

Henry Nordensved

# Puurakenteiden kuormituskokeet insinööriopetuksessa

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Rakennustekniikka

Insinööriyö

27.11.2014

Tekijä(t) Otsikko	Henry Nordensved Puurakenteiden kuormituskokeet insinööriopetuksessa
Sivumäärä Aika	36 sivua + 6 liitettä 27.11.2014
Tutkinto	Insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	Rakennustekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	Rakennetekniikka
Ohjaaja(t)	Lehtori Timo Leppänen
<p>Tämä opinnäytetyö tehtiin Metropolia Ammattikorkeakoululle kevään 2014 aikana. Puurakenteiden suunnittelukurssilla on tarkoitus perehdyttää oppilaat puurakenteiden mitoituslaskuharjoituksiin. Yhtenä keinona demonstroida rakenteiden käyttäytymistä on tehdä laboratoriossa murtokokeita erilaisille rakenneosille. Metropolia ammattikorkeakoululla oli tarve saada opetuskäyttöön valmiita laskuharjoitustehtäviä, joissa on otettu huomioon laboratorion testilaitteiston rajoitukset. Näitä rajoituksia ovat testattavan kappaleen koko, jänneväli, kuormitustyyppit ja kuormien sijainnit.</p> <p>Työssä aluksi luotiin yleiskatsaus puuhun materiaalina ja käytiin erilaisia puutuotteita läpi, joita käytetään yleisesti rakentamisessa. Seuraavaksi syvennyttiin testattavien kappaleiden jännityksiin ja rasitukseen, joista oli tarkoitus luoda tehtävälomakkeet. Lopuksi koostettiin liitteiden muotoon tehtävälomakkeet, joita voidaan käyttää sellaisenaan opetuksessa. Metropolia Ammattikorkeakoululle on jokaisesta tehtävästä tehty myös valmiit laskelmat MathCad-tiedostoina ja tehtävälomakkeista kopiot Word-tiedostoina, joita voidaan muokata tarpeen vaatiessa.</p>	
Avainsanat	Puu, suunnittelu

Author(s) Title	Henry Nordensved Load Testing of Wooden Structures in Engineering Education
Number of Pages Date	36 pages + 6 appendices 27 November 2014
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Civil Engineering
Specialisation option	Structural Engineering
Instructor(s)	Timo Leppänen, Lecturer
<p>This thesis was made for Metropolia University of Applied Sciences during spring 2014. The course Design of Wooden Structures is meant to familiarize the students with dimensioning of wooden structures through calculation exercises. One way to demonstrate the breaking strengths of the structures is to perform laboratory tests on a variety of structural elements. Helsinki Metropolia University of Applied Sciences had a need for ready-made homework tasks for educational use that took into account the limitations of laboratory test equipment. These limitations include the test objects, size, span, force types and locations of forces.</p> <p>The thesis starts with an overview on wood as a material and goes through a variety of wood products that are commonly used in construction. After that it is focused on the test subjects, tension and strain which were intended to be turned into task forms. Finally, the task forms are compiled in the appendices and can be used in teaching as such. A complete calculation as a MathCad-file of each task and an editable Word-file of the task forms are also provided to Metropolia University of Applied Sciences.</p>	
Keywords	wood, structures

# Sisällys

## Symboliluettelo

1	Johdanto	1
2	Puu rakennusmateriaalina	2
2.1	Puun kosteustekniset ominaisuudet	2
2.2	Puun lujuusteknisiä ominaisuuksia	5
2.3	Puun lämpötekniisiä ominaisuuksia	6
2.4	Puun paloteknisiä ominaisuuksia	7
2.5	Puun äänitekniisiä ominaisuuksia	8
3	Puutuotteet	9
3.1	Rakennesahatavara	10
3.1.1	Sahapintainen sahatavara	10
3.1.2	Mitallistettu sahatavara	11
3.1.3	Höylätty sahatavara	12
3.1.4	Sormijatkettu sahatavara	13
3.2	Sahatavaran lujuuslajittelu	14
3.2.1	Lujuuslajittelu standardin EN 338 mukaan	14
3.2.2	Lujuuslajittelu standardin INSTA 142 mukaan	15
3.2.3	Lujuuslajittelun sahatavaran leimaus	15
3.2.4	Lujuuslajittelun sahatavaran saatavuus	16
3.3	Sahatavaran laatuluokitus	17
3.3.1	Sahatavaran laatuluokat	17
3.4	Sahatavaran jatkojalosteet	18
3.4.1	Painekyllästetty sahatavara	18
3.4.2	Lämpökäsitelty sahatavara	20
3.4.3	Liimapuu	21
3.4.4	Viilupuu	22
3.4.5	I-palkit	23
4	Liitokset	24
4.1	Naulat	24
4.2	Naulalevyt	25
4.3	Pultit ja tappivaarnat	25
4.4	Ruuvit	26

4.5	Vaarnat	26
4.6	Liimaliitokset	27
5	Laboratoriolaitteisto	27
6	Tarkasteltavat rasisitusmuodot	28
6.1	Taivutusrasitus	29
6.2	Leikkausrasitus	30
6.3	Puristus	31
6.4	Nurjahdus	32
6.5	Kiepahdus	33
6.6	Naulaliitos	33
7	Yhteenveto	34
	Lähteet	36

#### Liitteet

Liite 1. Palkin taivutuskestävyys

Liite 2. Palkin leikkausvoimakestävyys

Liite 3. Syysuuntaa vastaan kohtisuora puristus

Liite 4. Puristetun sauvan nurjahduskestävyys

Liite 5. Taivutetun sauvan kiepahduskestävyys

Liite 6. Leikkauskuormitettu naulaliitos

## Symboliluettelo

$a$	Etäisyys
$b$	Leveys
$b_{ef}$	Tehollinen leveys
$d$	Kierteen ulkohalkaisija [ruuvin], paksuus [naulan]
$F$	Voima
$f_{c,0,d}$	Puristuslujuuden mitoitusarvo syysuuntaisessa puristuksessa
$f_{c,0,k}$	Puristuslujuuden ominaisarvo syysuuntaisessa puristuksessa
$f_{c,90,d}$	Puristuslujuuden mitoitusarvo syysuuntaa vastaan kohtisuorassa puristuksessa
$f_{c,90,k}$	Puristuslujuuden ominaisarvo syysuuntaa vastaan kohtisuorassa puristuksessa
$F_d$	Voiman mitoitusarvo
$F_k$	Voiman ominaisarvo
$f_{m,d}$	Taivutuslujuuden mitoitusarvo
$f_{m,k}$	Taivutuslujuuden ominaisarvo
$f_{v,d}$	Leikkauslujuuden mitoitusarvo
$f_{v,k}$	Leikkauslujuuden ominaisarvo

$h$	Poikkileikkauksen osan tai seinän korkeus; vedetyllä sauvalla poikkileikkauksimitoista suurempi
$i_y$	Jäyhyysäde y-akselin suhteen
$i_z$	Jäyhyysäde z-akselin suhteen
$k_c$	Tukipainekerroin
$k_{c90}$	Epälineaarisuuskerroin
$k_{cr}$	Leikkauskestävyyden halkeilukerroin
$k_{crit}$	Kiepahduksen yhteydessä käytettävä kerroin
$k_{cy}, k_{cz}$	Nurjahduskertoimet
$k_{mod}$	Muunnoskerroin, jonka avulla otetaan huomioon kuorman kesto ja kosteuspitoisuus
$k_y$ tai $k_z$	Epälineaarisuuteen liittyviä apusuureita
$l, L$	Jänneväli, kosketuspituus
$L_{c(y,z)}$	Nurjahduspituus
$L_{c90ef}$	Tehollinen kosketuspinnan pituus
$l_{ef}$	Tehollinen pituus; poikittaiskuorman tehollinen jakautumispituus
$M_d$	Momentin mitoitusarvo
$M_k$	Momentin ominaisarvo
$V_d$	Leikkausvoiman mitoitusarvo
$V_k$	Leikkausvoiman ominaisarvo

$W_y$	Taivutusvastus y-akselin suhteen
$\beta_c$	Suoruukskerroin
$\gamma_m$	Materiaaliominaisuuden osavarmuusluku; jossa otetaan huomioon myös mallin epävarmuudet ja mittavaihtelut
$\lambda_{rel,y}$	Suhteellinen hoikkuus, joka vastaa taivutusta y-akselin suhteen
$\lambda_{rel,z}$	Suhteellinen hoikkuus, joka vastaa taivutusta z-akselin suhteen
$\lambda_y$	Hoikkuusluku, joka vastaa taivutusta y-akselin suhteen
$\lambda_z$	Hoikkuusluku, joka vastaa taivutusta z-akselin suhteen
$\rho_k$	Tiheyden ominaisarvo
$\sigma_{c,90,d}$	Syysuuntaa vastaan kohtisuorassa vaikuttavan puristusjännityksen mitoitusarvo
$\sigma_{c,90,k}$	Syysuuntaa vastaan kohtisuorassa vaikuttavan puristusjännityksen ominaisarvo
$\sigma_{c,\alpha,d}$	Kulmassa $\alpha$ syysuunnan suhteen vaikuttavan puristusjännityksen mitoitusarvo
$\sigma_{c,\alpha,k}$	Kulmassa $\alpha$ syysuunnan suhteen vaikuttavan puristusjännityksen ominaisarvo
$\sigma_{md}$	Taivutusjännityksen mitoitusarvo
$\sigma_{mk}$	Taivutusjännityksen ominaisarvo
$T_d$	Leikkausjännityksen mitoitusarvo
$T_k$	Leikkausjännityksen ominaisarvo



## 1 Johdanto

Metropolia ammattikorkeakoulussa puurakenteiden insinööriopetuksessa on tavoitteena perehdyttää opiskelijat käytettäviin puumateriaaleihin ja tuotteisiin. Opintojakson suoritettuaan opiskelija osaa valita oikeat materiaalit ja pystyy mitoittamaan yleisimmät kantavat puurakenteet. Opintojaksolta opiskelija saa valmiudet rakennelaskelmien ja piirustusten laatimiseen viranomaisia ja toteutusta varten.

Ammattikorkeakouluopetuksessa yhtenä tapana opetusta on demonstroida erilaisin kuormituskokein laboratorio-olosuhteissa rakenteissa tapahtuvia ilmiöitä. Tarkoituksena on, että oppilaat saavat kuormitettavista rakenteista laskentatehtävät, joihin heidän on itse laskettava ensin ratkaisut. Tämän jälkeen rakenteet kuormitetaan laboratoriossa ja tuloksia voidaan verrata laskelmissa saatuihin arvoihin.

Tässä opinnäytetyössä on tarkoituksena laatia valmiita laskentatehtäviä erilaisista rakenteista, joita voidaan laboratoriossa koestaa. Laskentatehtäviä laaditaan kuudesta erilaisesta tapauksesta, jotka ovat palkin taivutuskestävyys, palkin leikkausvoimakestävyys, syysuuntaa vastaan kohtisuora puristus, pilarin nurjahduskestävyys, taivutetun palkin kiepahduskestävyys ja leikkauskuormitettu naulaliitos. Laskentatehtävissä otetaan huomioon laboratoriolaitteiston erilaiset rajoitukset, joita ovat testattavan kappaleen koko, kuormitustapa sekä voiman suuruus, jolla haluttu ilmiö kappaleessa tapahtuu.

Opinnäytetyön alkuun koostetaan teoriaosuus puun ominaisuuksista ja siihen vaikuttavista eri tekijöistä, josta saa hyvän käsityksen puurakenteiden suunnittelussa huomioon otettavista asioista. Erilaisista puutuotteista ja niiden ominaisuuksista kerrotaan lyhyesti ja yleisimmät poikkileikkausmitat esitetään taulukoissa. Puuta voidaan liittää yhteen erilaisin menetelmin ja liitinratkaisuja on lukematon määrä. Teoriaosuuden lopussa kerrotaan yleisimmistä liitosmenetelmistä ja niissä käytetyistä liitintyypeistä.

Opinnäytetyön loppuun laaditaan jokaisesta laskentatehtävästä kysymyslomakkeet sekä mallilaskelmat. Laskentatehtävälomakkeissa otetaan huomioon helppo lähtöarvojen muokattavuus siten, että esimerkkikuviin annetaan arvot kirjaimin, jolloin lähtöarvoja voi muuttaa pelkästään tekstiä muokkaamalla.

## 2 Puu rakennusmateriaalina

Puu on luonnosta saatavaa kiinteää ainetta, joka on orgaanista ja solumaista. Puu on yhdistelmämaterialina kemiallinen yhdistelmä selluloosasta, hemiselluloosasta, ligniineistä ja liukoista yhdisteistä. Puu on anisotrooppista, eli lujuusominaisuudet ovat kuormitussuunnasta riippuvia, pääasiassa solujen pitkänomaisuuden ja soluseinämien suuntautuneisuuden takia. Lisäksi suunnasta riippuvaisuuteen vaikuttaa solujen kokojen eroavaisuus kasvukauden eri aikoina ja osittain muutamille solutyypeille ominainen suuntautuminen. [1 s. A4/1.]

Soluseinämissä oleva mikrorakenne, solujen muodostuminen yhdistymällä virheettömäksi puuksi sekä rakenteellisen sahatavaran säännötömyys esittävät rakenteen kolme osa-alueita, joilla kaikilla on merkittävä vaikutus puulle rakennusmateriaalina. Esimerkiksi soluseinämän mikrorakenne on selityksenä siihen, että puu kutistuu ja turpoaa poikkisuunnassa 10-20 kertaa enemmän kuin pituussuunnassa. Mikrorakenne virheettömässä puussa selittää sen, miksi puu on 20-40 kertaa jäykempää pituussuunnassa kuin poikkisuunnassa. Syyn suunnan, oksien jne. mikrorakenne antaa selityksen sille, miksi syyn suuntainen vetolujuus voi olla virheettömän puun arvosta n. 100 N/mm<sup>2</sup> heikkolaatuisen sahatavaran arvoon n. 10 N/mm<sup>2</sup>. [1 s. A4/1.]

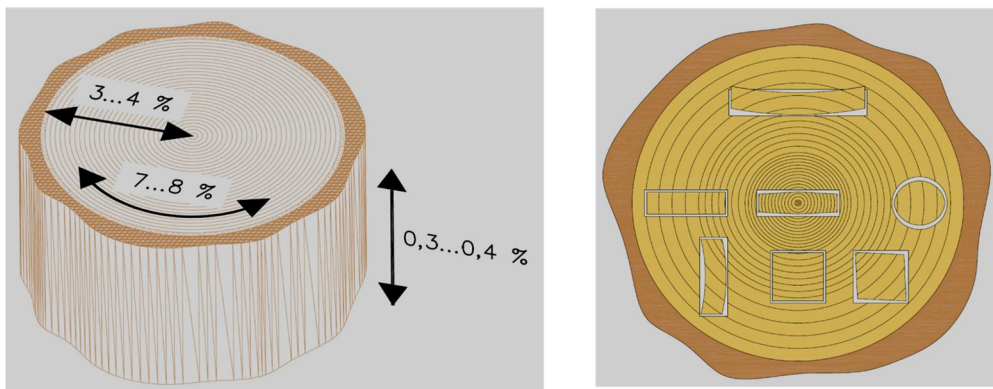
### 2.1 Puun kosteustekniset ominaisuudet

Puu on kosteutta imevä materiaali eli hygroskooppinen aine. Puuhun kulkeutuu kosteutta kolmella tavalla: kapillaarisesti nesteinä soluonteloiden kautta, soluonteloiden kautta höyrynä sekä soluseinämän kautta molekylaarisena diffuusiona. Kosteudella puussa tarkoitetaan siinä olevan veden painon ja vedettömän puuaineksen painon välistä suhdetta. Jos puukappaleessa, jonka paino on 100 kg ja veden osuus siitä 50 kg, on puun kosteusprosentti 100 %. Tuoreen sahatun puun kosteus on keskimäärin 40 - 200 %. Normaalikäytössä puun kosteuden vaihteluväli on 8 - 25 painoprosentin välillä ilmassa olevan suhteellisen kosteuden mukaan. [2.]

Tasapainokosteus puussa on kutakin ilman lämpötilaa ja suhteellista kosteutta vastaava tila, jossa puussa oleva kosteus pysyy vakiona. Puun tasapainokosteudesta on huomioitava, että sen määräytyminen riippuu ilman suhteellisesta kosteudesta eikä absoluuttisesta kosteudesta. Ilman suhteellinen kosteus on ilman sisältämän vesimää-

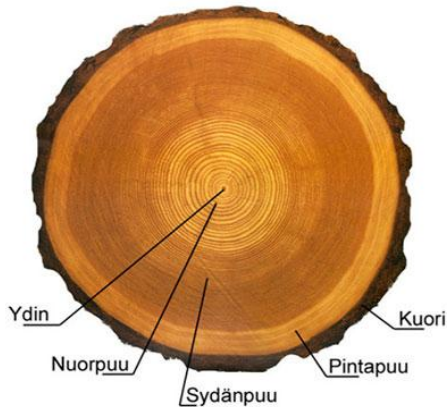
rän suhde veden enimmäismäärään vallitsevassa ilman lämpötilassa. Puutavara, joka on esikuivattu, asettuu tasapainokosteuteen noin kahdessa viikossa. Puussa olevien syiden kyllästymispiste tarkoittaa puun kosteussuhdetta silloin, kun soluseinämät ovat kyllästetyt vedellä, mutta soluonteloissa ei esiinny vapaata vettä. Kuivuessaan puu alkaa kutistua, kun siinä oleva kosteus vähenee alle kyllästymispisteen. Vastaavasti kastuessaan puun laajeneminen loppuu kyllästymispisteen saavutettuaan. Yleisimmän puulajiemme kyllästymispiste +20 °C lämpötilassa on noin 30 %. Puun kykyä sitoa ja luovuttaa kosteutta, eli kosteuskapasiteettia, voidaan käyttää hyödyksi rakenteellisesti esimerkiksi käyttämällä rakennuksessa puuaineisia lämmöneristeitä, jotka rakenteissa tasaavat kosteuden kulkua. [2.]

Puun kutistuminen ja laajeneminen tapahtuu eri tavoin vuosirenkaiden säteen ja tangentin sekä syiden suunnassa. Ilmiöstä käytetty nimitys on anisotropia. Kuivattaessa puuta täysin märästä absoluuttisen kuivaksi, puu kutistuu tangentin suunnassa noin 8 %, säteen suunnassa noin 4 % ja syiden suunnassa vain 0,3 - 0,4 %. [2.]



Kuva 1. Puun kutistuminen ja muodonmuutokset [2.]

Sydänpuu on aina kuivempaa kuin pintapuu, jonka seurauksena puun kuivatus on hankalaa. Anisotrooppisuudesta ja puun sisäisistä jännityksistä aiheutuu kuivattaessa myös puun kieroutuminen. Puun kosteuseläminen pitää aina ottaa huomioon rakentamisessa. Kosteuselämisestä aiheutuu muun muassa rakennuksen rungon painumista. Myös puun suuri kutistuminen tangentin suunnassa aiheuttaa massiivisen puutavaran halkeilua. Yleensä puu halkeaa siitä kohdasta, jossa etäisyys pinnasta ytimeen on lyhin. [2.]



Kuva 2. Puun eri kerrokset. [6].

Puun tiheyden kasvaessa kosteuden aiheuttama kutistuminen ja laajeneminen yleensä lisääntyvät. Puun kuivuessa sen lujuusominaisuudet paranevat. Esimerkiksi puun puristus- ja taivutuslujuus lisääntyvät noin kaksinkertaiseksi puun kuivuessa tuoreesta 12 - 15 %:iin. Puun vetolujuus on suurimmillaan 6 - 12 %:n kosteustilassa. Puuta kuivattaessa sen lujuusominaisuudet paranevat huomattavasti, kun kosteus alittaa syiden kylälästymispisteen. Myös puurakenteiden mitoituksissa on otettava huomioon puun kosteus, koska se vaikuttaa puun lujuuteen. [2.]

Puussa alkaa tapahtua vaurioitumista, jos sen kosteus pysyy pitkiä aikoja yli 20 %:ssa. Ympäröivän ilman suhteellinen kosteus on tällöin yleensä hyvin korkea, eli noin 80 - 90 %. Puu alkaa homehtua muutamassa kuukaudessa, jos sitä ympäröivän ilman suhteellinen kosteus pysyy jatkuvasti yli 80 %:ssa. Ilman suhteellisen kosteuden ollessa 70 % sitä voidaan pitää jo kriittisenä arvona. Ilman suhteellisen kosteuden ylitettyä 90 % puussa alkaa tapahtua lahoamista. Puun homehtumisen ja lahoamisen edellytyksenä on kuitenkin se, että lämpötila on +0 - +40 °C. Esimerkiksi pakkasella ilman suhteellinen kosteus voi olla hyvinkin pitkiä aikoja yli 85 %, niin puu ei vaurioidu, koska lämpötila on niin alhainen, että se ei ole riittävä homeen ja lahon etenemiselle. Homeitiöt ja lahottajasienet vaativat toimiakseen lisäksi happea ja ravinteita, joita on yleensä riittävästi sekä puussa että ympäröivässä ilmassa. [2.]

Home ei pysty tunkeutumaan puun pintaa syvemmälle, joten se ei ole puun lujuuden kannalta haitallista. Homeen levittämät itiöt sen sijaan ovat haitallisia terveydelle, koska ne saattavat aiheuttaa ihmisille erilaisia allergisia reaktioita ja lieviä myrkytysoireita, kuten esimerkiksi jatkuvaa nuhaa, huimausta ja päänsärkyä. Tämän vuoksi homeen

esiintymiseen on aina suhtauduttava vakavasti. Puun sinistymistä usein rinnastetaan virheellisesti puun homehtumiseen. Puun sinistymisen johtuu sinistäjäsiementen aiheuttamista värjäntymistä, jotka ulottuvat myös syvälle puun rakenteeseen. Sinistäjäsiemenet leviävät itiöinä tai rihmaston kasvuna ja ilmestyvät etenkin varastoituun havupuuhun. Sinistäjäsiemenet eivät kehity alle +5 °C:n lämpötilassa. Sinistymisellä ei ole oleellista vaikutusta puun lujuuteen. [2.]

## 2.2 Puun lujuusteknisiä ominaisuuksia

Puun tiheyden kasvaessa sen lujuus lisääntyy. Puun tiheyttä arvioitaessa pitää aina ilmoittaa, missä kosteustilassa sen massa ja tilavuus on mitattu. Yleisimmin puun tiheys ilmoitetaan ilmakeivatiheytenä, jolloin puun massa ja tilavuus on mitattu puun kosteuden ollessa 15 %. Tiheys ilmoitetaan usein myös kuiva-tuoretiheytenä, jolloin puun massa on mitattu kuivana, ja tilavuus kyllästymispistettä (noin 30 %) suuremmassa kosteudessa. Suomen puuston yleisimmät puulajit ovat mänty, kuusi ja koivu. Mänty ja kuusi ovat yleisimmät rakennuspuulajit. Suomalaisen männyn tiheys on 370 – 550 kg/m<sup>3</sup>, kuusen 300 – 470 kg/m<sup>3</sup> ja koivun 590 – 740 kg/m<sup>3</sup>. [3.]

Puun vuosirenkaassa vaaleampi puuainekesäpuu on selvästi harvempaa kuin tummempi kesäpuu. Normaalilla mäntypuulla kesäpuun osuus on keskimäärin 25 % ja kuusella noin 15 %. Suomalaisilla havupuilla puun lujuuden kannalta ihanteellinen vuosirengasväli on 1 - 1,5 mm, jolloin kesäpuun suhteellinen osuus lustosta on suurimmillaan. Puun vuosirengasvälin pienuus ei välttämättä merkitse puun suurta tiheyttä ja lujuutta. Esimerkiksi Lapin männyn vuosikasvusto on lähes yksinomaan harvempaa kesäpuuta, vaikka sen lustojen väli on huomattavan pieni. Tämän vuoksi Pohjois-Suomessa kasvanut mänty on tiheydeltään pienempää ja sen puuainekesäpuuta, vaikka sen lustojen väli on huomattavan pieni. Tämän vuoksi Pohjois-Suomessa kasvanut mänty on tiheydeltään pienempää ja sen puuainekesäpuuta, vaikka sen lustojen väli on huomattavan pieni. [3.]

Sydänpuun kestävyys ei johdu sen tiheydestä, koska valtapuulajeillamme männyllä, kuusella ja koivulla puun tiheys lisääntyy ytimeistä pintapuuhun mentäessä. Sydänpuun kestävyys selityksenä on sen suuri hartsi- ja pihkapitoisuus, joka lisää puun kestävyttä lahoa ja tuhohyönteisiä vastaan. Puun tiheys ja lujuus vähenevät yleisimmillä puulajeillamme jonkin verran tyvestä latvaan mentäessä. Männyllä tämä puun pituus-suuntainen tiheysmuutos on suurempi kuin kuusella. Puun tiheys kasvaa iän mukana niillä puulajeilla, joilla tiheys kasvaa ytimeistä pintaa kohti. [3.]

Puun lujuuteen vaikuttaa erityisesti se, missä suunnassa syitä vastaan sitä kuormitaan. Syiden suunnassa taivutuslujuus on suoraan verrannollinen puun tiheyden kanssa. Tasa-aineisella virheettömällä puulla taivutuslujuus on yhtä suuri kuin vetolujuus. [3.]

Puun syiden suuntainen vetolujuus on yleensä 10-20-kertainen verrattuna puun lujuuteen kohtisuoraan syitä vastaan. Vetolujuus riippuu myös puun tiheydestä sillä esimerkiksi männyn kevätpuun vetolujuus on vain 1/6 kesäpuuhun verrattuna. Ilmakuivan puun puristuslujuus on noin puolet vastaavasta vetolujuudesta. [3.]

Puun leikkauslujuus on 10 - 15 % puun syiden suuntaisesta vetolujuudesta. Leikkauslujuutta heikentävät puun erilaiset virheet, kuten oksat sekä puussa esiintyvät viat ja halkeamat. [3.]

Puun kulutuskestävyys ja kimmoisuus lisääntyvät puun tiheyden kasvaessa. Puun kimmomoduuli syiden suunnassa voi olla jopa satakertainen verrattuna puun kimmomoduuliin syitä vastaan kohtisuorassa. Säteen suunnassa kimmomoduuli on noin kaksi kertaa niin suuri kuin kimmomoduuli tangentin suunnassa. [3.]

Koska puun ominaisuudet voivat vaihdella eri tekijöistä riippuen hyvinkin paljon, puuta on tarkoituksenmukaista lajitella käyttötarpeen mukaan. Lajittelussa voidaan erottaa kaksi pääasiallista tarkastelukriteeriä, jotka ovat puun ulkonäkö ja lujuustekniset ominaisuudet. Puun laatu- ja lujuuslajittelussa noin 90 % laatukriteereistä kohdistuu puun oksiin. Lujuuslajittelu voidaan tehdä joko visuaalisesti tai koneellisesti. [3.]

### 2.3 Puun lämpötekniisiä ominaisuuksia

Puun lämmönjohtavuus on suhteellisen vähäinen puuaineksen huokoisuudesta johtuen. Puun lämmönjohtavuus heikkenee sen tiheyden vähetessä. Puun lämmönjohtavuus on noin kaksinkertainen syiden suunnassa verrattuna lämmönjohtavuuteen syitä vastaan kohtisuorassa. Esimerkiksi männyn lämmönjohtavuus syiden suunnassa on  $0,22 \text{ W/m}^\circ\text{C}$  ja syitä vastaan kohtisuorassa  $0,14 \text{ W/m}^\circ\text{C}$ . Puussa olevan kosteuden lisääntyminen lisää lämmönjohtavuutta. Puun lämpötilan laskiessa sen lujuus yleensä lisääntyy. Syiden suunnassa puun lämpölaajeneminen on erittäin vähäistä. Säteen ja tangentin suunnassa lämpöliikkeet ovat selvästi suurempia. Puun lämpölaajenemisker-

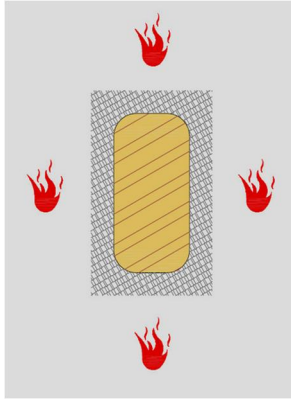
toimien ja kosteuskutistumakertoimien suhde puun syiden eri suunnissa on samaa suuruusluokkaa. Toistuva lämpötilassa tapahtuva vaihtelu vähentää puun lujuutta. Alle +0 °C:n lämpötilassa puuhun voi syntyä pakkashalkeamia, sillä soluonteloissa oleva vesi laajenee jäätyessään. [4.]

Puun lämmönvaraamiskyky eli lämpökapasiteetti riippuu puun tiheydestä, kosteudesta, lämpötilasta ja syiden suunnasta. Männyn ja kuusen keskimääräinen ominaislämpöarvo +0 – 100 °C:ssa on 2300 J/kg°C. Kosteuden lisääntyminen parantaa puun ominaislämpöä, koska veden ominaislämpö on suurempi kuin puulla. Männyn lämpökapasiteetti on lähes sama kuin tiilellä, vaikka puun tiheys tiileen verrattuna on vain 1/3. Hyvän lämpökapasiteetin vuoksi järeä hirsiseinä toimii sellaisenaan suhteellisen hyvänä ulkoseinärakenteena, vaikka esimerkiksi mineraalivillan lämmöneristyskykyyn verrattuna puun lämmönjohtavuus on noin kolminkertainen. [4.]

#### 2.4 Puun paloteknisiä ominaisuuksia

Puun lämpötilan noustessa 100 °C:seen alkaa siitä höyrystyä kemiallisesti sitoutumaton vesi. Kuivan puun terminen, eli kuumudesta aiheutuva pehmeäminen alkaa noin 180 °C:n lämpötilassa ja maksiminsa se saavuttaa 320 - 380 °C:ssa. Tällöin puun hemiselluloosan, selluloosan ja ligniinin sidokset alkavat hajota. Kostean puun pehmeäminen alkaa aikaisemmin, jopa 100 °C:ssa. [5.]

Puun syttymislämpötilaan vaikuttaa se, kuinka pitkän ajan puu on lämmölle alttiina. Yleensä puu syttyy 250 - 300 °C:ssa. Syttymisen jälkeen puussa alkaa tapahtua hiiltymistä noin 0,8 mm minuutissa. Palon eteneminen on hidasta massiivisessa puutavarrassa, sillä syntynyt hiilikerros muodostaa puuta suojaavan kerroksen palotilanteessa ja hidastaa puun sisäosien lämpötilan nousua ja palon etenemistä. Esimerkiksi jo 15 mm:n etäisyydellä hiiltymisrajasta puun lämpötila on alle 100 °C. Tätä ominaisuutta käytetään hyväksi muun muassa kantavien rakenteiden mitoituksissa. [5.]



Kuva 3. Hiiltynyt kerros, jonka sisällä on ehjä puu. [5.]

Liimapuulla hiiltymisnopeus on pienempi eli 0,7 mm/min. Puun syttymisherkkyys lisääntyy puun tiheyden ja kosteuden vähetessä sekä puukappaleen paksuuden pienetessä. Myös puumateriaalin terävät kulmat, karkea pinta, säröt ja halkeamat lisäävät palon vaikutusta. [5.]

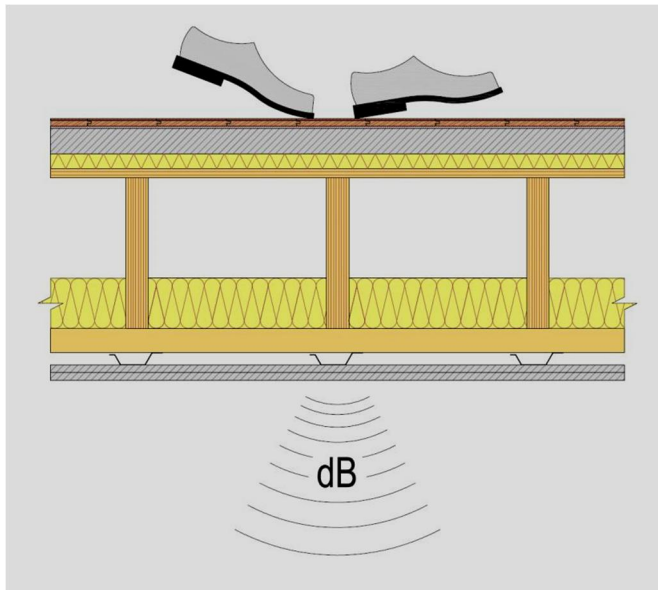
## 2.5 Puun äänitekniisiä ominaisuuksia

Puu on kevyt materiaali, joten sellaisenaan sen ääneneristys kyky ei ole erityisen hyvä. Paksu, tiivispintainen ja sileä puurakenne ei myöskään erityisen hyvin vaimenna ääntä, joten puu ei ole yksinään hyvä absorptiomateriaali, eli se ei ime ääniaaltoja itseensä ja näin vaimenna ääntä. Puu johtaa ääntä paremmin syiden pituussuunnassa kuin syitä vastaan kohtisuorassa. Tiivis puurakenne heijastaa ääntä, ja siitä voidaan helposti muodostaa äänen heijastuksia suuntaavia pintoja. Tätä ominaisuutta käytetään hyväksi esimerkiksi soittimissa ja musiikkisaleissa. [7.]

Puurakennusten riittävä ääneneristävyys pystytään yleensä saavuttamaan rakenteellisin keinoin käyttämällä monikerrosrakenteita. Sijoittamalla levyn tai paneloinnin taakse ilmapölyn lisäksi huokoinen ääniaaltoja imevä materiaali, eli absorptiomateriaali, esimerkiksi lämmöneristekerros, muodostuu niin kutsuttu levyresonaattori, joka värähdellessään vaimentaa tehokkaasti matalataajuuksista ääntä. Lisäksi tekemällä puisia riimoituksia tai rei'ittämällä puupintoja saadaan aikaan rako- tai reikäresonaattoreita, jotka vaimentavat tehokkaasti myös keskikorkeataajuuksista ääntä. [7.]



Monikerroksisissa puutaloissa ääneneristysten hallitsemisen keinot (erillisrungot, äänikatkot) ovat vaikeita, koska ne ovat toisaalta vastakkaisia rakenteellisen jäykkyyden saavuttamisen keinoihin (jäykistys, liitokset, jatkuvat rakenteet) verrattuna. Puuvälipohjien askelääneneristävyyttä voidaan parantaa kasvattamalla välipohjan massaa esimerkiksi pintabetonivalun avulla tai käyttämällä välipohjan yläpinnassa joustavan kerroksen päälle asennettavia kelluvia pintalattioita. [7.]



Kuva 4. Välipohjarakenne, jossa joustavan kerroksen päällä on pintabetonivalu. [7.]

### 3 Puutuotteet

Puusta valmistetaan lukematon määrä erilaisia rakennusmateriaaleja. Puuta voidaan käsitellä erilaisin menetelmin, esimerkiksi lämpökäsittely, tai siitä voidaan liimaamalla valmistaa erikokoisia kappaleita. Puuteollisuus valmistaa puusta eri käyttötarkoituksiin sopivia tuotteita. Erilaisilla jalostusmenetelmillä voidaan hyödyntää puun hyviä ominaisuuksia tehokkaammin ja heikkojen puolien vaikutusta pienentää ja käyttömahdollisuuksia lisätä monipuolisesti.

- Liimaustekniikan avulla puusta saadaan esim. levymäisiä, pitkiä suuria kuormia kantavia palkkeja tai muita vaadittavia suorita tai kaarevia tuotteita.
- Puun lujuus ja laatu paranee, kun jalostuksessa heikot ja vikakohtat kuten oksankohdat tai vinosyisyys poistetaan ja esim. sormijatkoksella liitetään uudelleen yhteen.

- Lujuutta heikentävät kohdat voidaan myös "hajasijoittaa" kuten vanerin, lastu- ja kuitulevyn osalta tapahtuu. Samalla tuote muuttuu ominaisuuksiltaan homogeenisemmäksi.
- Kulutuskestävyyttä parannetaan pinnoittamalla puulevyt tai pintakäsittelmällä puutuote. Tämä parantaa myös puun säänkestävyyttä, koska kosteuden vaikutus vähenee.
- Lahoamista ja hyönteistuhoja vastaan puu voidaan painekyllästä kupari- ja kromikyllästeillä (A ja AB -luokat).
- Puu voidaan käsitellä palamista estävillä aineilla. Suurten puupalkkien palonkestävyys on pinnan hiiltymisen vuoksi muutenkin hyvä.
- Lämpökäsittelyllä parannetaan puun säänkestävyyttä, tummennetaan väriä trooppisten puiden kaltaiseksi ja pienennetään kosteuden aiheuttamia mittamuutoksia. Puuta voidaan modifioida muovi-, öljy- tai kemikaalikyllästyksellä.
- Jalostusta tapahtuu yleensä jo tukkia työstettäessä: työstön leikkaussuunta vaikuttaa ulkonäköön, oksattomasta puusta tehdään hyvää ulkonäköä vaativia tuotteita, lujimmat sahatavarakappaleet valitaan vaativiin rakenteisiin jne. [8.]

Tässä opinnäytetyössä käsitellään yleisimpiä Suomessa käytössä olevia rakennesahatavara tyyppisiä ja niiden jatkojalosteita.

### 3.1 Rakennesahatavara

Rakennesahatavara tyyppisiä ovat sahapintainen sahatavara, mitallistettu sahatavara, höylätty sahatavara ja sormijatkettu sahatavara.

#### 3.1.1 Sahapintainen sahatavara

Sahatavara on puutavaraa, joka on sahattu kaikilta sivuiltaan. Sahapintaisen sahatavaran yleisimmät poikkileikkausmitat on esitetty taulukossa 1. Mitat tarkoittavat nimellismittoja sahatavaran kosteuspuhtausasteen ollessa 20 % ja niissä sallitaan taulukossa 3 esitetyt mittapoikkeamat. Sahapintaisen sahatavaran yleisimmät pituudet vaihtelevat 300 mm:n välein välillä 2,7...5,4 m. [9.]

Taulukko 1. Sahapintaisen sahatavaran yleisimmät poikkileikkausmitat. [9.]

Sahapintaisen sahatavaran yleisimmät poikkileikkausmitat									
PAKSUUS	LEVEYS								
	50	75	100	125	150	175	200	225	250
19 <sup>1)</sup>			X	O	O				
22 <sup>2)</sup>	JH X	JH X	X	X	X	O	O		
25 <sup>1)</sup>			X	O	O	O	O	O	
32			X	O	O	O	O	O	
38			X	X	O	O	O	O	
44 <sup>2)</sup>			O	O	O	O	O	O	O
50		JH X	X	X	X	X	X		
63			O	O	O	O	O	O	
75		JH O	O	O	O	O	X	X	
100			X	O	O	O	O	O	
125				X					
150					X				

<sup>1)</sup> yleensä mäntyä  
<sup>2)</sup> yleensä kuusta  
 JH = tehdään yleensä jälkihalkaisemalla, jolloin leveys on 2 mm nimellismittaa pienempi  
 x = vakiokoko  
 o = harvemmin tuotettu koko

Taulukko 2. Sahapintaisen sahatavaran suurimmat sallitut mittapoikkeamat. [9.]

Ulottuvuus	Mittapoikkeama, kun sahatavaran kosteuspitoisuus on 20 %
Paksuus ja leveys ≤ 100 mm	- 1,0...+ 3,0 mm
Paksuus ja leveys > 100 mm	- 2,0...+ 4,0 mm
Pituus, kun lajiteltu pituuden mukaan	-25...+50 mm
Pituus, kun katkaistu määrämitta	± 2,0 mm

### 3.1.2 Mitallistettu sahatavara

Mitallistettu sahatavara tarkoittaa mittatarkaksi karkeahöylättyä sahatavaraa. Sahatavaran mitallistaminen tapahtuu tavallisesti siten, että sahatavaran kaikilta sivuilta höylätään suurella syöttönopeudella noin 1 mm. Tästä johtuen höyläysjälki on karkeaa ja tuotteessa saattaa esiintyä höyläämättömiä alueita sekä höyläyksestä johtuvia harjanteita. [9.]

Mitallistetun sahatavaran yleisimmät poikkileikkausmitat on esitetty taulukossa 3. Mitat tarkoittavat nimellismittoja sahatavaran kosteuspitoisuuden ollessa 20 % ja niissä salli-

taan taulukossa 4 esitetyt mittapoikkeamat. Mitallistetun sahatavaran yleisimmät pituudet vaihtelevat 300 mm:n välein välillä 2,7...5,4 m. [9.]

Taulukko 3. Mitallistetun sahatavaran yleisimmät poikkileikkausmitat. [9.]

Mitallistetun sahatavaran yleisimmät poikkileikkausmitat													
PAKSUUS	LEVEYS												
	48	66	73	95	98	120	123	145	148	173	198	223	248
20 <sup>1)</sup>				X		X		X					
42		X	O		O		O		O	O	O	O	
48	X		X		X		X		X	X	X	X	O

<sup>1)</sup> hienosahattu pinta  
x = vakiokoko  
o = harvemmin tuotettava koko

Taulukko 4. Mitallistetun sahatavaran suurimmat sallitut mittapoikkeamat. [9.]

Ulottuvuus	Mittapoikkeama, kun sahatavaran kosteuspitoisuus on 20 %
Paksuus ja leveys ≤ 100 mm	± 1,0 mm
Paksuus ja leveys > 100 mm	± 1,5 mm
Pituus, kun lajiteltu pituuden mukaan	-25...+50 mm
Pituus, kun katkaistu määrämitta	± 2,0 mm

### 3.1.3 Höylätty sahatavara

Höylätyllä sahatavaralla tarkoitetaan ympärihöylättyä suorakaiteen muotoista sahatavaraa. Höylättyä sahatavaraa saa myös muotoon höylättyinä, mutta niitä ei tässä opinnäytetyössä käsitellä, koska muotoon höylätty sahatavara on lähinnä ulko- ja sisäverhouksissa käytettyä materiaalia, eikä siten ole kantavana osana rakennusta.

Tavallisesti sahatavaran kaikilta sivuilta höylätään vähintään 2 mm. Näin ollen pinnasta tulee sileä eikä siinä näy sahauspäätasaisuuksia eikä höyläyksestä johtuvia harjanteita. Höylätyn sahatavaran yleisimmät poikkileikkausmitat on esitetty taulukossa 5. Mitat tarkoittavat nimellismittoja sahatavaran kosteuspitoisuuden ollessa 20 % ja niissä sallitaan taulukossa 6 esitetyt mittapoikkeamat. Höylätyn sahatavaran yleisimmät pituudet vaihtelevat 300 mm:n välein välillä 2,7...5,4 m. [9.]

Taulukko 5. Ympärihöylätyn sahatavaran yleisimmät poikkileikkausmitat. [9.]

YMPÄRIHÖYLÄTYN SAHATAVARAN YLEISIMMÄT POIKKILEIKKAUSMITAT											
PAKSUUS	LEVEYS										
	15	21	28	33	45	70	95	120	145	170	195
8		X		X	X	X	X				
12				X	X	X	X				
15 <sup>1)</sup>	X			X	X	X	X	X	X	O	
18 <sup>2)</sup>					X	O	X	X	X	O	O
21 <sup>1)</sup>		X			X	X	X	X	X	X	X
28			X		X		X	O	O		
33		O		X	X	X	X	O	O		
45				X	X	X	X	X	X	O	X
70						X			O		O

<sup>1)</sup> yleensä mäntyä  
<sup>2)</sup> yleensä kuusta  
x= vakiokoko  
o = harvemmin tuotettava koko

Taulukko 6. Höylätyn sahatavaran suurimmat sallitut mittapoikkeamat. [9.]

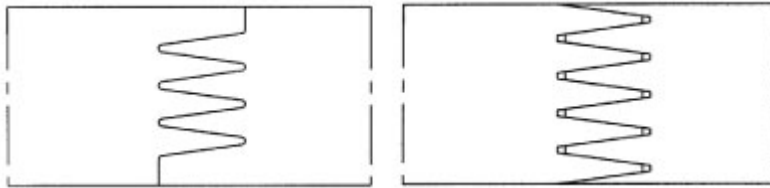
Ulottuvuus	Mittapoikkeama, kun sahatavaran kosteuspitoisuus on 20 %
Paksuus ≤ 20 mm	± 0,5 mm
Paksuus > 20 mm <sup>1)</sup>	± 1,0 mm
Leveys ≤ 100 mm	± 1,0 mm
Leveys > 100 mm	± 1,5 mm
Pituus, kun lajiteltu pituuden mukaan	-25...+50 mm
Pituus, kun katkaistu määrämitta	± 2,0 mm

<sup>1)</sup> Lattialaudan sallittu paksuuden mittapoikkeama on aina ± 0,5 mm.

### 3.1.4 Sormijatkettu sahatavara

Sahatavaraa voidaan jatkaa sormijatkoksilla, kun siitä halutaan normaalia pidempää tai sahatavarakappaleelle halutaan tietyt ominaisuudet. Sormijatkoksia käyttämällä voidaan tuottaa esimerkiksi sahatavarakappaleita, jotka ovat kokonaan sydänpuuta, kokonaan oksattomia ja erittäin suoria. Tällaisia erikoistuotteita käytetään yleensä huone-

kalu- ja ikkunateollisuudessa. Sormijatkettua sahatavaraa on saatavilla sahapintaisena, mitallistettuna ja höylättynä, joten yleisimmät poikkileikkausmitat ovat aiempien taulukoiden mukaiset. Enimmäispituus vaihtelee valmistajakohtaisesti, mutta on yleensä 12 m...14 m. Rakenteelliseen käyttöön tarkoitetun sormijatketun sahatavaran valmistaminen on luvanvaraista toimintaa ja tällaisessa sahatavarassa tulee olla käytettävän tuotestandardin mukainen sormijatkamisesta kertova leima. [9.]



Kuva 5. Sormijatkos.

### 3.2 Sahatavaran lujuuslajittelu

Sahatavaran lujuuslajittelu voidaan tehdä visuaalisesti tai koneellisesti. Visuaalisessa lujuuslajittelussa tehdään silmämääräinen tarkastelu jossa huomioidaan esimerkiksi sahatavarakappaleen oksien määrää, sijaintia ja laatua sekä halkeamia, kieroutta, vääryyttä ja muita vikoja. Lisäksi tarkastellaan sahatavakappaleen vuosiluston paksuutta. Perinteinen koneellinen lujuuslajittelumenetelmä on sahatavarakappaleen taivuttaminen, jonka perusteella saadaan kimmomoduuli ja tätä kautta sahatavarakappaleen lujuusluokka. Nykyisin on käytössä myös huomattavasti kehittyneempiä koneellisia lujuuslajittelumenetelmiä kuten konenäkömittaus, ominaistaajuuden mittaus, röntgenmittaus ja ultraäänimittaus.

#### 3.2.1 Lujuuslajittelu standardin EN 338 mukaan

EN 338 on eurooppalainen standardi puutavaran, sahatukkien ja sahatavaran lujuuslajitteluun. Havupuusahatavara lujuuslajitellaan taulukon 7 mukaisiin lujuusluokkiin. Lujuusluokat C14...C30 voidaan lajitella joko visuaalisesti tai koneellisesti ja lujuusluokat C35...C50 vain koneellisesti. [9.]

Taulukko 7. Havupuusahatavaran lujuusluokat standardin EN 338 mukaan. [9.]

Kaikki lujuusluokat	C14, C16, C18, C20, C22, C24, C27, C30, C35, C40, C45, C50
Suomessa yleisimmät lujuusluokat	C18, C24, C30, C35, C40

### 3.2.2 Lujuuslajittelu standardin INSTA 142 mukaan

INSTA 142 on yhteispohjoismainen standardi, jonka mukaan havupuusahatavara lujuuslajitellaan visuaalisesti taulukon 8 mukaisiin lujuusluokkiin. INSTA 142 lujuusluokat on hyväksytty vastaamaan standardin EN 338 mukaisia C-lujuusluokkia. [9.]

Taulukko 8. Havupuusahatavaran lujuusluokat standardin INSTA 142 mukaan. [9.]

Kaikki lujuusluokat	T0, T1, T2, T3
Vastaavuus EN 338 kanssa	T0 = C14 T1 = C18 T2 = C24 T3 = C30

### 3.2.3 Lujuuslajitellun sahatavaran leimaus

Lujuuslajiteltu sahatavara tulee leimata siten, että jokaisessa lujuuslajitellussa sahatavarakappaleessa on leima. Tavallisesti leimassa vaadittavat tiedot tulostetaan sahatavarakappaleen lappeelle jatkuvana tekstinä. Vaihtoehtoisesti voidaan käyttää yksittäistä leimaa, jossa vaadittavat tiedot esitetään. Lisäksi sahatavaran valmistaja voi tehdä sahatavarakappaleisiin omia merkintöjä. [9.]

## KONEELLINEN LUJUUSLAJITTELU



## VISUAALINEN LUJUUSLAJITTELU



Kuva 6. Esimerkkejä CE-merkityn lujuuslajittelun sahatavaran lujuusleimoista. [9.]

### 3.2.4 Lujuuslajittelun sahatavaran saatavuus

Puutavaraliikkeissä varastoidaan tavallisesti vain lujuusluokan C24 sahatavaraa, koska se on yleisin lujuusluokka rakentamisessa. Muita lujuusluokkia on mahdollista saada tilaamalla. Lujuusluokan C35 ja C40 sahatavaraa ei tavallisesti ole saatavilla puutavaraliikkeistä, vaan nämä lujuusluokat ovat käytössä tavallisesti NR-tuotteiden ja liima-puun valmistajilla. [9.]

Lujuuslajiteltu sahatavara on tavallisesti sahapintaista tai mitallistettua. Sormijatkettu sahatavara voi myös olla lujuuslajiteltua. Paineekyllästetty sahatavara ei yleensä ole lujuuslajiteltua, mutta tilaamalla on mahdollista saada lujuuslajiteltua tuotetta. Mitallistetun lujuuslajittelun sahatavaran yleisin paksuus on 48 mm ja yleisimmät leveydet 98 mm:stä ylöspäin. [9.]



### 3.3 Sahatavaran laatuluokitus

Sahatavaran laatuluokituksessa ulkonäkö ratkaisee laatuluokan. Oksien koko, määrä ja sijoittuminen ovat laatuluokittelun tärkeimmät kriteerit. Muita laatuluokituksessa tarkkailtavia tekijöitä ovat esimerkiksi halkeamat, vajaasärmäisyys, pihkakolot, kaarnarosot, kaarnakorot, vinosyisyys, latvamurtuma, lyly, muotoviat sekä sahatavaran käsittelystä johtuvat viat.

#### 3.3.1 Sahatavaran laatuluokat

Sahatavaran laatuluokat ovat A, B, C ja D, joista A on laadukkain. Luokka A jaetaan vielä luokkiin A1... A4. Luokan määräytymiseen vaikuttavat sahatavaran

- oksien koko, lukumäärä ja niiden laatu eli irto-oksat, oksanreiät ja terveet oksat
- halkeamat
- vajaasärmäisyys; sahanterä ei ole tällöin sahannut koko lappeen tai syrjän alalta
- pihkakolot; pihkaa sisältävät ontelot puussa
- kaarnarosot eli kasvavan puun sisään jäänyt kuori
- korot eli kasvavan puun vioittumisesta aiheutunut epäsäännöllinen ja pihkainen solukko
- vinosyisyys; puun syiden suunta poikkeaa pituussuunnasta
- murtumat
- lyly
- pehmeä laho
- muotoviat.

Alin laatuluokka on D, jossa sallitaan kaikkia vikoja, kunhan vain sahatavara pysyy koossa ja terä on koskettanut kaikkia sivuja. D-luokan sivulaudoissa sallitaan 1/3 kapaleen pituudesta pintaa, jota sahanterä ei ole koskettanut. [11.]

Lisäksi on mahdollista lajitella sahatavara käyttämällä yhdistelmälaatuja AB ja ABC, jotka sisältävät tuotannosta lankeavan osuuden kutakin laatua. [11.]

### 3.4 Sahatavaran jatkojalosteet

Puuta voidaan jatkojalostaa erilaisin menetelmin esimerkiksi lämpökäsittelyllä tai siitä voidaan liimaamalla valmistaa erikokoisia kappaleita. Erilaisilla jalostusmenetelmillä voidaan hyödyntää puun hyviä ominaisuuksia tehokkaammin ja heikkojen puolien vaikutusta pienentää ja käyttömahdollisuuksia lisätä monipuolisesti.

#### 3.4.1 Paineekyllästetty sahatavara

Paineekyllästetyllä sahatavaralla tarkoitetaan tässä yhteydessä suorakaiteen muotoista sahapintaista tai ympärihöylättyä sahatavaraa. Saatavilla on kuitenkin myös erilaisia muotohöylättyjä tuotteita. Suomessa painekyllästetty sahatavara on mäntysahatavaraa, joka on kyllästetty kupariyhdisteitä sisältävällä kyllästysaineella (C-kyllästys) luokkiin A ja AB. Väreinä perinteisen vihreän lisäksi on ruskea, joka on valmistettu lisäämällä kyllästysaineeseen väripigmenttiä.

Taulukko 9. Paineekyllästetyn sahatavaran luokitus. [9.]

Kyllästysluokka	Sahatavaran paksuus mm	Käyttökohde
A	≥ 48	maa- ja vesikosketuksissa olevat rakenteet
AB	< 48	maanpinnan yläpuoliset rakenteet

Paineekyllästetyn sahatavaran yleisimmät poikkileikkausmitat on esitetty taulukoissa 10 ja 12. Mitat tarkoittavat nimellimittoja sahatavaran kosteuspitoisuuden ollessa 20 % ja niissä sallitaan taulukoissa 11 ja 13 esitetyt mittapoikkeamat. Paineekyllästetyn sahatavaran yleisimmät pituudet vaihtelevat 300 mm:n välein välillä 2,7...5,4 m.

Painekyllästetty puutavara luokitellaan erilliskierrätettäväksi jätteeksi, joten kaikki tällainen käytöstä poistettu puutavara sekä mahdolliset työstöjätteet tulee toimittaa jätelaitosten tai puutavaraliikkeiden erilliskierrätyspisteisiin.

Taulukko 10. Sahapintaisen painekyllästetyn sahatavaran yleisimmät poikkileikkausmitat. [9.]

Sahapintaisen painekyllästetyn sahatavaran yleisimmät poikkileikkausmitat							
PAKSUUS	LEVEYS						
	50	75	100	125	150	175	200
19			X	X	O		
22	O		O	O	O		
25			X	X	O		
32			X	X	O		
38			X	X	O		
44			O				
50	X	X	X	X	X	O	X
63			O	O	O	O	O
75		X	O	O	O	O	O
100			X				
125				X			
150					X		

x = vakiokoko  
o = harvemmin tuotettava koko

Taulukko 11. Sahapintaisen painekyllästetyn sahatavaran suurimmat sallitut mittapoikkeamat. [9.]

Sahapintaisen sahatavaran suurimmat sallitut mittapoikkeamat	
Ulottuvuus	Mittapoikkeama
Paksuus ja leveys ≤ 100 mm	- 1,0 ... + 3,0 mm
Paksuus ja leveys ≥ 100 mm	- 2,0 ... + 4,0 mm
Pituus, kun lajiteltu pituuden mukaan	- 25 ... + 50 mm
Pituus, kun katkaistu määrämitta	± 2,0 mm

Taulukko 12. Höylätyn painekyllästetyn sahatavaran yleisimmät poikkileikkausmitat. [9.]

Höylätyn painekyllästetyn sahatavaran yleisimmät poikkileikkausmitat							
PAKSUUS	LEVEYS						
	45	70	95	120	145	170	195
15	X		X	O			
21	X	O	X	X			
28		O	X	X	O		
33			X	O	O		
39			O				
45	X	X	X	X	X	O	O
70		X	O		X	O	
95			X				

x = vakiokoko  
o = harvemmin tuotettava koko

Taulukko 13. Höylätyn painekyllästetyn sahatavaran suurimmat sallitut mittapoikkeamat. [9.]

Höylätyn sahatavaran suurimmat sallitut mittapoikkeamat	
Ulottuvuus	Mittapoikkeama
Paksuus ≤ 20 mm	± 0,5 mm
Paksuus ≥ 20 mm <sup>1</sup>	± 1,0 mm
Leveys ≤ 100 mm	± 1,0 mm
Leveys ≥ 100 mm	± 1,5 mm
Pituus, kun lajiteltu pituuden mukaan	- 25 ... + 50 mm
Pituus, kun katkaistu määrämitta	± 2,0 mm

<sup>1)</sup> Lattialaudalla sallittu paksuuden mittapoikkeama on aina ± 0,5 mm

### 3.4.2 Lämpökäsitelty sahatavara

Lämpökäsitelty sahatavara valmistetaan mänty-, kuusi- tai lehtipuusahatavarasta lämpökäsittelyprosessilla. Prosessi perustuu korkean lämpötilan (noin 200 °C) ja vesihöyryn käyttöön, joten prosessissa ei käytetä kemikaaleja. Lämpökäsittelyllä sahatavaraalle saadaan parempi biologinen kestävyys ja alhaisempi kosteuseläminen verrattuna lämpökäsittlemättömään sahatavaraan. Lisäksi lämpökäsittelyllä voidaan muuttaa sahatavaran väriä enemmän jalopuiden sävyisiksi siten, että väri muuttuu koko sahatavarakappaleessa eli tuote on "läpivärjätty". Tyypillisiä lämpökäsiteltyjä sahatavara tuotteita ovat ulko- ja sisäverhouslaudat ja erilaiset listat.

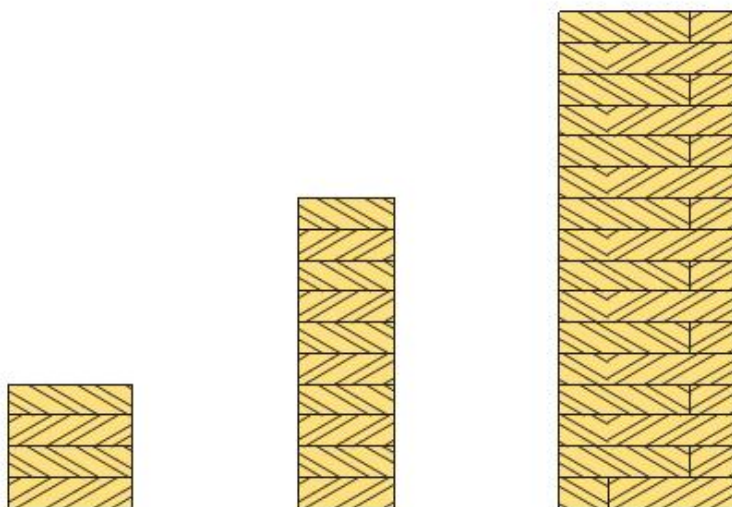
Lämpökäsittelyn sahatavaran laatua ei tarkastella käsittelemättömän sahatavaran laatuokituksen mukaan vaan sille on omat laatuvaatimukset [9].

### 3.4.3 Liimapuu

Liimapuulla tarkoitetaan tässä yhteydessä kantaviin rakenteisiin tarkoitettua horisontaalista liimapuuta, joka on standardin SFS-EN 14080 (eurooppalainen standardi liimapuulle asetetuista vaatimuksista) mukaista ja se on valmistettu standardin SFS-EN 386 (eurooppalainen standardi joka määrittelee vaatimukset liimapuuosille ja vähimmäisvaatimukset osien valmistukselle) sellaisten mukaan. Lisäksi tässä yhteydessä käsiteltävä liimapuu koostuu vähintään neljästä, enintään 45 mm paksusta sahatavaralamelista, joiden syysuunta on liimapuutuotteen pituussuuntaan. Edellä mainitut vaatimukset täyttävälle liimapuulle voidaan käyttää standardin SFS-EN 1194 (eurooppalainen standardi puisten puolivalmisteiden lujuusluokitukselle) mukaisia GL-lujuusluokkia. [9.]

Liimapuu on tavallisesti ympärihöylättyä ja sitä on saatavissa erilaisilla pintakäsittelyillä sekä painekyllästettynä. Yleisimmät poikkileikkausmitat on esitetty taulukossa 14, mutta liimapuuta on saatavilla myös erikoismitoilla. Liimapuun enimmäiskorkeus on noin 2 m ja enimmäispituus noin 30 m (enimmäismitat ovat valmistajakohtaisia). Lamellipaksuudet ovat yleensä 45 mm suorille kannatteille ja 33 mm taivutetuille. [9.]

Liimapuukannatteilla on hyvä palonkestokyky. Ne eivät taivu kuumuuden vaikutuksesta ja hiiltymissyvyys tunnin normaalipalon jälkeen on n. 36 mm. Liimapuun sisään upotetut teräsosat ovat myös vastaavan ajan palosuojattuina. Liimapuun käyttökohteita ovat teollisuus- ja urheiluhallit, suurmyymälät, näyttelyhallit ja koulut, mutta myös pientalot ja maatalousrakennukset. [12.]



Horisontaalisen liimapuun poikkileikkausmuotoja standardin SFS-EN 386 mukaan. [9]

Taulukko 14. Liimapuun yleisimmät poikkileikkausmitat. [9]

KORKEUS [mm] 45 mm:n välein	LEVEYS [mm]								
	90	115	140	165	190	215	240	265	290
180	X	X	X	X	X	X	X		
225	•	•	X	X	X	X	X		
270	•	•	X	X	X	X	X		
315	•	•	•	X	X	X	X		
360	•	•	X	•	X	X	X		
405	•	•	•	•	X	X	X		
450	X	•	X	X	X	X	X		
495	X	•	X	X	X	X	X		
540...2025	X	X	X	X	X	X	X		

= varastokoko  
X = tilauksesta valmistettava vakiokoko  
 = harvemmin valmistettava koko

#### 3.4.4 Viilupuu

Viilupuulla tarkoitetaan tässä yhteydessä kantaviin rakenteisiin tarkoitettua viilupuuta, joka on standardin SFS-EN 14374 (eurooppalainen standardi rakenteelliselle viilupuulle) mukaista. Suomalainen viilupuu valmistetaan liimaamalla 3 mm paksuista kuusivii- luista siten, että viilujen syysuunta on viilupuutuotteen pituussuuntaan (Kerto-S ja Kerto-T). Erikoistuotteena valmistetaan myös sellaista viilupuuta, jossa osa viiluista voi olla asennettu ristiin (Kerto-Q). Viilut ovat hiomattomia ja paikkaamattomia, mutta tilauksesta voidaan valmistaa viilupuuta, jossa pintaviilut ovat valikoituja ja hiottuja. [12.]

Viilupuuta on saatavilla erilaisilla pintakäsittelyillä ja myös AB luokkaan painekyllästet- tynä (Kerto-Q). Eräiden viilupuutuotteiden yleisimmät poikkileikkausmitat on esitetty taulukoissa 15 ja 16, mutta viilupuuta on saatavilla myös erikoismitoilla. Viilupuun enimmäisleveys on noin 2,5 m ja enimmäispituus kuljetuksen kannalta noin 25. Toimi- tettävien palkkien minimileveys on 27 mm ja maksimi 75 mm 6 mm välein. Vakiokor- keuksia ovat 200, 225, 260, 300, 360, 400, 450, 500, 600 ja 900 mm. [12.]

Viilupuuta käytetään palkkina syrjällään, lankkuina lappeellaan ja pilarina pystyssä. Viilupuun tyypillinen jännevälialue on 5... 12 m. Sitä käytetään ala-, väli- ja yläpohjarakenteissa kantavina palkkeina sekä aukko- ja tukipalkkeina. Sitä käytetään myös kantavassa ja keveissä seinärakenteissa sekä rakennuksen jäykistävinä osina. Palotilanteessa viilupuupalkkien hiiltymisnopeus on 0,6 mm/min. [12.]

Taulukko 15. Viilupuupalkkien yleisimmät poikkileikkausmitat. [12.]

Viilupuupalkkien (Kerto-S) yleisimmät poikkileikkausmitat									
KORKEUS	LEVEYS								
	200	225	260	300	360	400	450	500	600
27	X	X	O	O	O	O	O	O	O
33	X	X	X	O	O	O	O	O	O
39	X	X	X	X	X	O	O	O	O
45	X	X	X VK	X	X VK	O	O	O	O
51	X VK	X	X	X VK	X	X VK	O	O	O
57	X	X	X	X	X	X	X	O	O
63	X	X	X	X	X	X	X	X	O
75	X	X	X	X	X	X	X	X	X

VK = varastokoko, pituudet 6 m, 8 m, 10 m ja 12 m  
X = vakiokoko  
O = harvemmin tuotettu koko

Taulukko 16. Viilupuutolppien yleisimmät poikkileikkausmitat. [12.]

Viilupuutolppien (Kerto-T) yleisimmät poikkileikkausmitat							
KORKEUS	LEVEYS						
	66	92	98	120	150	175	200
33	X	X	X	O	O	O	O
39	X VK	X	X	X	X	O	O
45	X	X	X	X	X	O	O
51	X	X	X	X	X	X	O
57	X	X	X	X	X	X	X
63	X	X	X	X	X	X	X
75	X	X	X	X	X	X	X

VK = varastokoko, pituudet 2550 mm, 2700 mm, 3000 mm ja 6000 mm  
X = vakiokoko  
O = harvemmin valmistettava koko

### 3.4.5 I-palkit

I-palkki on puupaarteista ja kuitulevy- tai vaneriumasta liimaamalla yhdistetty kevyt-palkkikannate. Käyttökohteita ovat rakennusten välipohja- yläpohja- ja alapohjapalkistot sekä ulkoseinärungot. Parhaimmillaan I-palkki on rakenteissa, joilta vaaditaan jäykkyyt-

tä, lämmöneristyskykyä, mittatarkkuutta sekä taloudellisuutta. Palkkia on helppo työstää tavallisilla puutyökaluilla, ja uumalevyyn voi tehdä reikiä sähkö- ja LVI-vetoja varten. Kaikkia muutoksia palkkiin tehdessä on kuitenkin noudatettava valmistajan tai rakennesuunnittelijan ohjeita. I-palkilla saavutetaan sama kantavuus pienemmällä materiaalmäärällä kuin liimapuulla tai sahatavaralla ja siten sen hinta onkin kilpailukykyinen. I-palkki on kiepahdusaltis ja ne tulee tukea kiepahdusta vastaan. [13.]

## 4 Liitokset

Liitoksia on monenlaisia ja ne eroavat toisistaan monella eri tavalla. Liitoksia suunniteltaessa tulee miettiä niiden rakenteellinen toimintatapa ja rakentamisen helppous. Lisäksi on otettava huomioon rakennukseen liittyviä tekijöitä kuten ulkonäkö, rakenteen hinta ja valmistustapa. Hyvä nyrkkisääntö liitoksia suunnitellessa on se, että mitä yksinkertaisempi liitos ja mitä vähemmän käytetään liittimiä, sitä parempi on rakenteellinen lopputulos.

Yleisimpään liitinryhmään kuuluvat hakaset, naulat, ruuvit, pultit ja tappivaarnat. Toiseen liitinryhmään kuuluvat rengas-, lautas- ja hammasvaarnat. Mekaanisista liitoksista poikkeavana ryhmänä ovat liimaliitokset. [1.]

### 4.1 Naulat

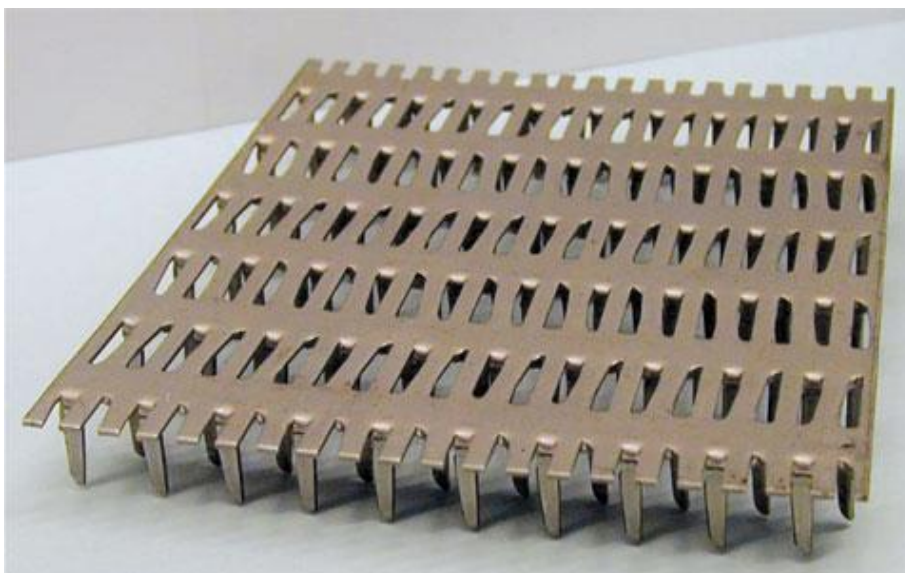
Naulat ovat yleisimpiä rakenneosien liittimiä. Nauloja valmistetaan erikokoisina ja muotoisina sekä eri materiaaleista. Yleisimmät puussa käytettävät naulat ovat pyöreitä tai poikkileikkaukseltaan neliömäisiä lankanauloja. Yleisimmät naulojen mitat ovat, paksuus 2,75 – 8 mm ja pituus 40 – 200 mm. [1.]

Naulaliitoksissa voi olla tarpeen porata ensin reiät, jotta vältetään puun halkeamiselta. Reiän halkaisija on enintään 80 % naulan paksuudesta. Kun puurakenteissa käytetään teräs- tai puulevyjä reunakappaleina, nauloja tulee käyttää ensisijaisesti yksileikkisinä. [1.]



## 4.2 Naulalevyt

Naulalevyillä rakenneosat voidaan liittää toisiinsa samassa tasossa samalla tavoin kuin naulauslevyilläkin. Naulalevyt on valmistettu sinkitystä teräslevystä ja niiden paksuus vaihtelee 0,9 – 2,5 mm:n välillä. Naulalevyjen kiinnitys vaatii erityisen laitteiston ja siksi niitä käytetään yleisesti tehtaissa kevyisiin ristikoihin. [1.]



Kuva 7. Naulalevy

## 4.3 Pultit ja tappivaarnat

Pultit valmistetaan yleensä tavallisesta teräksestä. Niissä on kanta ja mutteri, jotka ovat muodoltaan kuusi- tai nelikulmaisia ja paksuudeltaan ne ovat 12 – 30 mm. Jotta asennus olisi helpompaa on puurakenteiden eurokoodissa vaatimus, että pultin reikä on porattava 1 mm pultin paksuutta suuremmaksi. Pulttiliitoksen kapasiteetti pienenee tämän välyksen seurauksena. Tästä johtuen ja ulkonäön vuoksi tappivaarnat ovat syrjäyttämässä pultteja. Tappivaarnat ovat pyöröteräksiä, jotka sopivat tiukasti porattuun reikään. Tappivaarnoja ja pultteja käytetään yleensä useampileikkeisissä liitoksissa. [1.]

#### 4.4 Ruuvit

Kansiruuvi on rakenteissa käytettävistä ruuvityypeistä tärkein. Ruuvipaksuudet ovat yleensä välillä 6 – 20 mm ja pituudet välillä 25 – 300 mm. Ruuveja käytettäessä on aluslevyt oltava vaatimusten mukaisesti. [1.]

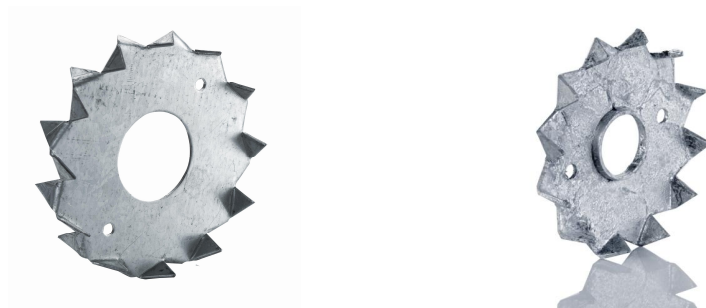


Kuva 8. Kansiruuvi.

#### 4.5 Vaarnat

Kasvattamalla kuormia siirtävää puupintaa vaarnoilla on mahdollista siirtää suuria voimia. Käyttämällä yhtä vaarnaa ristikon liitoksessa voidaan siihen saada lähes täydellinen nivel toisin kuin käyttämällä useampaa puikkoliitintä. [1.]

Rengas- ja lautasvaarnat valmistetaan alumiinista, valuraudasta tai teräksestä. Hammasvaarnat valmistetaan joko valuraudasta tai kuumasinkitystä teräksestä. Vaarnojen läpimitta on välillä 38 – 260 mm. Suurempia vaarnoja käytetään liimapuuliitoksissa. Sahatavarassa vaarnojen koko ulottuu 75 mm:n läpimittaan saakka. Poikittaisen momentin rajoittamiseksi vaarnaliitoksissa käytetään aluslevyihin varustettuja liittimiä. [1.]



Kuva 9. Yksi- ja kaksipuolinen hammasvaarna.

Lautasvaarnat ja toispuoleiset hammasvaarnat soveltuvat hyvin teräksen ja puun väliin liitoksiin kuten myös puu- puuliitoksiin. Näitä vaarnoja käytettäessä liitosten esivalmistelu on mahdollista ja ainoastaan pultit asennetaan rakennuspaikalla. [1.]

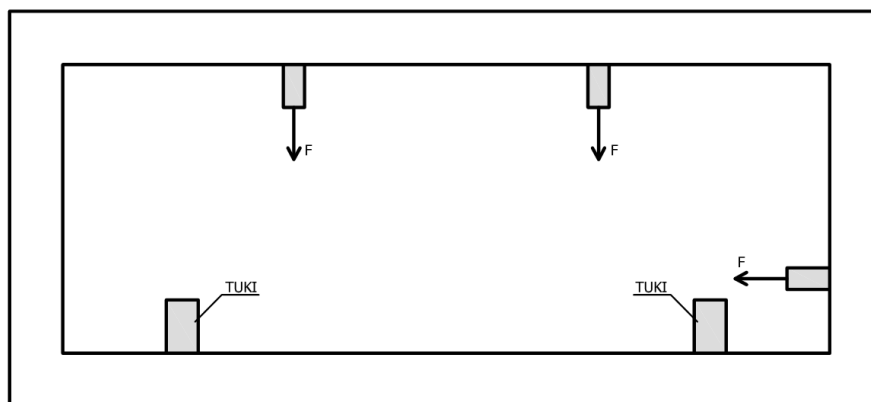
#### 4.6 Liimaliitokset

Puurakenteiden liitosten valmistaminen liimaamalla vaatii ammattitaitoa, hyviä olosuhteita ja kunnollisia välineitä. Rakennustyömaalla liimaukselle asetetut vaatimukset eivät täyty ja tästä johtuen työmaalla tehtyä liimausta ei yleensä saa ottaa huomioon liitoksen kantokykyä laskettaessa. [14.]

Kantavien rakenteiden liimasaumojen valmistus on nykyään luvanvaraista ja siksi niitä tehdäänkin pääasiassa valmisosatehtailla, joissa voidaan valvoa valmistusta. Liimaliitoksia käytetään yleisesti ohutuumaisten palkkien paarteissa, uuman liitoksissa, liimapuun saumauksessa, sormijatkettun puutavaran sormijatkoksissa ja puulevyjen valmistuksessa. [14.]

## 5 Laboriolaitteisto

Metropolia Ammattikorkeakoulun Agricolankatu 1-3 toimipisteessä on koulutuskäytössä laboratorio, jossa voidaan toteuttaa erilaisia kokeita ja testejä. Laboratoriossa on mittailaustyönä tehty koekappaleiden kuormituslaitteisto, jolla on mahdollista demonstroida erilaisia ominaisuuksia ja murtoilmiöitä.



Kuva 10. Periaatepiirros kuormituslaitteesta.

Laitteessa on ylhäällä kaksi kuormitus sylinteriä, joista molemmista suurin saatava voima on 250 kN. Sylinterit voidaan minimissään siirtää 600 mm:n päähän toisistaan ja vaakasuunnassa sylintereitä voidaan siirtää eri kohtiin 150 mm:n askelin. Lisäksi on yksi kuormitus sylinteri vaakasuunnassa, jolla suurin saatava voima on myös 250 kN. Alhaalla laitteessa on kaksi tukea, joita voidaan vaakasuunnassa siirtää 150 mm:n askelin. [16.]

Kuormitus sylintereihin voidaan lisäkappaleiden avulla saada yhdestä pistekuormasta useampi pistekuorma. Tukiakin voitaneen tarvittaessa lisätä, jos halutaan koestaa kaksiaukkoista jatkuvaa palkkia.

Laitteistosta johtuen testattavilla kappaleilla on tiettyjä rajoituksia. Laitteen koko vaakasuunnassa rajoittaa testattavien kappaleiden pituuden noin 4 metriin ja korkeus n. 2 metriin. Kappaleiden jännevälin pitää olla 300 mm jaolla, mikäli halutaan testata symmetrisesti kuormitettuja tapauksia. Muussa tapauksessa jänneväli voi olla 150 mm jaolla. Kuormitus sylintereistä saatava suurin voima rajoittaa testattavien kappaleiden kestävyyttä. Testattavien kappaleiden mitoituksessa on suositeltua käyttää pistekuormia. Tasaisesti jakaantunutta kuormaa voidaan myös osittain jäljitellä, mutta epätarkkuutta saattaa olla sen verran, että luotettavia tuloksia on hankala saada. [16.]

Testattavien kappaleiden suunnittelussa on otettava huomioon, että haluttu ilmiö tapahtuu ennen kuin jokin muu ilmiö tapahtuu. Esimerkiksi keskeltä pistekuormalla kuormitettu palkki saattaa saavuttaa taivutuskestävyytensä rajan ennen kuin leikkausvoimasta aiheutuva leikkausmurto tapahtuu. Kuormitus sylinterien pitää osua testattavaan kappaleeseen kohtisuoraan pystysuunnassa, jolloin esimerkiksi harjapalkkia testattaessa pitää miettiä miten vinolle osalle saadaan järjestettyä vaakasuora osa johon kuorma kohdistetaan. [16.]

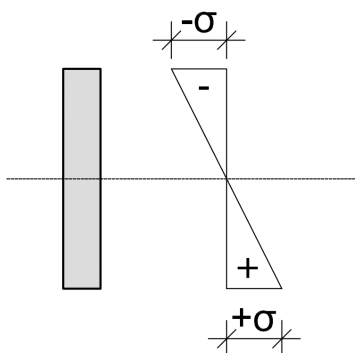
## **6 Tarkasteltavat rasitusmuodot**

Tässä työssä keskityttiin kuuteen eri tapaukseen, jotka ovat taivutusrasitus, leikkausrasitus, puristusrasitus, nurjahdus ja kiepahdus. Lisäksi mukaan otettiin vielä yksi naulaliitos. Liitteenä oleviin valmiisiin laskentatehtäviin otettiin mukaan ominaislujuuksien lasketut arvotkin, koska puu ei ole tasalaatuista materiaalia ja sen lujuuden määrittämisessä

ollaan yleensä reilusti varmemmalla puolella. Pelkillä mitoituslujuuksilla laskettaessa saattaisi todelliset tulokset olla hyvinkin erisuuruisia laskettuihin verrattuna.

## 6.1 Taivutusrasitus

Palkit ovat rakenteita, jotka välittävät kuormia taivutuksen välityksellä. Symmetristä suorakaiteen muotoista palkkia kuormitettaessa sen ala- ja yläreunaan muodostuu samansuuruiset jännitykset ja neutraaliakseli on poikkileikkauksen keskellä. Tällainen jännitysten jakaantuminen aiheuttaa sen, että yläreunaan muodostuu puristusrasitus ja alareunaan muodostuu vetorasitus. Suoralla palkilla kriittisin poikkileikkauksen kohta on maksimimomentin kohdalla.

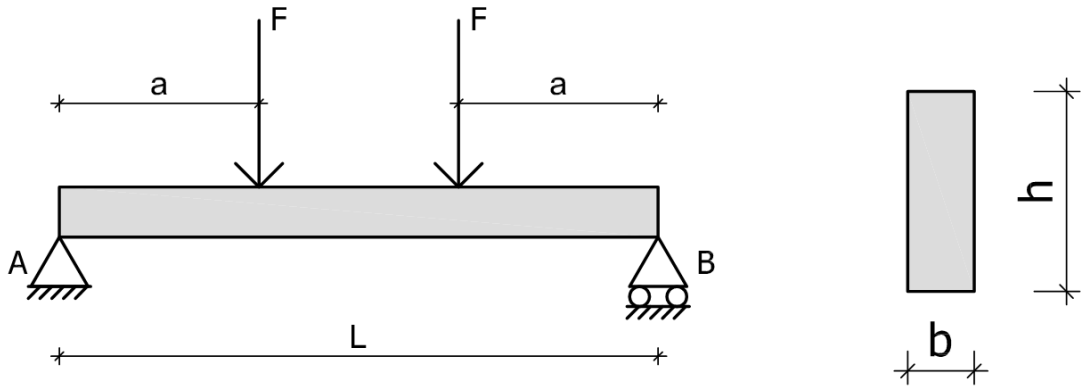


Kuva 11. Taivutuksen alaisen palkin jännitysjaakauma.

Palkkeja mitoitettaessa taivutukselle tulee taivutuslujuuden olla suurempi kuin kuormituksesta aiheutuva taivutusjännitys.

Murtotilanteessa palkin yläreunassa tai alareunassa tapahtuu muodonmuutos, joko puristumista tai venymistä. Kohdassa jossa muodonmuutoksia tapahtuu materiaali menettää lujuutensa, eli poikkileikkauksen tehollinen pinta-ala pienenee. Tämän seurauksena kuormituksen jatkuessa palkki rikkoutuu.

Laskentatehtävään (liite 1.) valittiin yksiaukkoinen palkki, joka on vapaasti tuettu ja sitä kuormitetaan kahdella pistekuormalla.

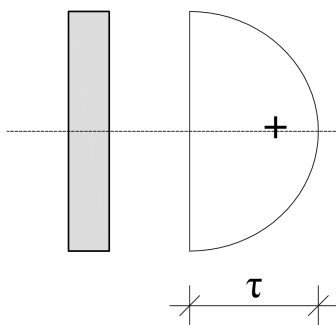


Kuva 12. Taivutuslujuuden laskentatehtävään valitun rakenteen malli.

Tällaisessa rakenteessa ja kuormitustapauksessa palkissa on maksimimomentin kohdalla ainoastaan taivutusjännitystä ja rakenteen murto tapahtuu puhtaasti taivutuslujuuden ylittyessä. Tehtävässä on tarkoitus selvittää, kuinka suuria voimat  $F$  voivat olla, jotta taivutusjännitys ylittää ominaislujuuden ja laskentalujuuden arvon.

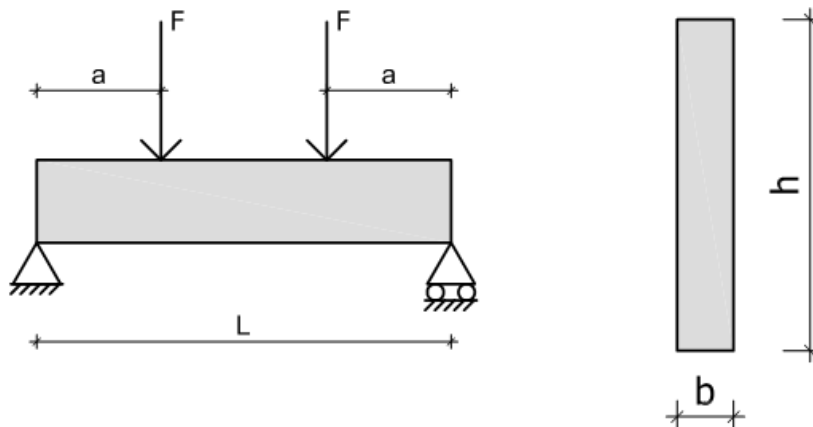
## 6.2 Leikkausrasitus

Palkille, jota kuormitetaan esim. kuvan 12 mukaisesti muodostuu myös leikkausvoimia. Suurin leikkausjännitys muodostuu poikkileikkauksen neutraaliakselille, ja puolestaan poikkileikkauksen reunalla leikkausjännitys häviää. Puurakenteisessa palkissa leikkausvoiman seurauksena poikkileikkauksen neutraaliakselilla ilmenee ns. erisuuntaiset työntövoimat, jotka pyrkivät halkaisemaan palkin syiden suuntaisesti.



Kuva 13. Leikkausjännitysten jakautuminen poikkileikkauksessa.

Laskentatehtävään (liite 2.) valittiin yksiaukkoinen palkki, joka on vapaasti tuettu ja sitä kuormitetaan kahdella pistekuormalla. Leikkaustarkastelussa vaikeaa on se, että ennen kuin leikkauskestävyyden lujuus saavutetaan on taivutuslujuuden raja ylitetty. Sen seurauksena testattavan kappaleen jänneväli ei voi olla kovinkaan suuri, palkki on suhteellisen korkea ja materiaaliksi joutuu valita sellaisen, jolla on suuri taivutuslujuus.



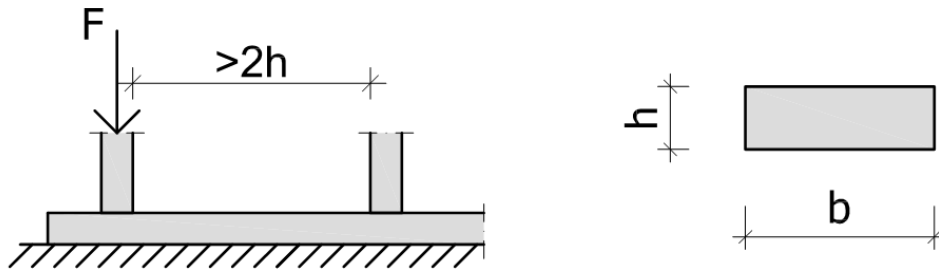
Kuva 14. Leikkauslujuuden laskentatehtävään valittu rakenteen malli.

Pistekuormia ei ole suositeltavaa sijoittaa tukien lähelle, koska silloin voidaan eurokoodin mukaan osa pistekuormasta jättää huomioimatta. Tehtävässä selvitetään, minkä suuruisilla voimien arvoilla leikkausjännitys ylittää ominaislujuuden ja laskentalujuuden arvot.

### 6.3 Puristus

Kun kappaleen poikkileikkausta kuormitetaan syitä vastaan kohtisuoraan, syyt puristuvat kasaan. Mitä suuremmalla voimalla kuormitetaan, sitä enemmän puu puristuu kasaan. Kuormituskokeessa on mahdollista jatkaa koetta ilman selviä murtumia suuriinkin siirtymiin. Tästä syystä on käytännöllistä rajoittaa siirtymät esim. 1 %:iin.

Laskentatehtävään (liite 3.) valittiin hyvin yleinen tapaus, jossa esiintyy syitä vastaan kohtisuoraa puristusta.



Kuva 15. Syytä vastaan kohtisuoran puristuksen laskutehtävään valitun rakenteen malli.

Rakenne jäljittelee puurakenteista seinää, jossa seinän runkotolpat on tuettu alasidepuuhun. Alasidepuuhun kohdistuu syytä vastaan kohtisuora puristus ja runkotolpan kohdalla tapahtuu kasaan puristumista. Tehtävässä lasketaan voiman  $F$  suuruus, jolla saavutetaan syytä vastaan kohtisuoran puristuksen ominaislujuus ja laskentalujuus alasidepuussa.

#### 6.4 Nurjahdus

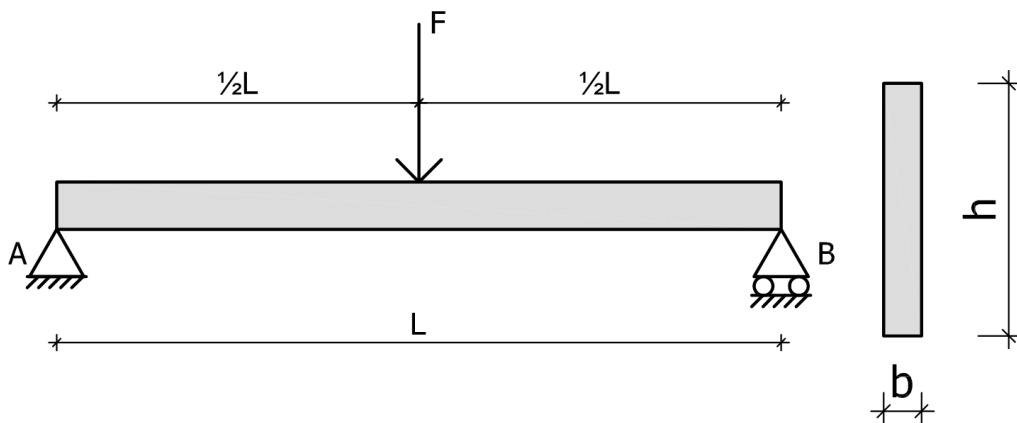
Kun hoikkaa pilaria kuormitetaan aksiaalisesti, se pyrkii taipumaan sivusuunnassa. Jos pilari on suorakaiteen muotoinen, pyrkii nurjahdus tapahtumaan aina heikompaan suuntaan, ellei nurjahdusta ole estetty. Hoikan puristussauvan mitoituksessa eurokoodin mukaan on otettu huomioon sauvan alkukäyryys ja laskennallinen lisätaipuma. Puupilarin kuormankantokykyyn vaikuttaa poikkileikkauksen pinta-ala, sauvan pituus, sauvan tukemistapa ja materiaaliominaisuudet. Lisäksi pilarin lujuuteen vaikuttaa geometrian ja materiaalin viat ja vaihtelu. [1 s. B6/1-2.]

Laskentatehtävään (liite 4.) valittiin suorakaiteen muotoisen poikkileikkaus, jotta tehtävässä tulisi tarkasteltua nurjahdus molempiin suuntiin. Pilari on nivelellisesti tuettu molemmista päistään, joten kappaleen testaus on yksinkertaista. Tehtävässä on tarkoituksena selvittää puristavan voiman  $F$  suuruus, jolla kappale nurjahtaa ominaislujuuksilla ja laskentalujuuksilla.



## 6.5 Kiepahdus

Kun palkin korkeuden suhde leveyteen on suuri, voi palkki kiepahtaa. Kiepahdus tapahtuu palkin puristetun pinnan puolella siinä olevien jännitysten seurauksena. Palkin kiepahtaessa se kääntyy sivuun. Ilmiö on hyvin samanlainen kuin hoikan sauvan nurjahduksessa. Kiepahdus voi tapahtua huomattavasti pienemmällä kuormalla kuin taivutuskestävyyden raja on. [15 s.37.]

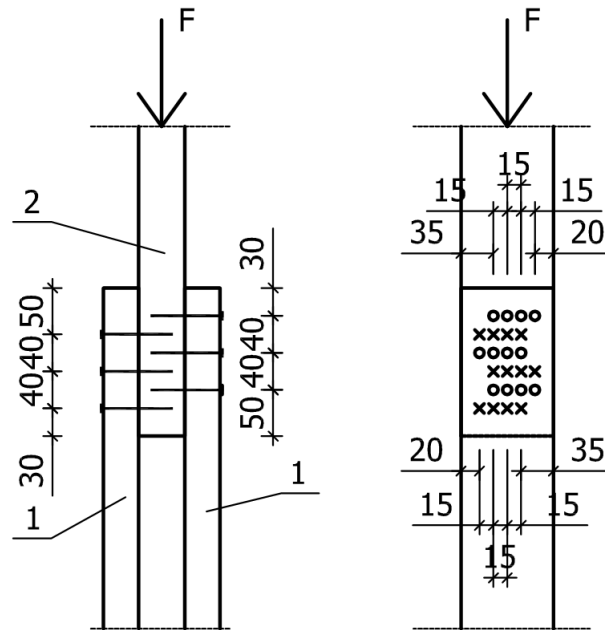


Kuva 16. Kiepahduskestävyyden laskutehtävään valitun rakenteen malli.

Kiepahduskestävyyden laskentatehtävään (liite 5.) valittiin palkki, jonka korkeuden suhde leveyteen on suuri, jotta kiepahdus tulisi hyvin demonstroitua kappaletta kuormitettaessa. Palkki on kiepahdukselta tuettu tukien kohdalta. Tehtävässä on tarkoitus selvittää minkä suuruisella voimalla kiepahdus tapahtuu ominaislujuuksilla ja laskentalujuuksilla.

## 6.6 Naulaliitos

Naulaliitoksena tässä työssä on otettu esimerkiksi leikkauskuormitettu naulaliitos. Naulaliitoksiin on eurokoodeissa annettu hyvin tarkat reunaetäisyydet, joiden täytyttyä laskenta on suhteellisen yksinkertaista.



Kuva 17. Leikkauskuormitetun naulaliitoksen laskentatehtävään valitun rakenteen malli.

Laskentatehtävään (liite 6.) valittiin liitos, joka on toteutettu lankanauloilla. Tehtävässä on tarkoituksena tarkistaa naulan tunkeuman mitat ja tarkistaa täyttyvätkö naulojen pienimmät sallitut reunaetäisyydet. Tämän jälkeen lasketaan naulan kapasiteetin ominaisarvo ja mitoitusarvo, jonka jälkeen saadaan laskettua voiman  $F$  suuruus, jolla liitos saavuttaa leikkausvoimakapasiteettinsa.

## 7 Yhteenveto

Metropolia Ammattikorkeakoulussa puurakenteiden insinööriopetuksessa on tavoitteena perehdyttää opiskelijat käytettäviin puumateriaaleihin ja tuotteisiin. Opintojakson suoritettuaan opiskelija osaa valita oikeat materiaalit ja pystyy mitoittamaan yleisimmät kantavat puurakenteet. Opintojaksolta opiskelija saa valmiudet rakennelaskelmien ja piirustusten laatimiseen viranomaisia ja toteutusta varten.

Ammattikorkeakouluopetuksessa yhtenä tapana opetusta on demonstroida erilaisin kuormituskokein laboratorio-olosuhteissa rakenteissa tapahtuvia ilmiöitä. Laboratorio-kokeiden tarkoituksena on se, että oppilaat saavat kuormitettavista rakenteista tehtävälomakkeet, joissa heidän on itse laskettava ensin rakenteiden ratkaisut. Tämän jälkeen

rakenteet kuormitetaan laboratoriossa ja tuloksia voidaan vertailla laskelmissa saatuihin arvoihin, ja arvioida mahdollisia tuloserojen syitä.

Puu on rakennusmateriaalina vaativa, sillä se ei ole tasalaatuista yhtä ainetta. Puussa on erilaisia virhekohtia, kuten oksia ja halkeamia ja sen lujuus vaihtelee huomattavasti riippuen siitä, kuormitetaanko sitä syiden suuntaisesti tai kohtisuoraan syitä vastaan. On tärkeätä ymmärtää puun materiaaliominaisuudet ja lujuuteen vaikuttavat tekijät. Tämän opinnäytetyön alkuun on laadittu puun materiaaliominaisuuksista kattava teoriaosuus. Siinä käsitellään puuta solurakenteesta yleisimpiin rakentamisessa käytettäviin puutavaroihin asti.

Oppilaitoksen laboratoriossa olevasta kuormituslaitteistosta saatiin tietoa haastatteleamalla laboratorioinsinööriä. Laitteistosta johtuen on olemassa tiettyjä rajoituksia, jotka tulee ottaa huomioon suunnitellessa kuormitettavia koekappaleita. Näitä ovat esimerkiksi koekappaleen koko ja kuormitustyyppit. [16.]

Tässä opinnäytetyössä laadittiin erilaisista puurakenteisista kappaleista valmiita laskentatehtäviä, joita voidaan käyttää opetustarkoituksessa. Jokaisesta tehtävästä laadittiin myös laskelmat. Laskentatehtäväpohjia tehdessä otettiin huomioon muokkauksen mahdollisuus. Tehtäväpohjiin voidaan helposti muutella mittoja ja muita tietoja.

Tässä työssä laadittujen laskentatehtävien avulla opiskelija saa puurakenteiden suunnittelun perustapauksista hyvän käsityksen.

## Lähteet

- 1 Rakennustieto Oy. 1996. Tampere. Puurakenteet STEP 1
- 2 Puuinfo, puun kosteusteknisiä ominaisuuksia, <http://www.puuinfo.fi/puu-materiaalina/kosteusteknisia-ominaisuuksia>. Luettu 16.3.2014.
- 3 Woodproducts, puun lujuusteknisiä ominaisuuksia, <http://www.woodproducts.fi/fi/content/puu-materiaalina-1>. Luettu 16.3.2014.
- 4 Woodproducts, puun lämpötekniisiä ominaisuuksia, <http://www.woodproducts.fi/fi/content/puu-materiaalina-5>. Luettu 16.3.2014.
- 5 Woodproducts, puun palotekniisiä ominaisuuksia, <http://www.woodproducts.fi/fi/content/puu-materiaalina-3>. Luettu 16.3.2014.
- 6 Puuproffa, puun rakenne, [http://www.puuproffa.fi/proffin/index.php?option=com\\_content&task=view&id=14&Itemid=29](http://www.puuproffa.fi/proffin/index.php?option=com_content&task=view&id=14&Itemid=29). Luettu 16.3.2014.
- 7 Woodproducts, puun äänitekniisiä ominaisuuksia, <http://www.woodproducts.fi/fi/content/puu-materiaalina-4>. Luettu 19.04.2014.
- 8 Puuproffa, puujalosteet, [http://www.puuproffa.fi/proffin/index.php?option=com\\_content&task=view&id=82&Itemid=106](http://www.puuproffa.fi/proffin/index.php?option=com_content&task=view&id=82&Itemid=106). Luettu 20.04.2014.
- 9 RT-kortti, puutavara, <http://www.uswood.fi/PDF/RT%20kortti%202010.pdf>. Luettu 20.04.2014.
- 10 Puuproffa, sormijatkoliitoksen suunnittelu, [http://www.puuproffa.fi/PuuProffa\\_2012/fi/puusepan-liitokset/sormijatkoliitoksen-suunnittelu](http://www.puuproffa.fi/PuuProffa_2012/fi/puusepan-liitokset/sormijatkoliitoksen-suunnittelu). Luettu 21.04.2014.
- 11 Wikipedia, sahatavara, <http://fi.wikipedia.org/wiki/Sahatavara>. Luettu 21.04.2014
- 12 Puuinfo, sahatavaran jatkojalosteet, <http://www.puuinfo.fi/puu-materiaalina/sahatavaran-jatkojalosteet>. Luettu 21.04.2014.
- 13 Woodproducts, I-palkit, <http://www.woodproducts.fi/fi/content/i-palkit>. Luettu 22.04.2014.

- 14 Puuproffa, liimaliitokset,  
[http://www.puuproffa.fi/PuuProffa\\_2012/fi/rakennusliitokset/liimaliitokset](http://www.puuproffa.fi/PuuProffa_2012/fi/rakennusliitokset/liimaliitokset). Luettu 27.04.2014.
- 15 Kähkönen Leo. 1997. Kantavat puurakenteet – insinööriopetus. Jyväskylä: Rakennustieto Oy
- 16 Laboratorioinsinöörin haastattelu 17.3.2014

## **Liiteluettelo**

- Liite 1. Palkin taivutuskestävyys
- Liite 2. Palkin leikkausvoimakestävyys
- Liite 3. Syysuuntaan vastaan kohtisuora puristus
- Liite 4. Puristetun sauvan nurjahduskestävyys
- Liite 5. Taivutetun sauvan kiepahduskestävyys
- Liite 6. Leikkauskuormitettu naulaliitos



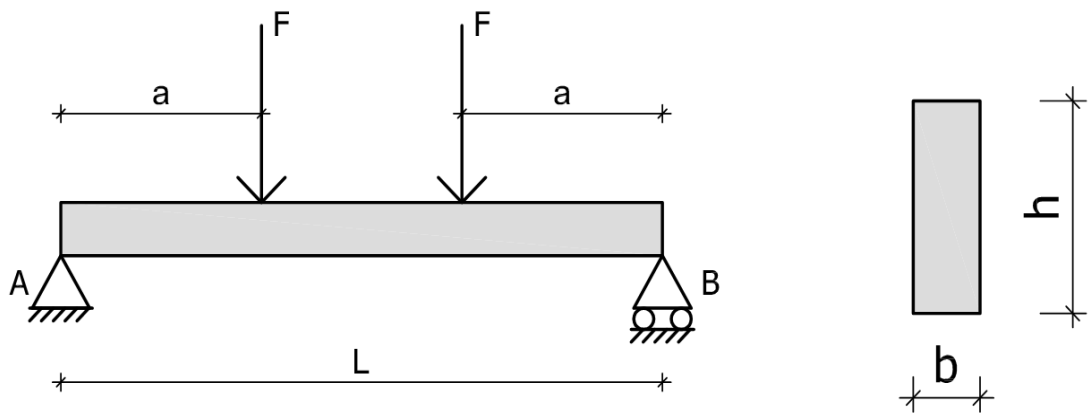
## PALKIN TAIVUTUSKESTÄVYYS

---

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Nimi:

Opiskelijanumero:



Oheisen palkin profiili on suorakaide  $b \times h=50 \text{ mm} \times 150 \text{ mm}$ .

Jänneväli  $L=1800 \text{ mm}$  ja  $a$ -mitta on  $600 \text{ mm}$ . Materiaali on sahatavaraa C24.

Kuormituksen voi otaksua hetkelliseksi ja rakenteen käyttöluokaksi 1.

Laske mitoituslujuuksilla ja ominaislujuuksilla voiman  $F$  suuruus, jolla taivutusmomenttikestävyys saavutetaan.

Taivutusvastus  $W_y =$  \_\_\_\_\_

Ominaisaivutusjännitys  $\sigma_{m,k} =$  \_\_\_\_\_

Mitoitustaivutusjännitys  $\sigma_{m,d} =$  \_\_\_\_\_

Ominaislujuuksilla laskettu voima  $F_k =$  \_\_\_\_\_

Mitoituslujuuksilla laskettu voima  $F_d =$  \_\_\_\_\_



## PALKIN TAIVUTUSJÄNNITYS

$$L := 1800\text{mm} \quad \gamma_m := 1.4 \quad K_{\text{mod}} := 1.1 \quad f_{\text{mk}} := 24 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \quad a := 600\text{mm}$$

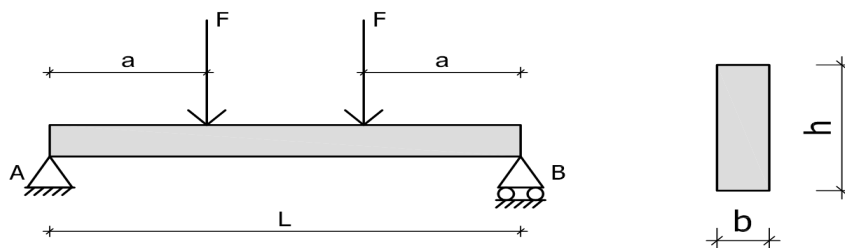
$$b := 50\text{mm} \quad f_{\text{md}} := K_{\text{mod}} \cdot \frac{f_{\text{mk}}}{\gamma_m} \quad f_{\text{md}} = 18.857\text{MPa}$$

$$W_y := \frac{b \cdot h^2}{6} \quad \sigma_{\text{mk}} := f_{\text{mk}} \quad \sigma_{\text{md}} := f_{\text{md}}$$

$$\text{Momentit} \quad M_k := W_y \cdot \sigma_{\text{mk}} \quad M_d := W_y \cdot \sigma_{\text{md}}$$

$$M_k = 4.5\text{kN}\cdot\text{m} \quad M_d = 3.536\text{kN}\cdot\text{m}$$

$$\text{Voimat} \quad F_k := \frac{M_k}{a} = 7.5\text{kN} \quad F_d := \frac{M_d}{a} = 5.893\text{kN}$$



Oheisen palkin profiili on suorakaide  $b \times h = 50 \text{ mm} \times 150 \text{ mm}$ .

Jänneväli  $L = 1800 \text{ mm}$  ja  $a$ -mitta on  $600 \text{ mm}$ . Materiaali on sahatavaraa C24.

Kuormituksen voi otaksua hetkelliseksi ja rakenteen käyttöluokaksi 1.

Laske mitoituslujuuksilla ja ominaislujuuksilla voiman  $F$  suuruus, jolla taivutusmomenttikestävyys saavutetaan.

Taivutusvastus  $W_y =$  \_\_\_\_\_

$$W_y = 1.875 \times 10^5 \cdot \text{mm}^3$$

Ominaisaivutusjännitys  $\sigma_{m,k} =$  \_\_\_\_\_

$$\sigma_{\text{mk}} = 24\text{MPa}$$

Mitoitustaivutusjännitys  $\sigma_{m,d} =$  \_\_\_\_\_

$$\sigma_{\text{md}} = 18.857\text{MPa}$$

Ominaislujuuksilla laskettu voima  $F_k =$  \_\_\_\_\_

$$F_k = 7.5\text{kN}$$

Mitoituslujuuksilla laskettu voima  $F_d =$  \_\_\_\_\_

$$F_d = 5.893\text{kN}$$



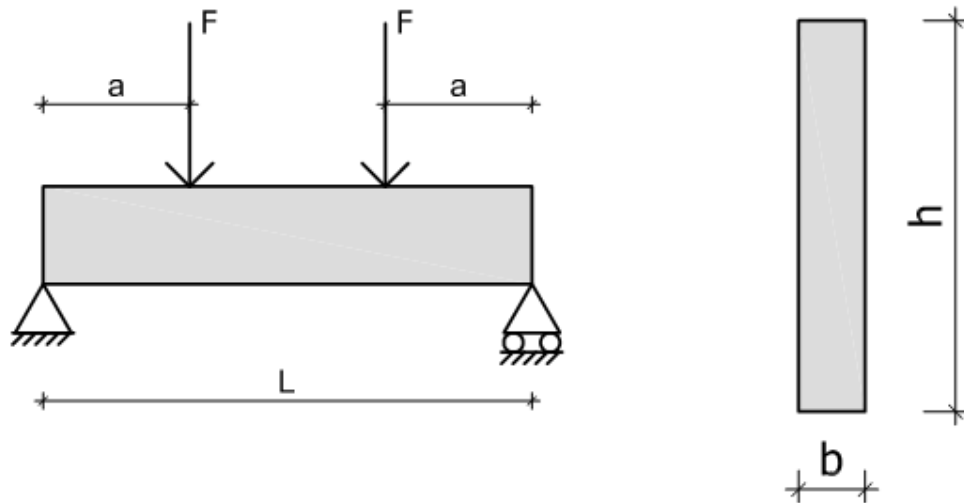
## PALKIN LEIKKAUSVOIMAKESTÄVYYS

---

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Nimi:

Opiskelijanumero:



a) Oheisen palkin profiili on suorakaide  $b \times h = 51 \text{ mm} \times 300 \text{ mm}$ .  
Jänneväli  $L = 1500 \text{ mm}$ . Mitta  $a = 450 \text{ mm}$ . Materiaali on kertopuu kerto-S. Kuorituksen voi otaksua hetkelliseksi ja rakenteen käyttöluokaksi 1.

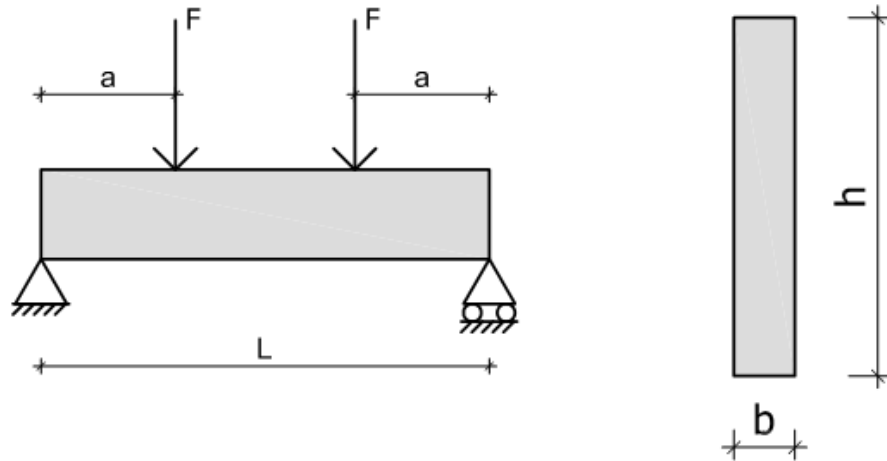
Laske mitoituslujuuksilla ja ominaislujuuksilla voimien  $F$  suuruus, jolla leikkausvoimakkestävyys saavutetaan.

Ominaislujuuksilla laskettu voima  $F_k =$  \_\_\_\_\_

Mitoituslujuuksilla laskettu voima  $F_d =$  \_\_\_\_\_

b) Kestääkö palkki tuelle muodostuvan tukipaineen, kun tukipinnan pituus on  $100 \text{ mm}$ ?

## PALKIN LEIKKAUSVOIMAKESTÄVYYS



a) Oheisen palkin profiili on suorakaide  $b \times h = 51 \text{ mm} \times 300 \text{ mm}$ .

Jänneväli  $L = 1500 \text{ mm}$ . Mitta  $a = 450 \text{ mm}$ . Materiaali on kertopuu kerto-S.

Kuormituksen voi otaksua hetkelliseksi ja rakenteen käyttöluokaksi 1.

Laske mitoituslujuuksilla ja ominaislujuuksilla voimien  $F$  suuruus, jolla leikkausvoimakestävyys saavutetaan.

Ominaislujuuksilla laskettu voima  $F_k = \underline{\hspace{2cm}}$

Mitoituslujuuksilla laskettu voima  $F_d = \underline{\hspace{2cm}}$

b) Kestääkö palkki tuelle muodostuvan tukipaineen, kun tukipinnan pituus on  $100 \text{ mm}$ ?

Kertopuu Kerto-S, kaksi pistekuormaa (Taivutuskestävyys tarkastelu)

$$L := 1500\text{mm} \quad \gamma_m := 1.2 \quad K_{\text{mod}} := 1.1 \quad f_{\text{mk}} := 44 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \quad a := 450\text{mm}$$

$$b := 51\text{mm} \quad f_{\text{md}} := K_{\text{mod}} \cdot \frac{f_{\text{mk}}}{\gamma_m} \quad f_{\text{md}} = 40.333\text{MPa}$$

$$h := 300\text{mm} \quad W_y := \frac{b \cdot h^2}{6} \quad \sigma_{\text{mk}} := f_{\text{mk}} \quad \sigma_{\text{md}} := f_{\text{md}}$$

Momentit  $M_k := W_y \cdot \sigma_{\text{mk}} \quad M_d := W_y \cdot \sigma_{\text{md}} \quad W_y = 7.65 \times 10^5 \cdot \text{mm}^3$

$$M_k = 33.66\text{kN}\cdot\text{m} \quad M_d = 30.855\text{kN}\cdot\text{m} \quad \sigma_{\text{mk}} = 44\text{MPa}$$

Voima  $F_k := \frac{M_k}{a} \quad F_d := \frac{M_d}{a} \quad \sigma_{\text{md}} = 40.333\text{MPa}$

Raja-arvot leikkausvoiman tarkastelulle. Jos vaadittu voima  $F$  ylittää alla olevat, tapahtuu palkissa ensin taivutusmurto.

$$F_k = 74.8\text{kN} \quad F_d = 68.567\text{kN}$$

Leikkauslujuus

Palkin leveys  $b_{\text{ef}} = k_{\text{CR}} \cdot b$

$k_{\text{CR}} = 0.67$  sahatavaraalle ja liimapuulle yleensä

$k_{\text{CR}} = 1.0$  kosteuden siirtymistä estävällä pintakäsittelyllä käsitellylle puulle

$k_{\text{CR}} = 1.0$  standardin EN 13986 ja EN 14374 mukaisille puutuotteille (puulevyt ja LVL)

$$K_{\text{CR}} := 1.0$$

$$b_{\text{ef}} := K_{\text{CR}} \cdot b = 0.051\text{m}$$

Ominais

Laskenta

$$F_{\text{vk}} := 4.1\text{MPa}$$

$$F_{\text{vd}} := K_{\text{mod}} \cdot \frac{F_{\text{vk}}}{\gamma_m} = 3.758\text{MPa}$$

$$\tau_k := F_{\text{vk}}$$

$$\tau_d := F_{\text{vd}}$$

Leikkausvoimat

$$V_k := \frac{\tau_k \cdot 2 \cdot b_{\text{ef}} \cdot h}{3}$$

$$V_d := \frac{\tau_d \cdot 2 \cdot b_{\text{ef}} \cdot h}{3}$$

$$V_k = 41.82\text{kN}$$

$$V_d = 38.335\text{kN}$$

$$F_k := V_k = 41.82\text{kN}$$

$$F_d := V_d = 38.335\text{kN}$$

Tarkistetaan vielä kiskopaine

$$\begin{aligned} \text{Tukileveys } l &:= 100\text{mm} \\ l_1 &:= L - l = 1.4\text{m} \quad \text{pienin näistä tai max 30mm} \\ a &:= 0 \end{aligned}$$

Tehollinen kosketuspinta

$$L_{c90ef} := l + a + 30\text{mm} = 130\text{mm}$$

$$\text{Kerto-S kerroin } K_{c90} := 1.0$$

$$\text{Tukipaine kerroin } K_{c\_} := \frac{L_{c90ef} \cdot K_{c90}}{l} = 1.3$$

$$F_{c90k} := 6\text{MPa} \qquad F_{c90d} := K_{mod} \cdot \frac{F_{c90k}}{\gamma_m} = 5.5\text{MPa}$$

$$K_{c\_} \cdot F_{c90k} = 7.8\text{MPa} \qquad K_{c\_} \cdot F_{c90d} = 7.15\text{MPa}$$

Aiempien arvojen pitää olla suurempia kuin kosketuspinnalla vaikuttava puristusjännitys

Jännityksen laskenta

Ominais

$$\sigma_{c90k} := \frac{V_k}{b \cdot L_{c90ef}} = 6.308\text{MPa} \quad < \quad K_{c\_} \cdot F_{c90k} = 7.8\text{MPa}$$

Laskenta

$$\sigma_{c90d} := \frac{V_d}{b \cdot L_{c90ef}} = 5.782\text{MPa} \quad < \quad K_{c\_} \cdot F_{c90d} = 7.15\text{MPa}$$



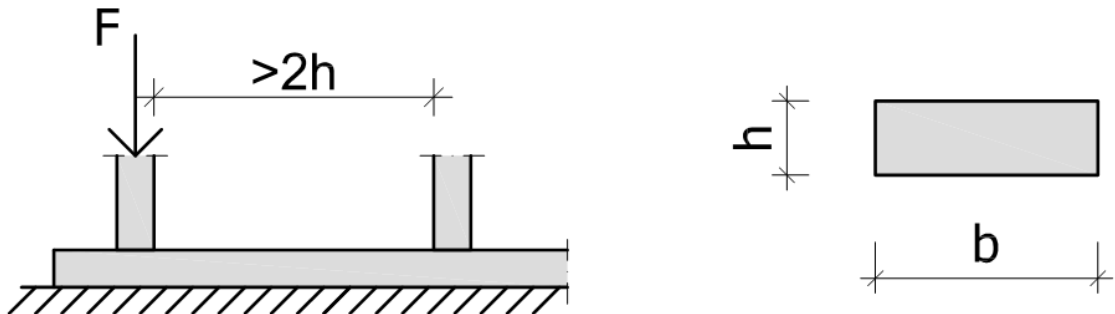
## SYYSUUNTAA VASTAAN KOHTISUORA PURISTUS

---

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Nimi:

Opiskelijanumero:



Oheisessa kuvassa on alasidepuu  $b \times h=100 \text{ mm} \times 50 \text{ mm}$  ja siihen tukeutuu runkotolpat kooltaan  $50 \text{ mm} \times 100 \text{ mm}$ . Materiaali on sahatavaraa C24. Kuormituksen voi otaksua hetkelliseksi ja rakenteen käyttöluokaksi 1.

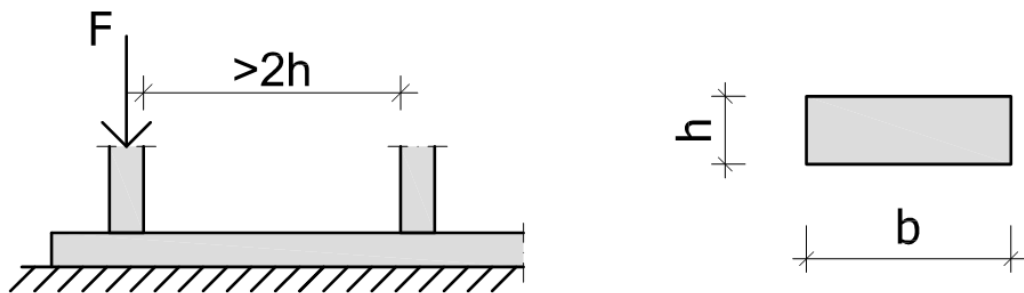
Laske mitoituslujuuksilla ja ominaislujuuksilla voiman  $F$  suuruus, jolla saavutetaan alasidepuun syysuuntaa vastaan kohtisuoran puristusjännityksen maksimiarvo.

Ominaislujuuksilla laskettu voima  $F_k =$  \_\_\_\_\_

Mitoituslujuuksilla laskettu voima  $F_d =$  \_\_\_\_\_



TUKIPAINE (KISKOPAINE)



Oheisessa kuvassa on alasidepuu  $b \times h = 100 \text{ mm} \times 50 \text{ mm}$  ja siihen tukeutuu runkotolpat kooltaan  $50 \text{ mm} \times 100 \text{ mm}$ . Materiaali on sahatavaraa C24. Kuormituksen voi otaksua hetkelliseksi ja rakenteen käyttöluokaksi 1.

Laske mitoituslujuuksilla ja ominaislujuuksilla voiman  $F$  suuruus, jolla saavutetaan alasidepuun syysuuntaa vastaan kohtisuoran puristusjännityksen maksimiarvo.

Ominaislujuuksilla laskettu voima  $F_k =$  \_\_\_\_\_

Mitoituslujuuksilla laskettu voima  $F_d =$  \_\_\_\_\_

Tukipainekertoimen laskeminen

$$L := 50 \text{ mm} \quad k_{c90} := 1.25$$

$k_{c90} = 1,25$  havupuiselle sahatavaralle  
 $k_{c90} = 1,5$  havupuisella liimapuulla  
 $k_{c90} = 1,3$  kerto-Q syrjällään  
 $k_{c90} = 1,4$  kerto LVL:n lapepinnalla

Tehollinen kosketuspinnan pituus  
 RIL 205-1-2009 s. 67 kuva 6.2S

$$L_{c90ef} := L + 2 \cdot 30 \text{ mm} = 110 \text{ mm}$$

$$K_{c-} := \frac{L_{c90ef}}{L} \cdot k_{c90} = 2.75$$

### Puristuslujuudet syysuuntaan vastaan kohtisuoraan

Ominaislujuus

$$F_{c90k} := 2.5 \text{ MPa}$$

Mitoituslujuus

$$K_{\text{mod}} := 1.1$$

$$\gamma_m := 1.4$$

$$F_{c90d} := K_{\text{mod}} \cdot \frac{F_{c90k}}{\gamma_m} = 1.964 \text{ MPa}$$

### Puristusjännityksen laskenta

Ominaislujuudelle  $\sigma_{c90k} := K_{c\_} \cdot F_{c90k} = 6.875 \text{ MPa}$

Mitoituslujuudella  $\sigma_{c90d} := K_{c\_} \cdot F_{c90d} = 5.402 \text{ MPa}$

Voiman F laskenta kun  $b := 100 \text{ mm}$   $h := 50 \text{ mm}$  (runkotolpan mitat)

Ominaislujuuksilla  $F_k := \sigma_{c90k} \cdot b \cdot h = 34.375 \text{ kN}$

Mitoituslujuuksilla  $F_d := \sigma_{c90d} \cdot b \cdot h = 27.009 \text{ kN}$



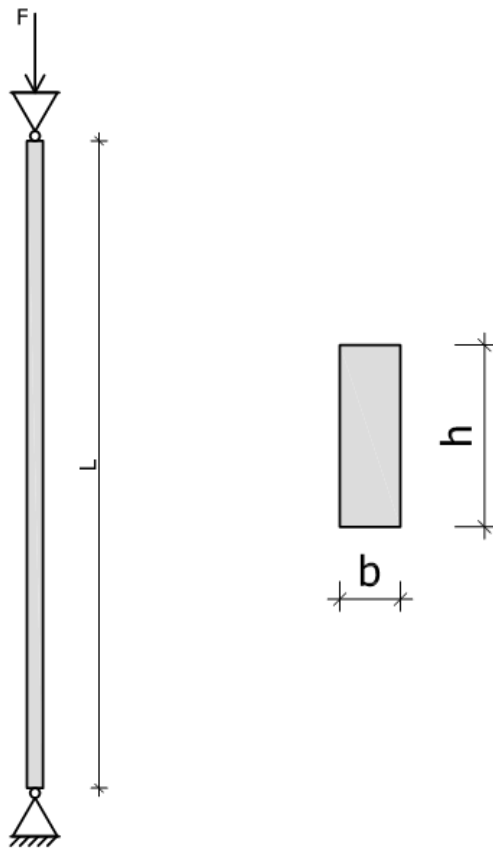
## PURISTETUN SAUVAN NURJAHDUSKESTÄVYYS

---

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Nimi:

Opiskelijanumero:



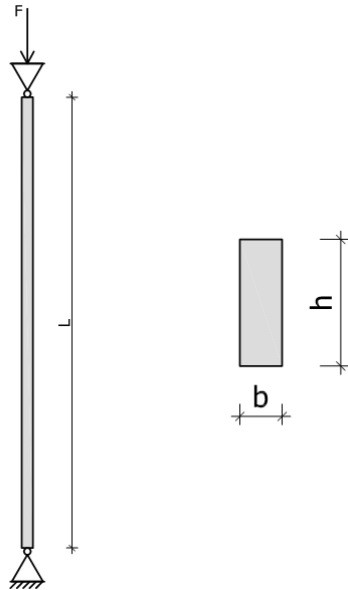
Oheisen kuvan pilari on mitoiltaan  $b \times h = 50 \text{ mm} \times 100$  ja  $L = 2000 \text{ mm}$ . Pilari on molemmista päistään nivelellisesti tuettu ja nurjahdus voi tapahtua kumpaankin suuntaan. Materiaali on sahatavaraa C24. Kuormituksen voi otaksua hetkelliseksi ja rakenteen käyttöluokaksi 1.

Laske mitoituslujuuksilla ja ominaislujuuksilla voiman  $F$  suuruus, jolla saavutetaan pilarin nurjahduskestävyys.

Ominaislujuuksilla laskettu voima  $F_k =$  \_\_\_\_\_

Mitoituslujuuksilla laskettu voima  $F_d =$  \_\_\_\_\_

PURISTETUN SAUVAN NURJAHDUS



Oheisen kuvan pilari on mitoiltaan  $b \times h = 50 \text{ mm} \times 100$  ja  $L = 2000 \text{ mm}$ . Pilari on molemmista päistään nivelellisesti tuettu ja nurjahdus voi tapahtua kumpaankin suuntaan. Materiaali on sahatavaraa C24. Kuormituksen voi otaksua hetkelliseksi ja rakenteen käyttöluokaksi 1.

Laske mitoituslujuuksilla ja ominaislujuuksilla voiman  $F$  suuruus, jolla saavutetaan pilarin nurjahduskestävyys.

Ominaislujuuksilla laskettu voima  $F_k =$  \_\_\_\_\_

Mitoituslujuuksilla laskettu voima  $F_d =$  \_\_\_\_\_

$L := 2000 \text{ mm}$                        $b := 50 \text{ mm}$                        $h := 100 \text{ mm}$

C24     $F_{c0k} := 21 \text{ MPa}$

Kimmoduuli     $E_{005} := 7400 \text{ MPa}$

Nurjahduspituus     $L_c := 1.0L = 2 \text{ m}$

Molempiin suuntiin sama eli     $L_{cy} := L_c$                        $L_{cz} := L_c$

Sauvan hoikkuusluku:

$$\text{y-akselin suhteen} \quad i_y := \frac{h}{\sqrt{12}} = 28.868 \text{ mm}$$

$$\lambda_y := \frac{L_{cy}}{i_y} = 69.282$$

$$\text{z-akselin suhteen} \quad i_z := \frac{b}{\sqrt{12}} = 14.434 \text{ mm}$$

$$\lambda_z := \frac{L_{cy}}{i_z} = 138.564$$

Nurjahduskertoimet

$$\text{y-akselin suhteen:} \quad \lambda_{rely} := \frac{\lambda_y}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{F_{c0k}}{E_{005}}} = 1.175$$

$$\text{z-akselin suhteen:} \quad \lambda_{relz} := \frac{\lambda_z}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{F_{c0k}}{E_{005}}} = 2.35$$

Kertoimen  $K_c$  laskenta

$$\beta_c := 0.2 \quad \begin{array}{l} \beta_c = 0.2 \text{ sahatavaralle} \\ \beta_c = 0.1 \text{ liimapuulle ja LVL:lle} \end{array}$$

$$K_y := 0.5 \cdot \left[ 1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rely} - 0.3) + \lambda_{rely}^2 \right] = 1.278$$

$$K_z := 0.5 \cdot \left[ 1 + \beta_c \cdot (\lambda_{relz} - 0.3) + \lambda_{relz}^2 \right] = 3.465$$

$$K_{cy} := \frac{1}{K_y + \sqrt{K_y^2 - \lambda_{rely}^2}} = 0.562 \quad \text{pitää olla } < 1 \text{ tai } 1$$

$$K_{cz} := \frac{1}{K_z + \sqrt{K_z^2 - \lambda_{relz}^2}} = 0.166 \quad \text{pitää olla } < 1 \text{ tai } 1$$

Voidaan sallitut jännitykset laskea

Ominaislujuuksilla

$$\sigma_{c0ky} := K_{cy} \cdot F_{c0k} = 11.801 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{c0kz} := K_{cz} \cdot F_{c0k} = 3.493 \text{ MPa}$$

Mitoituslujuuksilla

$$K_{mod} := 1.1 \quad \gamma_m := 1.4$$

$$F_{c0d} := K_{mod} \cdot \frac{F_{c0k}}{\gamma_m} = 16.5 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{c0dy} := K_{cy} \cdot F_{c0d} = 9.272 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{c0dz} := K_{cz} \cdot F_{c0d} = 2.744 \text{ MPa}$$

Voiman F laskenta

Ominaislujuuksilla

$$F_{ky} := \sigma_{c0ky} \cdot b \cdot h = 59.004 \text{ kN}$$

$$F_{kz} := \sigma_{c0kz} \cdot b \cdot h = 17.464 \text{ kN}$$

Mitoituslujuuksilla

$$F_{dy} := \sigma_{c0dy} \cdot b \cdot h = 46.36 \text{ kN}$$

$$F_{dz} := \sigma_{c0dz} \cdot b \cdot h = 13.722 \text{ kN}$$



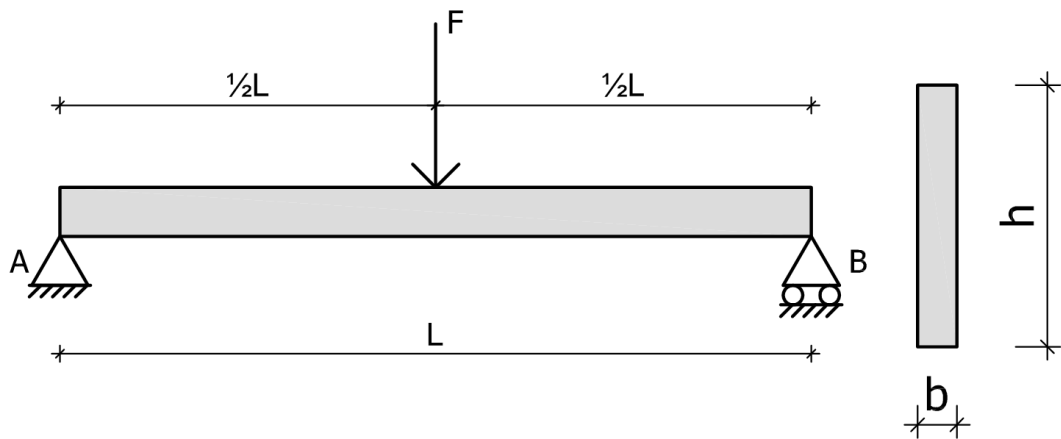
## TAIVUTETUN SAUVAN KIEPEHADUSKESTÄVYYS

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Nimi:

Opiskelijanumero:





Oheisen palkin profiili on suorakaide  $b \times h=20 \text{ mm} \times 140 \text{ mm}$ .

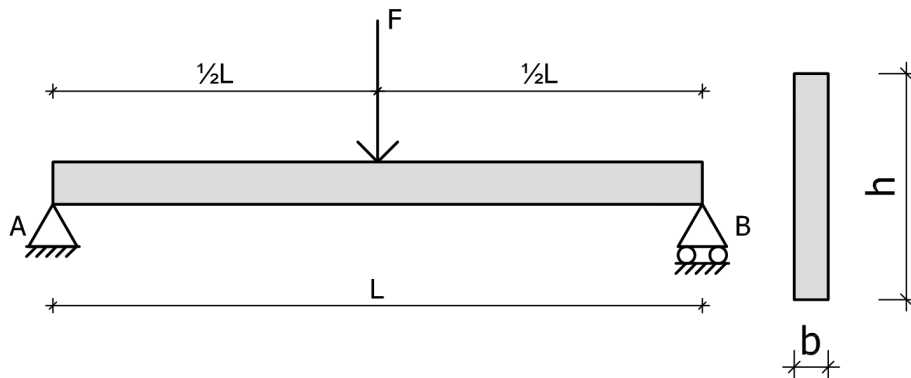
Jänneväli  $L=3300 \text{ mm}$ . Materiaali on sahatavara C24. Kiepahtus on estetty tukien kohdalla. Kuormituksen voi otaksua hetkelliseksi ja rakenteen käyttöluokaksi 1.

Laske mitoituslujuuksilla ja ominaislujuuksilla voiman  $F$  suuruus, jolla palkki kiepahtaa.

Ominaislujuuksilla laskettu voima  $F_k=$  \_\_\_\_\_

Mitoituslujuuksilla laskettu voima  $F_d=$  \_\_\_\_\_

KIEPAHDUS TARKASTELU



Oheisen palkin profiili on suorakaide  $b \times h = 20 \text{ mm} \times 140 \text{ mm}$ .

Jänneväli  $L = 3300 \text{ mm}$ . Materiaali on sahatavara C24. Kiepahtus on estetty tukien kohdalla. Kuormituksen voi otaksua hetkelliseksi ja rakenteen käyttöluokaksi 1.

Laske mitoituslujuuksilla ja ominaislujuuksilla voiman  $F$  suuruus, jolla palkki kiepahtaa.

Ominaislujuuksilla laskettu voima  $F_k = \underline{\hspace{2cm}}$

Mitoituslujuuksilla laskettu voima  $F_d = \underline{\hspace{2cm}}$

$$b := 20\text{mm} \quad h := 140\text{mm} \quad L := 3300\text{mm} \quad F_{mk} := 24\text{MPa} \quad E_{005} := 7400\text{MPa}$$

$$K_{\text{mod}} := 1.1 \quad \gamma_m := 1.4 \quad F_{md} := K_{\text{mod}} \cdot \frac{F_{mk}}{\gamma_m} = 18.857\text{MPa}$$

$$W_y := \frac{b \cdot h^2}{6} = 6.533 \times 10^4 \cdot \text{mm}^3$$

Tehollisen pituuden suhde jänneväliin

$$L_{\text{ef}} := 0.8L = 2.64\text{m}$$

$$\frac{L_{\text{ef}}}{b} = 132$$

$$\frac{h}{b} = 7 \quad 7b$$

Taulukosta saadaan  $K_{\text{crit}}$  (taulukko 6.10S. RIL 205-1-2009)

$$K_{\text{crit}} := 0.23$$

Nyt voidaan laskea vaadittu voima F

Ominaislujuuksilla

$$F_k := \frac{K_{\text{crit}} \cdot F_{mk} \cdot W_y \cdot 4}{L} = 0.437 \text{ kN}$$

Mitoituslujuuksilla

$$F_d := \frac{K_{\text{crit}} \cdot F_{md} \cdot W_y \cdot 4}{L} = 0.343 \text{ kN}$$



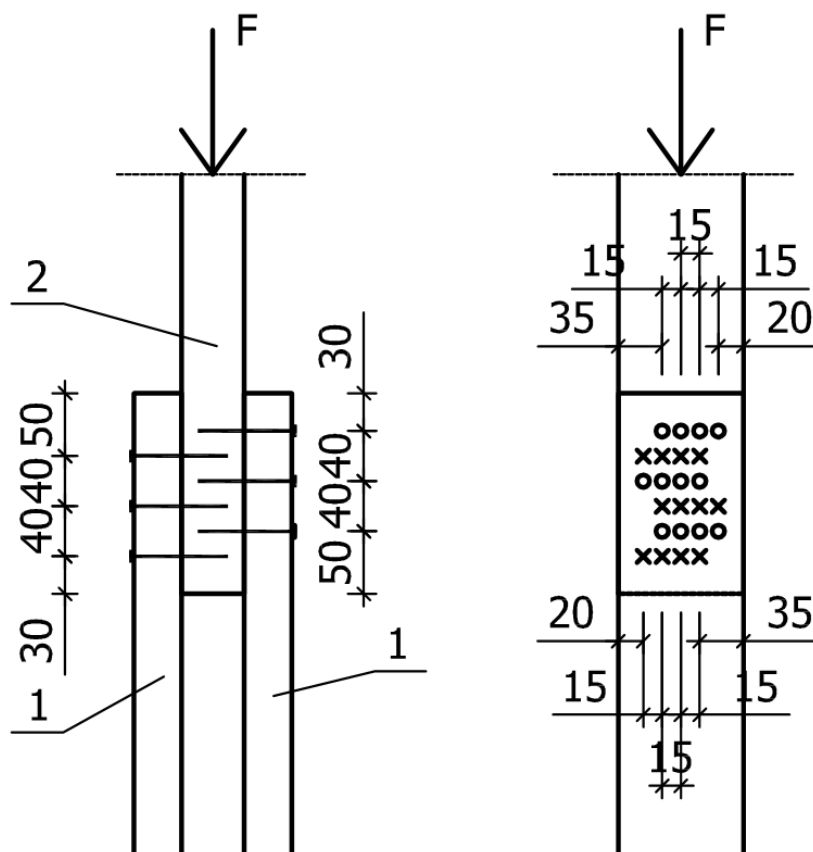
## LEIKKAUSKUORMITETTU NAULALIITOS

---

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Nimi:

Opiskelijanumero:



Oheisessa kuvassa numero 1 sahatavara on  $b \times h = 38 \text{ mm} \times 100 \text{ mm}$  ja numero 2 sahatavara on  $b \times h = 50 \text{ mm} \times 100 \text{ mm}$ .

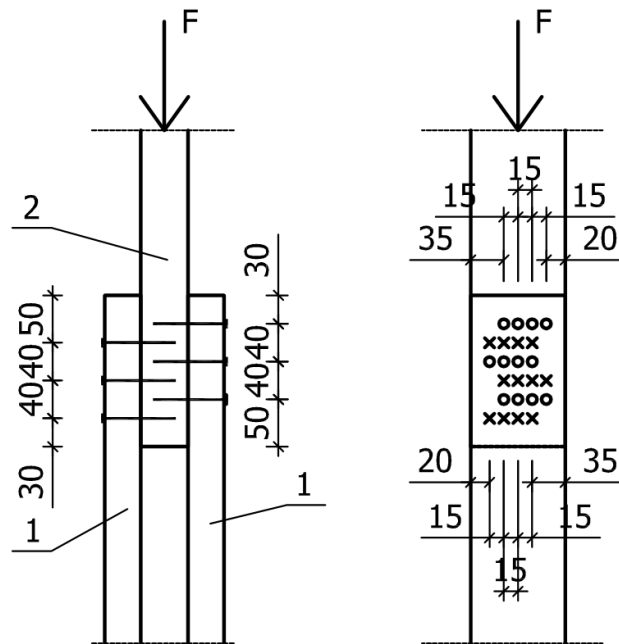
Nauloina käytetään neliskulmaisia lankanauvoja  $d \times L = 2,8 \text{ mm} \times 75 \text{ mm}$ . Materiaalit ovat sahatavaraa C24. Kuormituksen voi otaksua hetkelliseksi ja rakenteen käyttöluokaksi 1.

Laske ominaisarvoilla ja mitoitusarvoilla voiman  $F$  suuruus, jolla liitoksen leikkausvoimakestävyys saavutetaan.

Ominaislujuuksilla laskettu voima  $F_k =$  \_\_\_\_\_

Mitoituslujuuksilla laskettu voima  $F_d =$  \_\_\_\_\_

LEIKKAUSKUORMITETTU NAULALIITOS



Oheisessa kuvassa numero 1 sahatavara on  $b \times h = 38 \text{ mm} \times 100 \text{ mm}$  ja numero 2 sahatavara on  $b \times h = 50 \text{ mm} \times 100 \text{ mm}$ .

Nauloina käytetään neliskulmaisia lankanauvoja  $d \times L = 2,8 \text{ mm} \times 75 \text{ mm}$ .

Materiaalit ovat sahatavaraa C24. Kuormituksen voi otaksua hetkelliseksi ja rakenteen käyttöluokaksi 1.

Laske ominaisarvoilla ja mitoitusarvoilla voiman  $F$  suuruus, jolla liitoksen leikkausvoimakestävyys saavutetaan.

Ominaislujuuksilla laskettu voima  $F_k =$  \_\_\_\_\_

Mitoituslujuuksilla laskettu voima  $F_d =$  \_\_\_\_\_

Leikkeiden lukumäärä  $m := 1$

$d := 2.8 \text{ mm}$      $T_1 := 38 \text{ mm}$      $T := 50 \text{ mm}$      $L := 75 \text{ mm}$      $T_2 := L - T_1 = 37 \text{ mm}$

Tarkistetaan naulojen tunkeumat

$$T_1 = 38 \text{ mm} \quad \text{pitää olla vähintään} \quad 8 \cdot d = 22.4 \text{ mm}$$

$$T_2 = 37 \text{ mm} \quad \text{pitää olla vähintään} \quad 8 \cdot d = 22.4 \text{ mm} \quad , \text{ jos on} \quad 12 \cdot d = 33.6 \text{ mm} \quad \text{voidaan käyttää } K_t \text{ kerrointa}$$

$$T - T_2 = 13 \text{ mm} \quad \text{pitää olla vähintään} \quad 4 \cdot d = 11.2 \text{ mm} \quad , \text{ niin naulat voivat mennä kohdikkain keskimmaisessä puussa.}$$

Alimman ja ylimmän naularivin etäisyys puun päästä

$$\text{oltava vähintään} \quad 10 \cdot d = 28 \text{ mm}$$

$$\text{Naulojen väli rivissä oltava vähintään} \quad 5 \cdot d = 14 \text{ mm}$$

$$\text{Naularivien väli pystysuunnassa oltava vähintään} \quad 10 \cdot d = 28 \text{ mm}$$

$$\text{Naulan reunaetäisyys vaakasuunnassa oltava} \quad 5 \cdot d = 14 \text{ mm}$$

$K_t$  kerroin

Kerroin on seuraavista suurempi arvo

$$K_{t1} := 1 + 0.3 \cdot \frac{T_1 - 8 \cdot d}{8 \cdot d} = 1.209$$

$$K_{t2} := 1 + 0.3 \cdot \frac{T_2 - 12 \cdot d}{6 \cdot d} = 1.061$$

$$\text{eli} \quad K_t := K_{t1} = 1.209$$

Puutavaran tiheysvaikutuskerroin

$$\rho_k := 350$$

$$K_p := \sqrt{\frac{\rho_k}{350}} = 1$$

Yhden naulan leikkauskestävyys ominais- ja mitoitusarvoilla

$$d := 2.8 \quad K_{\text{mod}} := 1.1$$

$$\gamma_m := 1.4$$

$$F_{vk} := m \cdot K_p \cdot K_t \cdot 120 \cdot d^{1.7} = 835.123$$

$$F_{vd} := m \cdot \frac{K_{\text{mod}}}{\gamma_m} \cdot K_p \cdot K_t \cdot 120 \cdot d^{1.7} = 656.168$$

Muunto newtoneiksi       $N := 1N$

$$F_{vk} := F_{vk} \cdot N = 835.123N$$

$$F_{vd} := F_{vd} \cdot N = 656.168N$$

Naulat ovat yksileikkisiä joten kerrotaan yhden naulan leikkauskestävyys naulojen määrällä, niin saadaan liitoksen kestävyys:

$$F_{vk} := 24 \cdot F_{vk} = 20.043kN$$

$$F_{vd} := 24 \cdot F_{vd} = 15.748kN$$