



LAHDEN AMMATTIKORKEAKOULU
Lahti University of Applied Sciences

KOIVUVANERIN LEIMAPAINEEEN TUTKIMINEN

Koskisen Oy

LAHDEN
AMMATTIKORKEAKOULU
Tekniikan ala
Puutekniikan koulutusohjelma
Puutekniikan suuntautumisvaihtoehto
Opinnäytetyö
Kevät 2013
Juhani Kakriainen

Lahden ammattikorkeakoulu
Puutekniikan koulutusohjelma

KAKRIAINEN, JUHANI:

Koivuvanerin leimapaineen tutkiminen
Koskisen Oy

Puutekniikan opinnäytetyö, 43 sivua, 11 liitesivua

Kevät 2013

TIIVISTELMÄ

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli tutkia koivuvanerin leimapainekestävyyttä Koskisen Oy:n materiaaleilla ja verrata saatuja tuloksia kirjallisuudessa esitettyihin arvoihin. Työssä perehdytään myös leimapaineen esiintymiseen puurakenteissa. Tutkimuksissa saatuja hyötyjä käytetään mahdollisuuksien mukaan puurakenteiden suunnittelussa ja kehityksessä Koskisen Oy:ssä.

Työn teoriaosuudessa on perehdytty mahdollisimman laajasti vanerin leimapainekestävyyteen sekä yleisesti puun syysuuntaa vastaan kohtisuoraan puristukseen. Teoriaosuudessa käsitellään myös leimapuristuksen esiintymistä puurakenteissa sekä avataan hieman puurakenteiden mitoitusmenetelmiä. Tutkimuksiani varten on myös kerätty oleellista tietoa aiheita sivuavista standardeista.

Kokeellisen osan päätavoite oli suunnitella ja toteuttaa leimapainetestit koivuvanerikappaleille ja kappaleiden lujuusarvojen määrittäminen testitulosten perusteella. Tätä varten täytyi suunnitella ja valmistaa testilaitteeseen tarvittavat osat sekä toteuttaa testaustapahtuma mahdollisimman standardimaisesti.

Vanereista ja niiden lujuuksista löytyy paljon tietoa, mutta juuri leimapainekestävyys on alue, josta löytyy varsin vähän tietoa. Tällä tutkimustyöllä ja testauksilla on pyritty saamaan lisätietoa puurakenteiden suunnitteluun ja kehitystyöhön Koskisen Oy:ssä.

Tutkimuksieni perusteella voidaan huomioida, että paksumpi koivuvaneri saavutti paremmat leimapuristusarvot, sekä suuremmat tiheydet. Täytyy kuitenkin huomioida testikappaleitteni vähyys, joten asian varmistamiseksi tarvittaisiin laajempia tutkimuksia.

Asiasanat: vaneri, leimapaine, leimapuristuslujuus, syitä vastaan kohtisuora puristus

Lahti University of Applied Sciences
Degree Programme in Wood Technology

KAKRIAINEN, JUHANI: Bearing strength of birch plywood
Koskisen Oy

Bachelor's Thesis in Wood Technology, 43 pages, 11 pages of appendices

Spring 2013

ABSTRACT

The purpose of this thesis was to examine the bearing strength of birch plywood made at Koskisen Oy and compare the results with the values found in literature. The thesis also explores the bearing strength in timber structures. The results of this thesis will possibly be used in timber structure design and development at Koskisen Oy.

The theoretical part focuses on the bearing strength of plywood and the strength of wood when compressed perpendicular to the grain. The theoretical part also deals with compression perpendicular to the grain in timber structures, as well as some design methods of timber structures. For the thesis, a substantial amount of information was gathered from relevant standards.

The main objective of the experimental part of the project was to design and implement bearing strength tests for birch plywood test pieces. Strength values are based on the test results. For this purpose, parts had to be designed and built for the test equipment and the tests had to be conducted in so standardized a way as possible.

Based on the test results it can be noted that thicker birch plywood achieves better compression strength values and higher density. It must be noted that the number of test samples was small. To confirm those results, more extensive research is required.

Key words: plywood, bearing strength, compression perpendicular to the grain

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	1
2	YRITYSESITTELY	2
3	PUUN LUJUUSOMINAISUUDET	3
3.1	Lujuusominaisuuksien käsittelyä	3
3.2	Hooken laki	5
4	PUUN PURISTAMINEN SYITÄ VASTAAN KOHTISUORASTI	8
5	LEIMAPURISTUKSEN ESIINTYMINEN PUURAKENTEISSA	11
5.1	Leimapaineen kohdistuminen ylä – ja alaohjauspuuhun	12
5.2	Leimapainetta alentavat tekijät	13
6	SALLITTUIHIN JÄNNITYKSIIN JA OSAVARMUUSKERTOIMIIN PERUSTUVA PUURAKENTEIDEN MITOITUS	14
6.1	Sallitut jännitykset	14
6.2	Ominaislujuudet	15
7	SYYSUUNTAAN VASTAAN KOHTISUORAN PURISTUKSEN MITOITUS	16
7.1	B10 puurakenteiden mitoitus	16
7.2	Eurokoodi 5:n mukainen mitoitus	17
8	VANERIN LEIMAPAINKESTÄVYYS	18
9	TAUSTATUTKIMUSTA STANDARDEISTA	22
9.1	Standardien SFS-EN 408, 1195 ja 789 vertailua	22
9.2	Testikappale ja testausolosuhteet	22
9.3	Testimenettely	23
9.4	Tulosten esitys	24
9.5	Testausraportin sisältö	25
9.5.1	Testattava kappale	26
9.5.2	Testausmenetelmä	26
9.5.3	Testauksen tulokset	26
10	TESTAUKSEN ESIVALMISTELUT JA TESTAUSTAPAHTUMA	28
10.1	Koekappaleet ja niiden esivalmistelut	30
10.2	Testaus	31
10.3	Puristuslujuuden määrittäminen	33

11	TULOSTEN ANALYSOINTI	36
11.1	Leimapaine	36
11.2	Pyöristetty painin	39
12	YHTEENVETO	41
	LÄHTEET	42
	LIITTEET	44

1 JOHDANTO

Työn toimeksiantajana toimi Koskisen Oy, joka toivoi lisäselvitystä koivuvanerin leimapainekestävyydestä. Tutkimukset pyrittiin tekemään sen tarpeisiin sopiviksi ja ottamaan huomioon leimapaineen vaikutus suunniteltaessa puurakenteita. Aiheesta löytyy kirjallisuudesta varsin vähän tietoa, joten tässä oli paikka lisätutkimuksille.

Aloitin työn keräämällä kaiken aiheesta löytämäni tiedon ja pyrin olemaan yhteydessä ihmisiin, joilla olisi aiheesta tietoa. Kaikkea tätä tietoa pyrin hyödyntämään suunnitellessani testausmenetelmää koivuvanerin leimapainekestävyyden selvittämiseen. Työn edetessä ilmeni, että vanerin leimapaineelle ei löydy varsinaista standardimenetelmää, joten minun oli sovellettava muita testejä ja standardeja testatessani vanerikappaleita.

Valitsin tutkimuksiini koivuvanerikappaleet, jotka olivat paksuudeltaan 18 mm ja 40 mm. Pyrin tällä valinnalla selvittämään myös paksuuseron vaikutuksen arvoihin. Testien toteutukseen otin paljon vaikutteita muista standardeista ja pyrin näin ollen takaamaan omien testauksieni tasalaatuisuuden.

Leimapainetutkimuksen ohella työhön on kerätty hieman aineistoa puurakenteiden suunnittelusta, etenkin puristuslujuuden mitoituksen osalta. Aihetta on käsitelty myös eri suunnittelumenetelmien näkökulmasta. Tämä siksi, että lukijalle selviää, mistä lujuusarvojen erot johtuvat. Lisäksi on perehdytty puun lujuusominaisuuksiin etenkin, kun puuta puristetaan syitä vastaan kohtisuorasti.

2 YRITYSESITTELY

Koskisen Oy on perheyritys, joka toimii jo kolmannessa sukupolvessa. Yritys on toiminut vuodesta 1909 lähtien ja on yli satavuotisen historiansa aikana saavuttanut merkittävän aseman alalla. (Koskisen Oy 2012.)

Koskisen Oy:n valmistamat tuotteet sekä yksiköt:

- Koskisen Oy:n puutaloteollisuus toimii Heinolan Vierumäellä. Laadukkaat ja yksilölliset kodit tunnetaan paremmin Herrala Taloina.
- Kattoristikot valmistetaan valvotuissa tehdasolosuhteissa Järvelässä. Ristikot toimitetaan rakennuksille asennusvalmiina komponentteina.
- Sahatavaran päätuotteita ovat perinteinen rakennussahatavara sekä asiakkaalle yksilöidyt tuotteet. Puusepänteollisuudelle on saatavana myös erityismittoja
- Sahajalosteina on saatavana ulkoverhouspaneeleita, sisäverhouspaneeleita, lattialautoja sekä erilaisia komponentteja huonekaluteollisuuden tarpeisiin.
- Koskisen Oy:n vanerituotteita valmistetaan muun muassa Järvelässä. Vanerituotteita on saatavilla useissa eri mitoissa.
- Lastulevytuotanto sijoittuu Järvelän vaneritehtaan läheisyyteen. Yritys valmistaa tuotteita peruslevyistä aina pitkälle jalostettuihin tuotteisiin.
- Koskisen Oy:n puuhankintayritys tunnetaan nimellä Koskitukki Oy. (Koskisen Oy 2012.)

Koskisen Oy:n liikevaihto vuonna 2011 oli 203 miljoonaa euroa. Tästä viennin osuus oli 55 %. Yritys työllistää 988 henkilöä. Heistä 134 työskentelee ulkomaan tytäryhtiöissä. Tuotantoa on Suomen lisäksi myös Venäjällä, Vologdan läänin Sheksnassa. (Koskisen Oy 2012.)

Heinolan Vierumäelle valmistui syksyllä 2011 Suomen ensimmäinen puukerrostalo, jossa on viisi kerrosta. Koskisen Oy oli yksi talon rakennuttajista (Koskisen Oy 2012). Kerrostalon seinäelementit valmistettiin Koskisen Oy:n talotehtaalla Heinolan Vierumäellä. Puurakentamisessa otetaan siis merkittäviä askeleita eteenpäin, ja tulevaisuus näyttääkin valoisalta.

3 PUUN LUJUUSOMINAISUUDET

Puun lujuusominaisuudet riippuvat kuorman suunnasta, joka siihen kohdistetaan eli puu on anisotrooppista ainetta. Tarkka lujuusominaisuuksien määrittely on hankalaa, koska myös saman puulajin sisällä lujuusominaisuudet vaihtelevat paljon. Ominaisuuksiin vaikuttavat esimerkiksi ilmasto, kasvupaikka ja kasvuolot. Puun ikä sekä se, miltä kohdalta runkoa kappale on, vaikuttavat myös lujuusominaisuuksiin. Puussa on myös vikaisuuksia, jotka heikentävät puun lujuutta. Kun puutavaraa käytetään rakentamiseen, niin siltä vaaditaan seuraavia lujuusominaisuuksia: kimmoisuus, puristuslujuus, taivutuslujuus, leikkauslujuus sekä kulutuksenkestävyys. (Siikanen 2008, 45–46.)

Tämän työn kannalta tärkein lujuusominaisuus on puristuslujuus. Työssä keskitytään leimapuristuslujuuteen. Leimapuristuslujuudesta käytetään myös yleisesti nimitystä leimapaine. Näin ollen kiskopuristus – sekä kokonaispuristuslujuus jäävät pienemmälle tarkastelulle. Tulevissa kappaleissa käsitellään leimapuristuslujuutta mahdollisimman laajasti, ja aiheesta on pyritty selvittämään testimenetelmät, laskentakaavat sekä standardit suoritettavia testejä varten.

Taustatutkimuksen avulla pyritään saamaan mahdollisimman laaja tietous leimapuristuksesta. Tätä pyritään hyödyntämään tutkittaessa koivuvanerin leimapuristuslujuutta.

3.1 Lujuusominaisuuksien käsittelyä

Kun puhutaan puun mekaanisesta lujuudesta, niin sillä tarkoitetaan kappaleen kykyä vastustaa siihen kokoa tai muotoa muuttavien voimien vaikutusta. Aine on kimmoisaa, jos sen sisäiset voimat palauttavat kappaleen aiemman tilan, kun siihen vaikuttavat ulkoiset voimat lakkaavat. Materiaalina puu noudattaa Hooken lakia suhteellisuusrajaan saakka eräin poikkeuksin. (Kärkkäinen 2003, 208.)

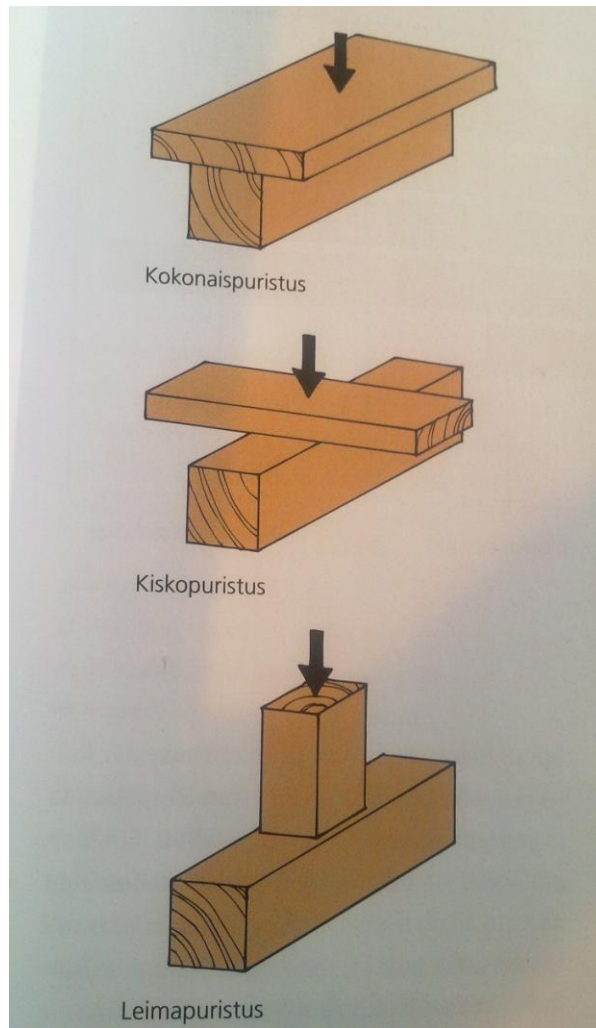
Kuormitettaessa puukappaletta yli suhteellisuusrajan muodonmuutos ei noudata enää Hooken lakia. Muodonmuutos on palautuvaa aina kimmorajaan saakka. Kun kuormitusta lisätään edelleen, niin ollaan pysyvän muodonmuutoksen alueella aina siihen saakka, kunnes kappale murtuu. Tätä murtumispistettä kutsutaan

murtorajaksi. Molemmat, sekä kimmo- että murtoraja ovat jännityksiä. Näitä vastaavat venymät ovat kimmoisen venymä sekä murtovenymä. Puuta puristettaessa puhutaan venymän sijasta mieluummin puristumisesta. (Kärkkäinen 2003, 208.)

Tavallisesti puun lujuutta kuvataan jännityksellä, joka vallitsee murtorajalla. Yleisnimitys sille on murtolujuus. Esimerkiksi puristus syiden suunnassa on suure, jolla tarkoitetaan murtorajalla vallitsevaa jännitystä. Poikkeustapauksissa puun lujuus voidaan ilmoittaa jännityksenä, joka sijaitsee suhteellisuusrajalla. Esimerkiksi puristus kohtisuoraan syitä vastaan on jännitystä, joka vallitsee suhteellisuusrajalla. (Kärkkäinen 2003, 208.)

Puun puristuslujuus on suurin puristettaessa syiden suuntaan. Se on noin puolet samansuuntaisesta vetolujuudesta. Kun puristetaan kohtisuoraan syitä vastaan, niin arvo on huomattavasti pienempi, noin 4-25 %. On kuitenkin huomattava, että lähes aina arvo on kuitenkin suurempi kuin vetolujuus samassa suunnassa. Puristettaessa kohtisuoraan syitä vastaan varsinainen murtoraja puuttuu, tai se on epäselvä. Tästä johtuen lujuus määritetään suhteellisuusrajalla vallitsevan jännityksen tai tiettyä painumaa vastaavan jännityksen arvona. (Kärkkäinen 2003, 213–214.)

Syitä vastaan kohtisuorassa puristuksessa on erotettava kolme tapaa, joilla voima kohdistuu kappaleeseen. Näitä ovat kokonaispuristus, kiskopuristus ja leimapuristus. Kuviossa 1. näkyy kuvaus puristustavoista.



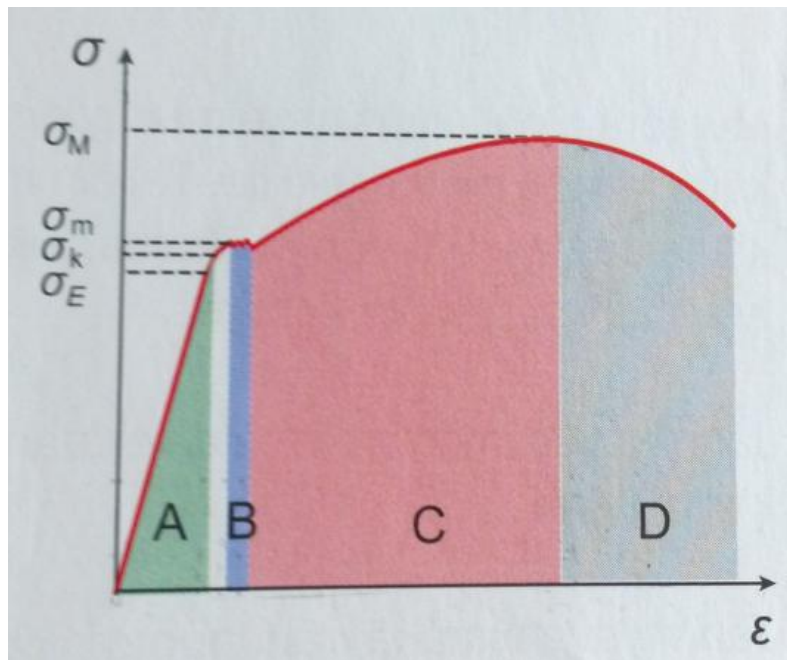
KUVIO 1. Puristusvoimat (Siikanen 2008, 47)

3.2 Hooken laki

Sauvaa venytettäessä tai puristettaessa on palauttava voima suoraan verrannollinen venymään tai puristumaan. Tämä toteutuu, kunhan voima on vain tarpeeksi pieni. Venymästä puhuttaessa sauvan pituus on suoraan verrannollinen siihen, kuinka paljon se venyy. Eli kaksi kertaa pidempi sauva venyy myös kaksi kertaa enemmän. Voidaan sanoa, että venymä on suoraan verrannollinen suureeseen F/A . Siispä venymä on $\Delta l \sim l * F/A$. Suurelle F/A voidaan antaa nimi normaalijännitys, vetojännitys tai puristettaessa puristusjännitys.

Puristusjännityksessä kappaleen pituuden muutos riippuu myös paljon sen materiaalista. Materiaalin herkkyyttä kuvaava suure on kimmokerroin.

Kimmokertoimen yksikkö on E. Mikäli E:n arvo on suuri, materiaali on jäykkää, ja mikäli se on pieni, materiaali on helposti muovautuvaa. Kimmokertoimen yksikkönä käytetään paineen yksikköä Pa tai N/mm². (Hautala & Peltonen 2005, 143–144.)



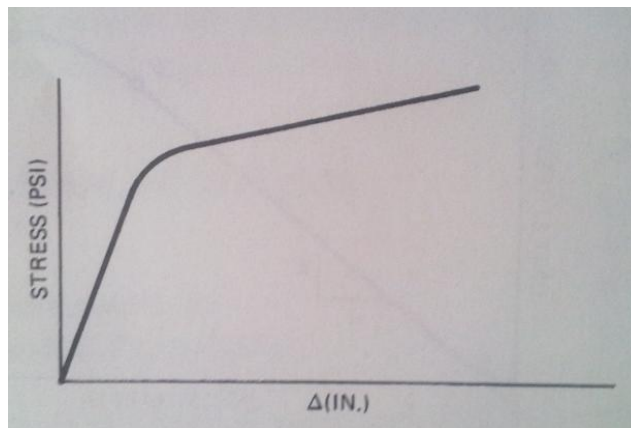
KUVIO 2. Jännitysvenymäpiirros (Hautala & Peltonen 2005, 144)

Yllä olevasta kuviosta voidaan havaita kuinka todellinen aine käyttäytyy, kun sitä vedetään tai puristetaan. Kuvio on saatu vetokokeesta, mutta se havainnollistaa hyvin raja-alueita, joita on aiemmin tekstissä käsitelty. Kun vetokoe aloitetaan, niin venymä noudattaa Hooken lakia aina suhteellisuusrajalle asti. Rajan merkki kuviossa on σ_E . Tästä rajasta eteenpäin venymä kasvaa Hooken lakia voimakkaammin aina myötörajalle asti (σ_m). Myötörajan jälkeen venymä kasvaa, vaikka voimaa ei lisätäkaan. Suhteellisuusrajan ja myötörajan välissä on kimmoraja σ_k . Kimmorajaan asti sauva palaa vielä alkuperäiseen muotoonsa, jos veto lopetetaan. Kuvassa alue A on siis kimmoisaa aluetta. Sitä saattaa seurata myötöalue. Sitä kuvataan kuvassa B kirjaimella. Tällä alueella venymä kasvaa ilman jännityksen lisäystäkin. Muodonmuutos on pysyvää myötöalueella. Kun sauva kuormitetaan lisää, niin saavutetaan alue C, jossa venymä kasvaa ei-

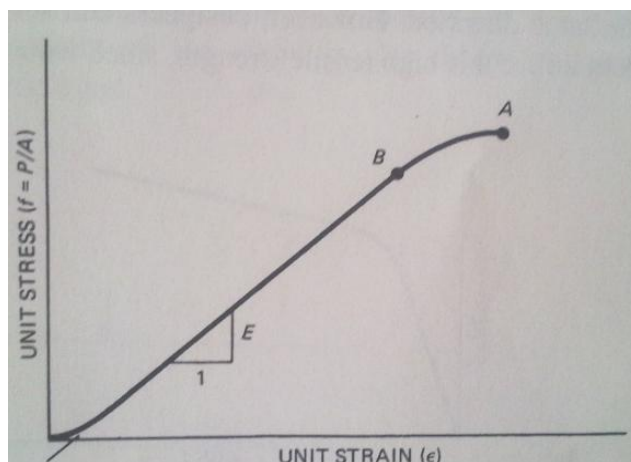
lineaarisesti jännityksen funktiona. Suurin jännityksen arvo, joka saavutetaan on murtolujuus. Kuviossa tämä raja on σ_M . Jos venytystä jatketaan yli murtorajan, niin nimellinen jännitys vähenee, mutta todellinen jännitys F/A kuitenkin kasvaa. Tätä aluetta kuvataan kirjaimella D. (Hautala & Peltonen 2005, 144.)

4 PUUN PURISTAMINEN SYITÄ VASTAAN KOHTISUORASTI

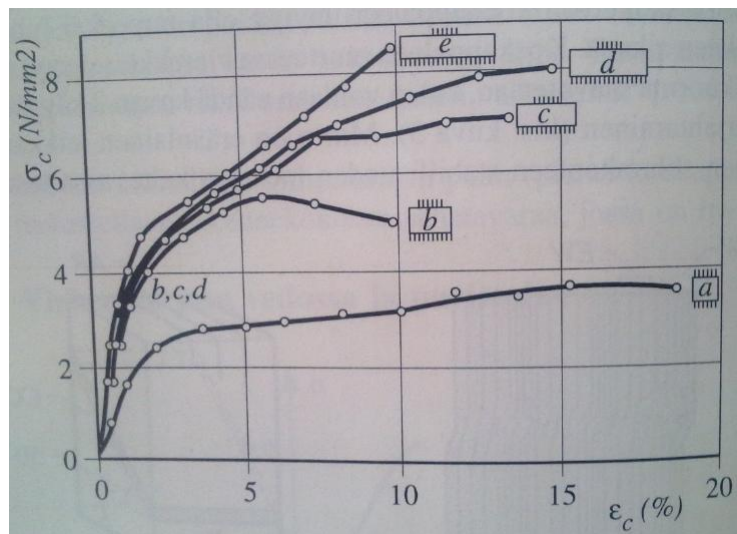
Kun puuta puristetaan syiden suuntaan tai syitä vastaan kohtisuoraan, niin muodostuneista mittaustuloksista huomataan hyvin puun erilainen käyttäytyminen. Kuvioista huomataan selvästi, kuinka paljon heikompaa puu on puristettaessa syitä vastaan kohtisuorasti. Kohtisuorasta puristuksesta muodostuneesta käyrästä voidaan huomata, että siinä tapahtuu selvä muutos. Puu ei kuitenkaan suoranaisesti hajoa vaan painuu kasaan. Testiä voidaan jatkaa testilaitteen kapasiteetin sallimissa rajoissa tästäkin eteenpäin, mutta puu vain painuu edelleen lisää kasaan. (Stalker & Harris 1997, 28–29.)



KUVIO 3. Puristus syitä vastaan kohtisuorasti (Stalker & Harris 1997, 28)



KUVIO 4. Puristus syiden suuntaisesti (Stalker & Harris 1997, 27)



KUVIO 5. Puutavaran puristus syitä vastaan kohtisuorasti (Valtion teknillinen tutkimuskeskus 1996, B2/4.)

Kappaleen poikkileikkausta kuormitettaessa puun syyt pusertuvat kasaan kuten kimppu onttoja putkiloita. Kun osaa kappaleen yläpinnasta kuormitetaan, on jäykkyys suurempi, ja jännitys-muodonmuutoskäyrä kaareutuu suuremmalla jännityksen arvolla kuin käyrässä (a). Jäykkyyden muutos ei ole yhtä selvä kuin käyrässä (a), koska osa kuormasta siirtyy syiden avustuksella pinnan kuormittamattomille osille. Käyrästä (b) nähdään, että kuormittamattomat osat ovat liian lyhyet. Näin ollen maksimikuorma saavutetaan heti jäykkyyden muutoksen jälkeen. (Valtion teknillinen tutkimuskeskus 1996, B2/3.)

Kuormituskoetta voidaan jatkaa käyrissä (c), (d) ja (e) ilman suurempia murtumia, mutta muodonmuutokset ovat kuitenkin huomattavan suuria. On siis käytännöllistä rajoittaa siirtymät johonkin tiettyyn arvoon. Jos arvot rajoitetaan esimerkiksi 1 %:iin, niin jännityksen lujuusarvot tässä tapauksessa ovat 2 – 4 N/mm². (Valtion teknillinen tutkimuskeskus 1996, B2/3.)

Otin tämän kuvan myös esimerkiksi, koska eri lähteistä poimitut tiedot tuovat varmuutta asialle. Kun Kuviota 3. ja 5. verrataan ja etenkin käyriä c, d ja e, niin

huomataan, että kuviot ovat melko samanlaisia. Hyödyllinen tieto on myös se, että tulosten arvo on hyvä rajoittaa esimerkiksi 1 %:iin.

Kun puuta puristetaan syitä vastaan kohtisuorasti, niin kokoonpuristuminen on suurta ja puuta voidaan puristaa kasaan hyvinkin paljon, koska varsinaista murtumista ei tapahdu. Tulosten arvon rajoittamisella 1 %:iin tarkoitetaan sitä, että lujuusarvo katsotaan käyrältä siltä kohdalta, missä saavutetaan 1 %:n kokoonpuristuminen kappaleen kokonaispaksuudesta. Tarkemmin tähän 1 %:n menetelmään perehdytään myöhemmin tässä työssä.

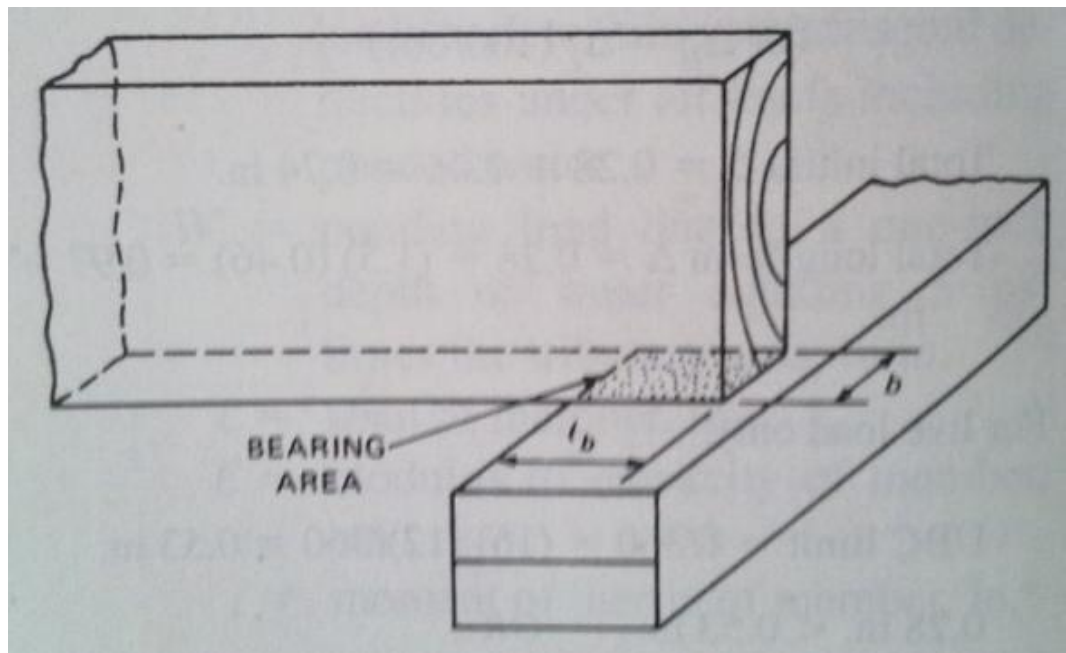
5 LEIMAPURISTUKSEN ESIINTYMINEN PUURAKENTEISSA

Yleisesti leimapuristusta esiintyy kantavissa rakenteissa. Kun puuhun kohdistuu suuria pistekuormia, niin useimmiten se tapahtuu syitä vastaan kohtisuorasti.

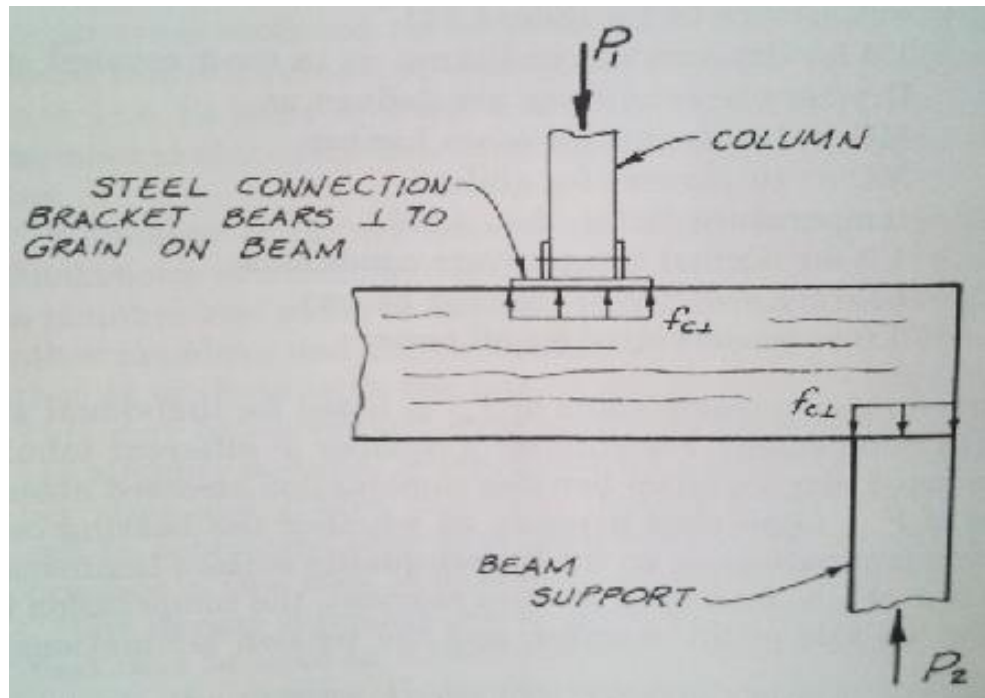
Kuorma ei aiheuta puun murtumista, vaan suurta kokoonpuristumista.

Kokoonpuristumisen seurauksena taas muodonmuutokset kasvavat. Puun lujuus syitä vastaan kohtisuoraan on suhteellisen pieni. Kun rasitus kohdistuu pienelle alalle, kuten on kiskopaineen ja leimapaineen vaikuttaessa, niin voidaan sallia suurempia rasituksia kuin silloin, kun koko pintaa kuormitetaan. (Kähkönen 1982, 30.)

Leimapaine vaikuttaa siis kantavissa rakenteissa. Tällaisia ovat esimerkiksi runkorakenteet, seinärakenteet sekä kattotuolit. Myös palkistoissa, jotka kantavat kuormia, niin esiintyy kohtia joihin muodostuu leimapainetta. Alle on koottu muutamia kuvia havainnollistamaan, mistä on kyse.



KUVIO 6. Leimapaineen kohdistuminen palkkiin (Stalker & Harris 1997, 118)

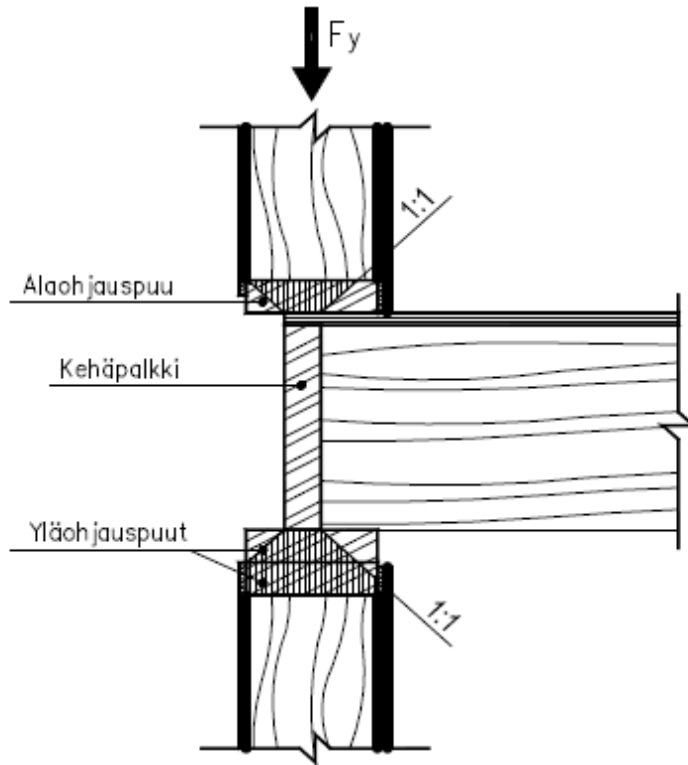


KUVIO 7. Leimapaineen kohdistuminen palkkiin (Breyer ym. 1999, 6.41)

5.1 Leimapaineen kohdistuminen ylä – ja alaohjauspuuhun

Näihin rakenteisiin kohdistuva leimapaine on oleellisin, koska työssä keskittyvät tutkimukset koskevat juurikin näitä rakennuksen osia. Leimapaineen ohella toinen merkittävästi vaikuttava voima on kiskopaine. Kiskopaineen ja leimapaineen ero on siinä, että leimapainealueen ympärille jää paineetonta pinta-alaa.

Kiskopaineessa paine ulottuu reunalta reunalle. Aiemmin esiintynyt kuva (kuvio 1.) havainnollistaa tilannetta. Kappaleen alla olevassa kuvassa näkyvät voimat. Huomioitavan arvoista on voimien vaikutussuunta, joka jatkuu rakenteiden läpi. Voimat vaikuttavat samalla tavalla myös rakennuksen muissa osissa.



KUVIO 8. Kisko -/leimapaineen jakautuminen ala – ja yläohjauspuissa (Finnish glulam association 2012)

5.2 Leimapainetta alentavat tekijät

Kosteuden vaikutus puristuslujuuteen on suuri. Syiden suuntaiseen lujuuteen se vaikuttaa eniten. Työn kannalta keskitytään syitä vastaan kohtisuoraan puristamiseen ja puristuslujuuteen, johon kosteudella on myös lujuutta alentava vaikutus. Voidaan arvioida, että ilmakeivan puun puristuslujuus syitä vastaan kohtisuorasti on 70 % suurempi kuin tuoreella puulla. Täysin vedettömänä arvo on taas 2,7 – kertainen. (Saarelainen 1981, 38–39.)

6 SALLITTUIHIN JÄNNITYKSIIN JA OSAVARMUUSKERTOIMIIN PERUSTUVA PUURAKENTEIDEN MITOITUS

Etsiessäni vanerien lujuusarvoja löysin pääosin kahdenlaisia arvoja. Aluksi hämmästelinkin sitä, kuinka paljon arvot poikkesivat toisistaan. Tulee siis erottaa arvot, jotka ovat sallittuja jännityksiä ja jotka ovat ominaislujuuksia. Sallittuja arvoja löytyy vanhemmista materiaaleista ja ominaislujuuksia pääsääntöisesti tämän päivän kirjoista. On siis oleellista huomioida näiden arvojen ero myös tarkasteltaessa tätä työtä.

6.1 Sallitut jännitykset

Sallittuihin jännityksiin perustuvassa mitoituksessa käytetään varmuuslukuja pitkäaikaiskuormaan nähden. Esimerkiksi vetolujuudelle kerrointa 2,75 ja muille ominaisuuksille 2,33. Esimerkkinä voidaan ottaa tämän kirjan taulukot 3.1–3.6 sekä 3.9, joiden ominaislujuudet jaetaan edellä mainituilla arvoilla. Tällä tavalla käytetään sallittuja arvoja pitkäaikaisen kuorman vaikuttaessa. Mikäli kuorman vaikutusaika lyhenee, niin sallittuja arvoja korotetaan. Alla olevassa taulukossa on aikakertoimia vanerille. (Vestinen & Pennala 1997, 68.)

TAULUKKO 1. Sallittujen lujuusarvojen korotuskertoimia (Vestinen & Pennala 1997, 68)

	BS 5268 Part 2	Handbook of Finnish Plywood	
Kuormitus	Sallitut jännitykset	Taivutuskimmo- kerroin E*	Tasoleikkausliuku- kerroin G*
Pitkäaikainen	1,0	0,7-0,4	0,3-
Keskipitkä	1,25	0,8-0,6	0,5-0,2
Lyhytaikainen	1,5	1,0-0,7	0,8-0,35
Hetkellinen	1,75	1	1
*Arvot vastaavat kuormitustasoa, jossa kuorma on 20...30 % murtokuormasta.			

6.2 Ominaislujuudet

Nykyään käytetään yleisesti osavarmuuskertoimiin perustuvaa menetelmää, jossa käytetään ominaislujuuksia ja keskimääräisiä kimmokertoimia mitoitettaessa rakenteita. Puurakenteita koskevassa Eurokoodi 5:ssä on käytössä tämä menetelmä. Suunnittelussa ominaislujuuksia alennetaan kosteuden ja kuormitusajan mukaan sekä käytetään materiaalin osavarmuuskertoimia. Alla olevassa taulukossa kuormitusajan ja kosteuden vaikutuskertoimia vanerien ominaislujuuksiin. (Vestinen & Pennala 1997, 67.)

TAULUKKO 2. Kuormitusajan ja kosteuden vaikutus vanerien ominaislujuuteen Eurokoodi 5:n mukaan (Vestinen & Pennala 1997, 68)

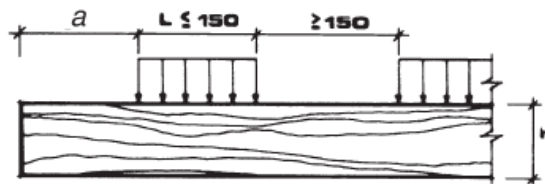
Kuormitusaika	k _{mod} -kerroin		
	Käyttöluokka 1.	Käyttöluokka 2.	Käyttöluokka 3.
	Kosteus ≤ 12 %	Kosteus ≤ 20 %	Kosteus ≥ 20 %
Pysyvä, yli 10 v.	0,60	0,60	0,50
Pitkäaikainen, 6kk-10 v.	0,70	0,70	0,55
Keskipitkä, 1vko-6 kk	0,80	0,80	0,65
Lyhytaikainen, < 1vko	0,90	0,90	0,70
Hetkellinen, minuutteja	1,10	1,10	0,90

7 SYYSUUNTAA VASTAAN KOHTISUORAN PURISTUKSEN MITOITUS

Tämän otsikon alle olen kerännyt tietoa otsikon mukaisesta puurakenteiden mitoituksesta. Tämän päivän rakennesuunnittelussa käytetään yleisesti Eurokoodi 5:ttä, mutta olen kerännyt tähän myös muita ohjeita, joita on käytetty tai käytetään edelleen vähenemässä määrin.

7.1 B10 puurakenteiden mitoitus

Otin tähän RT korteista löytyvän mitoitushojeen, koska siinä ohje koskee myös erityisesti leimapaineen mitoitusta. Kuvasta selviää myös, kuinka voimat vaikuttavat rakenteissa.



Kuva 8.3. Kiskopaine (mitat mm)

Kuvan 8.3 mukaisen kiskopaineen vaikuttaessa voidaan sallitua jännitystä $\sigma_{c,lsall}$ korottaa kertoimella

$$k = \begin{cases} 1 + \frac{150-L}{150}, & \text{kun } \alpha \geq 100 \text{ mm} \\ 1 + \frac{a}{100} \frac{150-L}{150}, & \text{kun } \alpha < 100 \text{ mm} \end{cases} \quad (8.4)$$

jossa L on kuvan 8.3 mukainen kuormitusalueen pituus. Sama koskee leimapainetta.

Taulukossa 8.7 on annettu eräitä k-kertoimen arvoja.

Taulukko 8.7. Kaavan (8.4) k-kerroin, kun $a \geq 100$ mm

L (mm)	15	30	45	50	60	75	100	120	150
k	1,9	1,8	1,7	1,67	1,6	1,5	1,33	1,2	1,0

Naulalevyrakenteen tukipainekapasiteetti voidaan korottaa paarteen naulalevyvahvistuksella

KUVIO 9. Mitoitus (RT RakMK-21183 2001)

7.2 Eurokoodi 5:n mukainen mitoitus

Eurokoodi 5:stä löytyy luku 6, jossa käsitellään murtorajatiiloja. Kohdassa 6.1.5 on tämän työn kannalta oleellisinta tietoa, koska siinä käsitellään syysuuntaan vastaan kohtisuoraa puristamista ja rakenteiden mitoitusta tällaisissa tilanteissa. Olen lisännyt sivut liitteeksi (liite 3 ja liite 4), joissa mitoitusta käsitellään.

Tein asiaa havainnollistamaan myös vertailua alajuoksupuuna käytettävän koivuvanerin leimapaineen ja runkotolpan mitoituksen osalta. Tarkoitukseni oli selvittää, kumman arvo on mitoituksessa rajoittava tekijä. Leimapaineelle laskettu mitoitusarvo Eurokoodi viiden mukaan menee seuraavasti:

$$X_d = k_{\text{mod}} \frac{X_k}{\gamma_M}$$

, jossa $k_{\text{mod}} = 0,8$, $X_k = 9 \text{ N/mm}^2$ ja $\gamma_M = 1,3$

Laskenta-arvoksi koivuvanerin leimapaineelle saadaan kaavan mukaan $5,5 \text{ N/mm}^2$. Kun tämä arvo kerrotaan puukerrostaloissa käytettävällä tolppakoollla $42 \times 270 \text{ mm}$, tai $56 \times 270 \text{ mm}$, niin arvoiksi saadaan $62,4 \text{ kN}$ ja $83,2 \text{ kN}$. Tätä arvoa verrataan kuormaan, joka runkotolpalle voidaan mitoittaa. Palkkimitoitus on tehty Finnwood 2.3 SR1-ohjelmalla. Tolppakuormat antoi Koskisen Oy:ltä ohjaajani Janne Inkinen. Kuormat on mitoitettu viisi kerroksiseen taloon, joka simuloi puista kerrostaloa. Laskelma on tehty $56 \times 270 \text{ mm}$:n tolppalle, ja mitoituskuva tästä löytyy liitteestä 11.

Laskelmasta voidaan huomata, että tolppalle voidaan laskea keskeistä kuormaa lähes 172 kN , kun taas alajuoksuna käytettävälle koivuvanerille voidaan laskea kuormaa $83,2 \text{ kN}$. Näin ollen rajoittavaksi tekijäksi mitoituksessa tulee koivuvanerin leimapainearvo.

8 VANERIN LEIMAPAINEKESTÄVYYS

Vanerien leimapainekestävydestä ja testaustavoista löytyy varsin vähän tietoa kirjallisuudesta. Olen pyrkinyt keräämään kaiken mahdollisen tiedon aiheesta tämän otsikon alle. Tämän työn kannalta tärkein arvo on koivuvanerin leimapainearvo. Alle on kerätty vanerin leimapainearvoja, joita olen löytänyt.

HUOMAUTUS 

Jos suuria kuormia on pienellä kosketusalalla, niin puristusjännitys kohtisuoraan vanerin pintaa vastaan saattaa nousta kriittiseksi. Useimmissa käytännön tilanteissa käyttöluokassa 1 voidaan käyttää seuraavia keskiarvoja.

Leimapaine

Koivuvaneri	9 N/mm ²
Sekavaneri	5 N/mm ²
Kuusivaneri	4 N/mm ²

KUVIO 10. Leimapaineen ominaisarvot (Vanerikäsikirja 2012)


TAULUKKO 3. Leimapaineen sallitut jännitykset (Vestinen & Pennala 1997, 65)


	Raunapuristuslujuus		Pintaa vastaan kohtisuora	
	Puikon halkaisija mm	σ_3 N/mm ² (3 mm tunkeuma)	Leimapaine	Vetolujuus
			N/mm ² ala 50 x 50 mm ²	N/mm ² ala 50 x 50 mm ²
Koivuvaneri	4	25		0,75
	6	20	3,7	
	8	17		
Sekavaneri	4	21		0,55
	6	18	2,2	
	8	16		
Kuusivaneri	4	14		0,55
	6	11	1,5	
	8	9,6		

TAULUKKO 4. Leimapaineen sallitut jännitykset (Pennala 1991, 16)

Tabelle 4b. Zulässige Flächenbelastung			
Feuchtigkeitsgehalt 15 %			
	⊥ zur Kante		⊥ zur Platte
	Stabdurchmesser mm	σ_3^{**} N/mm ²	50 x 50 mm ² N/mm ²
BIRKE	4	25	
	6	20	3,7
	8	17	
COMBI	4	21	
	6	18	2,2
	8	16	
NADELHOLZ	4	14	
	6	11	1,5
	8	9,6	

Koska rakenteissa esiintyvien kuormien laskennassa on otettava huomioon myös kohteen olosuhteet ja kuormituksen aika, niin otin myös niistä taulukot. Aiemmin todettu kosteuden alentava vaikutus leimapainelujuuteen on huomioitava käyttökohteita tarkasteltaessa.

KUORMIEN AIKALUOKAT		
Pysyvä	Kesto yli 10 vuotta	
Pitkäaikainen	Kesto 6 kuukaudesta 10 vuoteen	
Keskipitkä	Kesto yhdestä viikosta kuuteen kuukauteen	
Lyhytaikainen	Kesto on alle viikon	
Hetkellinen	Kesto joitakin minutteja	

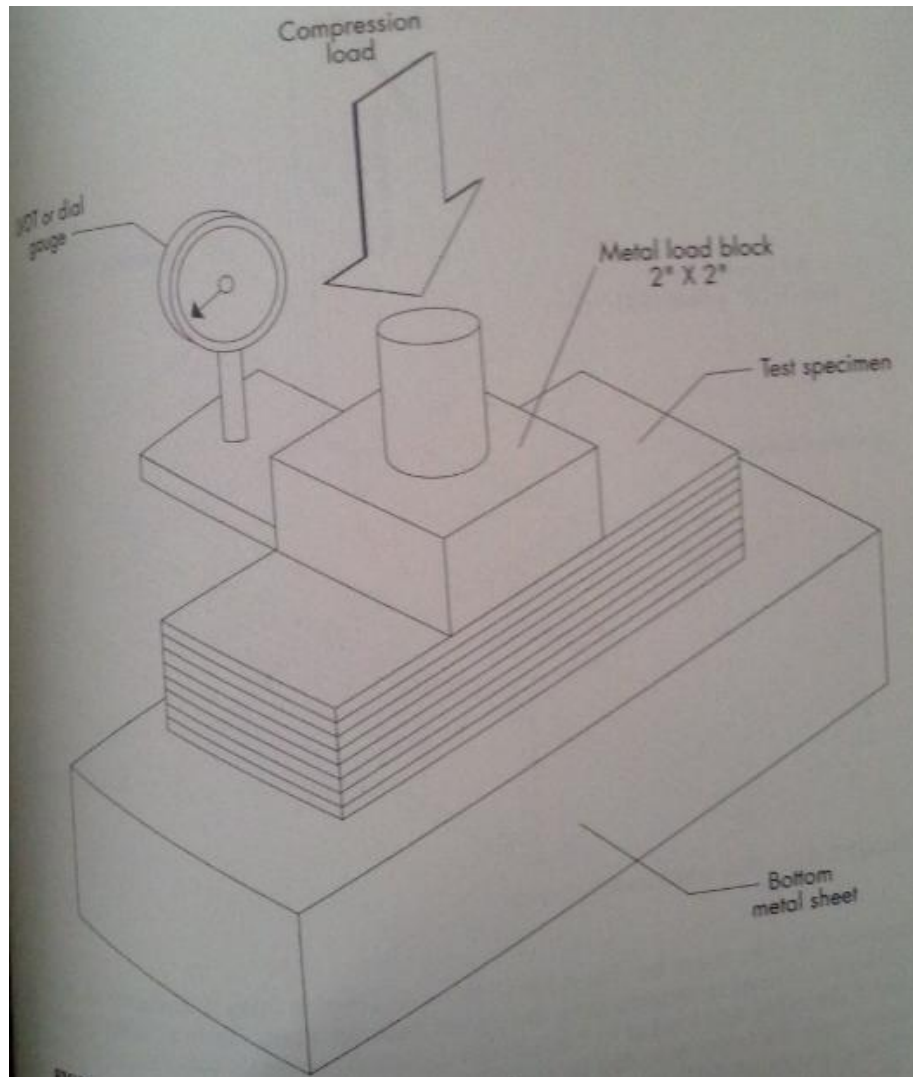
KÄYTTÖLUOKAT		
Käyttöluokka 1:	ominaista tälle käyttöluokalle on materiaalien kosteuspitoisuus, joka vastaa 20°C lämpötilaa ja vain muutaman viikon ajan vuodessa 65 %:n ylittävää ilman suhteellista kosteutta. Käyttöluokassa 1 vanerien tasapainokosteus on ≤ 12 %.	
Käyttöluokka 2:	ominaista tälle käyttöluokalle on materiaalien kosteuspitoisuus, joka vastaa 20°C lämpötilaa ja vain muutaman viikon ajan vuodessa 85%:n ylittävää ilman suhteellista kosteutta. Käyttöluokassa 2 vanerien tasapainokosteus on ≤ 18 %.	
Käyttöluokka 3:	olosuhteet, jotka johtavat käyttöluokan 2 kosteuspitoisuuksien ylittymiseen. Käyttöluokassa 3 vanerien tasapainokosteus on > 18 %.	

KUVIO 11. Aika – ja käyttöluokat (Vanerikäsikirja 2012)

Kuvioista 10. ja taulukosta 3. voidaan huomata leimapainearvojen ero. Kuviossa 10. arvo on 9 N/mm^2 ja taulukoissa 3. ja 4. $3,7 \text{ N/mm}^2$. Tämä johtuu siitä, että taulukoiden 3. ja 4. arvot ovat niin sanottuja sallittuja arvoja. Kertomalla arvo 2,33 päästää arvoon 9 N/mm^2 , jota nykypäivän suunnittelussa käytetään.

Leimapainetta määritettäessä kirjallisuudessa puhutaan yleisesti testauksesta, jossa levyä painetaan $50 \text{ mm} \times 50 \text{ mm}$:n kokoisella painimella. Tämä nähdään muun muassa taulukosta 3. leimapainesarakkeesta. Englanninkielisissä puualan kirjoissa puhutaan useimmiten painimesta, joka on $2'' \times 2''$. Yksi tuuma on noin $25,4 \text{ mm}$, joten koko on lähes sama kuin aiemmin mainittu $50 \text{ mm} \times 50 \text{ mm}$.

APA Engineered Wood Handbookista löytyy havainnollistava kuva, kuinka levyn puristuskestävyyttä syitä vastaan kohtisuoraan testataan. Testiä ei suoriteta tässä vanerille vaan LVL:lle, eli kertopuulle. Otin kuvan kuitenkin esimerkiksi, koska kertopuu ja vaneri ovat rakenteeltaan melko yhteneviä.



KUVIO 12. Puristus syitä vastaan kohtisuorasti (Williamson T. G. 2002, 6.21)

Testi ei suoranaisesti testaa leimapuristuslujuutta, mielestäni ennemminkin kiskopainetta. Mikäli testattaisiin leimapuristusta, niin testikappaleen ja painimen väliin olisi jätävä jokaiselle reunalle paineetonta pinta-alaa. Kuvasta nähdään kuitenkin testin toteutuksen perusidea. Myös tässä kuvassa näkyy painimen kokona 2" x 2".

9 TAUSTATUTKIMUSTA STANDARDEISTA

Etsiessäni standardia vanerin leimapainetestaukseen, löysin standardin SFS-EN 789. Kyseisessä testissä otsikossa mainitaan sana ”bearing”, joka tarkoittaa englanniksi yleisesti leimapainetta. Tutkittuani sitä itse sekä opettajieni kanssa olimme hieman epäileviä, koska annetut ohjeet ja mitat olivat varsin poikkeavia aiempaa käsitykseemme vanerin leimapaineen tutkimisessa. Lehtori Ilkka Tarvainen kehotti ottamaan yhteyttä UPM:n Simo Koposeen, jolta löytyy paljon tietämystä vanerista ja sen ominaisuuksista. Sainkin pian vastaukseksi, että kyseinen testi ei sovellu vanerin leimapaineen testaamiseen, vaan standardi on tarkoitettu lähinnä vanerin paksuussuuntaisen puristuslujuuden testaamiseen. Koska vanerille ei ole varsinaista leimapainestandardia, niin Koponen kehotti tutkimaan ja soveltamaan lattiastandardia SFS-EN 1195, koska se voisi soveltua leimapaineen tutkimiseen paremmin.

Päätimme ohjaavan opettajani Jari-Pekka Suomisen kanssa ottaa tähän rinnalle sahatavarastandardin SFS-EN 408:n ja kerätä niistä oleellimmat tiedot, joita pystyn hyödyntämään omassa työssäni. Tavoitteeni oli saada omista testauksistani sellaisia, että ne olisivat toteutukseltaan verrattavissa standardeihin

9.1 Standardien SFS-EN 408, 1195 ja 789 vertailua

Olen pyrkinyt keräämään näistä standardeista oleelliset tiedot, joita olen voinut soveltaa omissa testeissäni. Keskityin eritoten standardin SFS-EN 1195 ”staattinen kuormitus” (static load) osioon. Sen jälkeen olen poiminut myös oleelliset tiedot standardista SFS-EN 408 ja erityisesti asiat, jotka käsittelevät syitä vastaan kohtisuoraa puristamista (compression perpendicular to the grain). Puristuslujuuden määrittämisen olen ottanut standardista SFS-EN 789:n.

9.2 Testikappale ja testausolosuhteet

Molemmille on annettu tarkat ohjeet. Näin ollen vältetään olosuhteiden ja kappaleiden mittavaihteluiden vaikuttamasta mittaustuloksiin. Ohjeet ovat standardeissa lähes samat, ja tähän alle olen kerännyt oleellimmat tiedot, joita olen pyrkinyt noudattamaan myös omissa testeissäni.

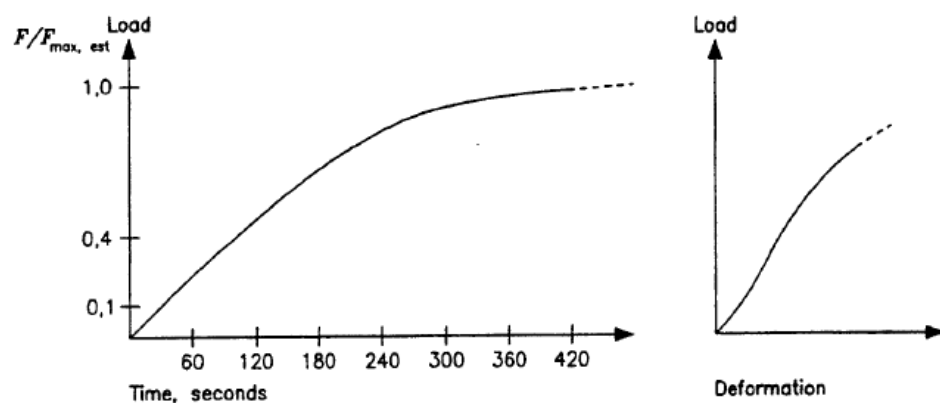
Testikappaleet on vakautettava standardissa ympäristössä. Tämän ympäristön lämpötilan tulee olla $(20 \pm 2) ^\circ\text{C}$ ja ilman suhteellinen kosteus $(65 \pm 5) \%$. Kappale on vakautettu, kun sen massa pysyy vakiona. Massan katsotaan vakioituneen, kun testikappaleiden paino ei muutu $0,1 \%$:a enempää kahden punnituksen välillä. Punnitusten väli on kuusi tuntia. Myös testilaboratoriossa tulisi olla olosuhteet, joissa yllä oleva vakautus tapahtui. Muutokset on kirjattava raporttiin. (SFS-EN 1195 1998.)

Testit on suoritettava 48 tunnin kuluessa, mikäli materiaali on siirretty pois yllämainituista olosuhteista. Tämän 48 tunnin aikana materiaali tulisi olla ympäristössä, jonka lämpötila on $(20 \pm 5) ^\circ\text{C}$ ja ilman suhteellinen kosteus $(60 \pm 20) \%$. (SFS-EN 1195 1998.)

9.3 Testimenettely

Olen poiminut molempien standardien testimenettelyistä ne kohdat, jotka soveltuvat omiin testeihini. Standardin SFS-EN 1195 osalta keskityn enimmäkseen staattiseen kuormitukseen ja SFS-EN 408 osalta syitä vastaan kohtisuoraan puristamiseen

Voima on ohjattava kokeessa niin, että maksimi voima F_{\max} saavutetaan ajassa (300 ± 120) sekuntia (SFS-EN 408 2011). Lisäksi testauskuvion tulisi näyttää seuraavalle:



KUVIO 13. Testauksesta saatavat käyrät (SFS-EN 789 1998)

9.4 Tulosten esitys

Otin tulosten esitystavan standardista SFS-EN 789, koska sain UPM:n Simo Koposelta ohjeistuksen kyseiseen määrittystapaan.

Puristuslujuus on materiaaliominaisuus, ja siksi se tulisi määrittää siten, että lujuus ei riipu paksuudesta. Näin ollen voidaan todeta, että kaiken paksuisille vanereille tulisi käyttää samoja kriteerejä. (Koponen 2012.)

Puristuslujuus on esitettävä seuraavan kaavan mukaan:

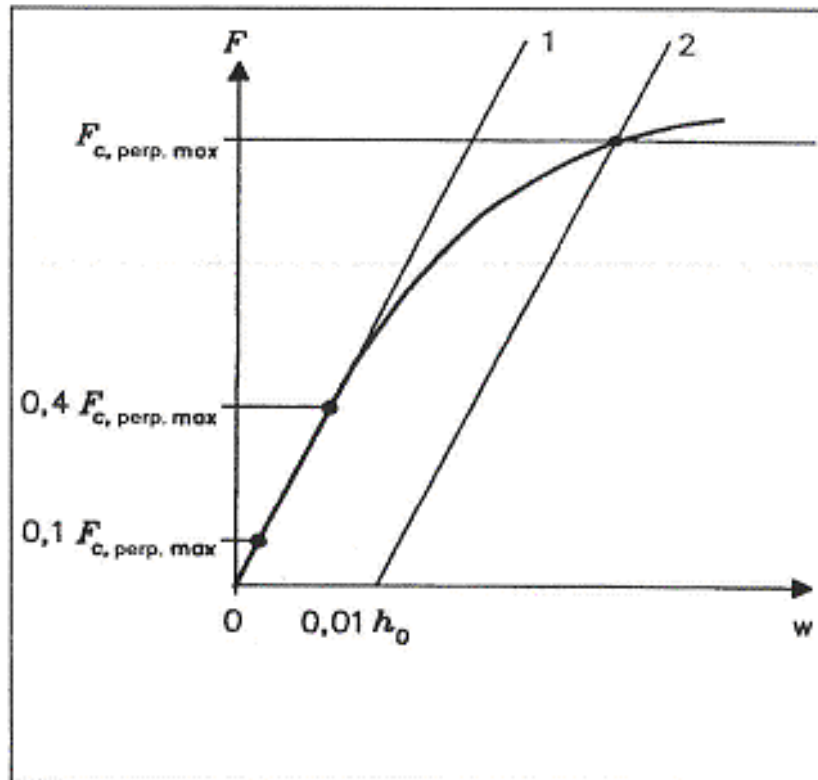
$$f_{c, 90} = \frac{F_{c, 90, \max}}{bl}$$

jossa:

$f_{c, 90}$ = puristuslujuus

$F_{c, 90, \max}$ = syysuuntaa vastaan kohtisuora maksimipuristus

bl = puristuspinta-ala



KUVIO 14. Maksimikuorman määrittäminen (SFS-EN 789 2004)

Simo Koposen antamat ohjeet arvon määrittämiseen kuvaajasta:

x-akselilta otetaan siirtymä $0,01h$ (h =koekappaleen kokonaispaksuus) ja siitä lähdetään viivalla, jonka kaltevuus on $[F(0.4)-F(0.1)]/[s(0.4)-s(0.1)]$ ja haetaan kuormituskäyrän leikkauspiste. Silloin murto on fiksattu 1 %:n pysyvään muodonmuutokseen. (Koponen. 2012.)

Toinen tapa on rajoittaa kokonaismuodonmuutos johonkin muuhun puristumisprosenttiin, esimerkiksi 5 %:iin. Toisaalta tämä ei ota siihen kantaa onko murtokuorma jo saavutettu. Tämä tapa on siten siis epämääräinen, koska käyrä alkaa yleensä kaareutua jo 1 %:n kokoonpuristumilla. (Koponen 2012.)

9.5 Testausraportin sisältö

Olen kerännyt oleelliset asiat, jotka testausraportista tulisi löytyä. Tiedot on poimittu standardista SFS-EN 408, mutta lähes samat asiat löytyvät muistakin

aiemmin mainituista standardeista. Ohjeita olen pyrkinyt hyödyntämään merkatessani ylös tietoja testimateriaaleista ja testaustapahtumasta.

9.5.1 Testattava kappale

Alle on kerätty keskeiset asiat, jotka tulee mainita raportissa testattavasta kappaleesta.

- materiaalin kuvaus: laatu, kosteus, valmistusaika, käytetyt materiaalit, tiheys sekä mahdolliset poikkeamat
- tehdas ja maa, josta testikappaleet tulevat
- testikappaleen valintamenetelmä
- tasausmenetelmä
- muut oleelliset tiedot, jotka voivat vaikuttaa testaustuloksiin (SFS-EN 408 2011.)

9.5.2 Testausmenetelmä

Testausmenetelmästä sekä testitapahtumasta tulee merkitä tiettyjä asioita ylös. Olen kerännyt tämän otsikon alle oleellisimmat asiat.

- viite testausmenetelmään
- lämpötila ja ilman suhteellinen kosteus testin aikana
- testauslaitteen tiedot sekä mittauksissa käytetyt välineet
- muut oleelliset tiedot, jotka liittyvät mittauksiin (SFS-EN 408 2011.)

9.5.3 Testauksen tulokset

Raporttiin on kirjattava tuloksista vähintäänkin alla näkyvät asiat.

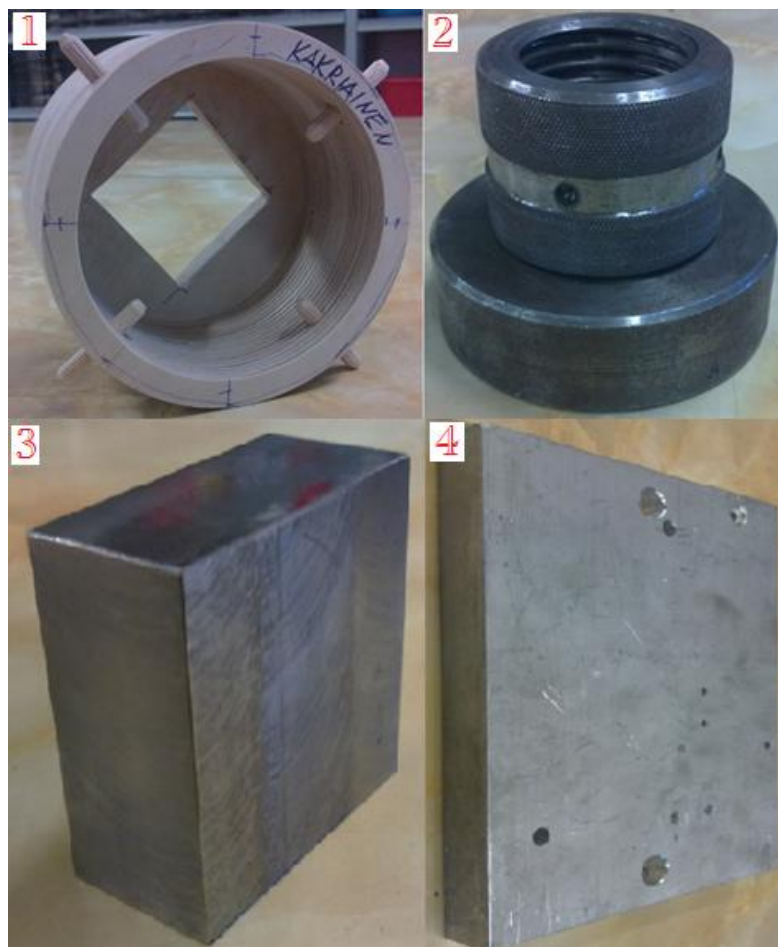
- kappaleen kosteuspitoisuus testin aikana
- kappaleen mitat
- lujuusarvot
- syntyneiden halkeamien tai murtumien sijainti ja muoto
- aika, missä maksimikuorma saavutettiin

- kaikki muu oleellinen tieto, joka vaikuttaa tulokseen (SFS-EN 408 2011.)

Etenkin kohdan 9.5.3 asiat olen kirjannut ylös testituloksiini, jotka löytyvät liitteistä 5-8. Lisäksi kappaleesta 10. löytyy enemmän tietoja itse testitapahtumasta ja tuloksista.

10 TESTAUKSEN ESIVALMISTELUT JA TESTAUSTAPAHTUMA

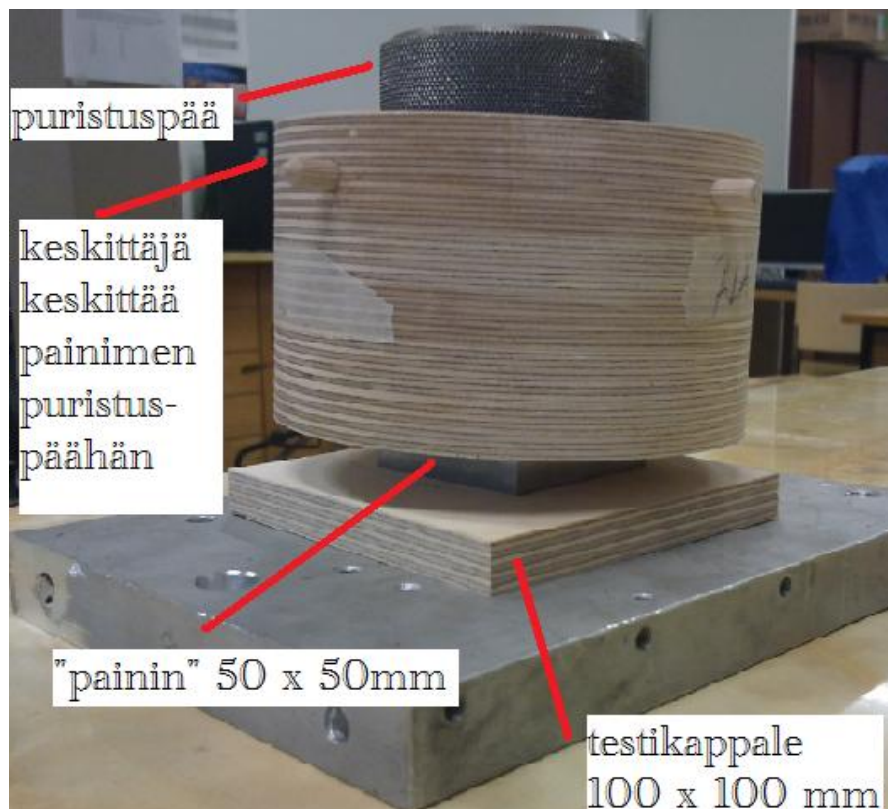
Lahden ammattikorkeakoululla olevaan Alwetron materiaalinkoeistuskoneeseen löytyy paljon erilaisia testipäitä, mutta jouduin kuitenkin valmistamaan ja valmistuttamaan hieman osia omia testauksiani varten. Tavoitteeni oli tehdä kaikki esivalmistelut sekä itse leimapaineen testausprosessi valmiiksi, jotta varsinainen koivuvanerin testaus sujuisi ongelmitta ja tulokset olisivat vertailukelpoisia.



KUVIO 15. Testaukseen käytettäviä osia

Yllä olevaan kuvaan olen kerännyt keskeiset osat, joita suunnittelin käyttäväni koivuvanerin leimapainetestaukseen. Numero 2. on puristuspää, joka kuuluu Alwetroniin. Puristuspää löytyi valmiina osana koululta ja se kiinnitetään

materiaalinkoeistuslaitteeseen sen yläosassa olevan kierrepään avulla. Puristinlevyn halkaisija puristuspäässä on 100 mm. Numero 1. on niin sanottu keskittäjä, joka keskittää paininpalasen (numero 3.) puristinpään keskelle. Tämän osan valmistin siksi, että paininpala saadaan varmasti keskelle puristuspäätä ja voima kohdistuu näin oikein. Etenkin maksimivoimilla puristaessa keskitys on erityisen tärkeää. Valmistin keskittäjää varten ensin aihion vanerista, jonka sitten työstin CNC-koneella tähän muotoon. Poratavat ovat keskittäjässä sitä varten, että se nousee puristuspään mukana ylös puristuksen päätyttyä. Kuvioista 16. voi nähdä idean, miten osaset asettuvat toisiinsa nähden. Osa 3. on painin, jota puristus pää puristaa testattavaa koivuvaneria vasten. Näitä painimia valmistutin kaksi. Niiden mitat ovat 50 x 50 x 25 mm. Toisesta pyöritystyön reunat kevyesti, tämä oli opinnäytetyön toimeksiantajan toivomus. Pyörityksellä pyritään saamaan selville se, mikä on sen vaikutus saatuihin puristusarvoihin. Numero 4. on pohjalevy, jota vasten kaikki puristus tapahtuu. Myös tämän valmistutin Lahden ammattikorkeakoulun konelaboratoriossa.



KUVIO 16. Demonstraatio testitapahtumasta

Kuvio 16. demonstroi testitapahtumaa. Se auttaa myös näkemään kuinka osat asettuvat toisiinsa nähden. Kuvassa osia ei ole vielä kiinnitetty Alwetroneihin, myöskään kuvassa esiintyvä testikappale ei ole oikeaa paksuutta.

10.1 Koekappaleet ja niiden esivalmistelut

Koekappaleeni olivat hiottuja koivuvanereita, paksuudeltaan 18mm ja 40mm. Kappaleet toimitettiin valmiiksi sahattuina 100mm x 100mm kokoisina paloina. Pyysin tämän kokoisia paloja, koska ne sopivat parhaiten testilaitteeseen. Kappaleiden rakenteet ovat näkyvissä alla olevassa taulukossa.

TAULUKKO 5. Koekappaleiden rakenteet

rakenne	paksuus	viilujen lukumäärä
I-I...I-I	18mm	13
I-I...I-I	40mm	29

Sallittujen jännitysten menetelmässä kosteusrajaksi on asetettu $u = \max 15 \%$, joten pyrin tasaannuttamaan koivuvanerikappaleet 15% :n kosteuteen. Puu saavuttaa tämän kosteuden, kun tasaannutus olosuhteet ovat 75% RH ja lämpötila $20 \text{ }^\circ\text{C}$. Sain olosuhteet muodostettua jääkaapissa, jonka lämpötila liikkui $20\text{--}23 \text{ }^\circ\text{C}$:n välillä. Ilman suhteellisen kosteuden sain nostettua 75% :iin kylläisen merisuolaliuoksen, eli natriumkloridiliuoksen avulla. Kappaleet olivat tasaantuneet, kun niiden paino ei muuttunut punnitusten välillä $0,1 \%$:a enempää. Punnitusten väli tulee olla minimissään kuusi tuntia.

Tasaannutus vei yllättävän paljon aikaa ja ongelmia tuotti saada ilman suhteellinen kosteus 75% :iin. Kaappi ilmeisesti vuoti aluksi tiivisteistä, mutta lisätiivistyksen ansiosta sain lopulta muodostettua oikeat olosuhteet. Suoritin punnituksia kerran päivässä ja pyrin pääsemään $0,1 \%$:n tarkkuuteen.

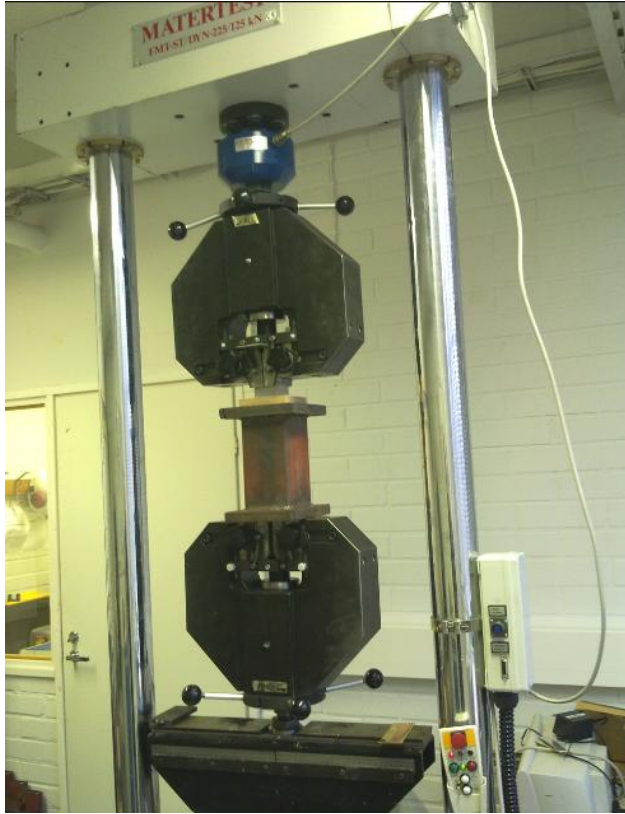
Kun paino ei enää muuttunut $0,1 \%$ enempää, niin kappaleet olivat valmiita testattavaksi. Ennen varsinaista testausta mittasin vielä kappaleiden mitat $0,1$

mm:n tarkkuudella, punnitsin jokaisen kappaleen 0,1 g:n tarkkuudella sekä mittasin kosteuden Merlin PM1-E kosteusmittarilla. Laskin myös jokaisen kappaleen tiheyden. Taulukoin kaikki arvot excel- taulukoihin, taulukot löytyvät liiteosiosta.

10.2 Testaus

Tehdessäni koepuristuksia puulaboratorion alwetron materiaalinkoeistuslaitteella, niin huomasin muutamia ongelmia laitteen käytössä. Ensimmäinen ongelma oli, että kone ei suostunut suorittamaan puristusta, mikäli voimaohjauksen asetuksiin asetti liian pienen arvon. Pientä arvoa tarvitsin siihen, että puristus tapahtuu tarpeeksi hitaasti ja siten päästään standardeissa annettuihin aikamääreisiin. Toinen ongelma oli koneen maksimirajat. Maksimipuristus, jonka koneella pystyy tekemään, on 50 kN. Muodostuvaa puristuskäyrää ei saanut muodostettua selkeästi koneen sallimissa rajoissa, joten oli mietittävä muita testausvaihtoehtoja. Käytännössä tein siis turhaan keskittäjän ja pohjalevyn laitteeseen.

Päätin suorittaa puristukset metallipuolella konelaboratoriossa. Siellä on hydraulinen puristin, jonka tyyppi on Matertest FMT – ST / DYN – 225 / 125 kN. Tällä laitteella puristukset onnistuivat hyvin, eikä laitteen käytössä ilmennyt suurempia ongelmia. Tallensin jokaisen puristuksen jälkeen koneen antaman puristuskäyrän muistitikulle. Käyristä määritin testeistä saadut lujuusarvot ja kirjasin arvot excel- taulukkoon. Testausolosuhteet testilaboratoriossa olivat seuraavat: ilman suhteellinen kosteus 41 % ja lämpötila 24 °C. Kosteuden mittasin hius – kosteusmittarilla. Kuvioissa 17. ja 18. näkyy testilaitte sekä itse puristustapahtuma.



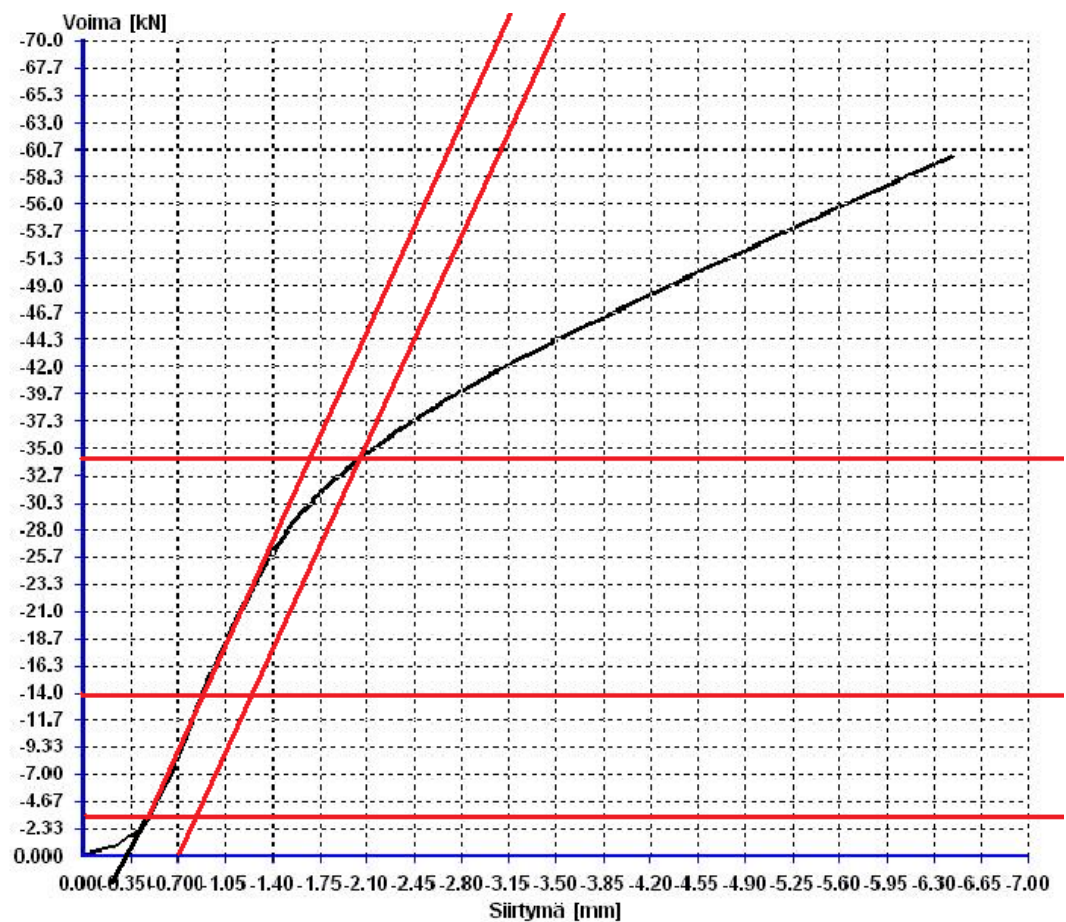
KUVIO 17. Matertest FMT – ST / DYN – 225 / 125 kN



KUVIO 18. Puristus

10.3 Puristuslujuuden määrittäminen

Kuten aiemmassa kappaleessa mainitsin, niin tallensin jokaisesta puristuksesta saadun käyrän muistitikulle. Myöhemmin määritin jokaisesta käyrästä maksimipuristusvoiman kappaleessa 9.4 esitetyllä tavalla. Maksimivoimasta voidaan taas laskea kappaleelle puristuslujuus. Puristuskäyrä on saatu 40 mm:n kappaleesta numero 5. Kaikki tiedot kappaleesta löytyy liitteestä 6. Lisäsin tähän esimerkin siitä, kuinka määritin arvot.



KUVIO 19. F_{c90max} arvon määrittäminen kuvaajasta

Kerron vielä, kuinka tein määrittäykset ja mitä viivat merkitsevät yllä olevassa kuvassa. Ensin laskin kappaleen paksuudesta 1 %:n arvon. Eli 40 mm:stä 1 % on 0,4 mm. Kuviossa 19. tämä punainen viiva alkaa x-akselilta kohdasta 0,700. Tämä siksi, että kuormituskyrää ei ala nollassa, vaan arviolta kohdasta 0,300.

Seuraavaksi arvion maksimikuormaksi noin 35 kN. Laskin tästä arvosta arvot F 0,1 (alin vaakaviiva) ja F 0,4 (keskimmäinen vaakaviiva). Sitten vedin näiden pisteiden avulla pystyviivan, joka mukaillee kuormituskäyrää. Tämän jälkeen korjasin ensimmäiseksi piirtämäni pystyviiva siten, että molemmat pystyviivat kulkevat samassa linjassa. Viimeiseksi vedin ylimmän vaakaviivan ja katsoin, missä kohdassa se leikkaa kuormituskäyrän. Leikkauskohdasta saadaan maksimikuorman arvo.

Hankaluuksia arvojen määrittämiseen toi se, että koordinaatiston arvoja ei saanut koneelta säädettyä tarkemmiksi. Lisäksi kuormitusta oli hankala saada aloitettua juuri origosta, joten tämä toi lisää haastetta kuormien määrittämiseen. Koska voimat ovat suuria ja tärkeimmät arvot maksimikuorman määrittämisen kannalta sijaitsevat lähellä nollaa, tulokset eivät ole täysin tarkkoja.

TAULUKKO 6. Puristuslujuudet, 1 %:n kokonaismuodonmuutos

Koivuvanerien puristuslujuudet (50 x 50 mm ²) N/mm ²		
paksuus	18mm	40mm
	11,6	13,6
	12,0	14,4
	13,2	14,4
	12,4	14,0
	13,2	13,6
	12,8	13,6
	12,8	13,2
	11,6	14,4
	12,8	13,2
	12,0	13,2
	10,4	12,8
	13,2	12,6
	10,8	13,2
	12,0	13,6
	12,8	13,0
	10,8	13,2
	11,2	13,6
	12,8	12,8
	10,8	13,6
	10,8	

Lisäksi tein maksimikuorman määritykset myös siten, että kokonaisuodonmuutos on rajoitettu 5 %:iin. Määritys menee muuten samalla tavalla, kuin kuviossa 19. mutta kappaleesta lasketaan 5 %:n puristuma. Taulukossa 7. on näkyvissä tällä tavoin määritetyt arvot.

TAULUKKO 7. Puristuslujuudet, 5 %:n kokonaisuodonmuutos

Koivuvanerien puristuslujuudet (50 x 50 mm ²) N/mm ²		
paksuus	18mm	40mm
	15,6	18,4
	15,6	18,8
	16,4	19,2
	16,0	19,2
	16,4	19,2
	16,0	18,4
	16,8	18,4
	15,6	19,6
	16,0	18,0
	15,6	18,8
	14,8	18,0
	16,4	17,2
	14,8	17,8
	15,8	17,6
	16,2	18,0
	14,8	17,4
	14,4	18,0
	16,0	17,8
	14,4	18,0
	14,2	

11 TULOSTEN ANALYYSOINTI

Kaikki kirjaamani arvot löytyvät liitteistä 5-8. Liitteisiin on kirjattu huomioon otettavat asiat lukuja tarkasteltaessa. Testien alussa käytin puristuksissa voimaohjausta nopeudella 160 N/s. Huomasin, että hitaammalla arvolla pysytään paremmin standardeissa vaaditussa aikarajassa (300 ± 120 s), joten hidastin arvoa 100 N/s:ssa. Nämä arvot liitteissä on merkattu vihreällä värillä. Osan testeistä tein painimella, jonka reunat oli pyörästetty. Tämä on merkattu liitteisiin keltaisella värillä sekä numeron perässä olevalla P-kirjaimella. Punainen väri ajan kohdalla osoittaa, ettei maksimiarvon saavuttaminen tapahtunut standardien vaatiman ajan puitteissa, joka on alimmillaan 180 sekuntia.

Tulokseni ovat suuntaa-antavia arvoja, koska kuvaajista oli mahdoton määrittää täysin tarkkoja arvoja, niistä voidaan kuitenkin nähdä hyvin missä lukemissa arvot liikkuvat. Tulosten määrittäminen on esitelty tässä työssä tarkemmin luvussa 9.4. Leimapaineelle ei ole suoraa standardimenetelmää, joten pyrin soveltamaan UPM:n Simo Koposen ohjeita sallittujen jännitysten, sekä ominaislujuuksien osalta.

Sallittujen jännitysten menetelmässä ei oteta siihen kantaa, onko pysyviä muodonmuutoksia jo tapahtunut tai mahdollisesti juuri alkamassa. Jännitys on kuitenkin niin alhainen, että kuormituskäyrältä on hankala havaita kaareutumista, sillä jännitys on noin 30–40 % kappaleen murtokuormasta. (Koponen 2012.)

Siksi liitteissä löytyy merkintä, että sallittu leimapaine on laskettu 30 % puristuslujuudesta. Puristuslujuuksista, jotka on määritetty aiemmin esitetyllä 1 %:n periaatteella on laskettu myös ominaislujuudet. Ominaislujuuksia en laskenut muista testituloksista, koska ne ovat epämääräisiä ja poikkeavat aiheesta sivuavista standardeista

11.1 Leimapaine

Eurokoodien mukaisessa puurakenteiden suunnittelussa käytetään ominaislujuuksia ja laskin siksi puristuslujuuksille ominaislujuudet kappaleen alla olevan kaavan mukaisesti. Menetelmä on standardin SFS-EN 1058:n mukainen. Standardissa esitetty esimerkkilasku on nähtävissä liitteissä 9. ja 10. Sain 18

mm:n koivuvanerin leimapuristukselle ominaisarvoksi 10,3 N/mm² ja 40 mm:n koivuvanerille 12,5 N/mm². Molemmat arvot ylittävät reilusti kirjallisuudessa annetun 9 N/mm². Toisaalta testikappaleitteni vähyys saattaa saada arvot näyttämään yläkanttiin. Testituloksia olisi hyvä olla vähintään 32 tai enemmän, jotta tuloksista saataisiin matemaattisesti luotettavampia. Itselläni testejä oli 20 kappaletta. Toisaalta näyttäisi siltä, että 40 mm:n koivuvanerilla saavutettaisiin parempi lujuusarvo, kuin ohuemmillä vanereilla. Tämän varmistaminen vaatisi kuitenkin tarkempia ja laajempia tutkimuksia. Alla on kaava ominaislujuuksien laskemiseen. Kaava on avattu tarkemmin liitteestä 2. Lisäksi esimerkkilasku ominaislujuuksien määrittämiseen löytyy liitteistä 9. ja 10.

$$m_k = \bar{x}_{0.5} = \exp \left(\frac{1}{n} \times \sum_{j=1}^{j=n} \ln \bar{x}_j - k_s \times s_{\ln \bar{x}} \right)$$

Kirjallisuudessa sallituksi leimapaine arvoksi on annettu 3,7 N/mm² ja myös tätä arvoa käytin vertailukohtana omiin tuloksiini. 18 mm:n paksuisten vanerien osalta sallitun leimapaineen keskiarvoksi sain 3,6 N/mm² ja 40 mm:n osalta 4,0 N/mm². Paksumman vanerin osalta myös tämä arvo on suhteellisen paljon suurempi. Tätä selittää mielestäni se, että paksummilla kappaleilla tiheydet ovat suurempia kuin 18mm:n kappaleilla. Yleisesti kirjallisuudessa on koivuvanerin tiheydeksi annettu 680 kg/m³. Testikappaleiden tiheyksien keskiarvo 18 mm:n vanerilla oli 693,7 kg/m³ ja 40 mm:n vanerilla 703,6 kg/m³. Eroa on miltei 10 kg/m³, joten se selittää mielestäni lujuuksien eron. Tiheysmittaukset tein kappaleiden ollessa kosteudeltaan 15 %. Puuteknologiassa tiheys ilmaistaan yleisimmin kuivatiheytenä, tai ilmakeivatiheytenä. Ilmakeivatiheydessä käytetään puun kosteutena 12 -tai 15 prosenttia. Itse laskin tiheydet 15 %:n kosteudessa alla olevan kaavan mukaan.

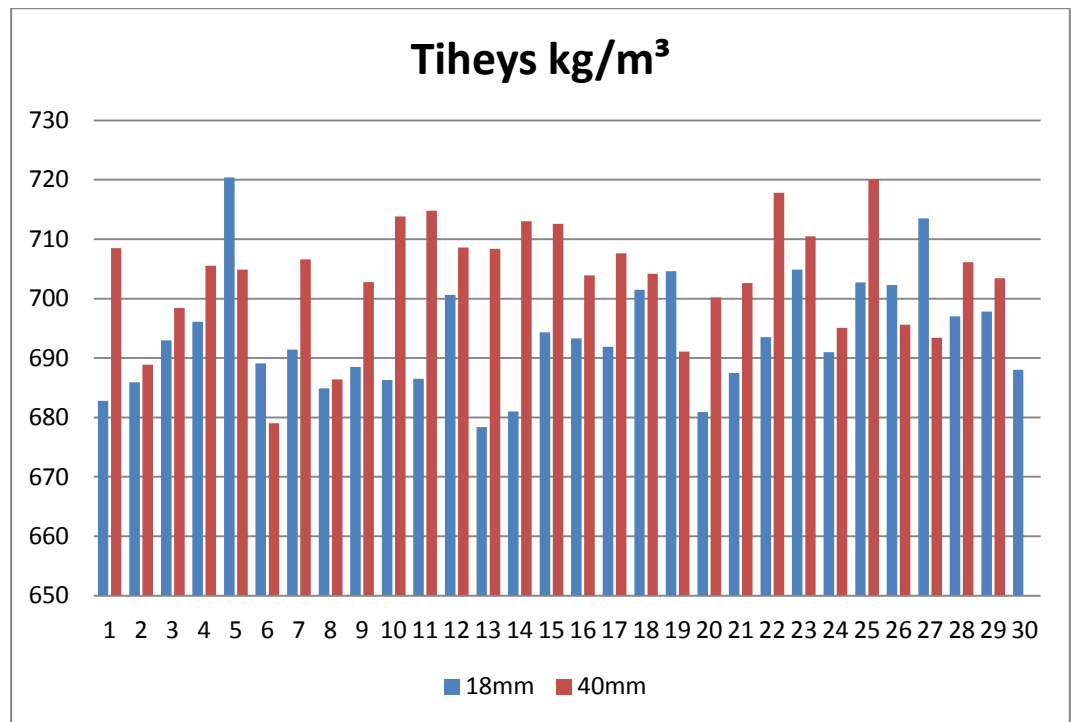
$$r_{15} = m_{15} / v_{15}$$

jossa:

r_{15} = puun tiheys 15 %:n kosteudessa

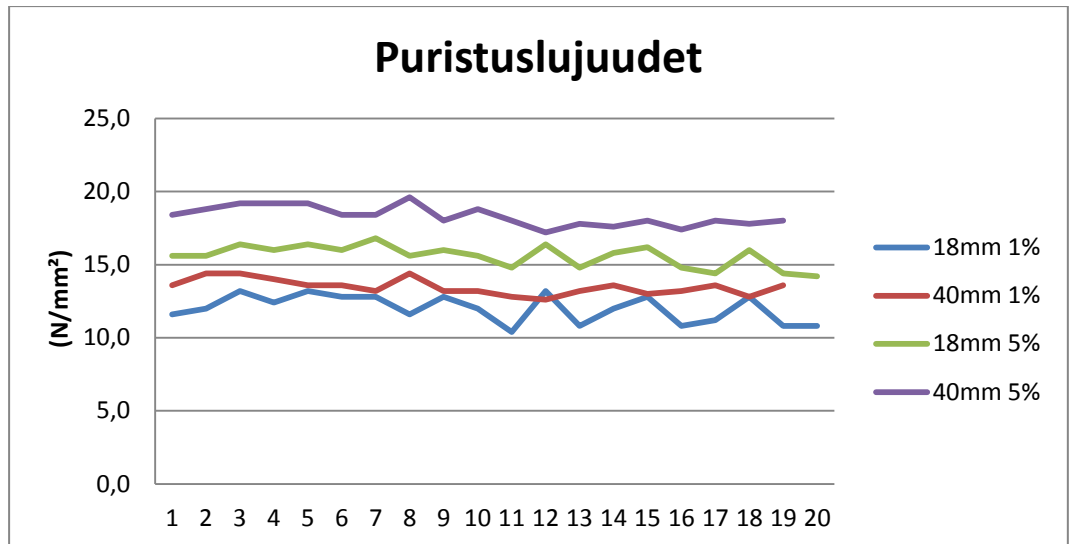
m_{15} = massa 15 %:n kosteudessa

v_{15} = tilavuus 15 %:n kosteudessa



KUVIO 20. Koekappaleiden tiheydet 15 %:n kosteudessa

Standardin mukainen puristuslujuuden määrittäminen on määrittää se 1 %:n pysyvään muodonmuutokseen. Toinen tapa on rajoittaa se esimerkiksi 5 %:n muodonmuutokseen, kuten kappaleessa 9.4 on tarkemmin kerrottu. Jälkimmäisenä mainittu tapa ei ole virallinen, mutta määritin arvot, myös sillä menetelmällä saadakseni lisää eroja selville.



KUVIO 21. Puristuslujuudet yhden -ja viiden prosentin kokoonpuristumilla

Kuvioon 21. otin sekä yhden että viiden prosentin arvot. Kuvaajasta näkee hyvin, että molemmilla tavoilla tehdyissä määrityksissä paksumpi koivuvaneri saavuttaa suuremmat lujuusarvot. Myös muodostuvat viivat ovat suuremmat, mikä mielestäni kertoo paksumman vanerin olevan puristumiskäyttäytymiseltään parempaa kuin ohuempi 18 mm:n koivuvaneri.

11.2 Pyörästetty painin

TAULUKKO 8. Puristuslujuudet, jotka saatu pyörästetyllä painimella

Koivuvanerien puristuslujuudet (50 x 50 mm ²) N/mm ² (pyörästetty painin)		
paksuus	18mm	40mm
	11,6	12,8
	11,6	13,2
	12,0	12,8
	11,6	13,2
	10,8	12,4
	10,4	13,0
	12,4	12,8
	12,0	12,4
	11,2	12,4
	11,4	12,4

Tein puristuksia myös painimella, jonka reunat oli kevyesti pyöristetty. Tarkemmat tulokset löytyvät liitteestä 7. Sallitun leimapaineen keskiarvot olivat 18 mm:n koivuvanerilla 3,5 N/mm² ja 40 mm:n koivuvanerilla 3,8 N/mm². Uskon arvojen pienenemisen johtuvan siitä, että painimen puristuspinta-ala on pienentynyt hiukan, kun sen reunoja on hiottu. Näin ollen ei voida suoraan arvioida, miten pyöristys vaikuttaisi lujuusarvoihin, ja olen siksi jättänyt aiheen käsittelyn vähemmälle huomiolle.

12 YHTEENVETO

Tässä työssä tutkittiin koivuvaneri leimapainekestävyyttä. Koskisen Oy:llä haluttiin asiasta lisätietoa, koska kirjallisuudessa lujuusarvoja ja tietoa vanerin leimapainekestävyydestä on annettu kovin vähän. Tarkoituksena oli myös selvittää, saadaanko Koskisen Oy:n materiaaleilla samanlaisia arvoja, mitä kirjallisuudessa on annettu. Teoriaosuuteen on kerätty mahdollisimman laajasti tietoa puun leimapuristuslujuudesta sekä sen testausmenetelmistä. Lisäksi käsitellään aihetta sivuavia standardeja ja käydään työn kannalta oleelliset asiat puurakenteiden suunnittelusta.

Kokeellisen osan päätavoite oli suunnitella ja suorittaa leimapainetestaukset koivuvanerille. Testaukset tehtiin koululla olevilla materiaalinkoeistuslaitteilla. Laitteisiin täytyi suunnitella ja valmistaa osia, jotta testit saataisiin toteutettua suunnittelemani tavalla. Kirjasin kaikki tulokset ja koekappaleiden ominaisuudet ylös tarkempaa analysointia varten. Testaukset menivät mielestäni hyvin, lukuun ottamatta sitä, että jouduin hylkäämään alkuperäisen suunnitelmani, kun puolaboratorion testilaitte ei toiminutkaan, niin kuin olisi pitänyt.

Tuloksista voitiin huomata, että ohuempi, 18 mm:n koivuvaneri saavutti lähes sellaiset arvot, mitä kirjallisuudessakin on annettu. 40 mm:n koivuvanerilla sitä vastoin päästiin parempiin arvoihin kuin mitä kirjallisuudessa on annettu. Etenkin ominaislujuuden osalta ero on huomattavan suuri. Myös paksumman vanerin tiheys 15 %:n kosteudessa oli kauttaaltaan paljon suurempi kuin 18 mm:n tiheysarvot.

Tuloksia tarkastellessa tulee kuitenkin huomioida, että testini olivat suuntaantavia. Lisäksi testikappaleitteni vähyys saattaa vääristää tulosta. Matemaattisen tarkastelun kannalta vähintään 32 testitulosta olisi oikeastaan minimimäärä. Kuitenkin 40 mm:n koivuvanerilla saadut arvot viittaisivat siihen, että sille voitaisiin puurakenteiden mitoituksessa antaa suurempikin arvo, kuin 9 N/mm^2 , jota nykyisin käytetään tilanteissa, joissa mitoitetaan leimapainekestävyyttä koivuvanerille. Asian varmistamiseen tarvittaisiin kuitenkin laajamittaisempia tutkimuksia sekä mahdollisen standardimenetelmän kehittämisen.

LÄHTEET

Painetut lähteet:

Breyer, D., Fridley K. & Cobeen K. 1999. Design of wood structures ASD. Neljäs painos. USA: R. R. Bonneley & Sons Company.

Hautala, M. & Peltonen, H. 2005. Insinöörin (AMK) FYSIIKKA OSA I. Seitsemäs painos. Saarijärvi: OFFSET OY

Kähkönen, L. 1982. Kantavat puurakenteet – insinööriopetus. Jyväskylä: K. J. Gummerus Oy.

Kärkkäinen, M. 2003. Puutieteen perusteet. Neljäs painos. Hämeenlinna: Karisto Oy

Pennala, E. 1991. Handbuch über FINNISCHE SPERRHOLZ. Vammala: Vammalan Kirjapaino Oy.

Saarelainen, U. 1981. PUURAKENTEET 1 Puu materiaalina. Jyväskylä: K. J. Gummerus Oy.

Siikanen, U. 2008. Puurakentaminen. Kuudes painos. Tampere: Esa Print Oy.

Stalker, J. & Harris E. 1997. Structural design in wood. Toinen painos. New York: Chapman & Hall.

Valtion teknillinen tutkimuskeskus. 1996. Step 1 Puurakenteet. Tampere: Tammer-Paino Oy

Vestinen, J. & Pennala, E. 1997. Finnforest Vanerikäsikirja. Lahti: Markprint.

Williamson T. G. 2002. APA engineered wood handbook. USA: R. R. Bonneley & Sons Company.

Elektroniset lähteet:

Finnish glulam association 2012. [Viitattu 26.7.2012]. Saatavissa:

http://www.glulam.fi/fi/?_EVIW_WYSIWYG_FILE=6467&name=file

- Koponen, S. 2013. Re: Vanerin leimapainetestausta [sähköpostiviesti].
Vastaanottaja Kakriainen, J. Sähköpostikeskustelu ajalta: 3.9.2012–25.1.2013
- Koskisen Oy. 2012. [Viitattu 30.7.2012]. Saatavissa: <http://www.koskisen.fi/>
- RT RakMK-21183.2001. Puurakenteet ohjeet 2001 B10. [Viitattu 6.11.2012]
Helsinki: Ympäristöministeriö. Saatavissa: <http://www.rakennustieto.fi>
- SFS- EN 408. 2011. Timber structures - Structural timber and glued laminated timber - Determination of some physical and mechanical properties. [Viitattu 18.10.2012] Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto. Saatavissa: <http://www.sfs.fi/>
- SFS- EN 789. 2004. Timber structures. Test methods. Determination of mechanical properties of wood based panels. [Viitattu 29.10.2012] Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto. Saatavissa: <http://www.sfs.fi/>
- SFS- EN 1195. 1998. Timber structures – Test methods – Performance of structural floor decking. [Viitattu 22.10.2012] Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto. Saatavissa: <http://www.sfs.fi/>
- SFS- EN 1995- 1 - 1 + A1 + AC. 2008. Eurokoodi 5. Puurakenteiden suunnittelu. Toinen painos. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto. [Viitattu 28.7.2012] Saatavissa: <http://www.sfs.fi/>
- Vanerikäsikirja. Metsäteollisuus Ry. [Viitattu 7.8.2012]. Saatavissa: <http://www.metsateollisuus.fi/Infokortit/vanerikasikirja/Sivut/default.aspx>

LIITTEET

LIITE 1: Kaavat

LIITE 2: Kaavat

LIITE 3: Eurokoodi 5: murtorajatilat

LIITE 4: Eurokoodi 5: murtorajatilat

LIITE 5: 18 mm:n koivuvanerin testaustulokset

LIITE 6: 40 mm:n koivuvanerin testaustulokset

LIITE 7: Pyöristetyllä painimella tehtyjen puristuksien tulokset

LIITE 8: 5 %:iin rajoitettu kokonaismuodonmuutos

LIITE 9: Ominaislujuuden laskeminen standardin SFS-EN 1058:n mukaisesti

LIITE 10: Ominaislujuuden laskeminen standardin SFS-EN 1058:n mukaisesti

LIITE 11: Tolpan mitoitus Finnwood 2.3 SR1-ohjelmalla

LIITE 1. Kaavat

Kaava 1. Laskentalujuuden määrittäminen

$$X_d = k_{\text{mod}} \frac{X_k}{\gamma_M}$$

X_d = mitoitusarvo

k_{mod} = kosteuden ja ajan kerroin

X_k = laskussa käytettävä lujuusarvo

γ_M = materiaalin osavarmuuskerroin

Kaava 2. Puristuslujuuden määrittäminen

$$f_{c, 90} = \frac{F_{c, 90, \text{max}}}{bl}$$

$f_{c, 90}$ = puristuslujuus

$F_{c, 90, \text{max}}$ = syysuuntaa vastaan kohtisuora maksimipuristus

bl = puristuspinta-ala

Kaava 3. Tiheyden määrittäminen

$$r_{15} = m_{15} / v_{15}$$

r_{15} = puun tiheys 15 %:n kosteudessa

m_{15} = massa 15 %:n kosteudessa

v_{15} = tilavuus 15 %:n kosteudessa

LIITE 2. Kaavat

Kaava 4. Ominaislujuuden laskeminen

$$m_k = \bar{x}_{05} = \exp \left(\frac{1}{n} \times \sum_{j=1}^{j=n} \ln \bar{x}_j - k_s \times s_{\ln \bar{x}} \right)$$

missä,

$$s_{\ln \bar{x}} = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^{j=n} (\ln \bar{x}_j - \frac{1}{n} \times \sum_{j=1}^{j=n} \ln \bar{x}_j)^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^{j=n} \bar{x}_j^2 - \frac{\sum_{j=1}^{j=n} \ln \bar{x}_j \times \sum_{j=1}^{j=n} \ln \bar{x}_j}{n}}{n-1}}$$

k = tilastollinen tekijä

m_k = normaalisti jakautuneiden testitulosten karakteristinen arvo

n = testitulosten lukumäärä

$s_{\ln \bar{x}}$ = keskihajonta keskiarvojen ja normaalijakauman välillä

\bar{x}_j = keskiarvo

indeksimerkit:

j = testikappaleen numero

k = normaalijakauman karakteristinen arvo

s = tilastollinen tekijä, kun variaatiokerroin on tuntematon

$\ln x$ = normaalistijakutuneet testitulokset

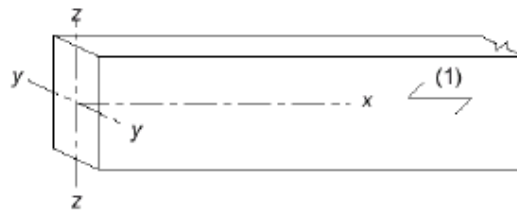
05 = viiden prosentin karakteristinen arvo

Luku 6 Murtorajatilat

6.1 Yhdessä pääsuunnassa vaikuttavan jännityksen kuormittaman poikkileikkauksen mitoitus

6.1.1 Yleistä

(1) Kohta 6.1 pätee suoralle sahatavarelle, liimapuupalkeille ja puisille rakennetuotteille, joilla on vakio poikkileikkaus ja jonka syyt ovat lähes sauvaan pituussuuntaiset. Oletetaan, että sauvaan vaikuttaa jännityksiä vain sen yhden pääakselin suunnassa (ks. kuva 6.1).



Selite:

(1) syysuunta

Kuva 6.1 Sauvan akselit

6.1.2 Syysuuntainen veto

(1)P Seuraavan ehdon tulee olla voimassa:

$$\sigma_{t,0,d} \leq f_{t,0,d} \quad (6.1)$$

missä:

$\sigma_{t,0,d}$ on syysuuntaisen vetojännityksen mitoitusarvo

$f_{t,0,d}$ on vetolujuuden mitoitusarvo syysuuntaisessa vedossa.

6.1.3 Syysuuntaa vastaan kohtisuora veto

(1)P Sauvan koon vaikutus tulee ottaa huomioon.

6.1.4 Syysuuntainen puristus

(1)P Seuraavan ehdon tulee olla voimassa:

$$\sigma_{c,0,d} \leq f_{c,0,d} \quad (6.2)$$

missä:

$\sigma_{c,0,d}$ on syysuuntaisen puristusjännityksen mitoitusarvo

$f_{c,0,d}$ on puristulujuuden mitoitusarvo syysuuntaisessa puristuksessa.

HUOM. Sauvojen epälineaarisen toiminnan tarkastelu esitetään kohdassa 6.3.

6.1.5 Syysuuntaa vastaan kohtisuora puristus

[A1 > (1)P Seuraavan ehdon tulee olla voimassa:

$$\sigma_{c,90,d} \leq k_{c,90} f_{c,90,d} \quad (6.3)$$

missä:

$$\sigma_{c,90,d} = \frac{F_{c,90,d}}{A_{ef}} \quad (6.4)$$

$\sigma_{c,90,d}$ on syitä vastaan kohtisuoralla tehollisella kosketuspinnalla vaikuttavan puristusjännityksen mitoitusarvo

$F_{c,90,d}$ on syitä vastaan kohtisuoran puristavan kuorman mitoitusarvo

LIITE 4. Eurokoodi 5: murtorajatilat

A_{ef} on syitä vastaan kohtisuoran puristavan kuoman tehollisen kosketuspinnan pinta-ala
 $f_{c,90d}$ puristuslujuuden mitoitusarvo syysuuntaa vastaan kohtisuorassa puristuksessa
 $k_{c,90}$ on kerroin, jonka avulla otetaan huomioon kuoman sijainti, halkeamismahdollisuus ja puristuman suuruus.
 Syitä vastaan kohtisuoran tehollisen kosketuspinnan pinta-ala A_{ef} määritetään ottamalla huomioon syysuuntainen tehollinen kosketuspituus, missä todelliseen kosketuspituuteen ℓ lisätään kummallakin puolella mitta 30 mm, mutta enintään mitta a , ℓ tai $\ell/2$, ks. kuvaa 6.2.

(2) Kertoimen $k_{c,90}$ arvona käytetään lukua 1,0, paitsi jos seuraavien alakohtien ehdot toteutuvat. Näissä tapauksissa kertoimelle $k_{c,90}$ määritettyä suurempaa arvoa voidaan käyttää, raja-arvon ollessa $k_{c,90} = 1,75$.

(3) Kun palkki on jatkuvilla tuilla ja $\ell_1 \geq 2h$, ks. kuvaa 6.2a, kertoimen $k_{c,90}$ arvona käytetään lukua:

$k_{c,90} = 1,25$, kun puu on havupuista sahatavaraa

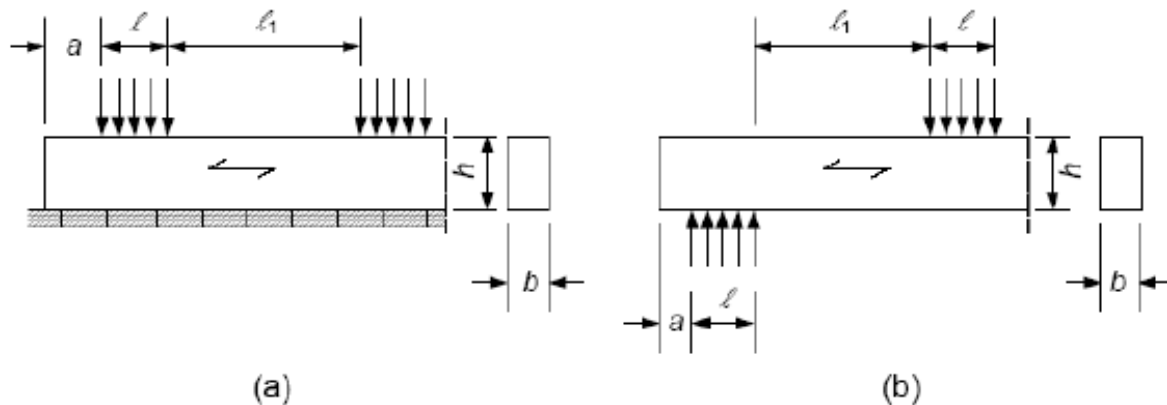
$k_{c,90} = 1,5$, kun puu on havupuista liimapuuta.

Kohdassa h on palkin poikkileikkauksen korkeus ja ℓ kosketuspituus.

(4) Kun palkki on erillisillä tuilla ja $\ell_1 \geq 2h$, ks. kuvaa 6.2b, kertoimen $k_{c,90}$ arvona käytetään lukua:

- $k_{c,90} = 2,5$, kun puu on havupuista sahatavaraa
- $k_{c,90} = 1,75$, kun puu on havupuista liimapuuta, jos $\ell \leq 400$ mm.

Kohdassa h on palkin poikkileikkauksen korkeus ja ℓ kosketuspituus.



Kuva 6.2 Jatkuvasti tuettu palkki (a) ja erillisillä tuilla oleva palkki (b) <A1>

[A1> Alakohdat (5)...(7), kuvat 6.3 ja 6.4 sekä kaavat (6.5)...(6.10) on poistettu <A1>

LIITE 7. Pyöristetyllä painimella tehtyjen puristuksien tulokset

NRO. (18mm)	massa (g)	tiheys kg/m ³	kosteus (%)	kpl:n mitat (mm)	max. voima Fc90max (kN)	puristuslujuus (N/mm ²)	aika, jossa Fc90max saavutettiin (s)	sallittu leimapaine (N/mm ²)
1.P	118,7	687,5	14,7	99,9*99,9*17,3	29	11,6	181,3	3,5
2.P	121,6	693,5	15,1	100,2*100*17,5	29	11,6	181,3	3,5
3.P	122,4	704,9	14,9	99,9*99,9*17,4	30	12,0	187,5	3,6
4.P	120	691	15,2	99,9*99,9*17,4	29	11,6	181,3	3,5
5.P	122,4	702,7	15,6	100,1*100*17,4	27	10,8	168,8	3,2
11P	122,2	702,3	17,3	99,8*100,2*17,4	26	10,4	260,0	3,1
22P	123,9	713,5	15,1	99,9*99,9*17,4	31	12,4	310,0	3,7
33P	120,8	697	15,4	99,8*99,8*17,4	30	12,0	300,0	3,6
44P	122	697,8	17,8	100*99,9*17,5	28	11,2	280,0	3,4
55P	120,4	688	16,4	100*100*17,5	28,5	11,4	285,0	3,4
								3,5
								keskiarvo
NRO. (40mm)	massa (g)	tiheys kg/m ³	kosteus (%)	kpl:n mitat (mm)	max. voima Fc90max (kN)	puristuslujuus (N/mm ²)	aika, jossa Fc90max saavutettiin (s)	sallittu leimapaine (N/mm ²)
1.P	283,6	700,2	15,1	100*100*40,5	32	12,8	200,0	3,8
2.P	284,7	702,6	15	100,2*100,1*40,4	33	13,2	206,3	4,0
3.P	291,3	717,8	16,4	100,1*100,1*40,5	32	12,8	200,0	3,8
4.P	287,6	710,5	14,3	100,1*100,1*40,4	33	13,2	206,3	4,0
5.P	281,8	695,1	14,6	100,1*100*40,5	31	12,4	193,8	3,7
11P	290,3	720	15,6	99,9*99,9*40,4	32,5	13,0	325,0	3,9
22P	281,3	695,6	15	100,1*100*40,4	32	12,8	320,0	3,8
33P	280,7	693,4	14,7	100,1*100,1*40,4	31	12,4	310,0	3,7
44P	285,7	706,1	15,2	100*99,9*40,5	31	12,4	310,0	3,7
55P	285,3	703,4	15,3	100,2*100,2*40,4	31	12,4	310,0	3,7
								3,8
Nämä puristukset on tehty painimella, jonka reunat on pyöristetty!								
Puristus suoritettu voimaohjattuna, 160 N/s. Värillä merkityissä 100 N/s								
*Sallittu leimapaine laskettu 30% puristuslujuudesta.								
Puristuslujuus laskettu seuraavalla kaavalla:								
$f_{c,90} = \frac{F_{c,90,max}}{b l}$								

LIITE 8. 5 %:iin rajoitettu kokonaismuodonmuutos

5 %: n muodonmuutos kappaleen paksuudesta				5 %: n muodonmuutos kappaleen paksuudesta			
NRO. (18mm)	puristusvoima (kN)	puristuslujus N/mm ²	sallittu leimاپaine (N/mm ²)	NRO. (40mm)	puristusvoima (kN)	puristuslujus N/mm ²	sallittu leimاپaine (N/mm ²)
1.	39	15,6	4,7	1.	46	18,4	5,5
2.	39	15,6	4,7	2.	47	18,8	5,6
3.	41	16,4	4,9	3.	48	19,2	5,8
4.	40	16,0	4,8	4.	48	19,2	5,8
5.	41	16,4	4,9	5.	48	19,2	5,8
6.	40	16,0	4,8	6.	46	18,4	5,5
7.	42	16,8	5,0	7.	46	18,4	5,5
8.	39	15,6	4,7	8.	49	19,6	5,9
9.	40	16,0	4,8	9.	45	18,0	5,4
10.	39	15,6	4,7	10.	47	18,8	5,6
11.	37	14,8	4,4	11.	45	18,0	5,4
12.	41	16,4	4,9	12.	43	17,2	5,2
13.	37	14,8	4,4	13.	44,5	17,8	5,3
14.	39,5	15,8	4,7	14.	44	17,6	5,3
15.	40,5	16,2	4,9	15.	45	18,0	5,4
111	37	14,8	4,4	111	43,5	17,4	5,2
222	36	14,4	4,3	222	45	18,0	5,4
333	40	16,0	4,8	333	44,5	17,8	5,3
444	36	14,4	4,3	444	45	18,0	5,4
555	35,5	14,2	4,3				5,5
			keskiarvo				keskiarvo
			4,7				5,5
5 %:in muodonmuutos kappaleen paksuudesta				5 %: n muodonmuutos kappaleen paksuudesta			
NRO. (18mm)	puristusvoima (kN)	puristuslujus N/mm ²	sallittu leimاپaine (N/mm ²)	NRO. (40mm)	puristusvoima (kN)	puristuslujus N/mm ²	sallittu leimاپaine (N/mm ²)
1.P	37	14,8	4,4	1.P	43	17,2	5,2
2.P	36	14,4	4,3	2.P	44,5	17,8	5,3
3.P	37,5	15,0	4,5	3.P	43	17,2	5,2
4.P	38	15,2	4,6	4.P	47	18,8	5,6
5.P	35	14,0	4,2	5.P	43	17,2	5,2
11P	37	14,8	4,4	11P	44	17,6	5,3
22P	42	16,8	5,0	22P	42,5	17,0	5,1
33P	37	14,8	4,4	33P	42	16,8	5,0
44P	35	14,0	4,2	44P	43	17,2	5,2
55P	37	14,8	4,4	55P	42	16,8	5,0
			keskiarvo				keskiarvo
			4,5				5,2
Nämä puristukset on tehty painimella, jonka reunat on pyörästetty!				Nämä puristukset on tehty painimella, jonka reunat on pyörästetty!			
*Sallittu leimاپaine laskettu 30% puristuslujuudesta.							
Puristuslujuus laskettu seuraavalla kaavalla:							
$f_{c,90} = \frac{F_{c,90,max}}{b_l}$							

SFS

EN 1058:2009 (E)

A.2 Analysis of data

A.2.1 Characteristic value m_k of test data with unknown coefficient of variation

The characteristic value m_k of a log-normal distributed property is in accordance with EN 14358 defined as:

$$m_k = \bar{x}_{05} = \exp\left(\frac{1}{n} \times \sum_{j=1}^{inn} \ln \bar{x}_j - k_y \times s_{\ln \bar{x}}\right) \quad (A.1)$$

where:

$$s_{\ln \bar{x}} = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^{inn} (\ln \bar{x}_j - \frac{1}{n} \times \sum_{j=1}^{inn} \ln \bar{x}_j)^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^{inn} \ln \bar{x}_j^2 - \frac{\sum_{j=1}^{inn} \ln \bar{x}_j \times \sum_{j=1}^{inn} \ln \bar{x}_j}{n}}{n-1}} \quad (A.2)$$

For k_y – values see Table A.1.

Table A.1 — Factor k_y – values for test data, the coefficient of variation is unknown

Number of test data n	5	10	15	20	30	32	40	50	100
k_y – value	2,46	2,10	1,99	1,93	1,87	1,86	1,83	1,81	1,75

A.2.2 Characteristic value m_k of test data with known coefficient of variation

If the coefficient of variation $v_{\ln \bar{x}}$ is known from prior knowledge, e.g. from production control of a period of one year or more, the factor $k(n)$ shall be taken as k_y in Equation (A.1). If the known coefficient of variation $v_{\ln \bar{x}}$ is greater than 0,05, the standard deviation $s_{\ln \bar{x}}$ shall be calculated according to Equation (A.3):

$$v_{\ln \bar{x}} = \frac{s_{\ln \bar{x}}}{\bar{x}_{\ln \bar{x}}} = \frac{\exp(\ln \bar{x}_{\ln \bar{x}}) - \exp(\ln \bar{x}_{\ln \bar{x}} - \ln s_{\ln \bar{x}})}{\exp(\ln \bar{x}_{\ln \bar{x}})} \quad (A.3)$$

For $k(n)$ – values see Table A.2.

If the known coefficient of variation $v_{\ln \bar{x}}$ is smaller than 0,05, the standard deviation $s_{\ln \bar{x}}$ shall be $0,05 \times \bar{x}_{\ln \bar{x}}$.

Table A.2 — Factor $k(n)$ – values for test data, the coefficient of variation is unknown

Number of test data n	5	10	15	20	30	32	40	50	100
$k(n)$ – value	1,95	1,86	1,82	1,80	1,77	1,76	1,75	1,74	1,69

LIITE 10. Ominaislujuuden laskeminen standardin SFS-EN 1058:n mukaisesti

SFS

EN 1058:2009 (E)

Table A.3 — Tabulated test results

Panel number j	\bar{f}_j	$\ln \bar{f}_j$	$(\ln \bar{f}_j)^2$	Panel number j	\bar{f}_j	$\ln \bar{f}_j$	$(\ln \bar{f}_j)^2$
1.1	18,0	2,890 4	8,354 25	1.21	16,6	2,809 4	7,892 74
1.2	15,1	2,714 7	7,369 57	1.22	13,7	2,617 4	6,850 76
1.3	16,6	2,809 4	7,892 74	1.23	17,6	2,867 9	8,224 84
1.4	20,1	3,000 7	9,004 32	1.24	15,9	2,766 3	7,652 52
1.5	16,3	2,791 2	7,790 60	1.25	18,4	2,912 3	8,481 79
1.6	18,7	2,928 5	8,576 25	1.26	19,2	2,954 9	8,731 49
1.7	18,2	2,901 4	8,418 25	1.27	18,6	2,923 2	8,544 87
1.8	19,4	2,965 3	8,792 84	1.28	19,8	2,985 7	8,914 30
1.9	16,8	2,821 4	7,960 18	1.29	20,4	3,015 5	9,093 45
1.10	17,8	2,879 2	8,269 78	1.30	17,0	2,833 2	8,027 10
1.11	18,9	2,939 2	8,638 67	1.31	22,3	3,104 6	9,638 46
1.12	20,9	3,039 7	9,240 07	1.32	18,8	2,933 9	8,607 52
1.13	18,0	2,820 4	8,354 25				
1.14	17,2	2,844 9	8,093 51				
1.15	15,7	2,753 7	7,582 65				
1.16	18,4	2,912 4	8,481 79				
1.17	19,5	2,970 4	8,823 36				
1.18	20,3	3,010 6	9,063 84				
1.19	17,5	2,862 2	8,192 19				
1.20	18,8	2,933 8	8,607 52				
				Σ		92,583 8	268,186 47

$$\sum_{j=1}^{j_{ms}} \ln \bar{f}_j = 92,583 8; \quad \ln \bar{f}_{\ln j} = \frac{92,583 8}{32} = 2,893 2$$

$$\sum_{j=1}^{j_{ms}} (\ln \bar{f}_j)^2 = 268,186 47$$

$$\ln s_{\ln j} = \sqrt{\frac{268,186 47 - \frac{92,583 8 \times 92,583 8}{32}}{31}} = 0,101 436$$

The grand mean value of the modulus of bending $\bar{f}_{\ln x}$ is:

$$\bar{f}_{\ln x} = \exp(2,893 2) = 18,05 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

The characteristic value of the modulus of bending \bar{f}_{05} of a sample with unknown coefficient of variation being greater than 0,05, is according to Equation (A.1):

$$\bar{f}_{05} = \exp\left(\frac{92,583 8}{32} - 1,86 \times 0,101 436\right) = \exp(2,704 53) = 14,95 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

LIITE 11. Tolpan mitoitus Finnwood 2.3 SR1 ohjelmalla

FINNWOOD 2.3 SR1 - C:\Users\Urhani\Downloads\Tolppakuormia.s01

Tiedosto Tietokannat Asetukset Ohje

Aktivinen projekti: Ei aktiivista projektia

Terveyden RAKENNEMALLI Reiät Kuormitus MITOITUS Laskennotulokset TULOSTE

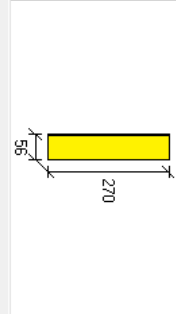
POIKKILEIKKAUS

Poikkileikkaustyyppi: C30
Suorakaide

Materiaali: C30

Poikkileikkauksista: k/k (mm): 500
50x270

MATERIAALI: C30
MUOTO: Suorakaide
LEVEYS B: 56 mm
KORKEUS H: 270 mm
A: 15120 mm2
Vyy: 680400 mm3
K-JAKO/KUJORM LEV.: 600 mm
PAINO: 7.6 kg/m
PITIIIS: 3200 mm



Edellinen Seuraava

Esi seuraava sopiva (vilkusta eteenpäin)

Esi ensimmäinen sopiva (listan alusta)

Esi vaadittava k-jako

Esi maksimijänneväli

MITOITUSASETUKSET

Käyttöluokka: 2
Seuraamustulokka: CC2 (RT=1.0)

RAKENNEMITOITUS

MURTORAJATILIA (MRT) -----
 Nuihdusastekastelu -----
 Kiepahdusastekastelu -----
 KÄYTTÖRAJATILIA (KRT) -----
 Tapunastekastelu -----

HUOMI! Tarkista rakenneseosan laskenta-asetukset (MRT ja KRT) ennen kuin mitoitat poikkileikkauksen.

MITOITUSTULOS

KOKONAISKÄYTTÖASTE = 98.5 %

- RAKENNEMITOITUS (99 %)
- MURTORAJATILIA (MRT) (99 %)
 - Leikkaus (N2): 1.44 kN, (5 %), x = 0 mm
 - Puristus: 171.68 kN, (99 %), x = 0 mm
 - Taivutus (Mj): 1.15 kNm, (7 %), x = 1600 mm
 - Taivutus+puristus: 0.76, (76 %), x = 1600 mm
- KÄYTTÖRAJATILIA (KRT) (8 %)
- Tapunmitoitus: (8%)
 - Jänneväli 1 (8%)
 - Vwnet = 0.8 mm (0%), x = 1600 mm
 - Wnetfin = 0.8 mm (8%), x = 1600 mm

C30 56x270 (6800, L=3200) Finnwood-salasana (voimassa 12 kk) vanhenee 1.2.2014

Metsä