



Antti Pesonen

# Puurakenteisiin työmaalla toteutettavat reiät ja lovet

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Rakennetekniikka

Opinnäytetyö

5.9.2023

# Tiivistelmä

Tekijä: Antti Pesonen  
Otsikko: Puurakenteisiin työmaalla toteutettavat reiät ja lovet  
Sivumäärä: 59 sivua + 1 liite  
Aika: 5.9.2023

Tutkinto: Insinööri (AMK)  
Tutkinto-ohjelma: Tekniikan ammattikorkeakoulututkinto  
Ammatillinen pääaine: Rakennetekniikka  
Ohjaajat: Lehtori Anssi Knuutila  
Suunnittelupäällikkö Lauri Lepikonmäki

---

Opinnäytetyön aiheena oli olemassaolevaan puurakenteeseen työmaalla toteutettavat reiät ja lovet ja työn tarkoituksena oli kerätä laaja-alaisesti aiheeseen liittyvää tietoa ja ohjeistusta sekä jäsenellä se johdonmukaiseksi kokonaisuudeksi.

Opinnäytetyö toteutettiin kirjallisuus- ja haastattelututkimuksena, jossa paino on kirjallisuudella. Asiantuntijahaastatteluilla työhön haluttiin saada mukaan käytännön työelämän näkökulmaa, käytäntöjä ja hiljaista tietoa.

Opinnäytetyön alussa tarkasteltiin korjausrakentamisen näkymiä ja korjaushanketta sekä lainsäätäjän kantaville rakenteille asettamia vaatimuksia. Tämän jälkeen perehdyttiin kantavien rakenteiden suunnitteluun, korjaussuunnitteluun sekä muutosten tekemiseen kantaviin rakenteisiin.

Seuraavaksi työssä paneuduttiin puuhun materiaalina ja puusta valmistettuihin rakennepuumateriaaleihin. Samassa yhteydessä tehtiin katsaus puurakenteille tapahtuneisiin vaurioihin ja puun murtumamekaniikkaan, sillä reiän tai loven toteutus kantavaan rakenteeseen on vaativa suunnittelutehtävä, jossa tulee ymmärtää puun erityiset rakennetekniset ominaisuudet.

Opinnäytetyön loppuosa keskittyi puurakenteeseen tehtävän reiän ja loven suunnitteluun, toteutukseen ja vahvistamiseen. Osiossa perehdyttiin reikien ja lovien mekaniikkaan sekä työmaatoteutukseen ja koottiin yhteen tällä hetkellä käytössä olevat suunnittelu-, mitoitus ja vahvistusohjeet.

Keskeinen kantaviin puurakenteisiin tehtäviin reikiin ja loviin liittyvä ilmiö on puun syysuuntaa vastaan kohtisuora veto, josta aiheutuva murtuma on hauras ja syntyy äkillisesti ilman ulkoisesti havaittavia merkkejä. Tästä ja puun heikosta syysuuntaa vastaan kohtisuorasta vetolujuudesta johtuen puurakenteeseen tehtävän reiän tai loven suunnittelu ja mitoitus vaatii rakennesuunnittelijalta erityistä huolellisuutta ja puun rakenneteknisten ominaisuuksien tuntemusta.

Avainsanat: puurakenteet, korjausrakentaminen, reikä, lovi

---

Tämän opinnäytetyön alkuperä on tarkastettu Turnitin Originality Check -ohjelmalla.

## Abstract

Author: Antti Pesonen  
Title: Holes and Notches Implemented to Wooden Structures in the Construction Site  
Number of Pages: 59 + 1 appendix  
Date: 5 September 2023

Degree: Bachelor of Engineering  
Degree Programme: Civil Engineering  
Professional Major: Structural Engineering  
Supervisors: Anssi Knuutila, Senior Lecturer  
Lauri Lepikonmäki, Design Manager

---

The subject of the Engineering Thesis is holes and notches implemented in the construction site to existing wooden structures and the purpose was to collect wide-ranging information and instructions concerning the subject and to organize it into a coherent entity.

The thesis was carried out as a literature and interview study with the emphasis on literature. By expert interviews an additional viewpoint of practical work, practices and implicit knowledge was aimed to bring in to the thesis.

The prospects of repair construction, a repair project and legislators' demands to the load-bearing structures were studied in the beginning of the thesis following with a look in to the design of the load-bearing structures, repair designing and alteration of supporting structures.

Next, the wood as a material and wooden construction materials were studied with a review of failures happened to wooden structures and wood's fracture mechanics. Since implementation of a hole or a notch in to a load-bearing wooden structure is a demanding design task it is important to understand specific structural characteristics of wood.

The final part of the thesis focused on the design of a hole or a notch implemented in to a wooden structure, on-site implementation and reinforcement. The mechanics of holes and notches were studied and present design and reinforcement instructions were collected together.

The focal phenomenon concerning holes and notches implemented in to load-bearing wooden structures is tension perpendicular to the grain direction, from which the resulting failure is brittle and occurs suddenly without observable signs. Combined with wood's low tension strength perpendicular to grain, designing a hole or a notch to a load-bearing wooden structure demands particular carefulness and knowledge of wood's structural characteristics from the structural engineer.

Keywords: wooden structures, repair construction, hole, notch

# Sisällys

1	Johdanto	1
1.1	Työn tausta ja tavoite	1
1.2	Opinnäytetyön tilaaja	2
1.3	Tutkimusmenetelmät	2
1.4	Työn rajaus	3
2	Toimintaympäristö	3
2.1	Korjausrakentamisesta	3
2.2	Lainsäätäjän vaatimukset	6
2.3	Kantaviin rakenteisiin tehtävät muutokset	11
3	Puu	15
3.1	Puun rakenneteknisiä ominaisuuksia	15
3.2	Rakennepuumateriaaleja	18
3.3	Puurakenteille tapahtuneita vaurioita	25
3.4	Puun murtumismekaniikkaa	27
4	Reiät ja lovet puurakenteessa ja niiden toteuttaminen	31
4.1	Reikien ja lovien mekaniikkaa	31
4.2	Reiän tai loven toteutus työmaalla	33
4.3	Reikien ja lovien suunnittelu ja mitoitus	35
4.4	Vahvistaminen	41
5	Reiän vanerivahvistuksen laskennallinen tarkastelu	45
6	Rakennesuunnittelijan ohje	49
7	Pohdinta ja johtopäätökset	51
8	Yhteenveto	52
	Lähteet	54
	Haastattelut	59

## Liitteet

Liite 1: Puupalkin suorakulmaisen reiän ja vanerivahvistuksen mitoitus

# 1 Johdanto

Opinnäytetyön aiheena on puurakenteisiin työmaalla toteutettavat reiät ja lovet. Aihetta tarkastellaan rakennesuunnittelijan näkökulmasta huomioiden, että kyseessä on muutosten teko jo olemassa olevaan kantavaan puurakenteeseen.

Tilanteita, joissa olemassaoleviin rakenteisiin joudutaan tekemään muutoksia voi syntyä sekä uudis- että korjausrakentamisessa. Tyypillisesti reikiä joudutaan tekemään erilaisia talotekniikan läpivientejä varten. Uudisrakentamisessa tarve voi johtua suunnitelmissa olleista puutteista tai ristiriitaisuuksista, kun taas korjausrakentamisessa nykyaikaisen talotekniikan sovittaminen vanhaan rakennukseen edellyttää usein läpivientien tekoa.

Sekä uudis- että korjausrakentamisessa rakenteisiin jälkikäteen tehtäviin reikiin ja loviin liittyy usein kiire. Tarve reiän tai loven teolle on saattanut tulla yllätyksenä ja töiden ollessa käynnissä on suuri tarve saada reikä tehdyksi ja työt jatkumaan. Rakennesuunnittelijalta tämä edellyttää reiän tai loven nopeaa suunnittelua ja mitoittamista.

## 1.1 Työn tausta ja tavoite

Opinnäytetyön tavoitteena on kerätä laaja-alaisesti olemassaoleviin puurakenteisiin tehtäviin reikiin ja loviin liittyvää tietoa ja jäsenellä se johdonmukaiseksi kokonaisuudeksi. Kerätty tieto toimii aineistona, jonka perusteella laaditaan Sweco Finlandille tiivistetty ohje rakennesuunnittelijoille, jossa käsitellään reiän tai loven suunnittelua ja mitoittamista olemassaolevaan puupalkkiin. Ohje ei ole opinnäytetyön liitteenä sillä se laaditaan erikseen vain tilaajayrityksen käyttöön.

Tällä hetkellä puurakenteisiin tehtäviin reikiin ja loviin on olemassa ohjeistusta, mutta asiaan vihkiytymättömälle tilanne näyttää sekavana. Eurokoodissa on esitetty menettely päästään lovetun puupalkin mitoittamiseen, mutta puupalkkiin tehtävän reiän mitoitusmenettely esitetään suomalaisen eurokoodin

kansallisessa liitteessä ja lisäksi liimapuuta ja LVL:ää varten on olemassa tuotevalmistajien omia materiaaliakohtaisia ohjeita. Reiän tai loven vahvistusohjeita ei esitetä eurokoodissa lainkaan, vaan ne on etsittävä alan kirjallisuudesta.

Lisähaasteena asiassa on muutoksen tekeminen olemassaolevaan kantavaan rakenteeseen. Työssä kartoitetaan myös niitä seikkoja, joita rakennesuunnittelijan on huomioitava tehtäessä jälkikäteen muutoksia rakenteisiin.

Sweco Finlandille laadittavan ohjeen kohderyhmänä ovat rakennesuunnittelijat, jotka eivät ole työnsä puolesta jatkuvasti tekemisissä puun kanssa, mutta joutuvat esimerkiksi korjaushankkeen yhteydessä nopealla aikataululla suunnittelemaan reikiä tai lovia olemassaolevaan puurakenteeseen. Ohjeeseen kerätään sekä mitoittamisen ja suunnittelun kannalta olennainen tieto, että luonnostellaan toimintamallit erilaisia käytännön suunnittelutyössä vastaan tulevia tilanteita varten.

## 1.2 Opinnäytetyön tilaaja

Opinnäytetyön on tilannut Sweco Finland Oy ja opinnäytetyön ohjaajana toimii suunnittelupäällikkö Lauri Lepikonmäki.

Sweco Finland Oy on rakennetun ympäristön ja teollisuuden asiantuntija, joka tarjoaa laajan valikoiman palveluita arkkitehti- ja rakennesuunnittelusta ympäristö- ja energiapalveluihin.

## 1.3 Tutkimusmenetelmät

Tutkimusmenetelminä on aiheeseen liittyvään suomen- ja englanninkieliseen kirjallisuuteen ja tutkimukseen perehtyminen sekä asiantuntijahaastattelut, siten että pääpaino on kirjallisuudesta peräisin olevalla tiedolla. Kirjallisuustutkimuksessa kootaan asiaan liittyvää perustietoa sekä esitellään reikien ja lovien tekon vaikuttavia asioita ja ilmiöitä usealta eri kantilta.

Asiantuntijahaastatteluiden avulla pyritään syventämään asiaa käytännön työelämässä toimivien henkilöiden näkökulmalla ja kokemuksella sekä selvittämään niitä käytäntöjä, joiden mukaan reikiä ja lovia tehtäessä tulisi toimia. Asiantuntijahaastattelut toteutetaan vapaina keskustelumuotoisina haastatteluina ja viittaukset haastatteluihin tehdään haastateltavien toiveesta peitenimillä.

Poiketen normaalista opinnäytetyön käytännöstä, jossa haastatteluiden tulokset esitetään omassa luvussaan, on tässä opinnäytetyössä valittu, että asiantuntijahaastatteluissa selvinneet asiat esitetään kirjallisuustutkimuksen yhteydessä. Tähän päädyttiin siksi, että haastatteluissa ilmeni monia selventäviä ja käytännön työtä avaavia yksityiskohtia, jotka on johdonmukaisempaa esittää niihin liittyvän kirjallisuudesta peräisin olevan taustatiedon yhteydessä, jotta kokonaisuus pysyy eheänä ja selkeänä.

#### 1.4 Työn rajaus

Opinnäytetyössä keskitytään tarkastelemaan olemassaolevaan puurakenteseen toteutettavaa reikää tai lovea pääasiassa murtorajatilaan, eli rakenteen kantavuuteen tai stabiliteettiin liittyvissä kysymyksissä. Käyttörajan asiat, eli rakenteen ulkonäköön ja käytettävyyteen liittyvät asiat on rajattu tarkastelun ulkopuolelle.

## 2 Toimintaympäristö

### 2.1 Korjausrakentamisesta

Korjausrakentamisella tarkoitetaan rakennuksen käyttöaikana tehtäviä toimia, joilla muutetaan rakennuksen ominaisuuksia toivottuun suuntaan. Näitä toimia ovat mm. erilaiset kunnostus- ja huoltotoimet, perusparannukset, lisärakentaminen kuin entisöintikin. (RIL 174-1 1998, 78-80.)

Liiallisesta tuotannosta ja kulutuksesta johtuvat ilmastonmuutos ja luontokato ovat aikamme keskeisiä haasteita (Bruyninckx 2023), joista johtuen



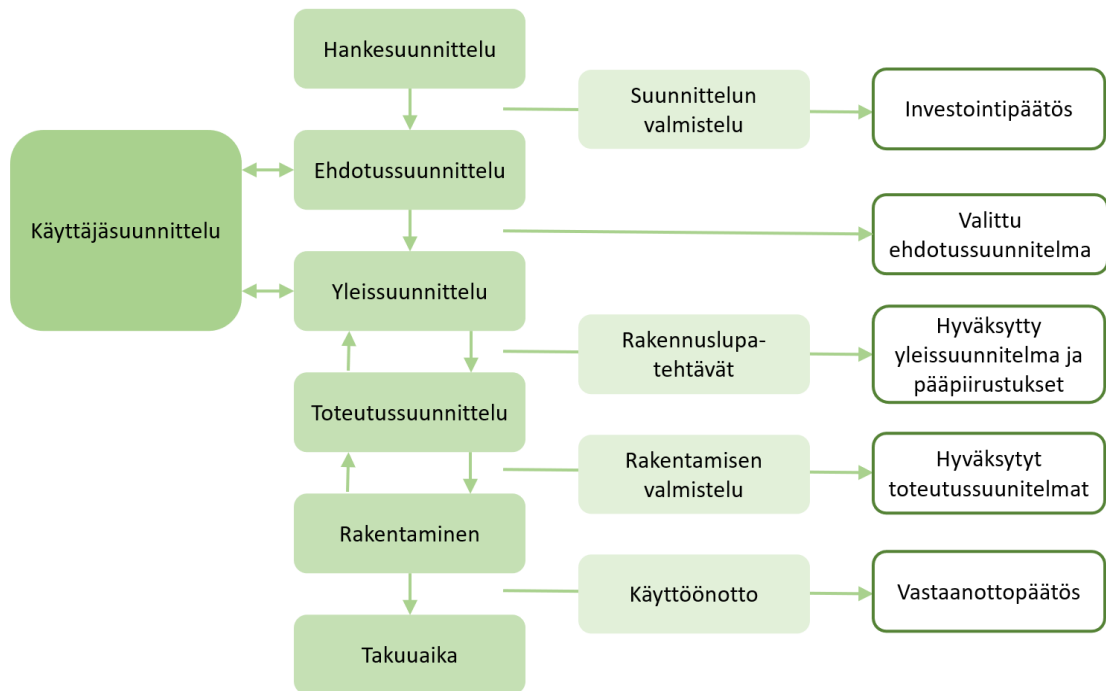
kestävyyssajattelu on tullut osaksi myös kiinteistö- ja rakentamisalan toimintaa. Uudisrakentamisessa korostuvat rakentamisajan suuret hiilipäästöt ja rakennusmateriaalien suuri kulutus. Rakentamisen ympäristövaikutusten minimoimiseksi on järkevää panostaa rakennusten pitkäikäisyyteen ja säilyttää olemassaolevia rakennuksia silloin, kun se on mahdollista. Korjaamalla voidaan pidentää rakennusten elinkaarta ja näin hyödyntää tehokkaammin jo kertaalleen sidotut materiaalit ja tehdyt päästöt. (ROTI 2023, 9-11.)

Kaikki rakennukset tarvitsevat korjaustoimenpiteitä elinkaarensa aikana. Suunnitelmallisuus ja oikea-aikaisesti tehdyt korjaustoimenpiteet ovat keskeisiä rakennusten ylläpidossa. Mikäli korjaustoimenpiteitä ei tehdä ajoissa esimerkiksi säästösyistä, syntyy korjausvelkaa. Suomessa korjausvelkaa on runsaasti – sitä arvioidaan olevan jopa kymmenesosan koko rakennuskannan arvosta. (ROTI 2023, 11; Rakennusteollisuus RT ry.)

Tulevaisuudessa muuttuva ilmasto tuo haasteita rakennuksille ja niiden kunnossapidolle, kun uudenlaiset sääolot rasittavat rakenteita, jotka on suunniteltu aiemmin vallinneeseen ilmastoon (ROTI 2023, 15).

### Korjaushanke

Kun rakennuksen korjaustarve on havaittu ja on tehty päätös korjaushankkeeseen ryhtymisestä, etenee korjaushanke tyypillisesti seuraavien yleisesti hyväksytyjen vaiheiden kautta (Uotila & Saari & Junnonen 2021, 12):



Kuva 1. Korjaushankkeen vaiheet (Uotila ym. 2021, 13).

Korjaushankkeen hankesuunnitteluvaiheessa määritellään hankkeen tavoitteet. Ehdotus-, yleis- ja toteutussuunnitteluvaiheissa muodostetaan kuva urakoitsijalta tilattavasta työstä sekä laaditaan hankkeen tekniset ja kaupalliset asiakirjat, eli suunnitelmat ja sopimukset. Urakoitsijan valinnan ja rakentamispäätöksen jälkeen toteutetaan varsinainen käytännön korjaustyö, jonka jälkeen urakoitsija luovuttaa korjatun kohteen tilaajalle. Luovutuksen jälkeen urakoitsija on vastuussa takuuajana ilmitulevista virheistä ja puutteista. (Rakennustieto 2021, 5-24.)

Uudisrakentamisesta poiketen korjaushanke ei jakaudu niin selkeästi erillisiin suunnittelu- ja rakennusvaiheisiin, vaan eri vaiheiden rajat ovat sekoittuneemmat (Uotila ym. 2021, 12). Rakentamisvaiheessa paljastuneiden uusien tietojen pohjalta korjaushankkeessa joudutaan usein palaamaan aiempiin suunnitteluvaiheisiin (Rakennustieto 2013, 9). Tällaisia seikkoja voivat olla mm. kantavien rakenteiden poikkeava sijainti, puutteet paloturvallisuudessa tai piilevät historialliset kerrostumat (Rakennustieto 2013, 4).

Korjaushankkeissa edellytetään useiden eri alojen osaamista, sekä tiedonvaihtoa, kommunikointia ja aikataulujen yhteensovittamista näiden välillä. Korjausrakentamista leimaakin tietynlainen epävarmuus menneiden päätösten ja tulevaisuuden suhteen. Hankkeen onnistumiseen voidaan vaikuttaa hyvällä johtamisella ja epävarmuuksien hallinnalla. (Uotila ym. 2021, 35.)

## 2.2 Lainsäätäjän vaatimukset

Maankäyttö- ja rakennuslaki velvoittaa rakennushankkeeseen ryhtyvän huolehtimaan, että rakennus suunnitellaan ja rakennetaan siten, että rakenteet ovat luja ja vakaita, soveltuvat rakennuspaikan olosuhteisiin ja kestävät rakennuksen suunnitellun käyttöiän. Ympäristöministeriön asetuksessa kantavista rakenteista annetaan tarkempia säännöksiä koskien uuden rakennuksen rakentamista, rakennuksen korjaus- ja muutostyötä sekä rakennuksen käyttötarkoituksen muutosta. (Maankäyttö- ja rakennuslaki 132/1999, 117 a §.)

Rakenteen luotettavuutta osoitettaessa arvioidaan kuormitusten ja ympäristöolosuhteiden vaikutus rakenteeseen käyttäen mekaniikan sääntöjä ja hyväksytyjä laskentaperusteita (Ympäristöministeriö 2016a, 6-7). Rakennepiirustuksiin ja -laskelmiin on sisällytettävä tieto suunnittelussa käytetyistä kuormista, kantavien rakenteiden lujuudesta ja vakaudesta sekä rakenteiden mitoista (Ympäristöministeriö 477/2014, 11 §).

Rakenteiden luotettavuus rakennusaikana on oltava vähintään sama kuin rakennuksen käyttöaikana ja tarvittaessa on huomioitava sekä lyhyt- että pitkäaikaiset mitoitustilanteet. Rakentamisen aikainen luotettavuus määritetään suunnitelmien mukaan jäykistetyistä ja tuetuista rakenteista, joita kuormittavat suunnittelun aikaiset kuormat. (Ympäristöministeriö 477/2014, 2 §; Ympäristöministeriö 2016a, 6-7.)

Kantavien rakenteiden suunnittelu ja toteutus tällä hetkellä

Rakennuksen kantavia ja jäykistäviä rakenteita koskevat olennaiset tekniset vaatimukset täyttyvät, kun rakenteet suunnitellaan ja toteutetaan eurokoodien

sekä niitä koskevien ympäristöministeriön asetuksina annettujen kansallisten valintojen mukaan. Suunnittelijan on lisäksi otettava huomioon rakennuspai- kasta johtuvat olosuhteet. (Ympäristöministeriö 477/2014, 3 §.) Asetuksen voi- maantulopäivä on 1.9.2014.

Rakenteiden mitoituksessa tarkastetaan, että rakenne ei ylitä mitään määriteltyä rajatilaa missään merkittävässä mitoitustilanteessa tai kuormitustapauksessa. Tarkasteltavia rajatiloja ovat erilaiset murto- ja käyttörajatilat. Murtorajatiloissa tarkastetaan ihmisten turvallisuuteen tai rakenteiden varmuuteen liittyvät asiat, kuten rakenteen murtuminen tai stabiliteetin menetys. Käyttörajatiloissa tarkas- tetaan rakenteen normaaliin käyttöön liittyvät asiat, sekä ihmisten mukavuuteen ja rakenteen ulkonäköön liittyvät asiat. Näitä ovat mm. rakenteen taipumat, vä- rähtelyt sekä rakenteen toimivuuteen, säilyvyyteen tai ulkonäköön liittyvät sei- kat. (Eurokoodi 1990, 54-56.)

Puurakenteiden suunnittelussa noudatetaan eurokoodeja EN 1990 Rakenteiden suunnitteluperusteet, EN 1991 Rakenteiden kuormat ja EN 1995 Puurakentei- den suunnittelu sekä niiden kansallisia liitteitä (Eurokoodi 1995-1-1, 10).

### Aiemmin käytetyt suunnittelujärjestelmät

Rakennuksen korjaus- ja muutostyön suunnittelussa ja toteutuksessa on huomi- oitava rakennuksen ominaispiirteet ja kunto sekä mahdollinen kuormituksen li- sääntyminen korjaus- ja muutostyön johdosta.

Kun rakenteen kuormitus ei lisääny korjaus- tai muutostyön johdosta, mutta ra- kenteiden kunto edellyttää niiden vahvistamista, voidaan soveltaa rakentamis- ajankohtana voimassa olleita säädöksiä sekä vallinnutta hyvää rakentamista- paa. (Ympäristöministeriö 477/2014, 10 §; Ympäristöministeriö 2016a, 13-14.)

Näin voidaan toimia, sillä rakennusten suunnitteluohjeita on julkaistu Suomessa jo 1900-luvun alkupuolelta lähtien ja niiden perusteella toteutetut rakennukset ovat käytössä osoittautuneet kelvollisiksi. Vanhassa rakennuksessa on toden- näköisesti toteutunut jo suuri osa sen suunnittelussa huomioiduista

riskitekijöistä ja rakenne siten osoittautunut toimivaksi. Suomessa ei tietävästi ole sattunut suunnittelunormeista peräisin olevia rakennusten vaurioitumisia, poislukien ennen vuotta 1966 käytössä olleet liian pienet lumikuormat. (RIL 174-4, 57-58.)

Ennen eurokoodeja rakennukset suunniteltiin ja toteutettiin marraskuussa 1975 voimaan astuneen Suomen rakentamismääräyskokoelman mukaan. Rakentamismääräyskokoelma koostui osista A Yleinen osa, jossa annettiin mm. yleiset määräykset ja suunnittelua, toteutusta ja valvontaa koskevat ohjeet sekä osa B Rakenteiden lujuus, jossa annettiin varsinaiset suunnittelu- ja mitoitusohjeet. (Rakennustietosäätiö ja Rakennustieto Oy 2016, 240.)

Vanhat A- ja B-sarjan rakentamismääräykset löytyvät ympäristöministeriön verkkosivuilta Rakentamismääräyksiä koskevalta sivulta kohdasta ”Kumotut ja vanhentuneet määräykset ja ohjeet”.

Ennen eurokoodeja rakenteiden kuormat määriteltiin 1976 voimaan astuneen osa ”B1-3: Rakennusten vähimmäiskuormat, kantavat rakenteet, pohjarakennus” (Sisäasiainministeriö 1976). Puurakentamista koski 1978 voimaan astunut Rakentamismääräyskokoelman osa ”B10: Puurakenteet, ohjeet”, jossa esitetään kantaville puurakenteille rajatilatarkasteluihin perustuva mitoitusmenetelmä (Sisäasiainministeriö 1978). Molempia osia on päivitetty useita kertoja julkaisun jälkeen.

Vuoden 1975 rakentamismääräyksiä aiemmin rakenteiden mitoitus perustui sallittujen jännitysten menetelmään, jossa kuormien ominaisarvoja vertaillaan materiaaleille sallittuihin mitoitusjännityksiin, jotka ovat huomattavasti murtojännityksiä alhaisempia (Tammisto 2021, 4).

Suomen rakentamismääräyskokoelmaa ennen oli voimassa kesäkuussa 1959 voimaan tullut Rakennusasetus 1959/266. Puurakentamista ohjasivat valtioneuvoston päätöksellä syyskuussa 1946 vahvistetut puurakenteiden normaalimääräykset, mutta käytännössä vuodesta 1958 1970-luvun alkupuoliskolle käytössä oli Rakennusinsinööriyhdistyksen julkaisema Puurakenteiden normit (RIY A31),

jossa normaalimääräyksiä oli täsmennetty. Normeja päivitettiin 1964 ja 1969. (Rakennustietosäätiö ja Rakennustieto Oy 2016, 241, 251.)

### Korjausrakentamisen suunnittelu

Korjaushankkeen suunnitteluun osallistuvat pääsuunnittelija, joka on yleensä kohteen arkkitehti, rakenne- ja talotekniikkasuunnittelijat sekä mahdollisesti muita erityisasiantuntijoita, kuten palo- tai äänitekniset suunnittelijat, sisäilma-asiantuntija tai rakennushistoriallinen asiantuntija. (Rakennustieto 2013, 2).

Hankkeen alussa suunnittelu jaetaan suunnittelualakohtaisiin osiin ja sovitaan johtamisesta, viestinnästä, raportoinnista ym. Suunnittelun käynnistyttyä pääsuunnittelija ja vastaavat erityissuunnittelijat kantavat suunnitteluvastuun. (Uotila ym. 2021, 24-25.) Pääsuunnittelija vastaa eri suunnittelualojen suunnitelmien ristiriidattomuudesta ja suunnittelukokonaisuudelle asetettujen vaatimusten täyttymisestä. Eritysalojen suunnittelusta vastaavat henkilöt vastaavat tuottamiensa suunnitelmien vaatimustenmukaisuudesta (Uotila ym. 2021, 24-25).

Rakennesuunnittelijan tehtäviin korjaushankkeessa kuuluu sekä kantavien, että muiden rakenteiden ja rakenneosien suunnittelu. Suunnitelmissa selvitetään rakenteiden purku-, muutos- ja korjaustyöt sekä niiden toteuttamistavat. Laadittavia suunnitelmia ovat mm. rakennepiirustukset ja työselitykset. (RIL 174-1, 259.)

### Korjausrakentamisen suunnittelutehtävien vaativuus

Kantavien rakenteiden korjaus- ja muutostöiden suunnittelutehtävät jaetaan neljään vaativuusluokkaan: vähäinen, tavanomainen, vaativa tai poikkeuksellisen vaativa. Suunnittelutehtävä on vähäinen, kun suunniteltava korjaustyö on yksinkertainen ylläpitokorjaus, joka ei vaikuta rakennuksen teknisiin tai toiminnallisiin ominaisuuksiin. (YM1/601/2015, 3, 7.)

Kun suunnittelutehtävän tekniset ja toiminnalliset vaatimukset ovat yksinkertaiset eikä rakennuksen ominaisuuksista aiheudu suunnittelulle erityisiä vaatimuksia ja suunnittelussa voidaan käyttää yleisiä suunnitteluohjeita, on

suunnittelutehtävä tavanomainen. Tällainen suunnittelutehtävä on esimerkiksi tavanomaisen kaksikerroksisen asuinrakennuksen korjaustyö käyttäen tavanomaisia menetelmiä ja vakiintuneita ratkaisuja. (YM1/601/2015, 7.)

Kantavien rakenteiden korjaus- ja muutostyön suunnittelutehtävä on vaativa, kun rakennuksen ominaisuuksista aiheutuu suunnittelulle erityisiä vaatimuksia tai korjaus- ja muutostyön tekniset tai toiminnalliset vaatimukset ovat korkeat. Esimerkiksi kantavien rakenteiden peruskorjaus yli kaksikerroksisessa rakennuksessa, suunnittelutehtävä, jossa rakenteiden kuormitus kasvaa muutoksen johdosta tai kun kantaviin rakenteisiin suunnitellaan reikiä tai loveuksia, vaikka kuormitus ei kasvaisikaan ovat vaativia suunnittelutehtäviä. (YM1/601/2015, 8.)

Suunnittelutehtävä on poikkeuksellisen vaativa, jos työn tekniset tai toiminnalliset vaatimukset ovat poikkeuksellisen korkeat tai rakennuksen ominaisuuksista aiheutuu suunnittelulle poikkeuksellisia vaatimuksia. Poikkeuksellisen vaativia suunnittelutehtäviä ovat esimerkiksi vaativan rakenteen staattisen toiminnan merkittävä muuttaminen, muutostyö, joka edellyttää poikkeuksellisen vaativia työnaikaisia tuentoja tai kantavien rakenteiden muutos suojellussa rakennuksessa. (YM1/601/2015, 9.)

### Korjaussuunnittelun erityispiirteitä

Korjaushankkeessa tilanne muuttuu suunnittelun kannalta useammin kuin uudisrakentamisessa, jonka vuoksi vuorovaikutus, koordinointi ja toimiva viestintä ovat erityisen tärkeitä (Rakennustieto 2013, 3). Vuorovaikutus eri suunnittelualueiden välillä vaikuttaa merkittävästi lopputulokseen: tietty suunnitteluvaihe saattaa tarvita lähtötiedoikseen edellisen vaiheen tuloksia tai rinnakkaisten tehtävien suunnittelu vaatii jatkuvaa tiedonvaihtoa osapuolten välillä. (Uotila ym. 2021, 25.) Tästä johtuen suunnittelijoiden on tunnettava myös muita suunnittelualueja (Rakennustieto 2013, 7).

Puutteelliset lähtötiedot asettavat omat haasteensa korjaussuunnittelulle. Lähtötietojen kokoaminen ja projektin tavoitteiden asettelu vievät usein korjaushankkeessa runsaasti aikaa. Tarvittavia tietoja voi olla vaikea löytää ja suunnitelmien

laajuudessa tai laadussa voi olla puutteita. (Rakennustieto 2013, 4.) Vaikka rakennuksesta pyritään hankkimaan mahdollisimman kattavat ja luotettavat lähtötiedot, joudutaan suunnittelua tekemään ja suunnitelmia päivittämään rakentamisen edetessä koko hankkeen ajan (Uotila ym. 2021, 14).

Korjaushankkeen suunnittelutehtävissä korostuvat lähtötietojen jatkuva hankinta, vuorovaikutus muiden suunnittelijoiden kanssa, kyky tehdä nopeita päätöksiä (Rakennustieto 2013, 10) sekä vaihtoehtoisten suunnittelu- ja toteutusratkaisuiden kehittäminen ja testaaminen (Uotila ym. 2021, 12).

### 2.3 Kantaviin rakenteisiin tehtävät muutokset

Laajoissa korjaushankkeissa rakennukseen tehdään usein toiminnallisia muutoksia tai tuotetaan ominaisuuksia, joita siinä ei ole aiemmin ollut. Tietyllä alueella tehtävät korjaukset voivat johtaa toimiin myös muilla alueilla, esim. taloteknisten järjestelmien uusiminen johtaa usein myös rakenneosien uusimiseen ja jopa merkittäviin rakenteellisiin muutoksiin. (Uotila ym. 2021, 9.)

Aina kun tehdään muutoksia kantaviin rakenteisiin, on selvitettävä rakenteen kantavuus ja siihen vaikuttavat kuormat sekä muut rasitukset (Asiantuntija A 14.6.2023).

#### Lähtötietojen selvittäminen

Jotta voidaan määrittää vanhojen rakenteiden kantavuus ja kuormat, tulee kohde tuntea riittävän hyvin, jotta rakenteiden kantavuutta voidaan arvioida. Tästä johtuen on oleellista kerätä kattavat lähtötiedot kohteesta. Lähtötietojen kartoittaminen on hyvä aloittaa vanhojen suunnitelmien etsimisestä. Vanhoja suunnitelmia voi löytyä mm. rakennuksen omista, suunnittelutoimistojen tai rakennusvalvonnan arkistoista. (RIL 174-4, 36.) Nykyään vanhoja suunnitelmia voi hakea verkossa Lupapiste.fi-palvelusta (Asiantuntija A 14.6.2023).

On muistettava, että vanhoihin piirustuksiin ei voi koskaan luottaa sellaisenaan vaan ne on tarkastettava rakennuspaikalla. Usein alkuperäisistä suunnitelmista



on poikettu tai tehty muutoksia jälkikäteen, eikä näitä muutoksia ole välttämättä dokumentoitu. Mitä vanhemmasta rakennuksesta on kyse, sitä todennäköisempää on, että suunnitelmista on poikettu tai muutoksia on tehty jälkikäteen dokumentoimatta. (RIL 174-4, 37-39, 56.)

Mikäli vanhoja suunnitelmia ei ole saatavilla, on lähtötiedot selvitettävä paikan päällä katselmoimalla. Tarvittaessa rakennesuunnittelijan on pyydettävä rakennevauksia, jotta voidaan selvittää muutostyön kannalta oleelliset seikat, kuten rakennemalli ja materiaali. (Asiantuntija A 14.6.2023.)

Myös rakentamisaikaisten normien ja ohjeiden avulla voidaan saada tietoa rakennuksesta, kuten myös kirjallisuudesta, joka käsittelee kohteen ikäisiä rakennuksia. Rakennuksen valmistumisvuoden ja alkuperäisen käyttötarkoituksen perusteella voidaan päätellä rakennuksen runkojärjestelmä, mutta on aina pidettävä mielessä, että jokainen rakennus on yksilö ja epätyypillisiä suunnittelu- tai rakentamisratkaisuja voi esiintyä (RIL 174-4, 36, 78-79).

## Rakenteen kuormat

Tarkasteltaessa vanhaa rakennetta, määritellään ensin sen tämänhetkiset kuormat käyttäen eurokoodeja ja tarkastellaan sen kantavuutta näillä kuormilla. Mikäli rakenne kestää laskennallisessa tarkastelussa, voidaan suunnittelua ja mitoitusta jatkaa käyttäen eurokoodeja. Usein on kuitenkin niin, että eurokoodin mukaisilla kuormilla vanhan rakenteen laskennallinen kantokyky ylittyy. Tällöin voidaan tarkastella, onko suunniteltava muutos mahdollista tehdä käyttäen rakentamisaikaista normistoa.

Tyypillisesti alkuperäiselle rakenteelle saadaan rakennusajankohdan mukaisia normeja käyttäen pienempi kuormitus kuin käyttäen nykyisiä normeja, jolloin muutostyö onnistuu todennäköisemmin rakennetta vahvistamatta. Tähän vaikuttavat mm. vanhoissa normeissa olleet pienemmät lumi- ja hyötykuormien arvot. (Asiantuntija B 30.6.2023.)

Vertaamalla rakennuksen alkuperäistä kuormaa nykyiseen kuormaan, saadaan tietää, onko muutostyö mahdollista tehdä käyttäen rakennusajankohdan normeja. Mikäli kuorma ei ole kasvanut esimerkiksi lisäeristämisen tai päälle tehtyjen uusien rakenteiden vuoksi, voidaan käyttää rakennusajankohdan normistoa. (Ympäristöministeriö 477/2014, 10 §; Asiantuntija B 30.6.3023.)

Vanhoja suunnittelunormeja käytettäessä on käytettävä sen aikaisia kuormien, lujuuksien, varmuuskertoimien ym. arvoja sekä mitoitusmenettelyjä. Eri aikakauden menettelyjä ei saa sekoittaa keskenään. Esimerkiksi vanhojen Suomen rakentamismääräysten ja eurokoodien laskentamenettelyjä ei saa käyttää samassa mitoitusmenettelyssä. (Asiantuntija C 26.6.2023.)

Taulukko 1. Vertailu eurokoodien ja kumotun Suomen rakentamismääräyskoelman B1-3 (1976) kuormista ja B10 (1978) materiaaliosavarmuusluvusta.

	Eurokoodi	B1-3 & B10
<b>Hyötykuormat [kN/m<sup>2</sup>]</b>		
Asuintilat	1,5 ... 2,0	1,5
Toimistot	2,0 ... 3,0	2,0
Kokoontumistilat	2,0 ... 7,5	2,5 ... 4,0
Myyvälätilat	4,0 ... 5,0	4,0
Varastot	7,5	5,0
Lumikuorma (Helsinki)	2,75	1,8
<b>Materiaaliosavarmuusluvut</b>		
Sahatavara	1,3	1,3
Liimapuu	1,25	1,3
LVL	1,2	1,3

### Vanhan puurakenteen kantavuuden määrittäminen

Rakenteita tarkastellessa on selvitettävä rakenteiden kunto ja todellinen kantavuus (Eurokoodi 1991-1-6, 50). Jotta kantavuus voidaan määrittää, täytyy rakenteista tietää niiden mitat ja lujuusominaisuudet (RIL 174-4, 40), sekä huomioida rakenteessa olevat reiät, loveukset ja muut heikennykset. Myös työn tarkkuuden ja valmistusmenetelmän vaikutus ja lujuus- ja muodonmuutosominaisuuksien muuttuminen rakenteen suunniteltuna käyttöaikana on otettava huomioon. (Ympäristöministeriö 2016, 6-7.)

Vanhan puun lujuusominaisuuksia voidaan arvioida silmämääräisesti. Mikäli rakenteessa ei ole havaittavissa lahoa eikä puu ole halkeillut kovin runsaasti kosteusvaihteluista, voidaan sen kantavuuden olettaa olevan sama kuin alkuperäisellä puurakenteella. Vanhaa puuta voidaan myös lujuuslajitella silmämääräisesti asiantuntevan henkilön toimesta. Rakenteen lujuutta arvioitaessa voidaan myös määrittää siihen aiemmassa käytössä vaikuttaneet jännitykset, jolloin saadaan selville rakenteen vähimmäiskantavuus. (RIL 174-4, 41, 85.)

Suomen rakentamismääräyskokoelman mukaan ”Havupuutukeista valmistetun lajittelemattoman pyöreän puutavaran sekä pyörö-, höylä- ja massiivipuuhirren lujuus- ja jäykkyysominaisuuksien voidaan katsoa vastaavan sahatavaran lujuusluokkaa C24 edellyttäen, että puu ominaisuuksiltaan vastaa Suomessa kasvanutta puuta. Tällainen puutavara ei sisällä liimausta eikä sormijatkoksia”. (Ympäristöministeriö 2016b, 7.)

#### Muutosten vaikutusten huomiointi

Muutostyössä on myös otettava huomioon tehtävän muutoksen aiheuttama vaikutus koko rakennuksen rakennejärjestelmään. Pienen muutoksen vaikutukset rajautuvat sen vain sen lähiympäristöön, mutta mitä enemmän ja laajempia muutoksia tehdään, sitä enemmän ne vaikuttavat myös koko rakenteeseen ja sen stabiiliteettiin. Muutostyön vaikutukset koko rakennejärjestelmään on aina tarkastettava. (RIL 174-4, 56-57.)

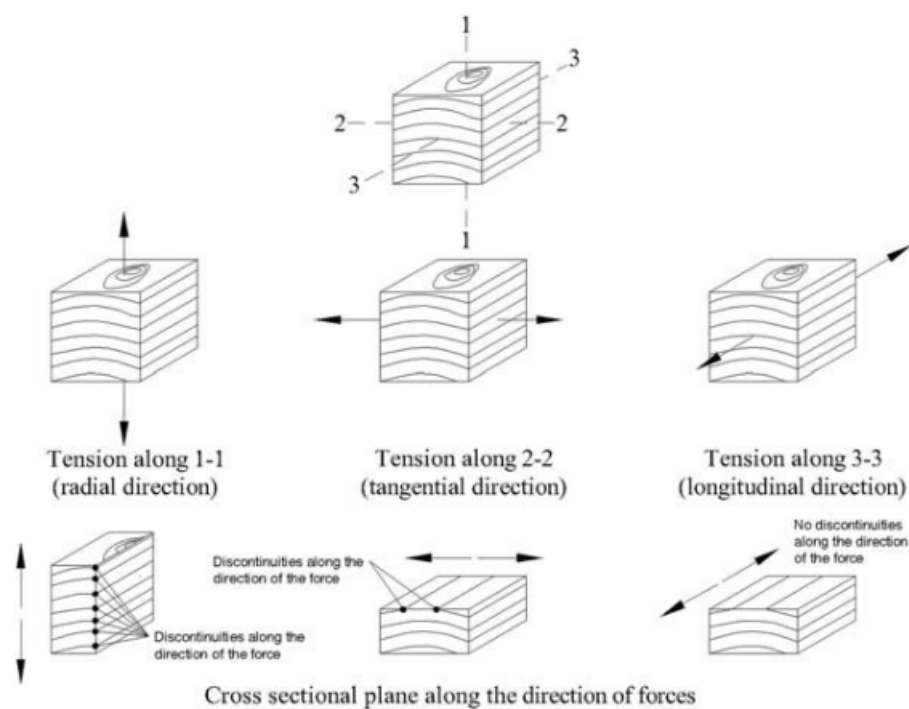
Esimerkiksi rakennuksen sisäosissa välipohjan puupalkit saattavat siirtää vaakavoimia jäykistäville seinille ollen myös pituussuuntaisesti kuormitettuja. Muutosten tekemiseen jäykistäviin rakenneosiin on suhtauduttava erittäin varovaisesti (RIL 174-4, 59-60).

### 3 Puu

#### 3.1 Puun rakenneteknisiä ominaisuuksia

##### Lujuustekniset ominaisuudet

Puu on anisotrooppinen materiaali, joka tarkoittaa, että sen lujuus- ja jäykkyysominaisuudet riippuvat siitä, missä suunnassa sen syihin nähden sitä kuormitetaan (Blaß & Sandhaas 2017, 161). Lujinta puu on syysuuntaisessa kuormituksessa, jossa se kestää yleensä 10-20 kertaa enemmän kuormitusta, kuin kohtisuoraan syitä vastaan (Puuinfo 25.6.2020).



Kuva 2. Puun lujuusominaisuudet riippuvat siitä missä suunnassa sen syihin nähden sitä kuormitetaan (Hezaji & Tan 2021, 6).

Puun kasvaessa siihen muodostuu epäsäännöllisyyksiä, kuten oksankohtia ja pihkataskuja, jotka vaikuttavat puun lujuuteen muodostamalla paikallisia heikompia kohtia (Blaß & Sandhaas 2017, 161). Puun ominaisuudet vaihtelevat riippuen puulajista, mutta eroa on myös saman lajin puuyksilöiden ja jopa yksittäisen poikkileikkauksen eri osien välillä. Puun leikkauslujuus on 10-15% syiden suuntaisesta vetolujuudesta. Sitä heikentävät puussa olevat oksat sekä

mahdolliset viat ja halkeamat. (Puuinfo 25.6.2020.) Huomionarvoista on, että puu on erityisen heikko syysuuntaa vastaan kohtisuora vetoa vastaan (Blaß & Sandhaas 2017, 162).

Taulukko 2. Puun lujuusominaisuuksia, syysuuntaa vastaan kohtisuora vetolujuus korostettu (Puuinfo 2020, 16).

Lujuusluokka		Sahatavara			Liimapuu		Halkaistu liimapuu
		C18 (T1)	C24 (T2)	C30 (T3)	GL24c	GL30c	GL30cs <sup>1)</sup>
Ominaislujuudet (N/mm <sup>2</sup> )							
Taivutus	$f_{m,k}$	18	24	30	24	30	28
Veto	$f_{t,0,k}$	10	14,5	19	17	19,5	18,7
	$f_{t,90,k}$	0,4	0,4	0,4	0,5	0,5	0,5
Puristus	$f_{c,0,k}$	18	21	24	21,5	24,5	23,3
	$f_{c,90,k}$	2,2	2,5	2,7	2,5	2,5	3,0
Leikkaus	$f_{v,k}$	3,4	4,0	4,0	3,5	3,5	3,5
Jäykkyysominaisuudet (N/mm <sup>2</sup> )							
Kimmomoduuli	$E_{0,mean}$	9000	11000	12000	11000	13000	12500
	$E_{90,mean}$	300	370	400	300	300	300
Liukumoduuli	$G_{mean}$	560	690	750	650	650	650
Tiheydet (kg/m <sup>3</sup> )							
Ominaisstiheys	$\rho_k$	320	350	380	365	390	390
Tiheyden keskiarvo	$\rho_{mean}$	380	420	460	400	430	430

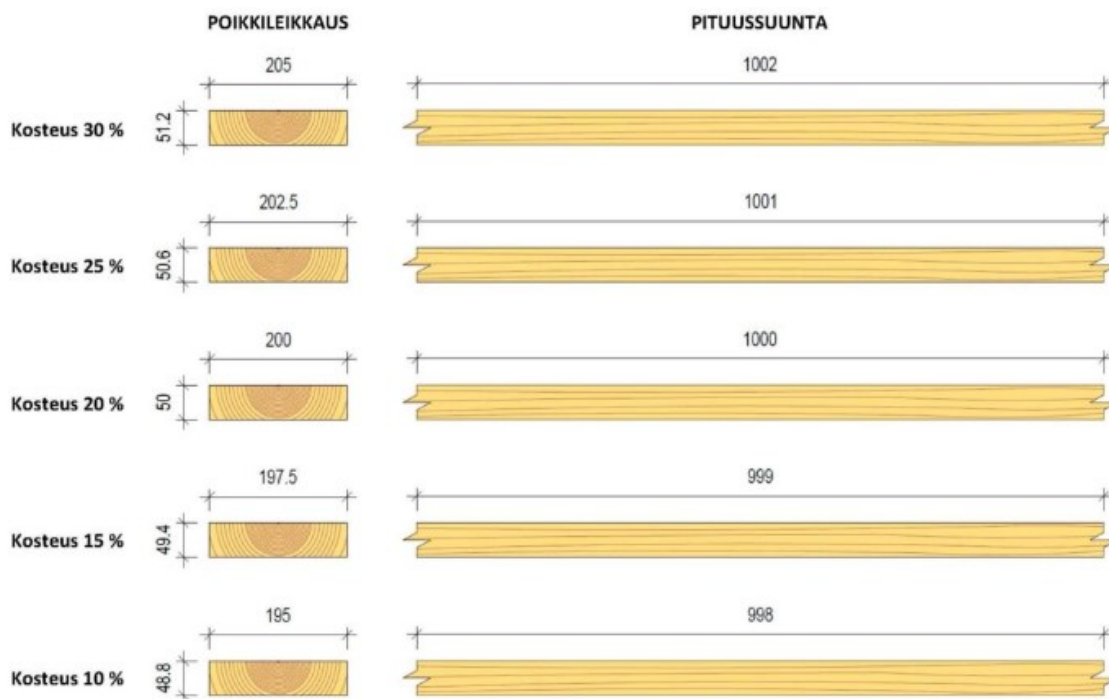
**Taulukko 3.3** - Sahatavaran ja liimapuun ominaislujuudet, jäykkyysominaisuudet ja tiheydet yleisimmässä lujuusluokissa.

## Kosteustekniset ominaisuudet

Puu materiaalina on muodostunut siten, että sen ominaisuudet riippuvat sen kosteuspitoisuudesta, jolla on suuri vaikutus lähes kaikkiin puun rakennetekniisiin ominaisuuksiin. Kosteuden vaikutuksesta puun sisäiset molekyylien väliset sidevoimat heikkenevät, jonka vuoksi kuiva puu on lujempaa ja jäykempää kuin märkä puu ja kuivan puun viruma on pienempi kuin märän. (Blaß & Sandhaas 2017, 37-39.)

Puu on hygroσκοoppinen materiaali, eli sillä on kyky sitoa ja luovuttaa kosteutta ympäröivän ilman suhteellisen kosteuden vaihtelun mukaan. Se pyrkii tasapainokosteuteen ympäristönsä kanssa. Pintakäsittelyt eivät poista tätä ominaisuutta, vaan ne hidastavat sitä. (Puuinfo 15.7.2020.) Käsittelemättömälläkin puulla tasapainokosteuteen siirtyminen on kohtalaisen hidaskäyttöprosessi, aikaa kuluu karkeasti arvioiden useita viikkoja (Blaß & Sandhaas 2017, 41).

Puu kutistuu tai turpoaa kosteuden vaihteluiden seurauksena ja eläminen on erisuuruista eri suunnissa. Kosteuseläminen aiheuttaa puuhun sisäisiä jännityksiä, jotka heikentävät sen kestävyyttä ja joista aiheutuu mm. halkeamia. (Puuinfo 15.7.2020). Puun kosteuseläminen on noin kymmenkertaista syytä vastaan kohtisuorassa suunnassa verrattuna syysuuntaan (Blaß & Sandhaas 2017, 42-43).



Kuva 5. Esimerkkejä sahatavarakappaleen mittamuutoksista kappaleen kosteuden muuttuessa (mitat mm).

Kuva 3. Puun dimensiot muuttuvat riippuen sen kosteuspitoisuudesta (Puuinfo 15.7.2020).

Rakenteita suunniteltaessa ja rakennettaessa on huomioitava puun kosteuseläminen, jotta vältetään siitä aiheutuvat liikkeet, halkeilu tai levyjen pullistuminen. On myös huomioitava, että tiettyyn paikkaan asennettavan rakenneosan tarkat mitat riippuvat sen kosteudesta ja voivat muuttua tehtaalta asennuspaikalle. (Puuinfo 15.7.2020; Blaß & Sandhaas 2017, 38-40.)

## 3.2 Rakennepuumateriaaleja

### Sahatavara

Sahatavaralla tarkoitetaan puusta sen luonnollisessa muodossa olevia, sahaamalla tehtyjä rakennustarvikkeita, kuten lautoja tai lankkuja. Sahatavara voidaan viimeistellä tai sitä voidaan esim. sormijattaa sahauksen jälkeen. Sahatavarassa luonnollisesti esiintyvät epäsäännönmukaisuudet, kuten oksankohdat ja kuivumiskutistumisesta johtuva halkeilu heikentävät sahatavaran lujuusominaisuuksia ja saavat niihin aikaan suurta vaihtelua. (Blaß & Sandhaas 2017, 99-101.)

Sahauksesta johtuen sahatavara ei ole yhtä vahvaa kuin täysin sahaamaton puu, esim. pyöröhirsi tai pyöreä pilari. Tämä johtuu siitä, että puussa syyt eivät kulje täysin suoraan jolloin niitä katkeaa sahatessa, mikä heikentää lujuusominaisuuksia. (Blaß & Sandhaas 2017, 105.)



Figure B6-2 Squared timber with pith, knots and drying cracks. (Studiengemeinschaft Holzleimbau, 1998)

Kuva 4. Kuivatussa sahatavarassa esiintyviä epäsäännöllisyyksiä, kuten oksankohdia ja kuivumisesta johtuvaa halkeilua (Blaß & Sandhaas 2017, 101).

### Insinööripuutuotteet

Insinööripuutuotteilla tarkoitetaan yleensä liimaamalla pienemmistä puukappaleista valmistettuja yhtenäisiä puutuotteita. Näin saadaan aikaan mm. suurempia poikkileikkauksia sekä voidaan poistaa puusta virheitä ja homogenisoida

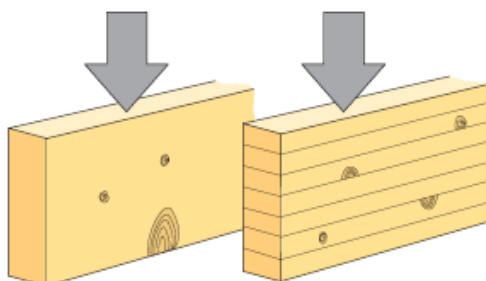
sen ominaisuuksia. Insinööripuutuotteita valmistetaan tarkassa prosessissa tehdasoloissa. Tuote voi muodostua suuremmista osakappaleista, kuten liimapuu ja CLT tai ohuista viiluista, kuten LVL. Valmistusprosessin yhteydessä puukappaleesta voidaan poistaa virheitä, kuten oksankohtia tai pihkataskuja ja yhdistää kappale sitten sormijatkoksella (Blaß & Sandhaas 2017, 99-113, 124-125).



Figure B6-4 Removal of low-value sections and combining via finger-jointing. (Studiengemeinschaft Holzleimbau e.V., 1998)

Kuva 5. Oksankohdan poisto insinööripuutuotteen raakamateriaalista (Blaß & Sandhaas 2017, 105).

Puukappaleita voidaan liimata syysuuntaisesti tai ristiin, jotta saadaan aikaan haluttuja ominaisuuksia. Liimauksen yhteydessä osakappaleissa olevat puun epäsäännöllisyydet jakautuvat tasaisesti poikkileikkauksen ja rakenneosan eri kohtiin, jonka ansiosta puun lujuusominaisuudet homogenisoituvat eikä siinä ole niin selkeästi yksittäisiä heikkoja kohtia. (Blaß & Sandhaas 2017, 104-105.)



Kuva 6. Lamellit jakavat oksankohdat ja muut virheet tasaisesti kappaleen eri kohtiin. (Suomen Liimapuuyhdistys ja Puuinfo 2014, 24)



## Liimapuu

Liimapuu valmistetaan liimaamalla enintään 45 mm paksuja lamelleja pituus-suuntaisesti yhteen, niin että lopullisen rakennusosan syysuunta on osan pituussuuntainen (Puuinfo 23.6.2020a). Suorilla rakenneosilla lamellipaksuus on yleensä 45 mm ja kaarevilla 33 mm. (Suomen Liimapuuyhdistys ja Puuinfo 2014, 22)



Kuva 7. Liimapuuta (Suomen Liimapuuyhdistys ja Puuinfo 2014, 22).

Liimapuu on lujempaa ja jäykempää kuin vastaava kokoinen sahatavara (Suomen Liimapuuyhdistys ja Puuinfo 2014, 9) ja sille sallitaan noin 1/3 korkeammat lujuusarvot kuin vastaavalle massiiviselle sahatavaralle (Puuinfo 23.6.2020a). Painoonsa nähden hyvien lujuusominaisuuksiensa ansiosta siitä voidaan valmistaa rakenneosia suurille jänneväleille (Suomen Liimapuuyhdistys ja Puuinfo 2014, 24). Liimapuupalkin enimmäiskorkeus on n. 2 m ja maksimijänneväli n. 30 m (Puuinfo 23.6.2020a).

Liimapuu elää kosteuden mukana samalla tavalla kuin muukin puutavara. Lamellien kosteuspitoisuuden tasaisuudesta ja lamellien suuntauksesta johtuen se ei kuitenkaan väännä ja käyristy yhtä paljon kuin sahatavara. (Suomen Liimapuuyhdistys ja Puuinfo 2014, 26.)

Liimapuuta voidaan valmistaa homogeenisena tai yhdistettynä (merkintä esim. GL30h (homogenous) tai GL30c (combined)). Yhdistetyssä liimapuussa uloimmat lamellit tehdään suuremman lujuusluokan puusta kuin sisemmät lamellit, joka voidaan vahvistaa palkkia taivutusta vastaan. Homogeenisessä liimapuussa kaikki lamellit ovat saman lujuusluokan puusta valmistettuja. (Blaß & Sandhaas 2017, 109).

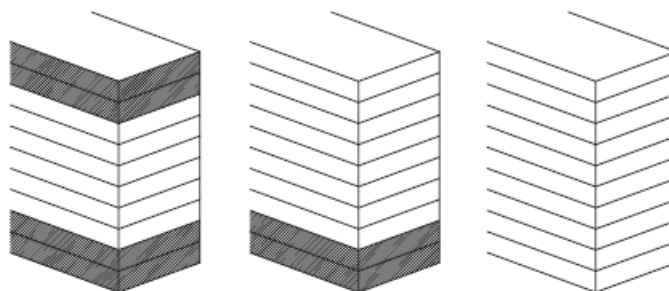


Figure B6-8 From left to right: Symmetrical and asymmetrical combined and homogenous glued laminated timber.

Kuva 8. Symmetrinen ja epäsymmetrinen yhdistetty sekä homogeeninen liimapuupalkki (Blaß & Sandhaas 2017, 110).

Rakentamisessa liimapuuta käytetään runsaasti taivutusrasitukselle alttiissa rakenteissa. Tutkimuksissa on havaittu, että liimapuu murtuu tyypillisesti joko lamelleissa olevan oksankohdan tai sormijatkoksen kohdalta. (Blaß & Sandhaas 2017, 110.)

## LVL

LVL (laminated veneer lumber) eli viilupuu valmistetaan liimaamalla 3 mm paksuista sorvatuista viiluista. Tuotteesta riippuen kaikkien viilujen syysuunta voi olla pituussuuntaan tai osa viiluista voi olla ristiin. LVL:n lujuusominaisuudet

ovat homogeenisemmat kuin sahatavaralla. (Federation of the Finnish Woodworking Industries 2020, 10.)

Viilupuun maksimileveys on 2,5 metriä ja maksimijänneväli 25 metriä. Palkkien paksuus vaihtelee 27...75 mm välillä ja niiden tyypillinen jänneväli on 5...12 metriä. Viilupuuta käytetään ala-, väli- ja yläpohjien lisäksi myös aukko- ja tukipalkkeina sekä rakennuksen jäykistävinä osina. (Puuinfo 23.6.2020b.)

LVL-P:ssä kaikkien viilujen syysuunta on pituussuuntainen, joka maksimoi taiputuskestävyyden. LVL-C:ssä noin 20% viiluista on asennettu ristikkäin, joka lisää poikittaista lujuutta ja jäykkyyttä ja pienentää kosteuden aiheuttamaa elämistä. LVL-C kestää poikittaisten viilujen ansiosta paremmin poikittaissuuntaista puristusta ja vetoa eikä halkeile herkästi. (Federation of the Finnish Woodworking Industries 2020, 11-12.)



**Figure 1.3.** LVL-P beams.

Kuva 9. LVL-P-palkkeja (Federation of the Finnish Woodworking Industries 2020, 11).

## CLT

CLT (cross laminated timber) valmistetaan liimaamalla lautakerroksia ristiin. Tyypillisesti kerroksia on kolme tai viisi. Ristiinliimauksen ansiosta CLT-levy on erittäin lujaa ja jäykkää ja sahatavaraan verrattuna lujuusominaisuuksien hajonta on pienempää. (Puuinfo 16.1.2023; Blaß & Sandhaas 2017, 117.) Puurakentamisessa CLT:tä käytetään pääosin levymäisinä seinä- ja välipohjajäseninä (Swedish Wood 2019, 8).



Kuva 10. (Puuinfo 16.1.2023.)

CLT:n liimaus voidaan suorittaa kahdella tavalla: joko siten että lautakerrokset on liimattu yhteen vain lapepinnoiltaan tai niin, että myös syrjäpinnat on liimattu yhteen (Puuinfo 16.1.2023). Mikäli syrjäpintoja ei liimata yhteen on sillä vaikutusta leikkausvoiman siirtymiseen (Flaig & Blaß 2013, 1), mutta toisaalta silloin CLT-elementissä ei niin helposti tapahdu kuivumiskutistumisesta johtuvaa halkeilua (Puuinfo 16.1.2023). Ristiinliimauksen ansiosta CLT:n kosteuseläminen on myös vastaavaa sahatavarakappaletta pienempää (Swedish Wood 2019, 20).

CLT-levyn paksuus voi olla 60...500 mm, leveys 1,2...4,8 m ja pituus 3...25 m valmistajasta riippuen (Swedish Wood 2019, 16).

Riippuen ristiinliimattujen kerrosten paksuuksien suhteesta voi samanpaksuis- ten CLT-elementtien erisuuntaiset lujuus- ja jäykkyyssominaisuudet vaihdella suuresti. Myös elementtiin kohdistuvan rasituksen suunnalla suhteessa elemen- tin uloimman kerroksen syysuuntaan on merkitystä elementtiin syntyviin sisäi- siin jännityksiin. (Blaß & Sandhaas 2017, 118.)

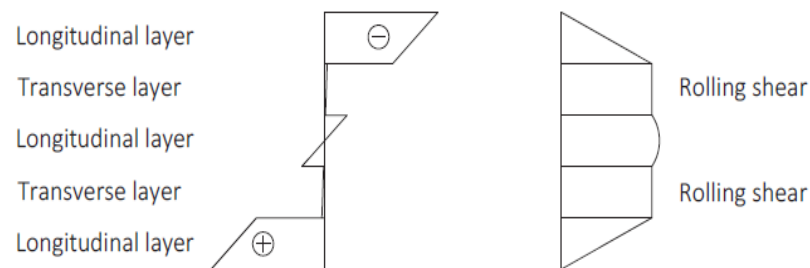


Figure B6-11 Distribution of bending stress (left) and distribution of shear stress (right) of a 5-layer CLT panel loaded perpendicular to the plane and parallel to the grain of the top layer.

Kuva 11. Taivutusjännityksen jakautuminen CLT-elementissä ristiinliimattujen lautakerrosten välillä, kun kuormitus on uloimpien kerrosten suuntainen (Blaß & Sandhaas 2017, 118).

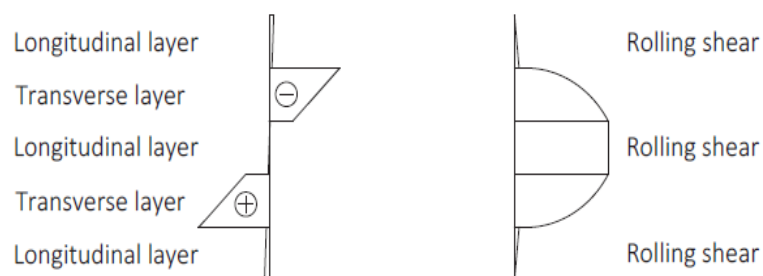


Figure B6-12 Distribution of bending stress (left) and distribution of shear stress (right) of a 5-layer CLT panel loaded perpendicular to the plane and perpendicular to the grain of the top layer.

Kuva 12. Taivutusjännityksen jakautuminen CLT-elementissä ristiinliimattujen lautakerrosten välillä, kun kuormitus on poikittainen uloimpien kerrosten suun- taan nähden (Blaß & Sandhaas 2017, 119.)

CLT-levyjen tekniset ominaisuudet ovat valmistajakohtaisia ja rakenteiden mitoitusta tehdään käyttäen valmistajien antamia tuotteitaan koskevia ohjeita. CLT-levylle ei ole tällä hetkellä olemassa harmonisoitua eurooppalaista tuotestandardia, joten levyt CE-merkitään eurooppalaisen teknisen hyväksynnän mukaan. (Puuinfo 16.1.2023.)

### 3.3 Puurakenteille tapahtuneita vaurioita

Kahdessa Lundin yliopistossa tehdyssä tutkimuksessa on käyty laajasti läpi puurakenteille tapahtuneita vaurioita. Molemmissa tutkimuksissa on analysoitu yli 100 tapausta, joissa puurakennus tai puurakenteita on sortunut tai niihin on ilmestynyt merkittävää halkeilua. Suurin osa tapauksista on ollut suoraan tai epäsuorasti ihmishengille vaarallisia. (Frühwald-Hansson 2011, 1, Frühwald & Serrano & Toratti & Emilsson & Thelandersson 2007, 20.)

Valtaosassa vaurioitumiseen johtaneista virheistä syy on peräisin ihmisten toiminnasta. (Frühwald-Hansson 2011, 1, Frühwald ym. 2007, 1, 5, 8). Noin puolessa tapauksista syy on suunnittelussa, esimerkiksi kuormien virheellisessä määrittämisessä, neljännes johtuu työmaahenkilökunnan toiminnasta ja loput muista syistä kuten virheet valmistusprosessissa tai materiaalissa (Frühwald-Hansson 2011, 1). Kolmasosassa tapauksista vaurio johtuu useammasta kuin yhdestä syystä ja kaikista vauriotapauksista 12,5%:ssa yhtenä osatekijänä on ollut työmaalla rakenteisiin tehdyt muutokset (Frühwald-Hansson 2011, 2).

Taulukko 3. Vaurioiden prosentuaalinen jakautuminen eri tyypeihin (Frühwald-Hansson 2011, 3).

**Table 2**  
Distribution of errors (in percentage of cases) causing damage or failure for structures of different materials. Nordic study and studies [1,9] are made on timber structures.

Failure category	Nordic study	Dietsch and Winter [1]	Blaß and Frese [9]	Steel [11]	Concrete [12]
1. Material performance	1.5				
2. Manufacturing errors in factory	5.4	5 <sup>a</sup>	4 <sup>a</sup>		
3. Poor manufacturing principles	4.2				
4. On-site alterations	12.5	6			
5. Poor principles during erection	14.1	14	6 <sup>b</sup>	25 <sup>b</sup>	40 <sup>b</sup>
6. Design (mechanical loading)	41.5	31		35	40
7. Design (environmental loading)	11.4	28	81 <sup>c</sup>		
8. Overload	4.4	5			
9. Maintenance		11	2	35	
10. Other/unknown	5.1		7	5	20

<sup>a</sup> Categories 1, 2 and 3.

<sup>b</sup> Categories 4 and 5.

<sup>c</sup> Categories 6 and 7.

Tarkasteltaessa vaurioiden jakautumista rakenneosittain havaitaan, että lähes puolessa tapauksia yhtenä vauriossa mukana olleena rakenneosana ovat palkit. Tutkimuksessa riskialttiina mainitaan erityisesti kaarevat- ja harjapalkit, joihin kuormitus muodostaa syytä vastaan kohtisuoraa vetojännitystä sekä myös suuren poikkileikkauksen suorat palkit. (Frühwald-Hansson 2011, 3.) Myös puurakenteet, joissa on reikiä tai lovia vaurioituvat herkästi syytä vastaan kohtisuorasta vedosta (Frühwald ym. 2007, 36).

Tutkimuksen perusteella kolme suurinta puurakenteiden vauriotyyppiä ovat epästabiilisuudesta johtuvat vauriot tai sortumat (30%), taipumisesta johtuvat vauriot (15%) sekä syytä vastaan kohtisuorasta vedosta johtuvat vauriot (11%) (Frühwald-Hansson 2011, 4).

### Hyviä käytäntöjä

Tutkimuksensa perusteella Frühwald ym. esittävät, että syysuuntaa vastaan kohtisuoran vedon aiheuttamat ilmiöt täytyy huolellisesti huomioida puurakenteiden suunnittelussa. Tämän ilmiön huomioiminen on erityisen tärkeää suunnittelijoille, jotka ovat tottuneet työskentelemään isotrooppisten materiaalien, kuten teräksen tai betonin kanssa, jotta sen vaikutukset eivät pääse unohtumaan. (2007, 37.)

Kosteuden muutokset puumateriaalissa aiheuttavat kutistumista tai turpoamista aiheuttaen sisäisiä jännityksiä, jotka ovat suurimpia syysuuntaa vastaan kohtisuorassa suunnassa. On huomioitavaa, että myös estetty kosteuseläminen tuottaa sisäisiä jännityksiä. Nämä jännitykset toimivat usein yhdessä ulkoisista kuormista aiheutuvien vetojännitysten kanssa, joka voi johtaa halkeiluun tai rakenteen murtumiseen. Siksi olisi hyvä tehdä näiden asioiden tarkastukset suunnittelussa samaan aikaan. (Frühwald ym. 2007, 37-39.)

Tutkimuksen johtopäätöksenä on, että puurakentamisessa tulisi olla erityisen huolellinen sekä työnaikaisen että valmiin rakennuksen jäykistyksen kanssa, syysuuntaa vastaan kohtisuoraan vetoon liittyvien ilmiöiden kanssa, kosteuden



aiheuttamien vaikutusten arvioinnissa ja liitossuunnittelussa (Frühwald ym. 2007, 43).

### 3.4 Puun murtumismekaniikkaa

Puun tyypillisin vaurioitumistyyppi on kosteuselämisestä johtuvien jännitysten aiheuttama syysuuntainen halkeilu. Halkeilu alentaa rakenteen kestävyttä (Franke & Franke & Harte 2015, 2.) ja sen vaarallisuuteen vaikuttavat halkeileeseen alueeseen kohdistuva rasitus sekä halkeamien koko (VTT 9.10.2006, 17).



Kuva 13 (vas). Liimapuupalkkiin syntyneitä sisäisiä halkeamia (Franke ym. 2015, 3)

Kuva 14 (oik). Halkeamia CLT- rakenteessa (Pesonen 9.6.2023).

### Puristus

Puun epäsäännöllisyydet eivät vaikuta puun puristuskestävyyteen yhtä paljon kuin vetokestävyyteen. Pituussuuntaisesta puristuksesta aiheutuvassa vauriossa puun kuidut myötäävät aluksi, kunnes niille tapahtuu paikallinen nurjahdus. (Blaß & Sandhaas 2017, 163.)



Puun syysuuntaa vastaan kohtisuorasta puristuksesta aiheutuu plastisia muodonmuutoksia. Tämä ns. reunapuristumaksi tai leimapaineeksi sanottu ilmiö esiintyy pääasiassa tuilla tai runsaasti kuormitetuissa kuormituspisteissä. Kummassakin tapauksessa muodonmuutokset voivat johtaa rakenteen epäkeskisyyteen ja koko rakenteen kuormitusten epätasaiseen jakautumiseen. Tällä voi olla vaikutuksia myös rakenteen jäykistykseen. (Franke ym. 2015, 4.)

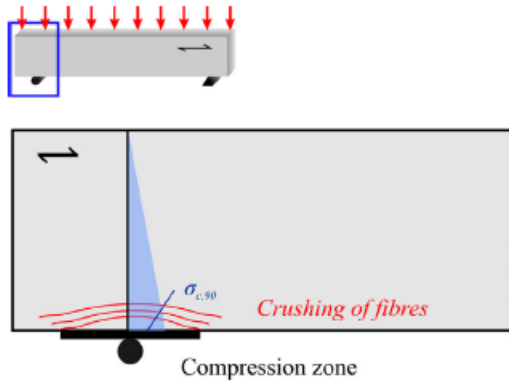


Fig. 8. Principal sketch for compression failure at support.

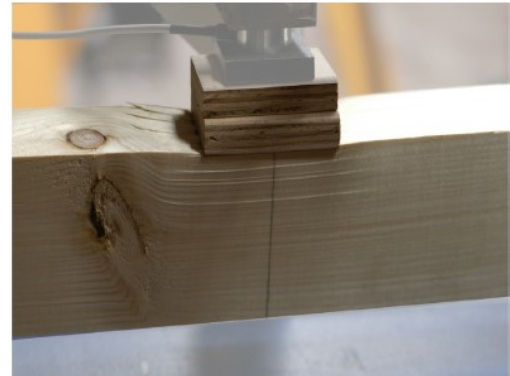


Fig. 9. Compression failure at loading point.

Kuva 15 (vas). Syysuuntaa vastaan kohtisuoran puristuksen aiheuttama jännitykset (Franke ym. 2015, 4)

Kuva 16 (oik). Syysuuntaa vastaan kohtisuoran puristuksen aiheuttama muodonmuutos (oik.)

## Veto

Puurakenteessa voi esiintyä syysuuntaista- tai syysuuntaa vastaan kohtisuoraa vetoa. Puun vetokestävyyden ylittyessä tapahtuu hauras murto. Puu on erityisen heikko syytä vastaan kohtisuoraa vetoa vastaan, jota puun epäsäännöllisyydet kuten oksankohdat heikentävät entisestään. (Blaß & Sandhaas 2017, 166.) Syysuuntaa vastaan kohtisuoraa vetoa esiintyy erityisesti kaarevissa- ja harjapalkeissa sekä päistään lovetuissa liimapuusauvoissa ja sauvoissa joissa on reikiä tai poikittaista vetoa aiheuttavia ripustuksia (Franke ym. 2015, 4).

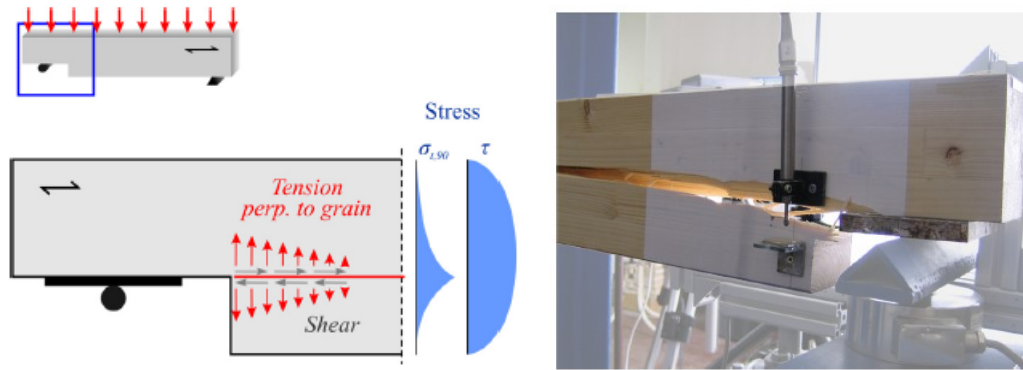


Fig. 11. Tension failure perpendicular to the grain at a notch.

Kuva 17 (vas). Syysuuntaa vastaan kohtisuoran vedon aiheuttamat jännitykset (Franke ym. 2015, 5).

Kuva 18 (oik). Syysuuntaa vastaan kohtisuoran vedon aiheuttama murto (Franke ym. 2015, 5).

## Taivutus

Taivutus aiheuttaa poikkileikkaukseen pituussuuntaista puristusta ja vetoa. Vetojännitys voi aiheuttaa puun kuitujen haurasta murtumista, kun taas puristus johtaa kimmoisiin ja plastisiin poimumaisiin muodonmuutoksiin (kink bands). Puun ominaisuuksista, kuten oksankohdat ym. johtuen vetokestävyys on tyypillisesti alempi kuin puristuskestävyys, minkä vuoksi taivutuksesta johtuva vaurioituminen esiintyy useimmiten vetopuolen hauraana murtona. Taivutusmurto voi olla hyvin vakava ja johtaa rakenneosan tai koko rakennuksen sortumiseen. (Franke ym. 2015, 3.)

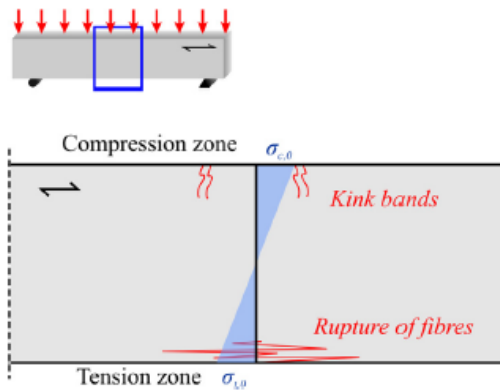


Fig. 6. Principal sketch for bending failure.



Fig. 7. Tension failure under bending.

Kuva 19 (vas). Taivutuksesta puupalkkiin aiheutuvat jännitykset (Franke ym. 2015, 3).

Kuva 20 (oik). Taivutusmurto (Franke ym. 2015, 3).

## Leikkaus

Lyhyillä palkeilla, harjapalkeilla ja erikoisissa kuormitustapauksissa leikkausvoima voi muodostua määrääväksi. Palkin loveaminen päästään tai reikä palkissa aiheuttaa suuria paikallisia leikkausvoimakertymiä. Leikkausmurrossa esiintyy tyypillisesti kuitujen pituussuuntaista liukumista, joka on hauras murto-tapa kuten syysuuntaa vastaan kohtisuorasta vedosta aiheutuvassa murrossa. (Franke ym. 2015, 5.)

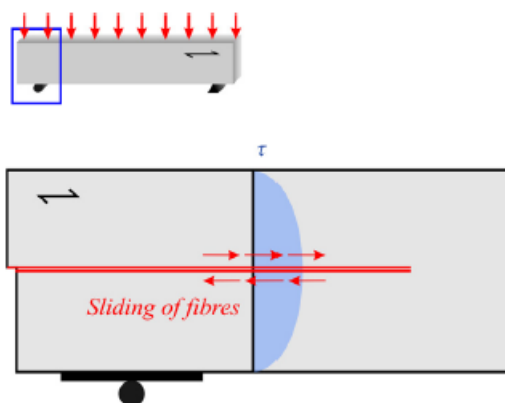


Fig. 13. Principal sketch for shear failure.



Fig. 14. Shear failure at holes.

Kuva 21 (vas). Leikkausvoimasta aiheutuvat jännitykset (Franke ym. 2015, 6).

Kuva 22 (oik). Leikkausmurto reiän kohdalla (Franke ym. 2015, 6).

## 4 Reiät ja lovet puurakenteessa ja niiden toteuttaminen

### 4.1 Reikien ja lovien mekaniikkaa

Reikien teossa keskeinen huomioitava ilmiö on, että puu on erityisen heikko syytä vastaan kohtisuoraa vetoa vastaan. Reiän tai loven teko aiheuttaa poikki-leikkaukseen äkillisen muutoksen, jolla on huomattava vaikutus jännitysten jakautumiseen reiän tai loven ympäristössä. Reiän tai loven läheisyyteen syntyy suuria paikallisia syitä vastaan kohtisuoria vetojännityksiä, jotka heikentävät rakenteen kestävyttä. Tämä voi johtaa rakenteen halkeamiseen jo pienen ulkoisen kuorman vaikutuksesta. (Puuinfo 2015, 86, 90; Danielsson 2007, 1.)

Loven tai reiän yhteyteen syntyvä murtuma on hauras ja syntyy yhtäkkisesti ilman suuria havaittavia muodonmuutoksia tai muita ulkoisia merkkejä. Rakenteen muodosta riippuen voi nopeasti syysuuntaisesti etenevä halkeama aiheuttaa rakenteen pettämisen. (Blaß & Sandhaas 2017, 219.)

Lovien tai reikien yhteydessä syysuuntaiset halkeamat syntyvät jännityksen tyypistä riippuen loven tai reiän nurkkiin alla olevan kuvan mukaisesti (Blaß & Sandhaas 2017, 219).

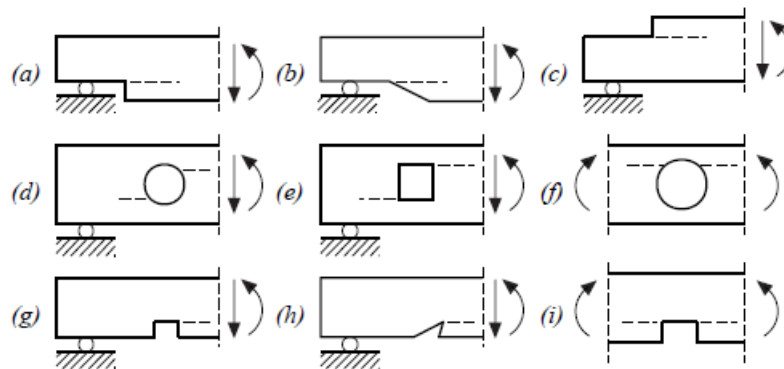


Figure D5-1 Notched beams and beams with holes, the dashed lines indicate probable crack propagation paths. (STEP 1995 Article B5)

Kuva 23. Lovien ja reikien yhteyteen syntyvien halkeamien tyypilliset esiintymispaikat (Blaß & Sandhaas 2017, 219).

Halkeamat syntyvät yleensä syitä vastaan kohtisuoran leikkaus- ja vetojännityksen yhteisvaikutuksesta. Nämä jännitykset voivat kasvaa liian suuriksi erityisesti loven kärjessä. Kimmoteorian mukaan jännitykset terävän loven kärjessä kasvavat äärettömiksi, mutta todellisuudessa jännitykset jakautuvat uudelleen paikallisen halkeaman syntyhetkellä oheisen kuvan mukaisesti. (Blaß & Sandhaas 2017, 219.)

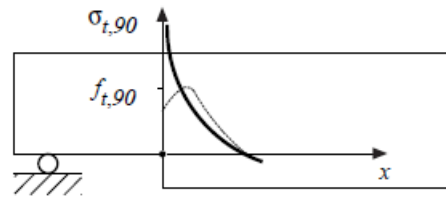


Figure D5-2 Stress distribution at the notch tip in accordance with the (linear) theory of elasticity (solid line) and assumed actual stress distribution (dashed line). (STEP 1995 Article B5)

Kuva 24. Jännitysten kimmoteorian mukainen ja todellinen jakautuminen loven yhteydessä (Blaß & Sandhaas 2017, 220).

Koska reikien ja lovien yhteydessä esiintyvät liialliset jännitykset esiintyvät yleensä hyvin pienellä alueella, on vaikeaa määrittää rakenteen kestävyyttä perinteisillä menetelmillä. Rei'itetyn tai lovetun rakenteen kapasiteetti tulee määrittää joko analyttisen lähestymistavan ja koekuormitusten yhdistelmällä tai käyttämällä murtumamekaniikkaa (fracture mechanics). (Blaß & Sandhaas 2017, 220.) Danielsson (2007) kokoaa yhteen useita rei'itetyille liimapuupalkeille tehtyjä kokeita ja erilaisia laskennallisia lähestymistapoja, joilla reikien vaikutusta rakenteen kestävyteen voidaan arvioida sekä vertailee laskennallisten tulosten yhtäpitävyyttä koetulosten kanssa.

Myös kosteusmuutosten aikaansaamat sisäiset jännitykset on otettava huomioon reikien tai lovien yhteydessä. Mikäli puun syyt ovat paljaana loven tai reiän kohdalla, voi se huomattavasti kiihdyttää paikallisia kosteusmuutoksia. (Blaß & Sandhaas 2017, 220.)

## 4.2 Reiän tai loven toteutus työmaalla

Työmaan kannalta reiän teko jälkikäteen tarkoittaa verrattain kallista lisätyötä. Käytettävät isot ja painavat koneet tekevät työstä hankalaa ja mikäli läpivienti sijaitsee katonrajassa, joudutaan sen tekoa varten hankkimaan nostin. Reiän teko puurakenteeseen voi olla timanttiporausta kalliimpaa kaikkine sivutöineen. (Asiantuntija D 25.5.2023.)

Käytettävä työväline riippuu reiän koosta ja muodosta. Pyöreät reiät tehdään käyttäen isoja kuppiteriä, kaikki muut muodot tehdään moottorisahalla tai sirkkelillä. Reikäteriä on saatavilla ainakin 210 mm halkaisijaan saakka ja niiden syvyys on luokkaa 20 cm. Sirkkelillä päästään noin 18 cm syvyyteen ja työmaalla käytettävillä moottorisahoilla parhaimmillaan noin 50 cm syvyyteen. Työtavasta ja rei'itettävän rakenneosan paksuudesta riippuen voidaan joutua tekemään reikä molemmilta puolilta, jolloin eri puolilta tehtävien reikien kohdistaminen asettaa omat haasteensa. (Asiantuntija D 25.5.2023.)

Kuppiterää käytettäessä porataan joko ensin pienempi ohjuri-reikä terän keskellä olevaa ohjuria varten tai tehdään vaneriin sapluuna, jota apuna käyttäen reikä porataan. Tarkasti työskennellessä kuppiterän toleranssi on luokkaa +/- 1 mm. Sirkkeliä tai moottorisahaa käytettäessä reiät tehdään käsivaralla, jolloin tarkkuus on parhaimmillaan luokkaa +/- 10 mm. (Asiantuntija D 25.5.2023.)



Kuva 25 (vas). Reikäporanteriä (Pesonen 9.6.2023)

Kuva 26 (oik). Reiän tekoon käytettävä vanerinen sapluuna (Haverinen 2022).





Kuva 27 (vas). Sirkkeli (Pesonen 9.6.2023).



Kuva 28 (oik). Moottorisaha (Pesonen 9.6.2023).

### Reiän työmaalla toteuttamisen menettely

- 1) Työmaalla todetaan tarve puurakenteeseen tehtävälle reiälle tai lovelle
- 2) Rakennesuunnittelija suunnittelee ja mitoittaa reiän ja pyrkii sijoittamaan sen toivotulle paikalle
- 3) Suunnitelma reiästä tai lovesta lähetetään urakoitsijalle
- 4) Urakoitsija piirtää reiät rakenteisiin oikealle paikalle ja oikean kokoisina esim. spray- maalilla
- 5) Rakennesuunnittelija tarkistaa reiän rakennuspaikalla
- 6) Hyväksytyyn tarkastuksen jälkeen reiät toteutetaan
- 7) Reiästä tehdään tarpeelliset merkinnät työmaapäiväkirjoihin ym. ja suunnitelma reiästä liitetään kohteen dokumentteihin

(RIL 174-4, 45 ja Asiantuntija B 30.6.2023 mukailten).

### 4.3 Reikien ja lovien suunnittelu ja mitoitus

Reikien ja lovien suunnittelu kantavaan rakenteeseen katsotaan vaativaksi suunnittelutehtäväksi. Vaikka kuormitus ei kasvaisikaan muutostyön yhteydessä, voi kantavien rakenteiden toiminta muuttua rasitusten kasvaessa. (YM1/6012015, 8.)

#### Lovien mitoitus

Lovetun palkin mitoitus täytyy tehdä huolellisesti, sillä jo pieni lovi lisää halkeamisriskiä, mikä voi johtaa hauraaseen murtumiseen (Suomen Liimapuuyhdistys ja Puuinfo 2015a, 86).

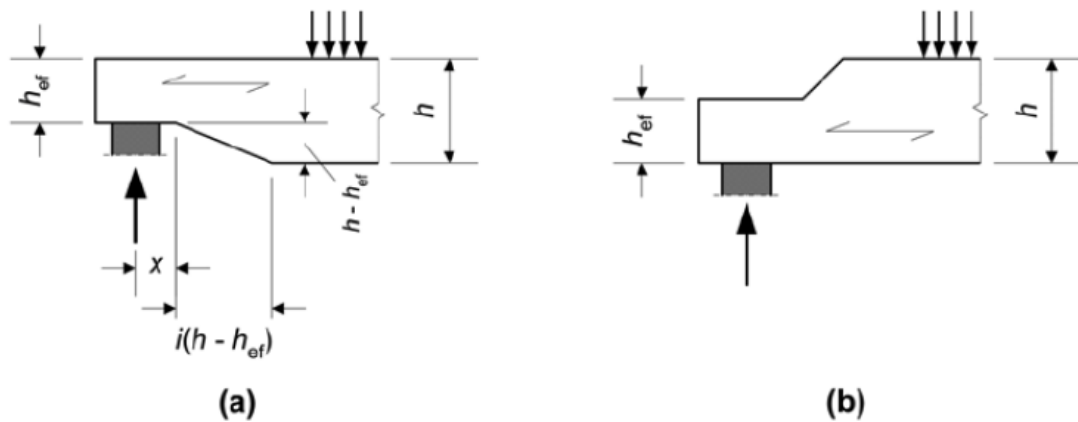
Eri maiden suunnitteluohjeistuksissa lovien mitoitus perustuu joko leikkauskestävyyden pienentämiseen tai murtumamekaniikasta johdettuihin laskentamenetelyihin. Puurakenteiden eurokoodin EN 1995-1-1 laskentamalli on yhdistelmä molemmista lähestymistavoista. (Jockwer & Steigner & Frangi 2013, 11.)

Puurakenteiden eurokoodin luku 6.5 käsittelee lovettuja sauvoja. Yleisesti mainitaan, että loven kohdalle syntyvien jännityshuippujen vaikutukset tulee huomioida sauvojen kestävyttä osoitettaessa, mutta tästä ei anneta tarkempaa ohjeistusta tai esitetä laskentamenettelyä. Samassa kohdassa kerrotaan myös tapaukset, jossa jännityshuippujen vaikutus voidaan jättää huomioimatta.

Tuen kohdalta lovettujen palkkien mitoitusmenettely kerrotaan eurokoodin kohdassa 6.5.2. Samat mitoituskaavat löytyvät myös RIL 205-1-2017 Puurakenteiden suunnitteluohjeesta luvusta 6.5. Mitoituslaskennassa tarkistetaan, että loven kohdalle syntyvä leikkausjännitys ei ylitä palkin leikkauskestävyyttä. Leikkausjännityksen laskennassa käytetään tehollisen poikkileikkauksen mittoja ja leikkauskestävyyttä pienennetään kertoimella  $k_v$ , joka huomioi mm. puumateriaalin ja loven kaltevuuden vaikutuksen leikkauskestävyyteen. (RIL 205-1-2017, 92-94.)



Puuinforin vaativan puurakentamisen esimerkeistä löytyy laskelma palkin veto-  
puolen loven mitoituksesta ja vahvistamisesta (Puuinfo 29.1.2019b).



**Kuva 6.11 Päästään lovetut palkit**

Kuva 29. Päästään lovettujen palkkien merkinnät (SFS-EN 1995-1-1 6.5.2, 49).

### Lovien nyrkkisäännöt

Alle on kerätty eri lähteistä peräisin olevia mitoitukseen liittyviä yksittäisiä ohjeita, joita ei välttämättä alkuperäisissä lähteissä ole perusteltu tarkasti. Ohjeet on kerätty ns. ”nyrkkisäännöiksi”, jotka edustavat hyväksi havaittuja suunnittelukäytäntöjä.

”(Liimapuu) palkin keskialueelle ei pidä tehdä lainkaan vahvistamattomia lovia. Reiät ja lovet heikentävät palkkia niin paljon, että yleensä suositellaan käytettäväksi jotain vahvistusmenetelmää.” (Suomen Liimapuuyhdistys ja Puuinfo 2015a, 86.)

”Puristuspuolella oleva lovi pienentää kestävyyttä vähemmän kuin veto-  
puolella oleva lovi.” (Suomen Liimapuuyhdistys ja Puuinfo 2015a, 86.)

”Jos lovia ei voi välttää, niin ne pitää ainakin veto-  
puolella sahata vinosti tai pyöristää vähintään 25 mm pyöristyssäteellä. Suurempia lovia kuin 0,5h tai 500 mm ei pidä tehdä vahvistamattomina.” (Suomen Liimapuuyhdistys ja Puuinfo 2015a, 86.)

Lovia mitoitettaessa tulee pitää mielessä, että palkkien kestävyys pienenee suhteellisesti, kun poikkileikkauksen koko kasvaa (ns. size-effect) (Jockwer ym. 2013, 10).

Kuivumisesta johtuvan halkeilun vähentämiseksi pitää syiden päät suojata reikien tai lovien kohdalla, sekä rei'issä tai palkkien lähellä kulkevat kuumat putket ja tuuletuskanavat pitää eristää (Puuinfo 2015a, 91).

Reikiä ja lovia tulisi erityisesti välttää muuttuvien sääolojen rasittamissa puurakenteissa (Blaß & Sandhaas 2017, 220).

### Reikien mitoitus

Puurakenteiden eurokoodi EN 1995-1-1 ei anna menetelmää reikien mitoitukseen. Suomalaisen eurokoodin kansallisessa liitteessä annetaan mitoitusmenettely liimapuu- ja LVL- palkkeja varten, joka perustuu eurokoodi 5:n Saksan kansalliseen liitteeseen (Ympäristöministeriö 2016, 16; Puuinfo 2015a, 91). Sama laskentamenettely löytyy hieman laajennettuna RIL 205-1-2017 Puurakenteiden suunnitteluohjeesta (94-97).

Mitoituksessa tarkastetaan reiälle asetettujen geometrinen ehtojen, kuten reiän koon ja reunaetäisyyksien toteutuminen sekä palkin syysuuntaa vastaan kohtisuora vetolujuus reiän yhteyteen syntyvän poikittaisen vetojännityspiikin kohdalla. Poikittaisen vetovoiman laskennassa huomioidaan sekä leikkausvoiman että taivutusmomentin vaikutus. Lisäksi tarkastetaan palkin leikkaus-, taivutus- ja veto/puristuskestävyys reiän kohdalla teholliselle poikkileikkaukselle. (RIL 205-1-2017, 94-96.)

RIL 205-1-2017 sisältää mitoitusohjeen myös max. 30 mm halkaisijaltaan oleville rei'ille sahatavarapalkissa (RIL 205-1-2017, 95).

Liimapuukäsikirja osa 2:ssa esitetään liimapuupalkin reikien mitoitukselle samat menettelyt kuin RIL 205-1-2017:ssä sekä avataan mitoitusmenettelyä sanallisesti. Lisäksi annetaan laskentamenettely, jolla voidaan arvioida

jännityshuippujen suuruutta suorakulmaisen reiän kulmassa. (Suomen Liimapuuyhdistys ja Puuinfo 2015a, 86-94.) Liimapuukäsikirja osa 3:ssa on tiivistetty liimapuiden mitoitusohjeet havainnekuvilla varustetuiksi ”ohjekorteiksi” (Suomen Liimapuuyhdistys ja Puuinfo 2015b, 49-52).

LVL:n mitoitus voidaan tehdä LVL Handbook European mitoituskaavoilla, joita käytettäessä saavutetaan useimmissa tapauksissa suurempi sallittu reiän koko (Federation of the Finnish Woodworking Industries 2020, 134).

MetsäWoodin Kertotuotteiden kanssa voidaan hyödyntää Kerto LVL- käsikirjan reikien ja lovien mitoitus- ohjetta tai VTT:n sertifikaatin 184/03 mitoitusohjetta, jotka sallivat suuremmat reiät kuin RIL 250-1-2017. Erityisesti pyöreän reiän suurin sallittu koko on Kerto- tuotteilla huomattavasti isompi. (MetsäWood 2020; VTT Expert Services Ltd 2004.) Ristiviilurakenteen ansiosta Kerto-Q- tuotteille ei tarvitse tarkistaa syytä vastaan kohtisuoraa vetokestävyyttä, vaan tarkistetaan vain taivutus-, veto-, puristus- ja leikkausjännitykset reiän kohdalla reiän osuudella vähennetyille poikkileikkaukselle (MetsäWood 2020, 3).

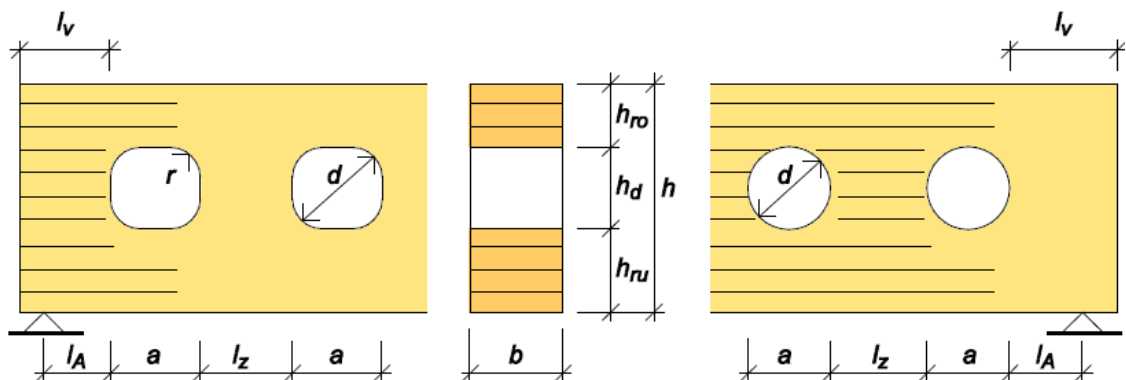
Puuinforon vaativan puurakentamisen esimerkeistä löytyy laskelma puupalkin reiän mitoituksesta (Puuinfo 29.1.2019a).

Alla olevaan taulukkoon on koottu eri mitoitusohjeiden sallimat reunaetäisyydet, reikien koot, materiaalit ym.

Taulukko 3. Eri mitoitusmenettelyjen rei'ille sallimat dimensiot ja reunaetäisyydet.

Reiän muoto	Materiaali	$l_v$	$l_z$	$l_A$	$h_{ro}, h_{ru}$	$a$	$h_d$	$r$	Ohje
Pyöreä	Sahatavara	Halkaisijaltaan max. 30 mm reikiä voidaan tehdä RIL 205-1-2017 erityisohjeilla.							RIL 205-1-2017
Pyöreä tai suorakaide	Liimapuun, LVL	$\geq h$	$\geq 1,5h$ min 300 mm	$\geq 0,5h$	$\geq 0,35h$	$\leq 0,4h$	$\leq 0,15h$ pyöreillä rei'illä $d \leq 0,3h$	$\geq 15$ mm	RIL 205-1-2017
Pyöreä tai suorakaide	Liimapuun	$\geq h$	$\geq 1,5h$ min 300 mm	$\geq 0,5h$	$\geq 0,35h$	$\leq 0,4h$	$\leq 0,3h$	$\geq 25$ mm (suositus)	Liimapuukäsikirja
Pyöreä tai suorakaide	LVL-P	$\geq h$	$\geq 1,5h$ min 300 mm	$\geq 0,5h$	$\geq 0,35h$	$\leq 2,5h_d$	$\leq 0,15h$	$\geq 15$ mm	LVL-Handbook Europe
Pyöreä tai suorakaide	LVL-C	$\geq h$	$\geq 1,5h$ min 300 mm	$\geq 0,5h$	$\geq 0,25h$	$\leq 2,5h_d$	$\leq 0,4h$	$\geq 15$ mm	LVL-Handbook Europe
Suorakaide	Kerto-LVL*	$\geq h$	$\geq 1,5h$	$\geq 0,5h$	$\geq 0,35h$	$\leq 1,3h$	$\leq 0,3h$	$\geq 15$ mm	VTT 184/03, Kerto LVL Reikien ja lovien mitoitus
Pyöreä	Kerto-LVL*	$\geq h$	$\geq \max(0,5h; 2d)$	$\geq 0,5h$	$\geq 0,15h$ , kun keskipiste N.A.:lla $\geq 0,25h$ , kun keskipiste ei N.A.:lla		$d \leq 0,7h$		VTT 184/03, Kerto LVL Reikien ja lovien mitoitus
	CLT	Ei eurokoodin mukaista mitoitusmenettelyä. Flaig, M. "Design of CLT Beams with Rectangular Holes or Notches" esittää erään laskentamenettelyn.							

\* Kerto-LVL- mitoitusohjeet voimassa vain MetsäWoodin Kerto-tuotteille.



Kuva 30. Reikien merkinnät (Puuinfo 2015b, 48).

## Reikien nyrkkisäännöt

Rakenteissa, joiden geometrinen muoto aiheuttaa syitä vastaan kohtisuoria vetojännityksiä, kuten harjapalkin harjan alueella, tulee reikien teon kanssa olla erityisen varovainen. Kaareviin rakennusosiin tai kehän nurkkiin ei saa tehdä laisinkaan reikiä. (Puuinfo 2015a, 91.)

”Suuriin rakenteisiin saa tehdä reikiä vain huolellisen harkinnan perusteella. Koska vetojännitykset syitä vastaan kohtisuoraan eivät rajoitu vain reiän välittömään läheisyyteen, niin reikien tekemistä lähelle toisiaan pitää välttää.” (Puuinfo 2015a, 91.)

Kuivumisesta johtuvan halkeilun vähentämiseksi pitää syiden päät suojata reikien tai lovien kohdalla, sekä rei'issä tai palkkien lähellä kulkevat kuumat putket ja tuuletuskanavat pitää eristää (Puuinfo 2015a, 91).

Reikiä ja lovia tulisi erityisesti välttää muuttuvien sääolojen rasittamissa puurakenteissa (Blaß & Sandhaas 2017, 220).

## CLT

Puurakenteiden eurokoodi EN 1995-1-1 ei sisällä mitoitusohjeita CLT:lle. CLT-rakenteiden mitoitus joudutaan tekemään soveltaen eurokoodia ja tuotevalmistajien omia tuotteitaan koskevia ohjeita. (Hentonen 2021, 1, 30.)

Se, että CLT:tä käytetään yleensä levymäisinä rakenneosina ja että se koostuu ristiinliimatuista kerroksista, mahdollistaa suurien vahvistamattomien reikien teon (Swedish Wood 2019, 25), mutta reikien ja lovien mitoituksesta CLT-rakenteisiin on toistaiseksi saatavilla vain vähän tietoa.

Flaig (2014) esittää reiällisen CLT-palkin mitoitusmenettelyn Karlsruhen Teknillisessä Instituutissa tehdyssä tutkimuksessaan. Jelec & Rajcic & Danielsson & Serrano (2016) tutkivat tason suunnassa kuormitetun reiällisen CLT-elementin leikkauskestävyyden laskentaa ja FEM- mallinnusta. Jelec & Damjanovic &

Varavac & Rajcic (2022) tutkivat kokeellisesti tason suunnassa kuormitetun reilisen tai päästään lovetun CLT-palkin toimintaa.

#### 4.4 Vahvistaminen

Rakenteen vahvistamisen tarkoituksena voi olla joko palauttaa vaurioituneen rakenneosan alkuperäinen lujuus tai vahvistaa rakenneosaa kestävämmän suurempia rasituksia (Franke ym. 2015, 4). Puurakenteiden yhteydessä vahvistamisen tarkoituksena on usein syysuuntaa vastaan kohtisuoran vetolujuuden kasvattaminen (Blaß & Sandhaas 2017, 263).

Lujuusominaisuuksien lisäksi myös muut asiat voivat vaikuttaa vahvistuksen valintaan ja suunnitteluun: ulkonäköseikat voivat rajata vahvistuksen sijaintia tai palosuojaus, vahvistuksen huollettavuus tai käytettävissä oleva erityisosaaminen voivat vaikuttaa toteutustavan valintaan. Koska vahvistukset ovat yleensä eri materiaalia kuin vahvistettava rakenneosa, on huomioitava myös osien erilaisen lämpölaajenemisen sekä kosteuskäyttäytymisen ja -elämisen vaikutukset. Mikäli rakenneosan jäykkyys muuttuu huomattavasti vahvistuksen seurauksena, on huomioitava myös mahdollinen kuormien uudelleenjakautuminen koko rakenteessa. (Franke ym. 2015, 6-9.)

#### Syytä vastaan kohtisuoran vetokestävyyden vahvistaminen

Syysuuntaa vastaan kohtisuoraa vetolujuutta voidaan vahvistaa sisäisesti tai ulkoisesti. Sisäinen vahvistus toteutetaan liimaruuvein, teräs- tai kuitupolymeeritangoilla tai täyskierteisin puuruuvein. Ulkoinen vahvistus toteutetaan liimamalla palkin pintaan kertopuuta, vaneria, liimapuuta tai kuitupolymeerilevyä tai puristamalla pintaan naulalevy. (Blaß & Sandhaas 2017, 263; Suomen Liimapuuyhdistys ja Puuinfo 2015a, 87-88.; Franke ym. 2015, 7.) Yleissääntönä vahvistuksen tulisi kestää koko puurakennetta rasittava syytä vastaan kohtisuora veto (Blaß & Sandhaas 2017, 263).

## Lovien vahvistaminen

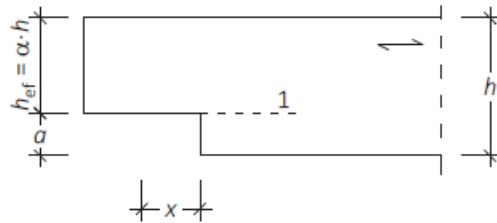


Figure D8-3 Rectangular notch on the same side as the support with critical area 1.

Kuva 31. Loven yhteyteen syntyvän halkeaman sijainti (Blaß & Sandhaas 2017, 266).

Loven vahvistuksen ajatuksena on, että vahvistus kantaa kokonaan loven yhteyteen syntyvän syytä vastaan kohtisuoran vetojännityksen, sitoen puukappaleen yhteen ja estäen halkeaman synnyn. Vahvistettaessa puun ei katsota kantavan lainkaan syytä vastaan kohtisuoraan vetoa, vaan sen oletetaan käyttäytyvän ikäänkuin halkeama olisi jo tapahtunut (Blaß & Sandhaas 2017, 263).

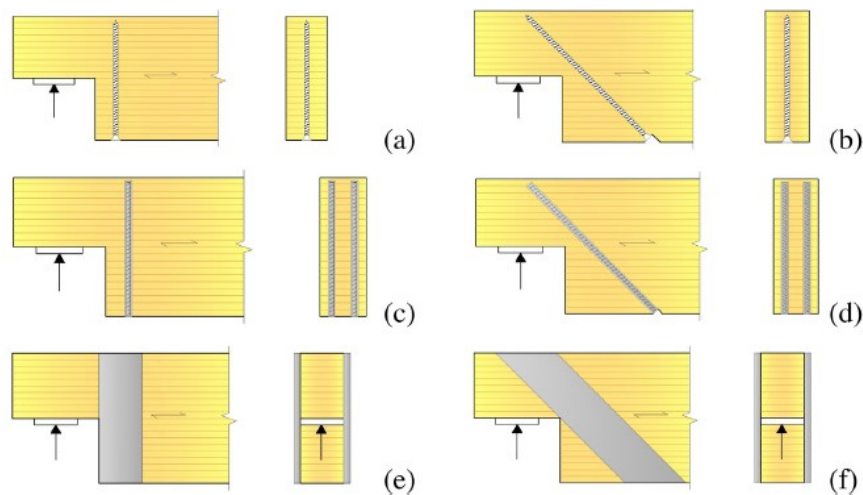


Fig. 24. Typical reinforcement arrangements for notches. (a) & (b) self-tapping screws, (c) & (d) glued-in rods, (e) & (f) EWP or FRP side plates.

Kuva 32. Palkin päässä olevan loven sisäisiä ja ulkoisia vahvistuksia (Franke ym. 2015, 9).

Päistään lovettuja palkkeja rasittavat suuri yhdistetty leikkausvoima ja syysuuntaa vastaan kohtisuora veto. Franke ym. (2015, 7) sanovat, että suurista

leikkausjännityksistä johtuen 45° kulmaan asetetut tuet ovat tehokkaimpia, mutta tämän suuntaisesti asetettujen sisäisten vahvistusten laskennalle ei ole virallista mitoitusmenettelyä.

Loven sisäisen ja ulkoisen vahvistuksen mitoitusmenettely löytyy mm. kirjasta Timber Engineering: Principles for Design (Blaß & Sandhaas 2017, 266-269) ja Liimapuukäsikirja osa 2:sta (Suomen Liimapuuyhdistys ja Puuinfo 2015a, 87-90). Sisäisen vahvistuksen osalta ne perustuvat kohtisuoraan asennettaviin ruuveihin.

Sisäisten vahvistuksen mitoitusmenettelyssä lasketaan ensin syitä vastaan kohtisuora vetojännitys loven nurkassa olevan halkeaman kohdalla ja tarkastetaan että liimaruuvien liimasauma kestää tämän jännityksen. Lisäksi tarkistetaan liimaruuvien aksiaalisen vedon kestävyys. Täyskierteisiä puuruuveja käytettäessä ruuvit on mitoitettava sekä ruuvien ulosvedon että aksiaalisen vedon kestävyydelle. Ruuvien kestävyysarvot haetaan tuotevalmistajan ETA- ilmoituksesta. (Blaß & Sandhaas 2017, 276.). Tavoitteena on saada vahvistus mahdollisimman lähelle lovettua kulmaa (Franke ym. 2015, 8) samalla huolehtien, että ruuvilla on riittävä tartuntapituus halkeaman yläpuolisessa palkin osassa ja että vaaditut reunaetäisyydet ja liitinvälit toteutuvat (Suomen Liimapuuyhdistys ja Puuinfo 2015a, 89).

Ulkoisen vahvistuksen mitoituksessa osoitetaan, että loven ympärille liimatun vahvistuslevyn liimasauma kestää siihen tasaisesti jakautuneen leikkausjännityksen ja että levy kestää siihen syntyvän vetojännityksen sekä tarkistetaan vahvistuksen geometrialle asetetut ehdot. Vahvistukset liimataan palkin molemmille puolille. Riittävän puristuspaineen aikaansaamiseksi vahvistuslevy kiinnitetään sopivan tiheästi naulatuilla ankkurinauloilla tai ruuveilla. (Suomen Liimapuuyhdistys ja Puuinfo 2015a, 89.)

Puuinon vaativan puurakentamisen esimerkeistä löytyy laskelma palkin vetopuolen loven mitoituksesta ja vahvistamisesta (Puuinfo 29.1.2019b).



## Reikien vahvistaminen

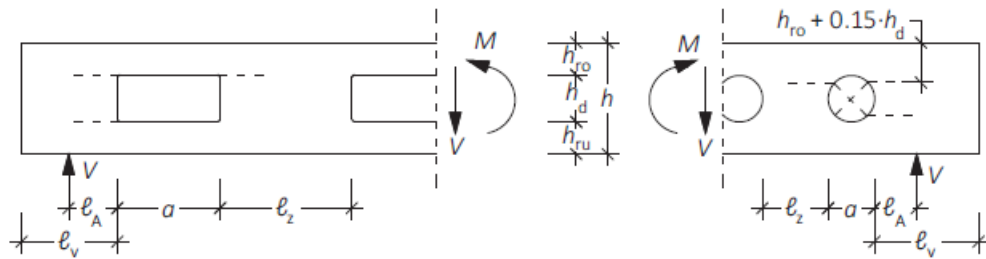


Figure D8-5 Beam with rectangular and circular hole.

Kuva 33. Reikien ympärille syntyvien halkeamien sijainti (Blaß & Sandhaas 2017, 270).

Kuten loven vahvistuksessa, on reiän vahvistuksen idea kantaa reiän yhteyteen syntyvä syytä vastaan kohtisuora vetojännitys ja sitoa kappale yhtenäiseksi. Reiän tapauksessa on huomioitava, että halkeama voi alkaa reiän molemmilta puolilta ja sekä reiän ylä- tai alareunasta (Suomen Liimapuu yhdistys ja Puuinfo 2015a, 95).

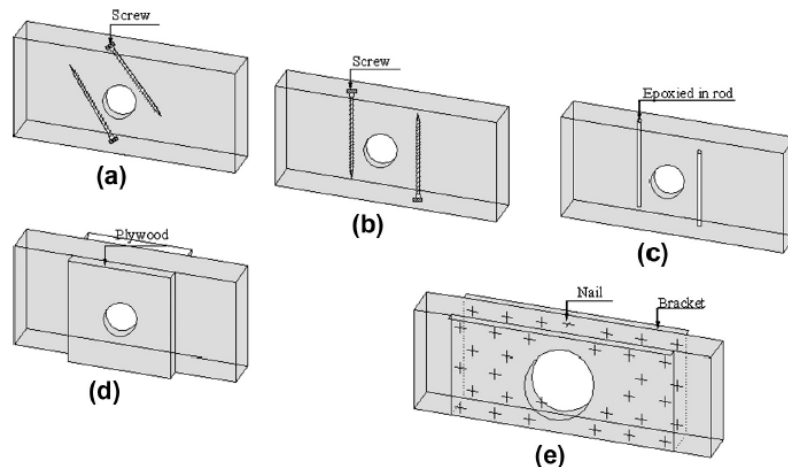


Fig. 2. Different methods of reinforcement around the holes in LVL joists: (a) Inclined screws, (b) screws, (c) epoxied-in rods, (d) plywood on both sides of the joist, and (e) nailed thin steel plate.

Kuva 34. Reikien sisäisiä ja ulkoisia vahvistuksia (Ardalany & Fragiaco & Carradine & Moss 2013, 2).

Reikien sisäisten ja ulkoisten vahvistusten laskentamenettelyt ovat pääpiirteittäin samat kuin lovien vahvistusten kanssa. Suorakaiteen muotoisen reiän kohdalla on huomioitava reiän nurkkaan syntyvä jännityshuippu ja reiän keskellä on

tarkastettava pienentyneen poikkileikkauksen kestävyys syiden suuntaisten jännitysten suhteen. (Suomen Liimapuuyhdistys ja Puuinfo 2015a, 94-95.)

Reiän sisäisen ja ulkoisen vahvistuksen mitoitusmenettely löytyy mm. kirjasta Timber Engineering: Principles for Design (Blaß & Sandhaas 2017, 269-272) ja Liimapuukäsikirja osa 2:sta (Suomen Liimapuuyhdistys ja Puuinfo 2015a, 94-96).

On huomioitava, että vain yhden ruuvirivin oletetaan toimivan palkin pituussuunnassa ja että ruuvit tulisi pyrkiä saamaan mahdollisimman lähelle reiän reunaa, reunaetäisyydet ja liitinvälit huomioiden. Käytettäessä ulkoista vahvistusta levyt liimataan palkin molemmin puolin. (Suomen Liimapuuyhdistys ja Puuinfo 2015a, 94-96.)

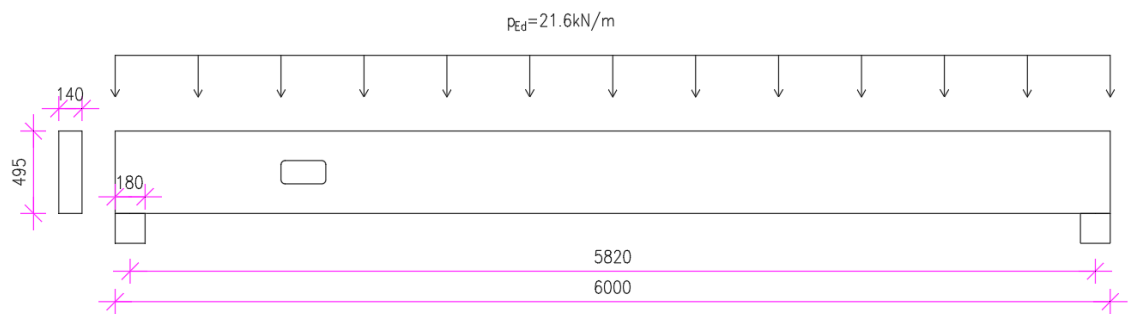
Puuinforon vaativan puurakentamisen esimerkeistä löytyy laskelma vahvistetun reiän mitoituksesta (Puuinfo 29.1.2019c).

## **5 Reiän vanerivahvistuksen laskennallinen tarkastelu**

Opinnäytetyössä esiteltyjen asioiden havainnollistamiseksi tehtiin laskennallinen tarkastelu, jossa mitoitettiin liimapuuseen palkkiin tehtävä reikä ja siihen ruuviliimattava vanerivahvistus. Laskennan tarkoituksena oli jäljitellä oikeassa korjausrakentamiskohteessa tapahtuvaa tilannetta, jossa olemassaolevaan välipohjapalkkiin joudutaan tekemään muodoltaan suorakaiteen muotoinen reikä kahden ilmanvaihtokanavan läpivientiä varten. Lisäksi haluttiin suorittaa ruuviliimattavalla vanerivahvistuksella toteutettavan reiän mitoituslaskenta, sillä tällaista laskentaesimerkkiä ei opinnäytetyön yhteydessä läpikäydyistä aineistoista löytynyt. Laskentaesimerkki on rajattu siten, että kuvitteellisen vanhan puurakenteen kantavuutta ei määritetä, vaan käytetään uuden liimapuupalkin lujuusarvoja.

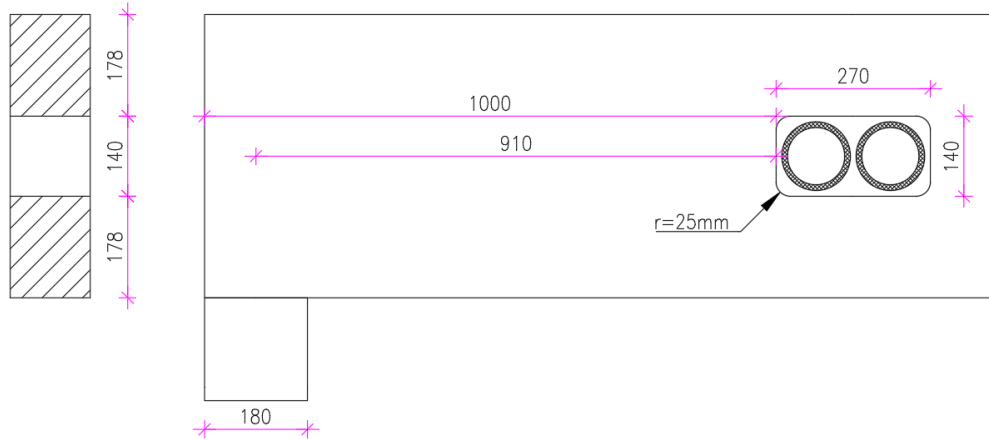
Laskenta toteutettiin eurokoodiin pohjautuvia laskentamenetelmiä hyödyntäen ja sen lähdeaineistoina toimivat RIL 205-1-2017 Puurakenteiden suunniteluohje, Timber Engineering: Principles for Design (Blaß & Sandhaas 2017),

vuoden 2002 Liimapuukäsikirja (Svenskt Limträ AB 2002), VTT:n Puurakenteiden halkeilun hallinta- opas (VTT 9.10.2006), Puuinfon Vaativien puurakenteiden suunnittelu- täydennyskoulutusmateriaalien palkin vahvistettua reikää koskeva esimerkkilaskelma (Puuinfo 29.1.2019c) sekä professori Ralf-W. Boddenbergin puurakentamista koskeva luentoaineisto (Boddenberg 2020). Laskenta toteutettiin käyttäen MathCad- laskentaohjelmistoa ja laskentaraportin kaavakuvat piirrettiin AutoCAD- ohjelmalla.



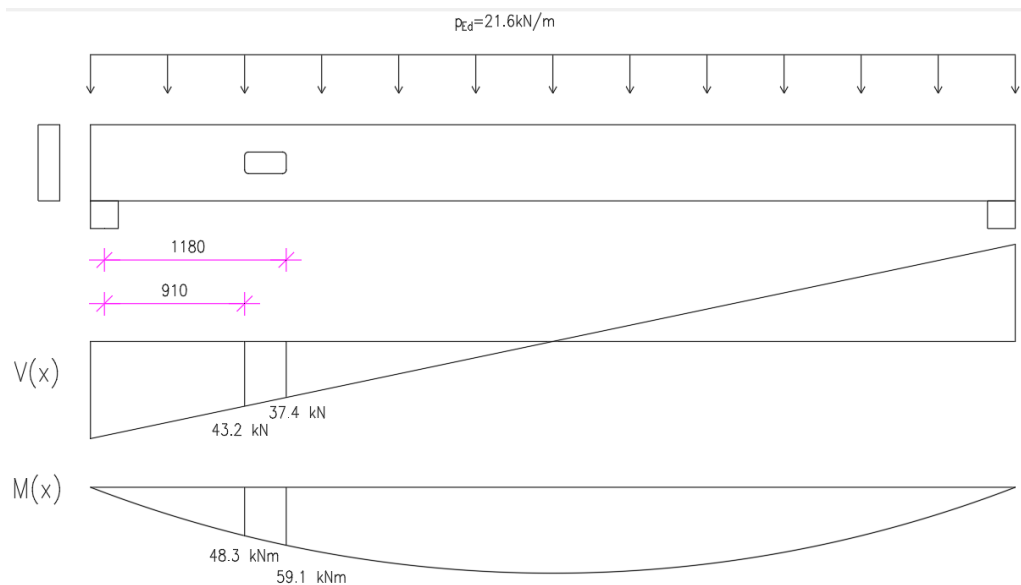
Kuva 35: Rakennemalli.

Laskennan lähtökohtana toimi puurakenteiden mitoitukseen tarkoitettu Finn-Wood- ohjelmalla alustavasti mitoitettu lujuusluokan GL30c liimapuupalkki, jonka poikkileikkauksen mitat olivat 140 mm x 495 mm (leveys x korkeus). Palkkiin haluttiin tehdä suorakaiteen muotoinen läpivienti 1000 mm palkin toisesta päästä kahdelle 100 mm halkaisijaltaan olevalle ilmanvaihtokanavalle. Molemmat kanavat eristetään 10 mm paksuisella eristeellä ja eristeiden ja reiän reunan väliin on jätettävä 10 mm asennusvara. Näin ollen tehtävän aukon mitoiksi tulee 270 mm x 140 mm (leveys x korkeus). Reiän pyöristyssäteeksi valittiin Liimapuukäsikirjan suosittama 25 mm (Svenskt Limträ Ab 2002, 61).



Kuva 36: Suunniteltavan reiän dimensiot.

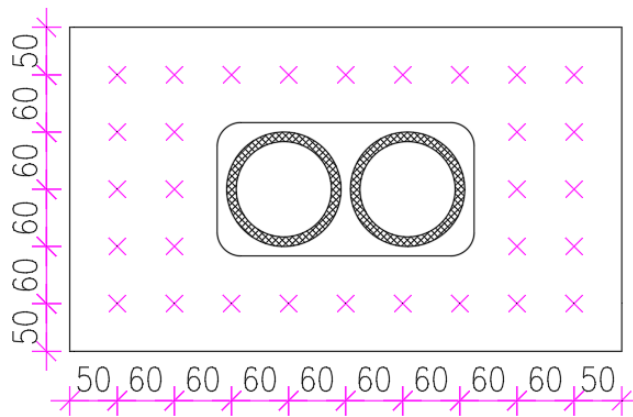
Lähtötietojen keräämisen jälkeen laskettiin taivutusmomentti ja leikkausvoima tehtävän reiän molemmissa reunoissa ja tarkastettiin RIL 205-1-2017 luvussa 6.7S esitetyt vahvistamatonta reikää koskevat geometriset ehdot sekä syysuuntaa vastaan kohtisuora vetokestävyys reiän nurkkaan muodostuvan jännityshuipun kohdalla. Syysuuntaa vastaan kohtisuoran vetojännityksen määrä riippuu sekä leikkausvoimasta että taivutusmomentista, joten se on tarkastettava reiän molemmilla reunoilla, jotta löydetään poikittaisen vetojännityksen määrittävä arvo. Geometriset ehdot eivät täytyneet, sillä tehtävä aukko oli liian leveä ja korkea eikä puun syysuuntaa vastaan kohtisuora vetolujuus ollut riittävän suuri. Todettiin, että reikää on vahvistettava ja että vahvistus tehdään molemmin puolin palkkia ruuviliimattavalla vanerivahvikkeella.



Kuva 37: Voimasuureet reiän molemmilla reunoilla.

Vanerivahvistuksen paksuudeksi valittiin 12 mm ja tarkastettiin vahvistettavan reiän geometrinen ehtojen toteutuminen Blaß & Sandhaasin (2017, 270) mukaan. Geometriset ehdot toteutuivat ja seuraavaksi tarkastettiin, että vanerivahvistuksen ja liimapuupalkin välinen liimasauma kestää siihen muodostuvan tasaisesti jakautuneen leikkausjännityksen. Tämän osoittamiseksi tarkastettiin Blaß & Sandhaasin (2017, 271) esittämä liimasaumaa koskeva mitoitusehto. Ehdon täyttämiseksi etsittiin kokeilemalla vanerivahvikkeelle riittävän suuret mitat, joilla liimasaumaan muodostuva leikkausjännitys jää liiman leikkauslujuutta pienemmäksi. Käytettäväksi liimaksi valittiin VTT:n Puurakenteiden halkeilun hallinta-oppaassa suositeltu Purbond HB 110 polyuretaaniliima (VTT 9.10.2006, 20).

Seuraavaksi tarkastettiin vanerilevyn vetokestävyys Blaß & Sandhaasin (2017, 272) mukaan. Samassa yhteydessä tarkistettiin VTT:n Puurakenteiden halkeilun hallinta-oppaassa olevat ruuviliimattavaa vanerivahvistusta koskevat ohjeet sekä suunniteltiin ruuvien sijoitus siten, että VTT:n ohjeessa, Liimapuukäsikirjassa ja RIL 205-1-2017:ssä mainitut liitinvälejä koskevat säännöt toteutuvat (VTT 9.10.2006, 20; Svenskt Limträ AB 2002, 62-63, RIL 205-1-2017, 113).



Kuva 37: Vanerivahvistuksen ruuvaus.

Lopuksi suoritettiin vielä pienentyneen poikkileikkauksen leikkaus- ja taivutuskestävyystarkastelu reiän kohdalla noudattaen Puuinfon vahvistetun reiän esimerkkilaskelmaa sekä Ralf-W. Boddenbergin laskentaesimerkkejä (Puuinfo 29.1.2019c; Boddenberg 2020, 19-28). Taivutuskestävyyden tarkastelussa huomioitiin suorakaiteen muotoisen reiän kulmiin aiheutuva lisätaivutusjännitys Boddenbergin esittämää menettelyä soveltaen. Koska tarkasteltavassa palkissa ei vaikuta normaalivoimaa, ei suoritettu veto-/puristuskestävyystarkasteluja eikä yhdistettyjen jännitysten tarkasteluja. Laskentaraportti esitetään liitteessä 1.

## 6 Rakennesuunnittelijan ohje

Opinnäytetyössä kerätyn tiedon pohjalta laadittiin Sweco Finlandille ”Reiän tai loven teko olemassaolevaan puupalkkiin”- ohje, jonka tavoitteena on kiteyttää kaikkein olennaisin asiaan liittyvä tieto napakaksi tietopaketti rakennesuunnittelijalle. Käytännön työelämässä voi syntyä tilanne, jossa reikä tai lovi tulee suunnitella nopealla aikataululla ja tehtävän voi joutua tekemään rakennesuunnittelija, joka ei ole päivittäin tekemisissä puurakenteiden suunnittelun kanssa. Ohjeen tarkoituksena on olla apuna tällaisissa tilanteissa, jotta suunnittelija saa heti käsiinsä keskeisen asiaan liittyvän tiedon ja pääsee nopeasti kiinni suunnittelu- ja mitoitus tehtävään.

Varsinaisessa opinnäytetyössä reiän ja loven tekoa käsitellään hyvin monelta kannalta, eikä niitä kaikkia sisällytetty ohjeeseen, jotta se saatiin pysymään tiiviinä. Ohje rajattiin siten, että se siinä käsitellään puupalkkiin tehtävän reiän tai loven mitoitus ja vahvistamista tällä hetkellä käytössä olevien suunnitteluohjeiden puitteissa, muutoksen tekoa vanhaan rakenteeseen sekä rakennesuunnittelijan apuna olevia ohjelmistoja ja reiän tai loven työmaatoteutusta.

Lisäksi ohjeisiin koostettiin kokeneiden rakennesuunnittelijoiden haastattelujen pohjalta Swecon omia käytäntöjä siitä, miten rakennesuunnittelijan tulee toimia reiän todentamiseksi ja hyväksymiseksi sekä laadittiin toimintaohje sellaista tilannetta varten, jossa reikä on tehty työmaalla kysymättä ensin ohjeita rakennesuunnittelijalta.

Otsikkotasolla ohjeen sisältö on seuraava:

- Johdanto
- Mekaniikkaa
- Selvityksen kulku
- Loven suunnittelu ja mitoittaminen
- Reiän suunnittelu ja mitoittaminen
- Viimeistely
- Vahvistaminen
- Reiän tai loven hyväksyntä ja dokumentointi
- Jos reikä on tehty kysymättä rakennesuunnittelijalta
- Rakennesuunnittelijan apuvälineet
- Reiän tai loven toteutus työmaalla
- Linkit ohjeisiin.

Ohjeen kirjoittaminen oli iteratiivinen prosessi. Ensin ohjeesta kirjoitettiin luonnos, johon pyydettiin kommentteja kokeneemmilta suunnittelijoilta. Tämän jälkeen ohjetta muokattiin paremmaksi palautteen perusteella. Kirjoitus-palautesyklejä tehtiin kolme kappaletta, jonka pohjalta päädyttiin ohjeen lopulliseen muotoon ja sisältöön.

## 7 Pohdinta ja johtopäätökset

Tämän hetken trendien perusteella korjausrakentamiselle on tarvetta sekä nyt että tulevaisuudessa. Pyrkimys kestävään kehitykseen ja uusiutumattomien resurssien viisaaseen hyödyntämiseen kannustaa korjaamaan ja pidentämään rakennusten elinkaaria.

Perusparannukset, tilojen käyttötarkoitusten muutokset sekä nykyaikaisen talotekniikan sovittaminen vanhoihin rakenteisiin edellyttävät usein muutoksia kantaviin rakenteisiin. Vanhoihin kantaviin rakenteisiin tehtävät muutokset ovat haaste rakennesuunnittelijalle. Rakenne on voitu toteuttaa soveltaen vanhoja suunnitteluohjeita ja rakennustapaa eikä kunnollisia lähtötietoja ole välttämättä saatavilla. Siitä huolimatta rakennesuunnittelijan on kyettävä luotettavasti määrittämään rakenteen kantavuus, jotta saadaan selville edellyttääkö muutostyö rakenteen vahvistamista.

Tietyissä tilanteissa on mahdollista käyttää vanhoja suunnitteluohjeita rakenteiden muutostöissä, jotta välttyttäisiin ylimitoitetulta vahvistamiselta, joka seuraisi eurokoodipohjaisesta suunnittelusta. Vanhojen suunnitteluohjeiden soveltamisesta ei kuitenkaan ole selkeää ja yksiselitteistä ohjeistusta, vaan tieto ja toimitatavat ovat hiljaisena tietona suunnittelutoimistoissa. Myös vanhojen suunnitteluohjeiden ja tietyn aikakauden mitoitusmenetelmien saatavuus on heikkoa ja voi edellyttää suunnittelijalta vanhojen kirjojen keräilyä sekä salapoliisintyötä. Vanhojen suunnitteluohjeiden ja mitoitusmenetelmien keräämisessä ja käytäntöjen selkeyttämisessä ja yhtenäistämässä olisikin selkeä kehitystyön paikka.

Reikien ja lovien mitoituksen ja vahvistamisen kannalta tilanne on tällä hetkellä sekava. Tietoa ei ole kattavasti saatavilla ja se on pirstaloitunut eri lähteisiin. Eurokoodista löytyy mitoitusohje päästään lovetulle puupalkille, mutta reiän mitoitusohjeet puupalkkiin on annettu eurokoodin kansallisessa liitteessä. Lisäksi reiän mitoituksesta on useita kansalliseen liitteeseen pohjautuvia, hieman toisistaan poikkeavia ohjeita mm. RIL:n, Liimapuu yhdistyksen ja Federation of the Finnish Woodworking Industries:in julkaisemina. Reikien ja lovien vahvistusta ei



käsitellä lainkaan eurokoodissa, vaan ohjeistusta on annettu mm. Liimapuukäsi-kirjassa sekä Puuinfon Vaativien puurakenteiden suunnittelu- täydennyskoulutusmateriaalissa. Näin ollen reikien ja lovien sekä niiden vahvistusten mitoitus vaatii rakennesuunnittelijalta huolellista perehtymistä puurakentamiseen sekä viitseliäisyyttä etsiä mitoituksessa tarvittava tieto eri lähteistä.

Puurakenteeseen toteutettavien reikien ja lovien mitoitus- ja vahvistusmenetelmissä olisi tarvetta kehitykselle. Ohjeistus olisi syytä kerätä yhteen paikkaan, mieluiten eurokoodiin, sekä päivittää mitoitusohjeistus kattamaan palkkien lisäksi myös muita rakenteita sekä CLT:n, jonka rei'ittämiseen tai loveamiseen ei tällä hetkellä ole annettu lainkaan ohjeita. Toivottavasti tilanne tältä osin parane uusien, vuosien 2022 – 2027 välillä julkaistavien toisen sukupolven eurokoodien myötä.

Opinnäytetyötä tehdessään opiskelija syvensi huomattavalla tavalla omaa tietämystään puurakentamisesta, vanhoihin kantaviin rakenteisiin tehtävistä muutoksista, puun ominaisuuksista sekä reiän ja loven mekaniikasta ja mitoituksesta. Kokeneiden rakennesuunnittelijoiden haastattelut toivat lisätietoa ja antoivat näkymiä niihin menettelyihin, millä mitoitus- ja suunnittelutehtäviä tehdään käytännön työelämässä. Reiän tai loven suunnittelu vanhaan rakenteeseen ei ole koskaan vain irrallinen numeerinen mitoituslaskutehtävä, vaan sitä tehdessä tulee huomioida mm. rakenteen kunto ja rakennemalli, reiän sijoittelu kohteessa, rakenteen alkuperäiset, nykyiset ja työn aikaiset kuormat, työn toteutettavuus sekä tehtävien muutosten dokumentointi.

## **8 Yhteenveto**

Reiän tai loven suunnittelu olemassaolevaan kantavaan puurakenteeseen on monisyinen haaste ja vaativaksi luokiteltava suunnittelutehtävä rakennesuunnittelijalle. Siihen liittyy sekä kantavaan rakenteeseen tehtävään muutokseen kuuluva lähtötietojen ja vanhan rakenteen toiminnan selvittäminen että varsinainen reiän tai loven suunnittelu- ja mitoitustehtävä. Tämä edellyttää rakennesuunnittelijalta hyvää eri aikakausien rakennustapojen, lainsäädännön, rakenteiden

mekaniikan, mitoitusohjeiden sekä puun rakenneteknisten ominaisuuksien tuntemusta. Usein tilanteessa lisähaasteena on mukana kiire, sillä puutteellisista lähtötiedoista johtuen tarve reiälle tai lovelle voi tulla lyhyellä varoitusaajalla.

Keskeinen reikien ja lovien tekoon liittyvä ilmiö on puun syysuuntaa vastaan kohtisuora veto, josta aiheutuva murtuma on hauras ja syntyy äkillisesti ilman ulkoisesti havaittavia merkkejä. Reikien ja lovien läheisyyteen muodostuu syysuuntaa vastaan kohtisuoria vetojännityshuippuja ja anisotrooppinen puu on materiaalina erityisen heikko syysuuntaa vastaan kohtisuoraa vetoa vastaan. Tämän vuoksi reikien ja lovien teossa on oltava erittäin huolellinen ja puun anisotrooppisuuden huomioiminen on erityisen tärkeää niille suunnittelijoille, jotka eivät ole jatkuvasti puun kanssa tekemisissä.

Opinnäytetyössä luodaan kokonaisvaltainen katsaus työmaalla puurakenteeseen toteutettavaan reikään tai loveen sekä näihin vaikuttaviin asioihin. Työssä käsitellään mm. korjausrakentamisen näkymiä ja korjaushanketta, lainsäätäjän vaatimuksia kantaville rakenteille, kantaviin rakenteisiin tehtäviä muutoksia, mitoitusta vanhojen suunnitteluohjeiden perusteella, puun ominaisuuksia ja murtumamekaniikkaa, puurakenteille tapahtuneita vaurioita sekä reikien ja lovien suunnittelua, mitoittamista ja vahvistamista.

Opinnäytetyössä saavutettiin sille asetetut tavoitteet, sillä eri lähteisiin sirpaloitunutta tietoa saatiin kiitettävällä tavalla kootuksi yhteen ja jäsennettyä. Asia on monitahoinen ja vaatii paneutumista, mutta opinnäytetyöhön perehtymällä saa hyvän yleiskatsauksen olemassaolevaan puurakenteeseen toteutettavaan reikään tai loveen, siihen vaikuttaviin seikkoihin ja saatavilla olevaan tietoon. Opinnäytetyön lähdeluettelon avulla tietämystä voi halutessaan syventää perehtymällä alan suomenkieliseen kirjallisuuteen sekä kansainvälisiin tutkimuksiin.

## Lähteet

Ardalany, Manoochehr 2013. Analysis and design of Laminated Veneer Lumber beams with holes. University of Canterbury. Civil and Natural Resources Engineering. <https://ir.canterbury.ac.nz/items/667fdd6c-163a-40ee-ab18-f354ccbcd07f>

Ardalany, Manoochehr & Fragiacom, Massimo & Carradine, David & Moss, Peter 2013. Experimental behavior of Laminated Veneer Lumber (LVL) joists with holes and different methods of reinforcement. Engineering Structures 56 (2013) 2154–2164. <http://dx.doi.org/10.1016/j.engstruct.2013.08.034>

Blaß, Hans Joachim & Sandhaas, Carmen 2017. Timber Engineering: Principles for Design. Karlsruhe: KIT Scientific Publishing. <https://publikationen.bibliothek.kit.edu/1000069616>

Boddenberg, Ralf-W. 2020. Vorlesung Holzbau III. [http://www.prof-boddenberg.de/holzbau3/holzbau3\\_vorlesung/HB-3\\_Skript\\_Teil-1\\_ab\\_2020.pdf](http://www.prof-boddenberg.de/holzbau3/holzbau3_vorlesung/HB-3_Skript_Teil-1_ab_2020.pdf)

Bruyninckx, Hans 1.2.2023. Maapallon tulevaisuus on ilmastossa, luonnossa ja ihmisissä. European Environment Agency. <https://www.eea.europa.eu/fi/articles/maapallon-tulevaisuus-on-ilmastossa-luonnossa> (luettu 9.8.2023)

Danielsson H. 2007. The Strength of Glulam Beams With Holes: A Survey of Tests and Calculation Methods. Structural Mechanics, LTH, Sweden. <https://portal.research.lu.se/en/publications/the-strength-of-glulam-beams-with-holes-a-survey-of-tests-and-cal>

Eurokoodi 1990. Rakenteiden suunnitteluperusteet. 2006. Suomen standardoimisliitto SFS.

Eurokoodi 1991-1-6. Rakenteiden kuormat. Osa 1-6: Yleiset kuormat. Toteuttamisen aikaiset kuormat. 2. painos. 2005. Suomen standardoimisliitto SFS.

Eurokoodi 1995-1-1. Puurakenteiden suunnittelu. Osa 1-1: Yleiset säännöt ja rakennuksia koskevat säännöt. 3.painos. 2014. Suomen standardoimisliitto SFS.

Flaig, M. 2014. Design of CLT Beams with Rectangular Holes or Notches. Karlsruhe Institution of Technology. [https://www.researchgate.net/publication/346942544\\_Design\\_of\\_CLT\\_Beams\\_with\\_Rectangular\\_Holes\\_or\\_Notches](https://www.researchgate.net/publication/346942544_Design_of_CLT_Beams_with_Rectangular_Holes_or_Notches)

Flaig M. & H.J. Blaß 2013. Shear strength and shear stiffness of CLT-beams loaded in plane. Karlsruhe Institute of Technology.

[https://www.researchgate.net/publication/346942816\\_Shear\\_strength\\_and\\_shear\\_stiffness\\_of\\_CLT-beams\\_loaded\\_in\\_plane](https://www.researchgate.net/publication/346942816_Shear_strength_and_shear_stiffness_of_CLT-beams_loaded_in_plane)

Franke, Steffen & Franke, Bettina & Harte, Annette M. 2015. Failure modes and reinforcement techniques for timber beams – State of the art. *Construction and Building Materials* 97 (2015) 2-13.

<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.06.021>

Edilex 5.5.2022. Kumotut rakentamismääräykset. <https://www.edilex.fi/rakentamismaaraykset/kumotut>

Frühwald, Eva & Serrano, Erik & Toratti, Tomi & Emilsson, Arne & Thelandersson, Sven. 2007. Design of Safe Timber Structures – How Can we Learn from Structural Failures in Concrete, Steel and Timber? Lund Institute of Technology, Lund University. <https://portal.research.lu.se/en/publications/design-of-safe-timber-structures-how-can-we-learn-from-structural-4>

Frühwald-Hansson, Eva. 2011. Analysis of structural failures in timber structures: Typical causes for failure and failure modes. *Engineering Structures* 33 (2012) 2978-2982. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2011.02.045>

Hentonen, Markku 2021. CLT-elementin mitoitus. Insinööri työ. Helsinki: Metropolia, rakennustekniikka. [https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/494022/Hentonen\\_Markku.pdf?sequence=2](https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/494022/Hentonen_Markku.pdf?sequence=2)

Hezaji, Farzad & Tan, Kar Chun 2021. *Advanced Solid Mechanics: Simplified Theory*. CRC Press.

Jelec, Mario & Damjanovic, Domagoj & Varavac, Damir & Rajcic, Vlatka 2022. Experimental Investigation of Cross Laminated Timber Elements with Holes or Notches at In-Plane Beam Loading Conditions. *Buildings* 2022.

<https://doi.org/10.3390/buildings12070967>

Jelec, Mario & Rajcic, Vlatka & Danielsson, Henrik & Serrano, Erik 2016. Structural analysis of in-plane loaded CLT beam with holes. FE-analyses and parameter studies. Lund University. <https://portal.research.lu.se/en/publications/structural-analysis-of-in-plane-loaded-clt-beam-with-holes-fe-ana>

Jockwer, Robert & Steger, René & Frangi Andrea 2013. State-of-the-Art Review of Approaches for the Design of Timber Beams with Notches. *Journal of Structural Engineering*. Volume 140 Issue 3 – March 2014.

Kerto LVL- käsikirja: Reikien ja lovien mitoitus. 2020. MetsäWood.

<https://www.metsagroup.com/globalassets/metsa-wood/attachments/kerto-lvl-manual/fi/kerto-kasikirja-lvl-reikien-lovien-mitoitus.pdf>

Liimapuukäsikirja. 2002. Svenskt Limträ AB ja Wood Focus Oy/Suomen Liimapuuyhdistys ry.

Liimapuukäsikirja Osa 1. 2014. Suomen Liimapuuyhdistys ry ja Puuinfo Oy. Helsinki.

Liimapuukäsikirja Osa 2. 2015a. Suomen liimapuuyhdistys ry ja Puuinfo Oy. Helsinki

Liimapuukäsikirja Osa 3. 2015b. Suomen liimapuuyhdistys ry ja Puuinfo Oy. Helsinki

LVL Handbook Europe 2nd revised edition. 2020. Federation of the Finnish Woodworking Industries. Helsinki.

Maankäyttö- ja rakennuslaki. 1999. Ympäristöministeriö. <https://finlex.fi/fi/laki/ajantasa/1999/19990132#L17-2P117>

Puuinfo 29.1.2019a. Esimerkkilaskelma: Palkin vahvistamaton reikä. Vaativien puurakenteiden suunnittelu- täydennyskoulutus (Vaapu). [https://puuinfo.fi/wp-content/uploads/2020/06/Moduuli\\_4\\_Esimerkki\\_10\\_Palkin-vahvistamaton-reik%C3%A4.pdf](https://puuinfo.fi/wp-content/uploads/2020/06/Moduuli_4_Esimerkki_10_Palkin-vahvistamaton-reik%C3%A4.pdf)

Puuinfo 29.1.2019b. Esimerkkilaskelma: Vetopuolen lovi. Vaativien puurakenteiden suunnittelu- täydennyskoulutus (Vaapu). [https://puuinfo.fi/wp-content/uploads/2020/06/Moduuli\\_4\\_Esimerkki\\_9\\_Palkin-vetopuolen-lovi.pdf](https://puuinfo.fi/wp-content/uploads/2020/06/Moduuli_4_Esimerkki_9_Palkin-vetopuolen-lovi.pdf)

Puuinfo 29.1.2019c. Esimerkkilaskelma: Palkin vahvistettu reikä. Vaativien puurakenteiden suunnittelu- täydennyskoulutus (Vaapu). [https://puuinfo.fi/wp-content/uploads/2020/06/Moduuli\\_4\\_Esimerkki\\_11\\_Palkin-vahvistettu-reik%C3%A4.pdf](https://puuinfo.fi/wp-content/uploads/2020/06/Moduuli_4_Esimerkki_11_Palkin-vahvistettu-reik%C3%A4.pdf)

Puuinfo Oy 2020. Eurokoodi 5: Puurakenteiden lyhennetty suunnitteluohje, viides painos. Puuinfo Oy.

Puuinfo 23.6.2020a. Insinööripuutuotteet: Liimapuu. Puutieto. <https://puuinfo.fi/puutieto/insinoorituotteet/liimapuu-glt/>

Puuinfo 23.6.2020b. Insinööripuutuotteet: Viilupuu (LVL). Puutieto. <https://puuinfo.fi/puutieto/insinoorituotteet/viilupuu-lvl/>

Puuinfo 15.7.2020. Puun ominaisuudet: Kosteustekniset ominaisuudet. Puutieto. <https://puuinfo.fi/puutieto/puun-ominaisuuksia/puun-kosteustekniset-ominaisuudet/>

Puuinfo 25.6.2020. Puun ominaisuudet: Lujuusteknisiä ominaisuuksia. Puutieto. <https://puuinfo.fi/puutieto/puun-ominaisuuksia/lujuusteknisia-ominaisuuksia/>

Puuinfo 16.1.2023. Insinööripuutuotteet: Monikerroslevy (CLT). Puutieto. <https://puuinfo.fi/puutieto/insinoorituotteet/monikerroslevy-clt/>

Rakennusteollisuus RT ry. Korjausrakentaminen. <https://www.rt.fi/Tietoa-ala/Korjausrakentaminen1/> (luettu 27.6.2023)

Rakennustietosäätiö ja Rakennustieto Oy 2016. Kerrostalot 1960-1975, 2. painos. Rakennustieto Oy.

ROTI Rakennetun omaisuuden tila 2023. [https://www.ril.fi/media/2023/vaikuttaminen/roti-2023/roti\\_2023\\_final\\_suojattu.pdf](https://www.ril.fi/media/2023/vaikuttaminen/roti-2023/roti_2023_final_suojattu.pdf)

RIL 174-1 Korjausrakentaminen I: Yleiset periaatteet. 1988. Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry.

RIL 174-4 Korjausrakentaminen IV: Runkorakenteet. 1988. Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry.

RIL 205-1-2017 Puurakenteiden suunnitteluohje, eurokoodi EN 199-1-1. 2017. Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry.

RT 103368 2021: Asuntoyhtiön korjaushanke. Rakennustieto Oy. Rakennustietosäätiö RTS.

RT 13-11120 2013: Suunnittelun johtaminen korjaushankkeessa. Rakennustieto Oy. Rakennustietosäätiö RTS.

Rakennusasetus 266/1959. 1959. Sisäasiainministeriö. <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/1959/19590266>

Suomen rakentamismääräyskokoelma B1-3. Rakennusten vähimmäiskuormat, kantavat rakenteet, pohjarakennus. 1976. Sisäasiainministeriö. [https://ym.fi/documents/1410903/155128351/B1-3\\_1976\\_K.pdf/ddc7209e-ad51-a952-e09d-a764586a6128/B1-3\\_1976\\_K.pdf?t=1680075246808](https://ym.fi/documents/1410903/155128351/B1-3_1976_K.pdf/ddc7209e-ad51-a952-e09d-a764586a6128/B1-3_1976_K.pdf?t=1680075246808)

Suomen rakentamismääräyskokoelma B10. Puurakenteet. 1978. Sisäasiainministeriö. [https://ym.fi/documents/1410903/155128351/B10\\_1978\\_K.pdf/a6ec4a2f-d107-94a4-65bbe86c61b9b9f9/B10\\_1978\\_K.pdf?t=1680077340569](https://ym.fi/documents/1410903/155128351/B10_1978_K.pdf/a6ec4a2f-d107-94a4-65bbe86c61b9b9f9/B10_1978_K.pdf?t=1680077340569)

Suomen rakentamismääräyskokoelma. Rakenteiden lujuus ja vakaus. Kantavien rakenteiden suunnitteluperusteet. 2016a. Ympäristöministeriö.

[https://ym.fi/documents/1410903/38439968/lopullinen-suunnitteluperusteet-2016-C352472F\\_E7C4\\_4653\\_BF44\\_1AB47FB50CB0-137127.pdf](https://ym.fi/documents/1410903/38439968/lopullinen-suunnitteluperusteet-2016-C352472F_E7C4_4653_BF44_1AB47FB50CB0-137127.pdf)

Suomen rakentamismääräyskokoelma. Rakenteiden lujuus ja vakaus. Puurakenteet. 2016b. Ympäristöministeriö. [https://ym.fi/documents/1410903/38439968/lopullinen-puurakenteet-F48BD8DA\\_D384\\_481B\\_BC09\\_FE51691B8BE8-123939.pdf/7b5d70f7-f18f-66fe-8da1-d467e39c5ffe/lopullinen-puurakenteet-F48BD8DA\\_D384\\_481B\\_BC09\\_FE51691B8BE8-123939.pdf?t=1603260650690](https://ym.fi/documents/1410903/38439968/lopullinen-puurakenteet-F48BD8DA_D384_481B_BC09_FE51691B8BE8-123939.pdf/7b5d70f7-f18f-66fe-8da1-d467e39c5ffe/lopullinen-puurakenteet-F48BD8DA_D384_481B_BC09_FE51691B8BE8-123939.pdf?t=1603260650690)

Tammisto, Juhani 2021. Vanhojen rakenteiden mitoitust ja laskenta. Swecon koulutusmateriaali.

The CLT Handbook. 2019. Swedish Wood.

Uotila, Ulrika & Saari, Arto & Junnonen, Juha-Matti 2021. Vaativan korjaushankkeen suunnittelun johtaminen. Helsinki: Rakennustieto Oy.

VTT 9.10.2006. Puurakenteiden halkeilun hallinta, opas.

VTT Certificate No. 184/03, updated 17.5.2016. 2004. VTT Expert Services Ltd.

Ympäristöministeriön asetus kantavista rakenteista 477/2014. 2014. Ympäristöministeriö. <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2014/20140477>

Ympäristöministeriön ohje rakentamista koskevista suunnitelmista ja selvityksistä YM3/601/2015. 2015. Ympäristöministeriö. [https://ym.fi/documents/1410903/38439968/Ymparistoministerion-ohje-rakentamista-koskevista-suunnitelmista-ja-selvityksista-DFED928B\\_7974\\_4424\\_A4DA\\_06A778C21A9E-109136.pdf/4daa5662-f427-33c8-4fd8-aff659c115b6/Ymparistoministerion-ohje-rakentamista-koskevista-suunnitelmista-ja-selvityksista-DFED928B\\_7974\\_4424\\_A4DA\\_06A778C21A9E-109136.pdf?t=1600745626001](https://ym.fi/documents/1410903/38439968/Ymparistoministerion-ohje-rakentamista-koskevista-suunnitelmista-ja-selvityksista-DFED928B_7974_4424_A4DA_06A778C21A9E-109136.pdf/4daa5662-f427-33c8-4fd8-aff659c115b6/Ymparistoministerion-ohje-rakentamista-koskevista-suunnitelmista-ja-selvityksista-DFED928B_7974_4424_A4DA_06A778C21A9E-109136.pdf?t=1600745626001)

Ympäristöministeriön ohje rakentamisen suunnittelutehtävien vaativuusluokista YM1/601/2015. 2015. Ympäristöministeriö. [https://ym.fi/documents/1410903/38439968/Ymparistoministerion-ohje-rakentamisen-suunnittelutehtavien-vaativuusluokista-A7E116C5\\_7DAE\\_430D\\_8924\\_A6155D78B461-109187.pdf/5f086d96-51a5-a0e3-8e35-486e62251c60/Ymparistoministerion-ohje-rakentamisen-suunnittelutehtavien-vaativuusluokista-A7E116C5\\_7DAE\\_430D\\_8924\\_A6155D78B461-109187.pdf?t=1600745630090](https://ym.fi/documents/1410903/38439968/Ymparistoministerion-ohje-rakentamisen-suunnittelutehtavien-vaativuusluokista-A7E116C5_7DAE_430D_8924_A6155D78B461-109187.pdf/5f086d96-51a5-a0e3-8e35-486e62251c60/Ymparistoministerion-ohje-rakentamisen-suunnittelutehtavien-vaativuusluokista-A7E116C5_7DAE_430D_8924_A6155D78B461-109187.pdf?t=1600745630090)

## Haastattelut

Asiantuntija A. 12 vuoden kokemus uudis- ja korjausrakentamisen rakennesuunnittelusta. Haastattelu: 16.6.2023.

Asiantuntija B. 15 vuoden laaja-alainen kokemus korjausrakentamisesta. Haastattelu: 30.6.2023.

Asiantuntija C. 14 vuoden kokemus puurakenteiden rakennesuunnittelusta. Haastattelu: 26.6.2023.

Asiantuntija D 25.5.2023, toiminut 20 vuotta suuren puurakentamista tekevän yrityksen työpäällikkönä



## PUUPALKIN SUORAKULMAISEN REIÄN JA VANERIVAHVISTUKSEN MITOITUS

### TEHTÄVÄ

Tehtävänä on tarkastella ja mitoittaa välipohjapalkkiin tehtävä suorakaiteen muotoinen reikä ja siihen liimaruuvattava vanerivahvistus. Mitoitus tehdään käyttäen eurokoodiin pohjautuvia mitoitusmenetelmiä.

Tehtävä jäljittelee tilannetta, jossa olemassaolevaan välipohjapalkkiin tulisi tehdä aukko kahta ilmanvaihtokanavaa varten. Kanavien halkaisija on 100 mm ja ne eristetään 10 mm solukumieristeellä, jonka lisäksi puupalkkiin tehtävän aukon ja eristeen väliin jää 10 mm asennusvara.

Lähtökohtana on alustavasti FinnWoodilla mitoitettu 140x495 liimapuupalkki, jonka leikkauksen käyttöaste on 63% ja taivutuksen käyttöaste 89%.

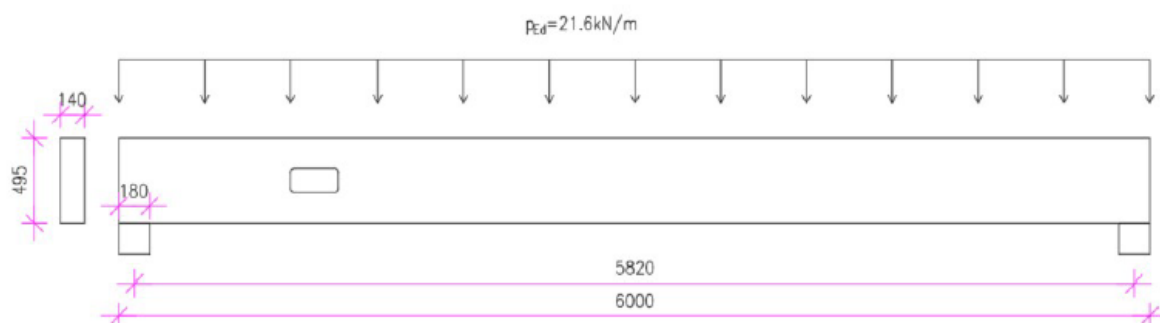
### LÄHTÖTIEDOT

#### Rakennemalli

1-aukkoinen palkki

$L := 5820 \text{ mm}$

Jänneväli



#### Dimensiot

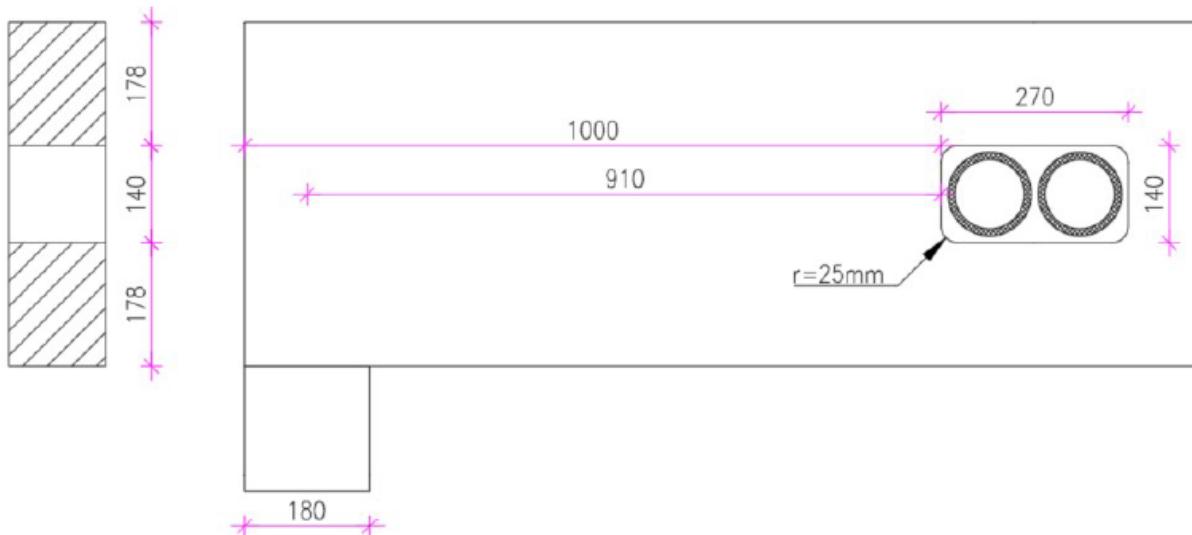
$h := 495 \text{ mm}$

$b := 140 \text{ mm}$

Poikkileikkauksen korkeus

Poikkileikkauksen leveys

### Reiän tiedot



Suorakaiteen muotoinen reikä

$$h_d := 140 \text{ mm}$$

Reiän korkeus

$$a := 270 \text{ mm}$$

Reiän pituus

$$h_{ro} := \frac{h - h_d}{2} = 177.5 \text{ mm}$$

Reiän yläpuolisen osan paksuus

$$h_{ru} := \frac{h - h_d}{2} = 177.5 \text{ mm}$$

Reiän alapuolisen osan paksuus

$$l_v := 1000 \text{ mm}$$

Reiän reunan etäisyys palkin päästä

$$l_A := l_v - \frac{180 \text{ mm}}{2} = 910 \text{ mm}$$

Reiän reunan etäisyys tukireaktiosta

$$r := 25 \text{ mm}$$

Kulmien pyöristyssäde

### Käyttöluokka ja aikaluokka

Palkki sijaitsee lämmitetyssä sisätilassa ja sitä kuormittaa omapaino ja välipohjan hyötykuorma

--> Käyttöluokka 1, keskipitkä kuorman aikaluokka

$$k_{mod} := 0.8$$

## Materiaali

Liimapuu GL30c

$$\gamma_M := 1.25$$

Materiaaliosavarmuusluku

## Lujuusarvot

### Ominaislujuudet

$$f_{v.k} := 3.5 \frac{N}{mm^2}$$

Leikkauslujuus

$$f_{m.k} := 30 \frac{N}{mm^2}$$

Taivutuslujuus

$$f_{t.90.k} := 0.5 \frac{N}{mm^2}$$

Syysuuntaa vastaan  
kohtisuora vetolujuus

### Suunnittelulujuudet

$$f_{v.d} := k_{mod} \cdot \frac{f_{v.k}}{\gamma_M} = 2.2 \frac{N}{mm^2}$$

Leikkauslujuus

$$f_{m.d} := k_{mod} \cdot \frac{f_{m.k}}{\gamma_M} = 19.2 \frac{N}{mm^2}$$

Taivutuslujuus

$$f_{t.90.d} := k_{mod} \cdot \frac{f_{t.90.k}}{\gamma_M} = 0.3 \frac{N}{mm^2}$$

Syysuuntaa vastaan  
kohtisuora vetolujuus

## KUORMITUS

$$p_{Ed} := 21.6 \frac{kN}{m}$$

Mitoituskuorma

Voimasuureet reiän oikeassa ja vasemmassa reunassa

$$x_1 := l_A = 910 \text{ mm}$$

Reiän vasemman reunan etäisyys jännevälin päästä

$$x_2 := l_A + a = 1180 \text{ mm}$$

Reiän oikean reunan etäisyys jännevälin päästä

Lasketaan voimasuureet hyödyntäen yleisiä kirjallisuudesta löytyviä statiikan kaavoja

Vasen reuna

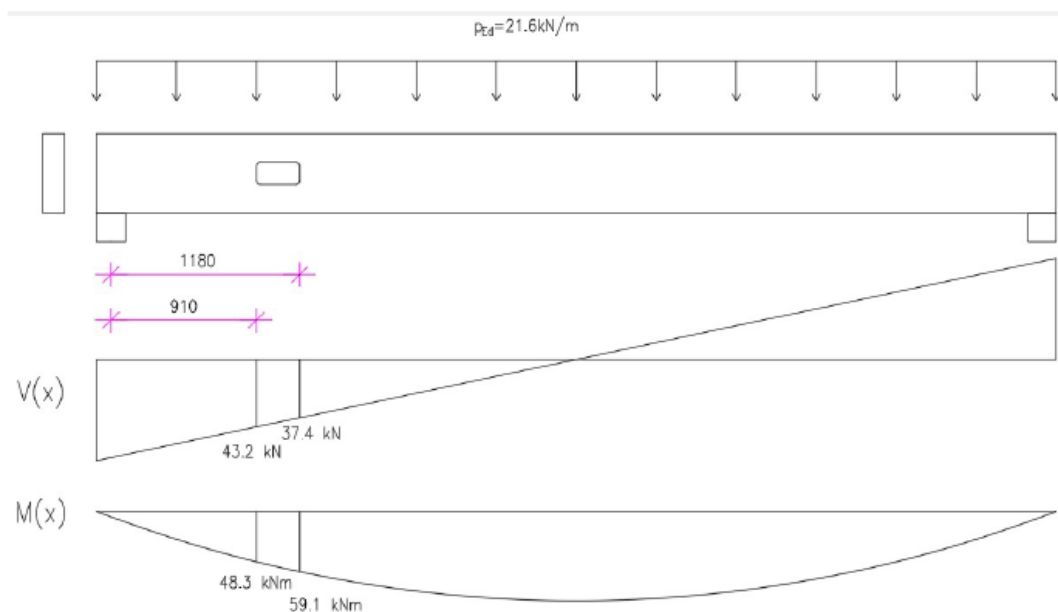
$$M_{Ed.1} := \frac{p_{Ed} \cdot x_1}{2} \cdot (L - x_1) = 48.3 \text{ kN} \cdot \text{m} \quad \text{Taivutusmomentti}$$

$$V_{Ed.1} := p_{Ed} \cdot \left( \frac{L}{2} - x_1 \right) = 43.2 \text{ kN} \quad \text{Leikkausvoima}$$

Oikea reuna

$$M_{Ed.2} := \frac{p_{Ed} \cdot x_2}{2} \cdot (L - x_2) = 59.1 \text{ kN} \cdot \text{m} \quad \text{Taivutusmomentti}$$

$$V_{Ed.2} := p_{Ed} \cdot \left( \frac{L}{2} - x_2 \right) = 37.4 \text{ kN} \quad \text{Leikkausvoima}$$



## MITOITUS

### Tarkastetaan, kestäkö reikä vahvistamattomana (RIL 205-1-2017 luku 6.7S mukaan)

#### Geometriset reunaehdot

$l_v \geq h = 1$	Reiän etäisyys palkin päästä, OK
$l_A \geq \frac{h}{2} = 1$	Reiän reunan etäisyys tukireaktiosta, OK
$h_{ro} \geq 0.35 \cdot h = 1$	Reiän yläpuolisen osan paksuus, OK
$h_{ru} \geq 0.35 \cdot h = 1$	Reiän alapuolisen osan paksuus, OK
$a \leq 0.4 \cdot h = 0$	Reiän pituus, EHTO EI TÄYTY
$h_d \leq 0.15 \cdot h = 0$	Reiän korkeus, EHTO EI TÄYTY

Geometriset eivät salli vahvistamattoman reiän toteutusta.  
--> Reikää on vahvistettava.

#### Syysuuntaa vastaan kohtisuora vetojännitys reiän nurkassa

$$h_r := \min \left( \begin{matrix} h_{ro} \\ h_{ru} \end{matrix} \right) = 177.5 \text{ mm} \quad \text{Apusuure}$$

$$F_{t.90.1} := \frac{V_{Ed.1} \cdot h_d}{4 \cdot h} \cdot \left( 3 - \frac{h_d^2}{h^2} \right) + 0.008 \cdot \frac{M_{Ed.1}}{h_r} = 11.1 \text{ kN} \quad \text{Vasen reuna}$$

$$F_{t.90.2} := \frac{V_{Ed.2} \cdot h_d}{4 \cdot h} \cdot \left( 3 - \frac{h_d^2}{h^2} \right) + 0.008 \cdot \frac{M_{Ed.2}}{h_r} = 10.4 \text{ kN} \quad \text{Oikea reuna}$$

Mitoittava syysuuntaa vastaan kohtisuora vetovoima

$$F_{t.90.d} := \max(F_{t.90.1}, F_{t.90.2}) = 11.1 \text{ kN}$$

$$k_{t,90} := \min \left( \left[ \left( \frac{450 \text{ mm}}{h} \right)^{0.5} \right] \right) = 1$$

Korkeuden huomioiva pienennyskerroin

$$l_{t,90} := 0.5 \cdot (h_d + h) = 317.5 \text{ mm}$$

Oletetun kolmiomaisen syitä vastaan kohtisuoran vetojännitys jakauman pituus

Syitä vastaan kohtisuora vetojännitys reiän nurkassa

$$\sigma_{t,90,d} := \frac{F_{t,90,d}}{0.5 \cdot b \cdot k_{t,90} \cdot l_{t,90}} = 0.5 \frac{N}{\text{mm}^2}$$

$$KA \cdot f_{t,90,d} := \frac{\sigma_{t,90,d}}{f_{t,90,d}} = 164\%$$

Käyttöaste, EI KESTÄ

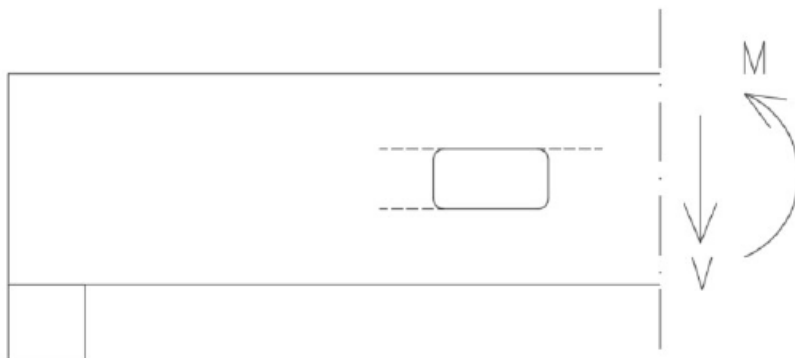
Puun syysuuntaa vastaan kohtisuora vetolujuus ylittyy.

--> Reikää on vahvistettava.

**Mitoitetaan reiän ulkoinen vahvistus** (Blas & Sandhaas 2017, luku D8.3 mukaan)

Toteutetaan vahvistus molemmin puolin reiän ympärille liimattavalla vanerivahvikkeella. Käytetään havuvaneria, jonka paksuus on 12 mm. Vahvistuksen on sidottava reiän nurkkiin syntyvien syysuuntaisten halkeamien ylä- ja alapuoliset osat yhteen.

Reiän reunoista lähtevien halkeamien sijainnit.



### Vahvistuksen geometriset reunaehdot

$l_v \geq h = 1$	reiän etäisyys palkin päästä, OK
$l_A \geq \frac{h}{2} = 1$	reiän reunan etäisyys tukireaktiosta, OK
$h_{ro} \geq 0.25 \cdot h = 1$	reiän yläpuolisen osan paksuus, OK
$h_{ru} \geq 0.25 \cdot h = 1$	reiän alapuolisen osan paksuus, OK
$a \leq h = 1$	reiän pituus suhteessa palkin korkeuteen, OK
$a \leq 2.5 \cdot h_d = 1$	reiän pituus suhteessa reiän korkeuteen, OK
$h_d \leq 0.4 \cdot h = 1$	reiän korkeus, OK
$r \geq 25 \text{ mm} = 1$	reiän kulmien pyöristyssäde, OK

Yksi reikä --> reikien välinen etäisyys OK

### Vanerivahvistuksen liimasauman kestävyys

Käytetään VTT:n Puurakenteiden halkeilun hallinnan oppaassa suositeltua Purbond HB 110 polyuretaaniliimaa.

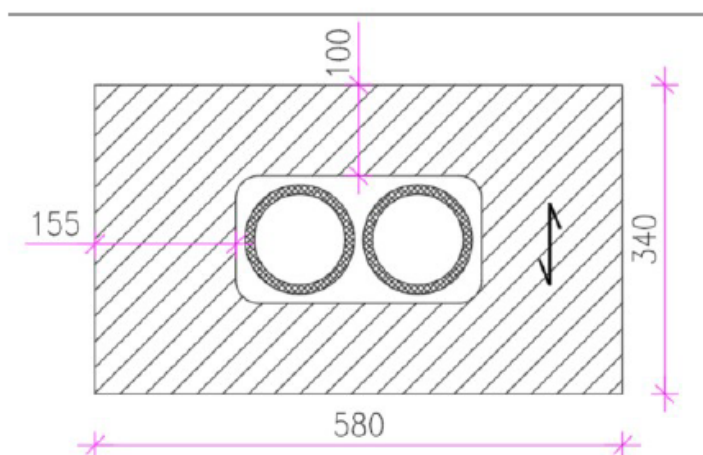
### Vahvistuksen dimensiot

Etsitään kokeilemalla dimensiot, joilla vanerivahvistuksen liimasauma kestää siihen syntyvän jännityksen

$$a_r := 155 \text{ mm}$$

$$h_1 := 100 \text{ mm}$$

$$h_{ad} := h_1 = 100 \text{ mm}$$



Geometriset reunaehdot

$$a_r \geq 0.25 \cdot a = 1 \quad \text{OK}$$

$$a_r \leq 0.3 \cdot (h_d + h) = 1 \quad \text{OK}$$

$$h_1 \geq 0.25 \cdot a = 1 \quad \text{OK}$$

$$\tau_{ef} := \frac{F_{t,90,d}}{2 \cdot a_r \cdot h_{ad}} = 0.4 \frac{N}{mm^2}$$

Liimasaumaan tasan  
jakautunut leikkausjännitys

$$f_{k,2,k} := 0.75 \frac{N}{mm^2}$$

Liimasauman ominaisleikkauslujuus

$$\gamma_{M2} := 1.3$$

Liitosten osavarmuusluku

$$f_{k,2,d} := k_{mod} \cdot \frac{f_{k,2,k}}{\gamma_{M2}} = 0.5 \frac{N}{mm^2}$$

Liimasauman suunnitteluleikkauslujuus

$$KA \cdot f_{k,2,d} := \frac{\tau_{ef}}{f_{k,2,d}} = 78\%$$

Käyttöaste, OK

Vanerilevyn vetokestävyys

$$t_r := 12 \text{ mm}$$

Vanerilevyn paksuus

$$\gamma_{M,r} := 1.2$$

Vanerin  
materiaaliosavarmuusluku

$$\sigma_t := \frac{F_{t,90,d}}{2 \cdot t_r \cdot a_r} = 3 \frac{N}{mm^2}$$

Vanerilevyn syntyvä  
vetojännitys

$$f_{t,r,k} := 14.9 \frac{N}{mm^2}$$

Vanerilevyn ominaisvetolujuus  
pintaviilujen syysuunnassa

$$f_{t,r,d} := k_{mod} \cdot \frac{f_{t,r,k}}{\gamma_{M,r}} = 9.9 \frac{N}{mm^2}$$

Vanerilevyn mitoitusvetolujuus  
pintaviilujen suunnassa

$$k_k := 2$$

Kerroin, joka ottaa huomioon  
jännitys jakauman epätasaisuuden. Arvoa  
2 saa käyttää ilman lisäselvitystä.

$$KA \cdot f_{t,r,d} := \frac{k_k \cdot \sigma_t}{f_{t,r,d}} = 60\%$$

Käyttöaste, OK



### Vanerivahvistuksen ruuvaus

VTT:n Puurakenteiden halkeilun hallinnan oppaan ohjeita liimattavan vanerivahvikkeen ruuvaukseen:

- Ruuviliimaukseen soveltuvat ruuvit, joiden halkaisija on 4,0mm ... 6,5mm.
- Ruuvien tulee olla rakenteelliseen käyttöön hyväksytyjä.
- Kierteen tulee ulottua kokonaisuudessaan kärjen puoleiseen puuhun.
- Kannan puoleisen osan alueella ei saa olla kierrettä.
- Kiristettäessä ruuvin kannan pitää upota puuhun.
- Ruuviväli = 7 x liitettävän vanerin paksuus, max 150 mm.

Vuoden 2002 Liimapuukäsikirjan ohjeet:

- Vanerivahvistuksen ankkurointipituus on oltava vähintään 2 x vanerilevyn paksuus
- Vanerin reiät esiporataan
- Liitinvälin tulee olla sama vanerin pituus- ja leveysuunnassa

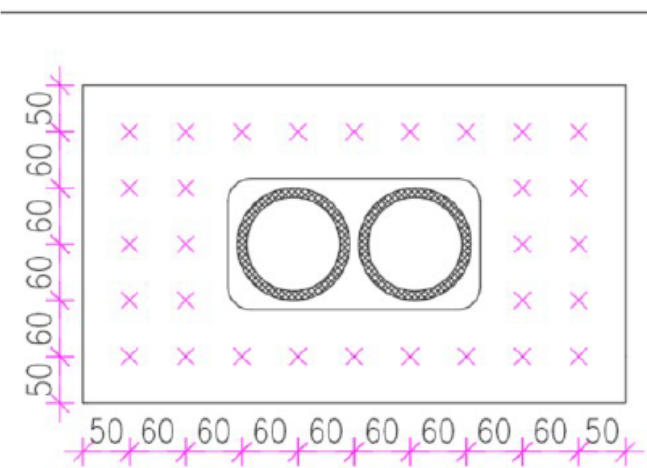
Huomioidaan lisäksi RIL 205-1-2017 Kuva 8.7S:ssä esitetyt liitinvälejä koskevat säännöt.

$$7 \cdot t_r = 84 \text{ mm}$$

$$2 \cdot t_r = 24 \text{ mm}$$

Maksimi ruuviväli (VTT- ohje)

Ruuvin kierteisen osan minimipituus (VTT- ohje)



Toteutetaan vanerin ruuvaus oheisen kaavion mukaisesti, jolloin ruuveja tulee 30 kpl / puoli eli yhteensä 60 kpl.

Valitaan ruuvi: Wurth 5,0 x 50 mm yleisruuvi, uppokanta, osakierre.

$$d_{\text{ruuvi}} := 5 \text{ mm}$$

$$l_{\text{ruuvi}} := 50 \text{ mm}$$

$$l_{\text{kierre}} := 33 \text{ mm}$$

Ruuvin halkaisija

Ruuvin pituus

Kierteisen osan pituus

Pienentyneen poikkileikkauksen kestävyystarkastelut

Leikkauskestävyys reiän kohdalla (Puuinfo: Palkin vahvistettu reikä- esimerkkilaskelman mukaan)

$$h_{eff} := h - h_d = 355 \text{ mm}$$

Poikkileikkauksen tehollinen korkeus reiän kohdalla

$$A_{eff} := h_{eff} \cdot b = 49700 \text{ mm}^2$$

Poikkileikkauksen tehollinen pinta-ala reiän kohdalla

$$\tau_{Ed} := \frac{3}{2} \cdot \frac{V_{Ed,1}}{A_{eff}} = 1.3 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Leikkausjännitys

$$KA \cdot f_{v,d} := \frac{\tau_{Ed}}{f_{v,d}} = 58\%$$

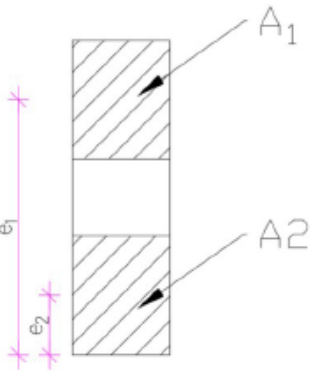
Käyttöaste, OK

Taivutuskestävyys reiän kohdalla (Boddenberg, Ralf-W. (2020, 18-28) puurakentamisen luentomateriaaleissa esitettyä menettelyä soveltaen)

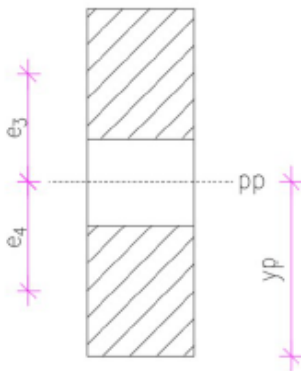
Laskentamenettely huomioi suorakaiteen muotoisen reiän kulmiin muodostuvan lisääntyneen taivutusjännityksen. Laskennan voimasuureina käytetään taivutusmomenttia ja leikkausvoimaa reiän keskellä.

Momentista aiheutuva taivutusjännitys reiän ylä- ja alapuolisessa osassa

Lasketaan tehollinen jäyhyysmomentti käyttäen Steinerin sääntöä



$A_1 := h_{ro} \cdot b = 24850 \text{ mm}^2$	Reiän yläpuolisen osan poikkileikkauksen pinta-ala
$A_2 := h_{ru} \cdot b = 24850 \text{ mm}^2$	Reiän alapuolisen osan poikkileikkauksen pinta-ala
$e_1 := h - \frac{h_{ro}}{2} = 406.3 \text{ mm}$	Reiän yläpuolisen osan painopisteen etäisyys palkin alareunasta
$e_2 := \frac{h_{ru}}{2} = 88.8 \text{ mm}$	Reiän alapuolisen osan painopisteen etäisyys palkin alareunasta



$$y_p := \frac{A_1 \cdot e_1 + A_2 \cdot e_2}{A_1 + A_2} = 247.5 \text{ mm}$$

Painopisteen etäisyys palkin alareunasta reiän kohdalla

$$e_3 := e_1 - y_p = 158.8 \text{ mm}$$

Reiän yläpuolisen osan painopisteen etäisyys painopisteestä

$$e_4 := y_p - e_2 = 158.8 \text{ mm}$$

Reiän alapuolisen osan painopisteen etäisyys painopisteestä

$$I_1 := \frac{1}{12} \cdot b \cdot h_{ro}^3 = 65244192.7 \text{ mm}^4$$

Reiän yläpuolisen osan jäyhyysmomentti

$$I_2 := \frac{1}{12} \cdot b \cdot h_{ru}^3 = 65244192.7 \text{ mm}^4$$

Reiän alapuolisen osan jäyhyysmomentti

Tehollinen jäyhyysmomentti

$$I_{eff} := I_1 + A_1 \cdot e_3^2 + I_2 + A_2 \cdot e_4^2 = 1383006041.7 \text{ mm}^4$$

Lasketaan reiän keskellä momentista aiheutuva taivutusjännitys

$$x_3 := l_A + \frac{a}{2} = 1045 \text{ mm}$$

Etäisyys jännevälin päästä reiän keskelle

$$M_{Ed.3} := \frac{P_{Ed} \cdot x_3}{2} \cdot (L - x_3) = 53.9 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Taivutusmomentti reiän keskellä

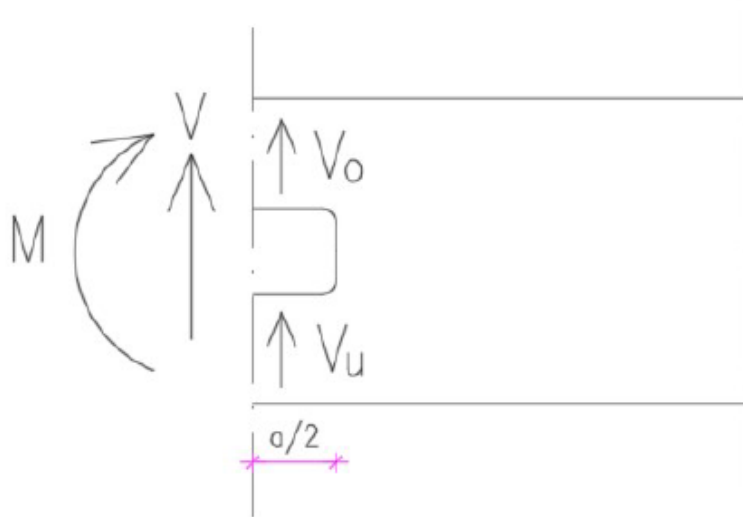
$$\sigma_{m.o} := M_{Ed.3} \cdot \frac{h - y_p}{I_{eff}} = 9.6 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Taivutusjännitys reiän yläpuolisessa osassa

$$\sigma_{m.u} := M_{Ed.3} \cdot \frac{y_p}{I_{eff}} = 9.6 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Taivutusjännitys reiän alapuolisessa osassa

Leikkausvoimasta aiheutuvat lisämomentit



$$V_{Ed.3} := P_{Ed} \cdot \left( \frac{L}{2} - x_3 \right) = 40.3 \text{ kN } 999$$

Leikkausvoima reiän keskellä

Leikkausvoima jakaantuu reiän ylä- ja alapuolisiin osiin niiden jäykkyyksien suhteessa

$$V_o := \frac{h_{ro}}{h_{ro} + h_{ru}} \cdot V_{Ed.3} = 20.1 \text{ kN}$$

Leikkausvoima reiän yläpuolisessa osassa

$$V_u := \frac{h_{ru}}{h_{ro} + h_{ru}} \cdot V_{Ed.3} = 20.1 \text{ kN}$$

Leikkausvoima reiän alapuolisessa osassa

Lisämomentit

$$\Delta M_o := V_o \cdot \frac{a}{2} = 2.7 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Lisämomentti reiän yläpuolisessa osassa

$$\Delta M_u := V_u \cdot \frac{a}{2} = 2.7 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Lisämomentti reiän alapuolisessa osassa

Lisämomenteista aiheutuva taivutusjännitys

$$W_o := \frac{b \cdot h_{ro}^2}{6} = 735145.8 \text{ mm}^3$$

Yläpuolisen osan taivutusvastus

$$W_u := \frac{b \cdot h_{ru}^2}{6} = 735145.8 \text{ mm}^3$$

Alapuolisen osan taivutusvastus

$$\Delta\sigma_{m.o} := \frac{\Delta M_o}{W_o} = 3.7 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Lisämomentista yläpuoliseen osaan aiheutuva taivutusjännitys

$$\Delta\sigma_{m.u} := \frac{\Delta M_u}{W_u} = 3.7 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Lisämomentista alapuoliseen osaan aiheutuva taivutusjännitys

Käyttöasteet

$$KA.f_{m.o} := \frac{\sigma_{m.o} + \Delta\sigma_{m.o}}{f_{m.d}} = 69\%$$

Reiän yläpuolinen osa, OK

$$KA.f_{m.u} := \frac{\sigma_{m.u} + \Delta\sigma_{m.u}}{f_{m.d}} = 69\%$$

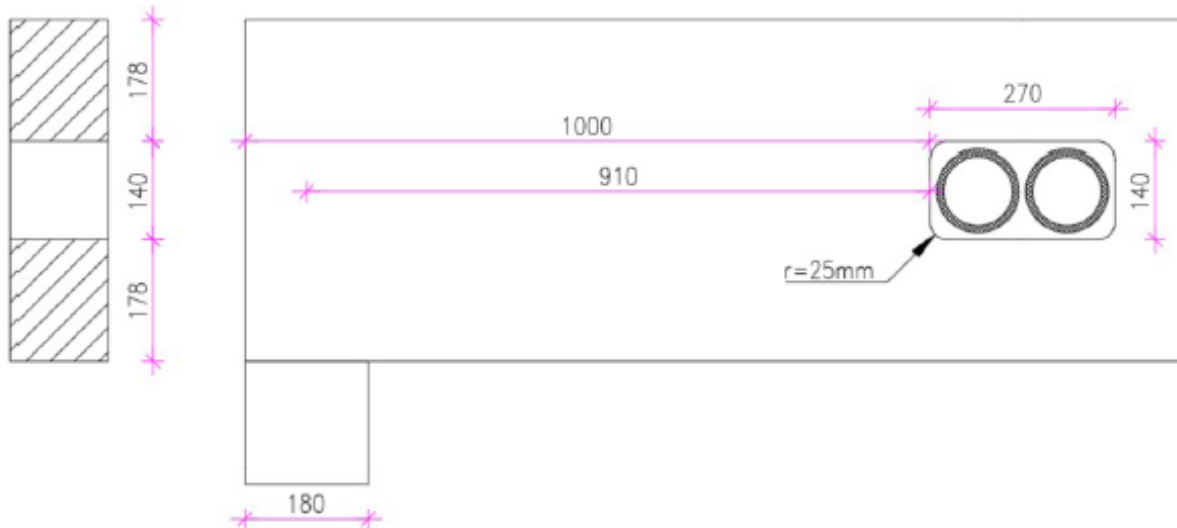
Reiän alapuolinen osa, OK

Veto/puristusjännitys ja yhdistetyt rasitukset

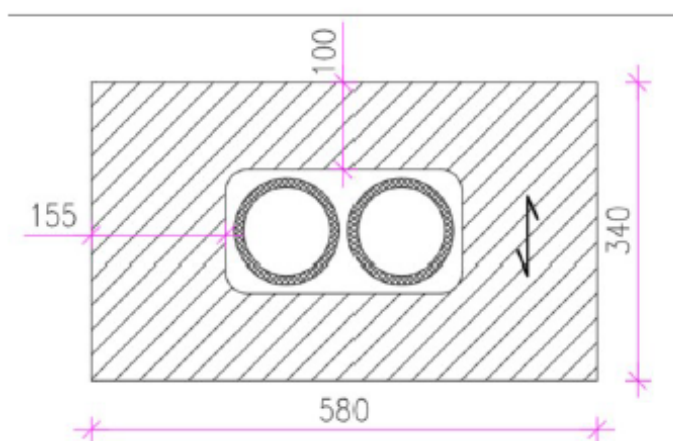
Rakenteessa ei ole normaalivoimaa, ei siis tarkisteta veto/puristusjännitystä eikä yhdistettyjä rasituksia.

## YHTEENVETO

### Reiän dimensiot



### Reiän vahvistus



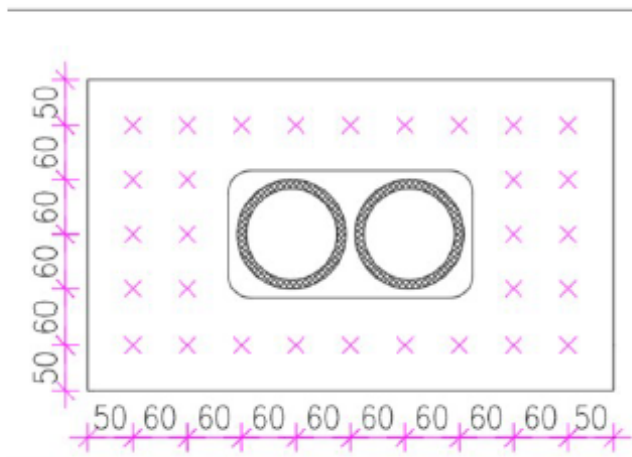
Reikä vahvistetaan havupuisella vanerivahvikkeella, pintaviilujen suunta poikittain palkin pituussuuntaa nähden.

$t_r = 12 \text{ mm}$

Vanerivahvistuksen paksuus

Liima: Purbond HB 110

### Ruuviliimaus



Ruuvi: Wurth 5,0 x 50 mm  
yleisruuvi, uppokanta, TX, osakierre.

$d_{ruuvi} = 5 \text{ mm}$  Ruuvin halkaisija  
 $l_{ruuvi} = 50 \text{ mm}$  Ruuvin pituus  
 $l_{kierre} = 33 \text{ mm}$  Kierteisen osan pituus

Ruuvaus oheisen kaavion  
mukaisesti

### Käyttöasteet

$KA.f_{k.2.d} = 78\%$

Vanerivahvistuksen liimasauman  
leikkauslujuus

$KA.f_{t.r.d} = 60\%$

Vanerivahvistuksen vetolujuus

$KA.f_{v.d} = 58\%$

Reiän kohdalla heikentyneen  
poikkileikkauksen leikkauslujuus

$KA.f_{m.o} = 69\%$

Reiän yläpuolisen osan taivutuslujuus

$KA.f_{m.u} = 69\%$

Reiän alapuolisen osan taivutuslujuus