 12, Tala 3 ja Tala 2. Mõõtes tala elastsusmoodulit Fakopp-iga, saadi tugevus klassideks vastavalt C18, C24 ning C22. EVS-EN 408:2010+A1 2012 järgi saadud elastsusmoodulid asetasiid talad vastavalt C22, C24, C30. Taladesse puuriti üks auk 121mm diameetriga oksakohale võimalikult lähedale. Talad olid tugevusklassidesse paigaldatud nii, et oksakoht jääks tõmbetsooni. Elastsusmoodulid vähenesid pärast augustamist ja kruvidega jäigastamist umbes 130N/mm^2 , tugevusklassid jäid samaks.

Talade omadused on ära toodud tabelis 4.3.

Tabel 4.3 Talade 12,3,2 leitud põhi parameetrid ja arvutatud näitajad.

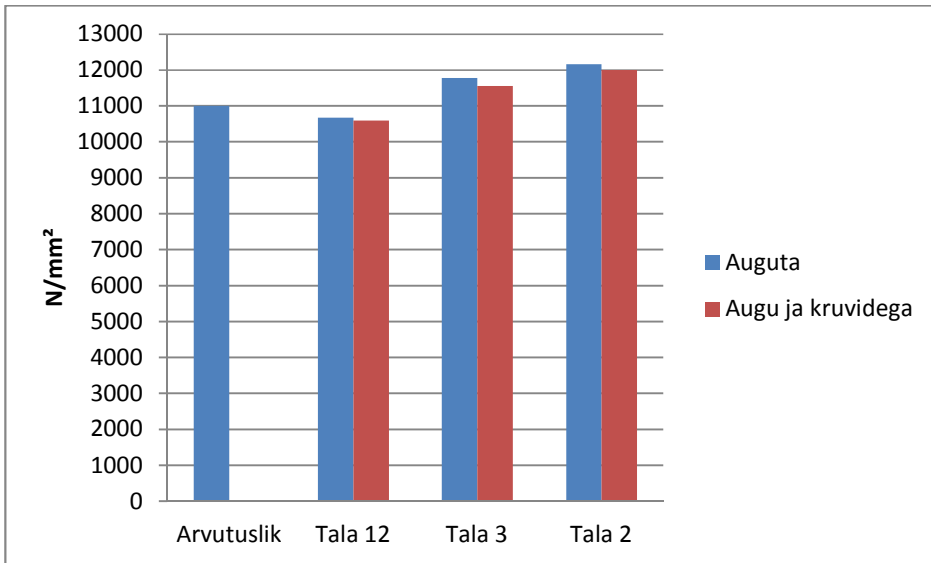
| | | | Tala 12 | Tala 3 | Tala 2 |
|---|--------|-------------------|---------|--------|--------|
| Kõrgus | h | mm | 245 | 245 | 245 |
| Laius | b | mm | 45 | 45 | 45 |
| Pikkus | L | mm | 4125 | 4214 | 4213 |
| Kaal | m | kg | 19,55 | 19,76 | 19,92 |
| Puidu niiskus | w | % | 13,25 | 14,9 | 14,65 |
| Tihedus | ρ | kg/m ³ | 421 | 425 | 429 |
| Maksimaalne koormus F | F | kN | 20,7 | 18,93 | 20,84 |
| Elastsusmoodul Fakopp | E_0 | N/mm ² | 9974 | 11510 | 10450 |
| Elastsusmoodul katsetusel EVS-EN 408:2010 | E_0 | N/mm ² | 10817 | 11246 | 12028 |
| Elastsusmoodul kruvidega EVS-EN 408:2010 | E_0 | N/mm ² | 10731 | 11557 | 11874 |
| Paindetugevus | f_m | N/mm ² | 27,9 | 25,5 | 28,1 |

Tala 12 ei purunenud oksakoha ega augu tõttu. Purunemine toimus tala keskelt arenema hakanud prao tõttu.

Tala 3 purunes oksakohast augu alt, millele järgnes augu peale jääva puidu murdumine. Purunemine oli hetkeline.

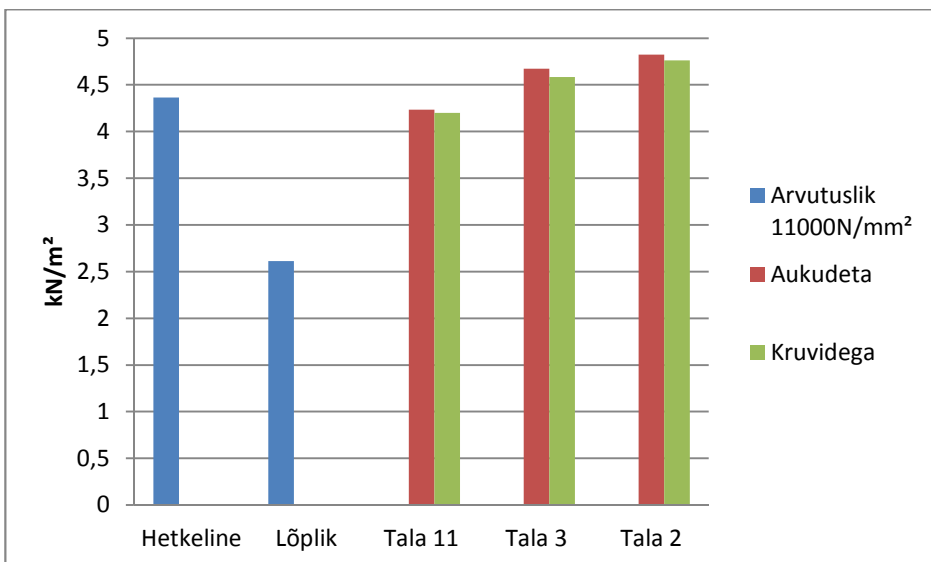
Tala 2 purunes oksakohast tala tõmbetsoonis augu alt. Kandma jäi veel ainult augu peal olev puidu osa.

Paindetugevused vastasid kõik C24 puidu klassi paindetugevusele.

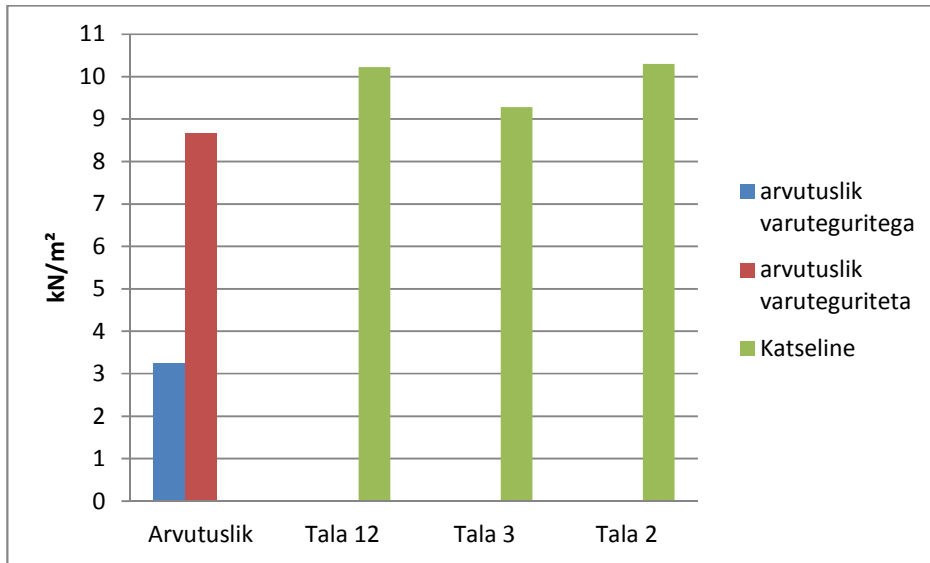


Joonis 4.7 Paindeelastsusmoodul EVS-EN 408:2010+A1 2012 järgi. Arvutuslik paindeelastsusmoodul, talade 12, 3, 2 katselised elastsusmoodulid enne aukude tegemist ning pärast augustamist ja kruvidega jäigastamist.

Tala 12 elastsusmoodul ei vastanud juba enne augustamist C24 puidu klassile, see eest tala 2 vastas lausa klassile C30 (joonis 4.7). Kõik talad kandsid hetkelise koormamise puhul üle 4kN/m² nii augustamata olukorras kui augustatult ning kruvidega tugevdatult (joonis 4.8).



Joonis 4.8 Koormused taladele saamaks läbipainet 1/300 arvutuslik hetkeline ja lõplik, hetkeline aukudeta ja auguga, mis on ümbert jäigastatud kruvidega.



Joonis 4.9 Augustatud ja kruvidega jäigastatud talade arvutuslik varuteguritega, arvutuslik varuteguriteta ja katseline koormus enne purunemist 3,9 meetrise silde ja 600mm sammu puhul.

Paindekandevõime taladel 1, 6, 11 oli suurem kui arvutuslik varuteguriteta kandevõime (joonis 4.9)

4.2.3 Tugevdamine vineerist plaatidega

Katsetamiseks kasutatud talad olid Tala 10, Tala 9 ja Tala 4. Antud taladesse puuriti üks auk diameetriga 121mm, mis oli paigutatud tõmbetsoonis asuvale oksakohale võimalikult lähedale. Augu ümbert tugevdati vineerplaatidega. Fakopp-iga mõõdetud talade elastsusmoodulid jaotuvad tugevusklassidesse vastavalt C16, C22, C22. EVS-EN408:2010+A1 2012 järgi saadi elastsusmoodulid, mis vastasid puidu klassidele vastavalt C18, C22, C22. Antud talade omadused on ära toodud tabelis 4.4.

Vineerist plaatidega tugevdamise puhul kasutati 9 kihilist kuusest vineeri paksusega 12mm. Vineerist lõigati tükid 245 x 400mm, mis paigaldati kummalegi poole augustatud kohta. Auk vineeri puuriti sama 121mm freesiga, millega puuriti ka auk talasse. Kinnitamiseks kasutati 4mm kruvisid pikkusega 40mm. Kruvid paigaldati 50 x 50mm ruudustikus kokku ühele vineerile 32 kruvi. Ühe augu tugevdamise jaoks kasutati 64 kruvi. Katsetamisel saadud paindetugevused olid kõik vähemalt 24 N/mm². Vineeriga tugevdamise tagajärjel suurenes ka elastsusmoodul.

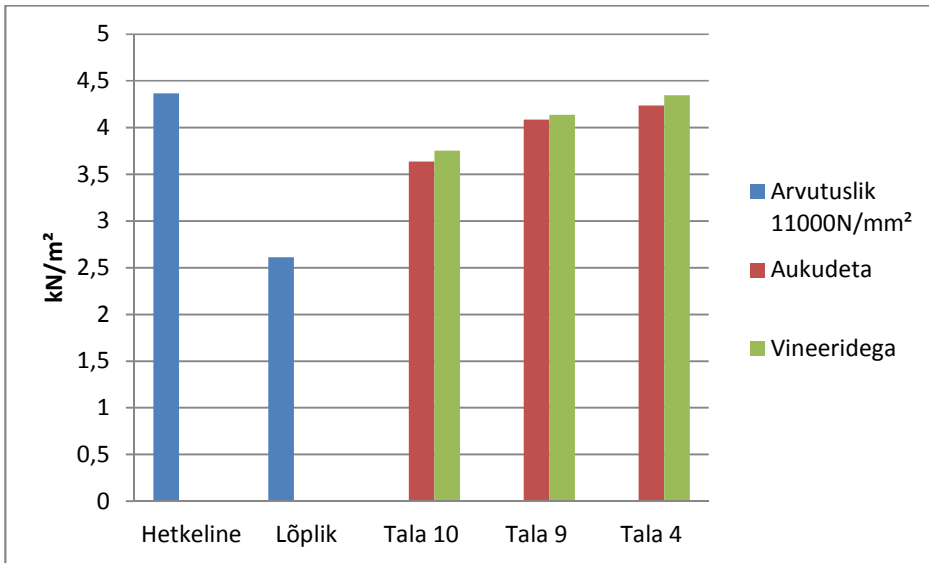
Tabel 4.4 Talade 10, 9, 4 leitud põhi parameetrid ja arvutatud näitajad.

| | | | Tala 10 | Tala 9 | Tala 4 |
|---|--------|-------------------|---------|--------|--------|
| Kõrgus | h | mm | 245 | 245 | 245 |
| Laius | b | mm | 45 | 45 | 45 |
| Pikkus | L | mm | 4125 | 4215 | 4217 |
| Kaal | m | kg | 19,05 | 18,51 | 19,97 |
| Puidu niiskus | w | % | 13,45 | 14,15 | 15,05 |
| Tihedus | ρ | kg/m ³ | 410 | 398 | 430 |
| Maksimaalne koormus F | F | kN | 20,7 | 18,93 | 20,84 |
| Elastsusmoodul Fakopp | E_0 | N/mm ² | 8696 | 10611 | 10652 |
| Elastsusmoodul katsetusel EVS-EN 408:2010 | E_0 | N/mm ² | 9046 | 10163 | 10584 |
| Elastsusmoodul vineeriga EVS-EN 408:2010 | E_0 | N/mm ² | 9340 | 10304 | 10864 |
| Paindetugevus | f_m | N/mm ² | 25 | 29,2 | 33,5 |



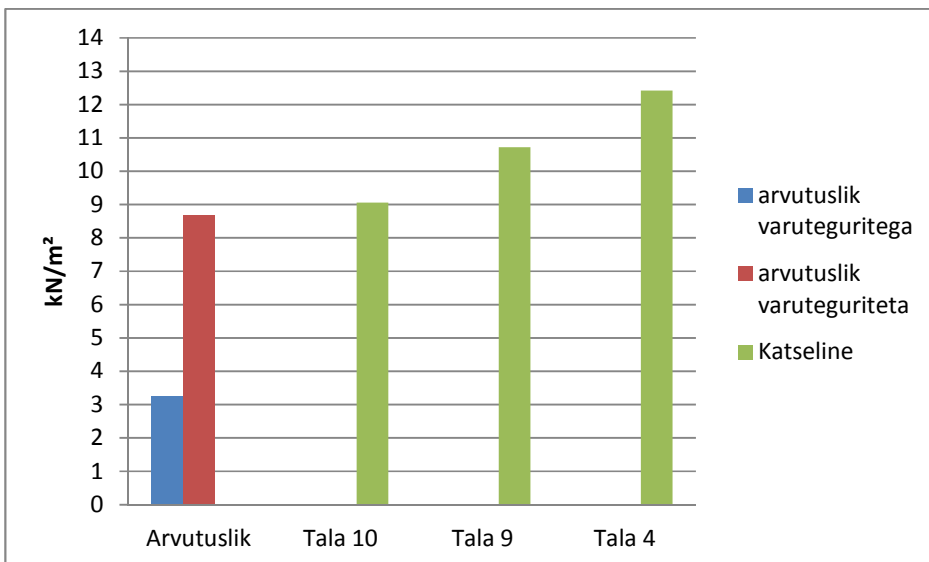
Joonis 4.10 Paindeelastsusmoodul EVS-EN 408:2010+A1 2012 järgi. Arvutuslik paindeelastsusmoodul, talade 12, 3, 2 katselised elastsusmoodulid enne aukude tegemist ning pärast augustamist ja vineerplaatide kinnitamist.

Tala 10 elastsusmoodul tõusis tugevdamisega 284N/mm², Talal 9 141N/mm² ja Talal 4 280N/mm². Kõik talad jäid elastsusmooduli järgi alla puidu klassi C24 normile (joonis 4.10).



Joonis 4.11 Koormused taladele saamaks läbipainet 1/300 arvutuslik hetkeline ja lõplik, hetkeline aukudeta ja auguga, mis on ümbert tugevdatud vineeridega.

Tala 10 võttis vastu hetkelisel koormamisel läbipaindele 1/300 üle 3,5kN/m², samas kui talad 9 ja 4 võtsid vastu üle 4kN/m² (joonis 4.11).



Joonis 4.12 Augustatud ja vineeridega tugevdatud talade arvutuslik varuteguritega, arvutuslik varuteguriteta ja katseline koormus enne purunemist 3,9 meetrise silde ja 600mm sammu puhul.

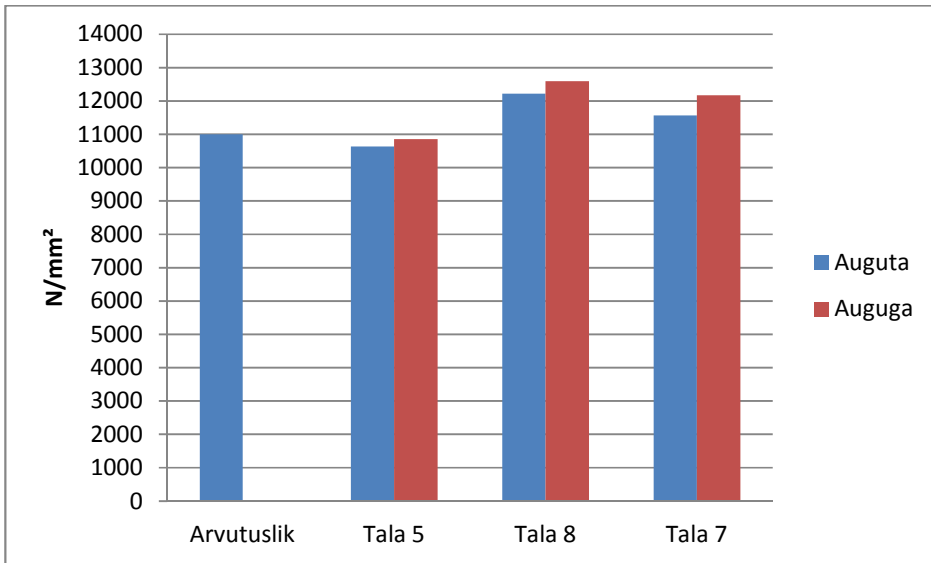
Tala 10 ja 9 puhul toimus tala purunemine oksakohas augu all. Tala 4 puhul toimus pragunemine oksakohas koormamise kohast toe poole. Pragu arenes tala keskele poole kuni puuritud auguni. Kandevõimed olid kõik suuremad kui arvutuslik kandevõime ilma varuteguriteta (joonis 4.12).

4.2.4 Tugevdamine metallist ümbrisega

Kasutatavad talad katseteks on Tala 5, Tala 8 ja Tala 7. Elastsusmooduli järgi Fakopp-iga mõõtes ei ole Tala 5 ja Tala 7 vastavuses klassi C24 nõuetega kui mõõta Fakopp-iga. Katseliselt ei vasta C24 elastsusmoodulile vaid Tala 5, kuid Tala 8 on lausa klassi C30 vastavusega. Tugevdades terasest ümbrisega tõusis ka tala 7 tugevusklass elastsusmooduli järgi C30-le. Ülejäänud klassid jäid samaks. Antud talade omadused on ära toodud tabelis 4.5.

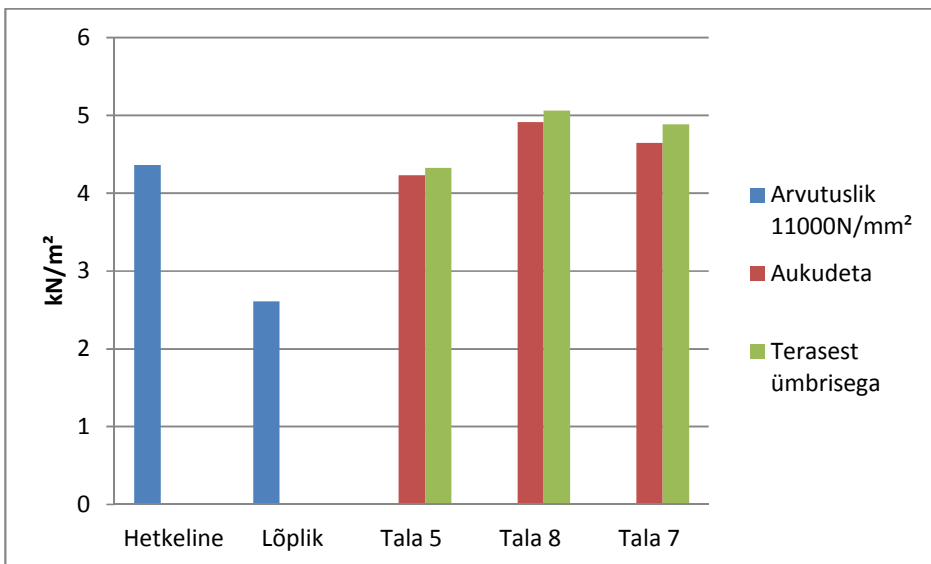
Tabel 4.5 Talade 5, 8, 7 leitud põhi parameetrid ja arvutatud näitajad.

| | | | Tala 5 | Tala 8 | Tala 7 |
|--|----------------|-------------------|--------|--------|--------|
| Kõrgus | h | mm | 245 | 245 | 245 |
| Laius | b | mm | 45 | 45 | 45 |
| Pikkus | L | mm | 4123 | 4213 | 4213 |
| Kaal | m | kg | 19,33 | 18,48 | 18,92 |
| Puidu niiskus | w | % | 13,55 | 11,55 | 12,45 |
| Tihedus | ρ | kg/m ³ | 416 | 398 | 407 |
| Maksimaalne koormus F | F | kN | 18,74 | 20,00 | 24,86 |
| Elastsusmoodul Fakopp | E | N/mm ² | 10373 | 11663 | 10794 |
| Elastsusmoodul katsetusel EVS-EN 408:2010 | E ₀ | N/mm ² | 10631 | 12216 | 11564 |
| Elastsusmoodul teras ümbrisega EVS-EN 408:2010 | E ₀ | N/mm ² | 10855 | 12594 | 12167 |
| Paindetugevus | f | N/mm ² | 25,3 | 27,0 | 33,6 |



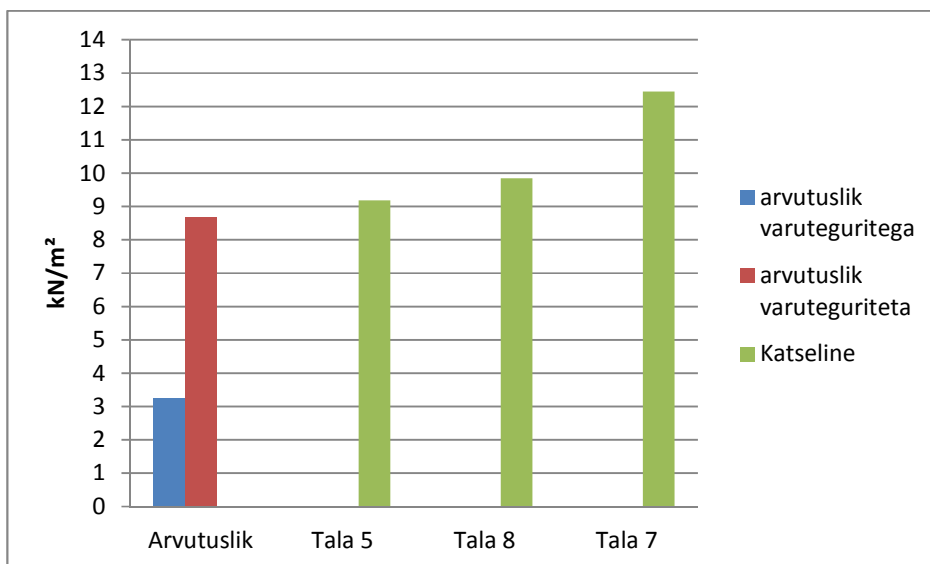
Joonis 4.13 Paindeelastsusmoodul EVS-EN 408:2010+A1 2012 järgi. Arvutuslik paindeelastsusmoodul, talade 5, 8, 7 katselised elastsusmoodulid enne aukude tegemist ning pärast augustamist ja terasest ümbrise paigaldamist.

Paindeelastsusmoodul tõusis metallist ümbrist kasutades Talal 5 224N/mm^2 , Talal 8 378N/mm^2 ja Talal 7 603N/mm^2 võrreldes esialgse elastsusmooduliga (joonis 4.13)



Joonis 4.14 Koormused taladele saamaks läbipainet 1/300 arvutuslik hetkeline ja lõplik, hetkeline aukudeta ja auguga, mis on ümbert tugevdatud terasest ümbrisega.

Terasest ümbrisega võtsid talad koormust rohkem kui 4kN/m^2 vastu hetkelise läbipainde $1/300$ saavutamiseks (joonis 4.14).



Joonis 4.15 Augustatud ja terasest ümbrisega tugevdatud talade arvutuslik varuteguritega, arvutuslik varuteguriteta ja katseline koormus enne purunemist 3,9 meetrise silde ja 600mm sammu puhul.

Läbipainde joonistel $L/300$ -ni ei ole maha arvatud omakaalu koormust $0,8\text{kN/m}^2$, kuid purustavate koormuste puhul on omakaalu koormus maha arvatud.

Augustamise tulemusena vähenes elastusmooduli vähenemise tõttu ka talade kandevõime kasutuspiir seisundis. Tõenäoliselt ületavad augustatud talad lubatud läbipainet pikaajalise koormuse korral. Tugevdamisel saadud paindetugevused olid kõik vähemalt C24 puidule vastavad (joonis 4.15).

KOKKUVÕTE

Kodumaja AS, mis toodab moodulmajasid, viib kommunikatsioonid läbi põrandatalade ja vahelagede. Kanali toru läbiviimiseks talast on tarvis teha auk 120mm. Antud juhul ei ole standardit, mis lubaks nii suuri auke põrandataladesse. Norra iseseisev uurimisasutus SINTEF on välja andnud juhendi, mille järgi tohib selliseid auke teha ning tugevdust kasutama ei pea. Antud juhendi kehtimise korral laheneks ära kanalitorude läbiviimise probleem.

Käesoleva magistritöö uurimuse tulemused vastavad ootustele. Antud töös leiti vastused püstitatud küsimustele kuid tugevduslahenduste välja töötamiseks tuleb antud katseid teha rohkemate katsekehadega.

Katsetamise teel leidis kinnitust, et talade augustamine suurendab läbipainet sama koormuse juures. Kui puurida SINTEF 552.351 järgi lubatud augud, siis tala elastsusmoodul vähenes keskmiselt 1120N/mm^2 .

Esimeseks eesmärgiks oli teha kindlaks, kas tala vajab tugevdamist augu juurest kui augustada juhendi SINTEF 522.351 järgi. Juhendi SINTEF 522.351 järgi augustades maksimaalsete aukudega oli talade paindetugevus vastavuses C24 puiduklassiga kui elastsusmoodul oli vastavuses standardiga. Ühel katsekehal jäi paindetugevus 2% normile alla, aga tala elastsusmoodul, mis on masinsorteerimise aluseks, oli alla normi juba enne augustamist. Võimaliku halvima juhuse puhul, kus augud puuriti suurimatele oksakohtadele võimalikult lähedale, ei vastanud paindetugevused enam normile. Järelikult ei või teha auke standardi SINTEF 522.351 järgi või vajab tala augu juurest tugevdamist. Üks tala kolmest, millega katsetati võimalikku halvimat juhtu oli suure defektiga ning kasutusse eraldi talana läinud ei oleks.

Võimalikke lahendusi tugevdamiseks puuritud 121mm auke oli magistri töös kolm. Esimeseks olid kruvid, mis paigaldati kummalegi poole auku üks. Pärast kruvide paigaldamist jäi elastsusmoodul alla augustamata tala elastsusmoodulile. Antud tugevdusega vastasid kõik talad paindetugevuse poolest puidu klassile C24. Teiseks lahenduseks oli kruvitud vineerplaadid, mille paigaldamise korral tõusis elastsusmoodul suuremaks kui esialgsel augustamata talal.

Talade paindetugevused vastasid pärast tugevdamist puiduklassile C24. Kolmandaks lahenduseks oli kruvitud tala külge terasest ümbris. Ka selle lahenduse puhul oli elastsusmoodul tugevdusega suurem kui samal talal enne augustamist. Antud tugevdusega talade paindetugevused vastasid puiduklassile C24. Statistiliselt olulise tulemuse saamiseks tuleb antud katseid korrata rohkemate katsekehadega.

Võrreldes talade reaalselt kandevõimet arvutusliku kandevõimega, mida projekteerimisel kasutatakse, pidasid kõik talad koormusele vastu ka halvimal võimalikul juhul, peale tala, mis oli suure defektiga ning ei oleks talana kasutusse läinud.

Kasutatud kirjandus

1. Carling, O., 2008 Limträhandbook. - Print & Media Center. Sundsvall. lk 232.
2. Aitc Technical note 19. GUIDELINES FOR EVALUATION OF HOLES AND NOTCHES IN STRUCTURAL GLUED LAMINATED TIMBER BEAMS (07.2012) AMERICAN INSTITUTE OF TIMBER CONSTRUCTION.
3. DIN 1052:2008-12 Design of Timber Structures - General Rules and Rules for Building. 2008. German Institute of Standardization.
4. DIN 1052:2004-8 Design of Timber Structures - General Rules and Rules for Building. 2004. German institute of Standardization.
5. International Residential Code 2012 peatükid R502.8 ja 802.7.
6. International Building Code 2012 (Second printing) Chapter 23 - WOOD, SECTION 2038 CONVENTIONAL LIGHT-FRAME CONSTRUCTION. 8. FLOOR JOISTS. 2.Framing Details. (2038.8.2). International Code Council.[WWW]
http://publicecodes.cyberregs.com/icod/ibc/2012/icod_ibc_2012_23_par162.htm. (16.05.2015)
7. Building Control Technical Guidance Note No. 22 Notching Of Joists (05.2011). Local Area Building Control. London. [WWW]
<http://www.stevenage.gov.uk/content/15953/24595/24598/22-GN-Technical-Notching-of-Joists-May2011.pdf> (16.05.2015)
8. SINTEF 522.351 Trebjelkelag. Dimensjonering og utførelse. (08.2011). SINTEF Byggforsk.Oslo.
9. Falk, R.H., jt. (2003) Effect of drilled holes on the bending strength of large dimension Douglas-fir lumber. - Forest products Journal. Volume 53 No.5. Lk 55-60.
10. H.J.Larsen. (2001) Properties affecting reliability design of timber structures - COST E24 Seminar on Reliability of timber structures. Coimbra, Portugal. lk 4-6.
11. H.J.Larsen. (2001) Properties affecting reliability design of timber structures - COST E24 Seminar on Reliability of timber structures. Coimbra, Portugal. lk 7-8.
12. Baño, V., jt. (2011) Prediction of bending load capacity of timber beams using a finite element method simulation of knots and grain deviation. - Biosystem Engineering Volume 19, Issue 4, lk 241-249.
13. Wang, S., Cheng,J.J.R (1995) SHEAR BEHAVIOUR OF OSB WOOD COMPOSITE I-BEAMS WITH WEB OPENINGS. (Uuring). Department of Civil Engineering University of Alberta. Edmonton.
14. Harte, A.M., Baylor,G. (2011) Structural evaluation of castellated timber I-joists. - Engineering Structures 33 [E-ajakiri]
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0141029611003257> (16.05.2015)
15. Nawzad, R., Najat, R. (2009) Holes in Gluelam Beams - Possible Methods of Reinforcement. (Magistritöö). Department of Technology and Design,Växjö University. Växjö.

16. Ardalany, M. (2012) ANALYSIS AND DESIGN OF LAMINATED VENEER LUMBER BEAMS WITH HOLES. (Dokoritöö). Department of Civil and Natural Resources Engineering University of Canterbury. Christchurch, New Zealand. [WWW] http://ir.canterbury.ac.nz/bitstream/10092/7674/2/Thesis_fulltext.pdf (16.05.2015)
17. SVP/Service hole IWS 2013. Shore Road, The Harbour, Perth. IWS c/o Glenalmond Timber [WWW]. <http://www.intelligentwoodsystems.com/hole-details.html> (16.05.2015)
18. Lumberlock Floor Joist Stiffener (01.2012). PO Box 58-014 Auckland. Mitek Holdings Inc. [WWW] <http://www.mii.com/artefact/download.asp?aid=66675> (16.05.2015)
19. INSTALLATION INSTRUCTIONS FOR METWOOD 2810HR JOIST REINFORCERS. 819 Naff Road Boones Mill, VA. 24065. Metwood Inc. [WWW] http://www.metwoodstore.com/files/2810hr_instructions.pdf (16.05.2015)
20. BRANZ APPRAISAL No.570 2014. (vastu võetud 2007, muudetud ja uuendatud 26.11.2014). Porirua Uus-Meremaa: Branz Limited. [WWW] <http://www.branz.co.nz/Appraisal/570> (16.05.2015)
21. EVS-EN 408:2010+A1 2012 PUITKONSTRUKTSIOONID - Ehitus ja liimpuit - Mõnede füüsiliste ja mehaaniliste omaduste määramine. 2012 Eesti Standardikeskus.
22. SINTEF byggforsk 421.051 Statikkformuler for bjelker (01.2007) SINTEF.Oslo.
23. SFS intec Data sheet No.07. Reinforcement of beams with holes. CH-9435 Heerburgg. SFS intec AG. [WWW] http://www.sfsintecusa.com/files/2011/07/07_WT_Reinforcement_of_beams_XX_en.pdf (16.05.2015)
24. Metsallik, M. (2014) Puidust põrandapaneelide konstruktiivsete lahenduste teoreetiline ja katseline uurimine. (Magistritöö) Tallinna Tehnika ülikool Tartu Kolledž, Säätva tehnoloogia õppetool, Tartu. lk 22.
25. Ehituskonstruktori käsiraamat. (2012) Toimetaja Tiit Masso. Kirjastus Ehitame. Tallinn. 506 lk.

INVESTIGATION OF TIMBER BEAMS WITH HOLES.

SUMMARY

This Master's thesis is made in cooperation with Kodumaja AS that produces prefab modular houses. The problem is that there is no specific standard for holes as big as sewage system needs nowadays. But there is a need for making holes up to 120mm in diameter through floor joists.

The aim of this thesis is to find solutions for the problem. We have technical guidance SINTEF 522.351 which allows us to make holes half of the depth of timber beams without any reinforcement. According to this guidance the problem with sewage tubes could be solved.

The experimental testing showed that modulus of elasticity decreased about 1120N/mm^2 making maximum number of holes to joists according to SINTEF 522.351. Making holes into beams deflection at the same load increased.

According to SINTEF 522.351 it is necessary to find out if beam should need reinforcement around the holes. With the maximum number of holes, which was 7, the test showed that bending strength was bigger than 24N/mm^2 , which is allowable. Making only 4 holes closely near the knots the bending strength was lower than in the standard. According to our testing results beams should be reinforced.

Three methods were used to reinforce beams. Firstly - selftapping screws. Secondly - plywood fixed with screws. Thirdly - steel brackets fixed with screws. For the reinforcement testing the 121mm holes were made closely above the knot. Reinforcing with selftapping screws the modulus of elasticity was lower than the beam without holes. Reinforcing with plywood and steel brackets the modulus of elasticity of the beam was greater than the beam without a hole.

The bending strength for reinforced beams were greater than 24kN/m^2 . More tests should be taken with those reinforcement solutions to assure their competence for the requirements.

Mina, _____,

(autori nimi) sünniaeg _____,

1. annan Eesti Maaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud lõputöö

_____,

(lõputöö pealkiri)

mille juhendaja(d) on _____,

(juhendaja(te) nimi)

1.1. salvestamiseks säilitamise eesmärgil,

1.2. digiarhiivi DSpace lisamiseks ja

1.3. veebikeskkonnas üldsusele kättesaadavaks tegemiseks kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni;

2. olen teadlik, et punktis 1 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile;

3. kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse seadusest tulenevaid õigusi.

Lõputöö autor _____

(allkiri)

Tartu, _____

(kuupäev)

Juhendaja(te) kinnitus lõputöö kaitsmisele lubamise kohta

Luban lõputöö kaitsmisele.

(juhendaja nimi ja allkiri) (kuupäev)

(juhendaja nimi ja allkiri) (kuupäev)