



Satakunnan ammattikorkeakoulu
Satakunta University of Applied Sciences

SARI HARJU

Liimapuurakenteisen pilari-palkkirungon liitokset

Palkkikengät ja pilarikengät

RAKENNUS- JA YHDYSKUNTATEKNIIKAN
TUTKINTO-OHJELMA
2023

TIIVISTELMÄ

Harju, Sari: Liimapuurakenteisen pilari-palkkirungon liitokset, Palkkikengät ja pilarikengät
Opinnäytetyö, AMK
Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka
Toukokuu 2023
Sivumäärä: 92

Opinnäytetyössä selvitettiin, millaisia valmisosaliitoksia liimapuurakenteisessa pilari-palkkirungossa käytetään. Pääasiassa keskityttiin palkki-palkki- ja pilari-palkkiliitoksiin sekä perustusliitoksiin. Niissä käytettävistä valmisosista tutkittiin erityisesti palkkikengä ja pilarikengä. Tutkimukset oli rajattu koskemaan ensisijaisesti suurten kuormien rasittamia liitoksia. Näin ollen pyrittiin löytämään suurille kuormille soveltuvia valmisosia. Tavoitteena oli koota lista soveltuvista valmisosista helpottamaan ja nopeuttamaan suunnittelua jatkossa. Työssä perehdyttiin lisäksi puurakenteisten liitosten mitoittamiseen ja tarkemmin palkkikengien ja pilarikengien täydentäviin suunnitteluohjeisiin.

Tutkittavasta aiheesta kerättiin tietoa jo olemassa olevista lähteistä kuten ohjeista, oppaista ja standardeista. Tärkeässä osassa olivat valmisosien valmistajien kotisivut ja tuoteluettelot, joista suurille kuormille soveltuvia liitososia esitettiin. Mitoituksen perusteita tutkittiin eurokoodista ja siitä johdetuista oppaista sekä täydentäviä suunnitteluohjeita valmistajien ETA-dokumenteista. ETA-dokumenteista saatujen suunnitteluohjeiden perusteella laskettiin kestävyksiä liitoksille, joissa käytettiin eri valmistajien palkkikengä.

Suuremmille kuormille soveltuvia palkkikengä löytyi neljältä valmistajalta ja pilarikengä kahdelta valmistajalta. Löytyneistä valmisosista laadittiin taulukot opinnäytetyön tilaajan käyttöön sekä yhteenvetotaulukot, jotka liitettiin opinnäytetyöhön. Aidosti isoille kuormille soveltuvien valmisosien löytäminen osoittautui kuitenkin odotettua vaikeammaksi.

Palkkikengien ETA-dokumenteissa esitettyjen täydentävien suunnitteluohjeiden havaittiin perustuvan monelta osin standardeissa annettuihin määräyksiin. Palkkikengillä toteutettujen liitosten kestävyys todettiin vaikuttavan kiinnityksessä käytettävien puikkoliittimien kestävyys. Näin ollen käytettävillä puikkoliittimillä voidaan vaikuttaa jonkin verran liitoksen kestävyys, mutta palkkikengät itsessään asettavat rajoituksia sille, millaisia puikkoliittimiä niiden kanssa voidaan käyttää.

Avainsanat: liimapuu, puurakenteet, pilarit, palkit, liittäminen, mitoitus, palkkikengä, pilarikengä

Abstract

Harju, Sari: Joints in a glulam structured column-beam frame, Beam hangers and post bases

Bachelor's thesis

Construction and Municipal Engineering

May 2023

Number of pages: 92

The purpose of this thesis was to examine what kind of prefabricated joints are used in glulam structured column-beam frames. The focus was largely on beam-beam and column-beam joints, as well as foundational joints. Of the prefabricated joints used in foundations, the focus was mainly on beam hangers and post bases. The studies were limited to primarily deal with joints stressed by large loads. Consequently, the aim was to find ready-made parts suitable for high loads. The goal was to compile a list of suitable prefabricated parts to ease and quicken designing in the future. In this thesis, the designing of joints in wooden structures and, in more detail, supplementary designing guidelines for beam hangers and post bases were also examined.

Information on the topic under study was gathered from existing sources such as guidelines, manuals and standards. An important part was played by the websites and product catalogues of the manufacturers of prefabricated parts, from which parts suitable for heavy loads were sought. The Eurocode and its derived guides were consulted for design principles and manufacturers' ETAs for supplementary design guidelines. On the basis of the design guidelines from the ETA documents, the strengths of the joints were calculated using beam hangers from different manufacturers.

Four manufacturers offered beam hangers for heavier loads and two manufacturers offered post bases. Tables of the prefabricated parts found were produced for the commissioner of the thesis and summary tables were included in the thesis. However, it proved more difficult than expected to find ready-made parts that were genuinely suitable for large loads.

It was found that the supplementary design guidelines in the ETA documents for beam hangers are based in many respects on the provisions of the standards. The durability of the dowel-type connections used in the anchorage was found to have an impact on the durability of the beam hanger joints. Thus, the type of dowel-type connectors used can have some influence on the strength of the joint, but the beam hangers themselves impose restrictions on the type of dowel-type connectors that can be used with them.

Keywords: glulam, wooden structures, columns, beams, joining, dimensioning, beam hanger, post base

SISÄLLYS

1 JOHDANTO	6
2 TUTKIMUSOTE JA -MENETELMÄT	7
3 LIIMAPUU RAKENNUSMATERIAALINA.....	9
3.1 Liimapuun valmistus.....	9
3.2 Liimapuun ominaisuudet.....	11
3.3 Liimapuu ja ympäristö.....	12
4 PILARI-PALKKIRUNKO	14
4.1 Pilari-palkki- ja palkki-palkkiliitos	17
4.2 Pilarin alapään liitos.....	19
5 LIITOSOSAT PUURAKENTEIDEN SUUNNITTELUSSA.....	22
5.1 Metalliset liitososat	28
5.2 Useilla liittimillä muodostetut liitokset.....	30
5.3 Puun ja teräslevyjen väliset liitokset	31
5.4 Puikkoliittimin toteutetut liitokset.....	32
5.5 Naulaliitokset	32
5.5.1 Poikittain kuormitetut naulat.....	32
5.5.2 Pitkittäin kuormitetut naulat.....	34
5.5.3 Naulojen yhdistetty kuormitus	35
5.6 Tappivaarnaliitokset.....	35
5.7 Ruuviliitokset	35
5.8 Liitosten palonkesto.....	36
6 VALMISOSAT JA SUUNNITTELUOHJEET	37
6.1 Palkkikengät.....	37
6.1.1 Simpson Strong-Tie	37
6.1.2 Rothoblaas	48
6.1.3 MiTek.....	56
6.1.4 FraP Metall	58
6.2 Pilarikengät.....	64
6.2.1 Simpson Strong-Tie	64
6.2.2 Rothoblaas	67
7 ESIMERKKILASKUT	70
7.1 Simpson Strong-Tie.....	70
7.2 Rothoblaas	74
7.3 FraP Metall.....	75
8 VALMISOSIEN KÄYTTÄMINEN PUURAKENNELIITOKSISSA.....	77

8.1 Suurille kuormille soveltuvat palkkikengät	78
8.1.1 Täydentävät suunnitteluohjeet	79
8.1.2 Esimerkkilaskujen tulokset.....	80
8.2 Suurille kuormille soveltuvat pilarikengät.....	82
9 JOHTOPÄÄTÖKSET	82
10 POHDINTA	84
10.1 Tutkimuksen eteneminen	85
10.2 Lähteiden arviointi	85
10.3 Jatkotutkimukset.....	86
LÄHTEET.....	88
LIITE 1: PALKKIKENGÄT	91
LIITE 2: PILARIKENGÄT	92

1 JOHDANTO

Opinnäytetyön aiheena on liimapuurakenteisen pilari-palkkirungon liitokset. Työssä selvitetään, millaisia valmisosaliitoksia liimapuisessa pilari-palkkirungossa yleensä käytetään, miten liitoksia mitoitetaan ja millaisia valmisosia niihin on saatavilla. Pääasiassa keskitytään suurten kuormien raskittamiin liitoksiin ja niihin soveltuviin liitososiin. Liitososista tarkemmin tutkitaan palkki- ja pilarikenkiä. Saatavilla olevista valmisosista laaditaan yhteenveto taulukon muodossa yrityksen käyttöön ja saadut tulokset esitetään raportissa kootusti. Lisäksi tutkitaan valmisosille myönnettyjä ETA-dokumentteja ja niissä annettuja täydentäviä suunnitteluohjeita.

Yrityksessä nähtiin tarve kootulle tiedolle liimapuurakenteisen pilari-palkkirungon liitoksista ja erityisesti niissä käytettävistä valmisosista. Valmisosista löytyy tietoa valmistajien lähteistä, mutta tiedot ovat hajallaan ja joskus tarkoitukseen sopivan liitososan löytäminen voi olla vaikeaa. Kun eri valmistajien liitososien tärkeimmät tiedot kootaan saataville yhteen paikkaan, on tarvetta vastaavan osan löytäminen helpompaa ja osien vertailu vaivattomampaa. Vastaavasti nähdään myös nopeasti, jos tarkoitukseen sopivaa valmisosaa ei ole saatavilla. Tavoitteena onkin helpottaa ja nopeuttaa liitosten suunnittelua tulevaisuudessa, kun tieto erilaisista liitoksista ja niihin saatavissa olevista valmisosista on koottu yhteen.

Opinnäytetyön tilaaja on A-Insinöörit Suunnittelu Oy. A-Insinöörit tarjoaa laajasti suunnittelu- ja konsulttipalveluja rakennusalalla. Yhtenä palvelualueena on rakennesuunnittelu. Rakennesuunnittelua tehdään kaikenlaisiin kohteisiin asuinrakennuksista liike- ja toimitiloihin sekä terveydenhuollon rakennuksiin. Yhtenä kasvavana toimialueena on puurakennesuunnittelu. A-Insinöörit haluaa olla mukana uusien puurakennusratkaisujen kehittämisessä. (A-Insinöörit, n.d.)

Puurakentaminen on kiinnostava aihe sen ajankohtaisuuden vuoksi. Ympäristöministeriöllä on käynnissä puurakentamisen ohjelma, jonka tavoitteena on puurakentamisen lisääminen sekä puun käytön monipuolistaminen. Puun käyttöä pyritään kasvattamaan myös suurissa rakenteissa, jolloin tarvitaan uusia yhteisiä menetelmiä. Puun käytön lisääminen liittyy myös kansalliseen energia- ja ilmastostrategiaan ja erityisesti siihen sisältyvien ilmastotavoitteiden saavuttamiseen. (Ympäristöministeriö, n.d.)

2 TUTKIMUSOTE JA -MENETELMÄT

Opinnäytetyön tutkimusote on laadullinen. Laadullisessa tutkimuksessa pyritään selittämään ja ymmärtämään ilmiöitä sekä saavuttamaan kokonaisvaltainen käsitys tutkittavasta aiheesta. Aineiston keräämistä ja analysointia tehdään vaiheittain ja rinnakkain laadullisessa tutkimuksessa. Aineistoa kootaan ja analysoidaan ja sen jälkeen kerätään lisää aineistoa, mikäli jo kerätyllä aineistolla ei löydetty ratkaisua tai aineistoa ei ollut tarpeeksi. (Kananen, 2019, s. 26.)

Tässä tapauksessa tutkittavana ovat liimapuurakenteisen pilari-palkkirungon liitokset, niiden mitoittaminen ja erityisesti niissä käytettävät valmisosat. Jotta voidaan tarkemmin tutkia valmisosien täydentäviä suunnitteluohjeita ja päästä perille niiden toiminnasta, perehdytään ensin liitoksiin ja niissä käytettäviin valmisiin sekä puurakenteiden mitoittamiseen yleisemmällä tasolla. Tavoitteena on kerätä aineistoa monipuolisesti ja riittävästi aiheen ymmärtämisen kannalta. Tätä kautta pyritään muodostamaan mahdollisimman kattava kokonaiskuva.

Opinnäytetyö toteutetaan pääasiassa kuvailevana kirjallisuuskatsauksena. Kirjallisuuskatsauksella selvitetään, minkälaista tietoa on olemassa jostakin rajatusta aiheesta. (Tuomi ym., 2022, luku 8.) Tämä metodi soveltuu hyvin valittuun aiheeseen, koska tavoitteena on kerätä tietoa liimapuusta, pilari-

palkkirungosta, puurakenteiden liitoksista ja niissä käytettävistä valmisosista jo olemassa olevasta aineistosta. Aiheesta on saatavilla paljon tietoa. Tutkimusta on kuitenkin rajattu koskemaan pääasiassa suurien kuormien rasittamia liitoksia. Näin ollen erityisesti valmisosien kohdalla keskitytään isompiin kestävyyskiin.

Kuvailevassa kirjallisuuskatsauksessa tutkittavaa ilmiötä kuvataan laaja-alaisesti ja tarvittaessa luokitellaan, millaisia ominaisuuksia tutkittavalla ilmiöllä on (Salminen, 2011, s. 6). Aihetta onkin tarkoitus lähestyä mahdollisimman kattavasti, mutta tarkemmin tutkittavista valmisosista kerätään lisäksi yksityiskohtaista tietoa. Tätä yksityiskohtaista tietoa esitetään muun muassa taulukon muodossa, jotta mahdollistetaan sen vaivaton käyttö jatkossa.

Opinnäytetyössä tutkitaan liitosten mitoittamista ja täydentäviä suunnitteluohjeita, joten työssä hyödynnetään kirjallisuuskatsauksen ohella tapaustutkimuksen menetelmiä. Tapaustutkimuksella pyritään tuottamaan yksityiskohtaista ja syvällistä tietoa valitusta aiheesta. Siinä tutkimuksen kohteita on vähän. (Ojasalo ym., 2015, s. 52–53.) Tapaustutkimuksen avulla pyritään selvittämään mitoituksen perusteita ja soveltamaan täydentäviä suunnitteluohjeita esimerkkilaskujen muodossa. Täydentävien suunnitteluohjeiden perusteella lasketaan esimerkkejä liitosten kestävydestä käytettäessä palkkikenkiä sekä erilaisia puikkoliittimiä. Tällä pyritään selvittämään eri valmistajien palkkikenkien kestävyksiä sekä käytettävien puikkoliittimien vaikutusta liitosten kestävyteen. Lisäksi selvitetään täydentävien suunnitteluohjeiden yhteyttä standardeissa esitettyihin määräyksiin.

Opinnäytetyön aineistona käytetään pääasiassa olemassa olevia kirjallisia materiaaleja. Lähteitä valittaessa kiinnitetään huomiota niiden luotettavuuteen ja ajankohtaisuuteen. Jo aineistoa kerätessä kirjataan ylös tärkeimmät tiedot lähteistä, jotta voidaan varmistaa niiden oikea kirjaaminen raporttiin. Kun lähteitä lainataan raportissa, tehdään se asianmukaisesti ja lainauksien yhteyteen kirjataan lähdemerkinnät selkeästi ja oikein.

Tärkeitä lähteitä ovat valmisosien valmistajien tekniset dokumentit sekä eurooppalaiset standardit. Lisäksi hyödynnetään muuta aiheeseen liittyvää kirjallisuutta kuten Puuinfon tuottamia oppaita ja materiaaleja. Aineistoa kerätään monipuolisesti eri lähteistä ja pyritään löytämään aiheen kannalta oleelliset tiedot. Tiedon keräämisen lisäksi sitä pyritään analysoimaan kriittisesti ja löytämään yhteyksiä kootun tiedon välillä. Saadun tiedon avulla voidaan aihetta tutkia tarkemmin muun muassa laskemalla esimerkkejä kestävyyksistä sekä pohjimalla niihin vaikuttavia tekijöitä. Olennainen osa työtä on tarkoitukseen soveltuvista valmisosista kerätyn tiedon tiivistäminen taulukon muotoon, jotta sen hyödyntäminen tulevaisuudessa on helppoa.

3 LIIMAPUU RAKENNUSMATERIAALINA

Ympäristöministeriön puurakentamisen ohjelmassa todetaan, että metsien järkevää ja kestävä hyödyntämistä voidaan vahvistaa kehittämällä puun käyttöä (Ympäristöministeriö, n.d.). Puu onkin uusiutuva, energiatehokas ja ympäristöystävällinen rakennusmateriaali. Liimapuussa puun tekniset ominaisuudet on otettu tehokkaasti käyttöön. Sen valmistuksessa puuraaka-ainetta käytetään perinteistä sahatavaraa tehokkaammin, koska liimapuusta koostuu yksittäisistä sahatavaralamelleista. Liimapuuta käytettäessä puutavaraa kuluu siis vähemmän. (Suomen Liimapuuyhdistys ry & Puuinfo Oy, 2014, s. 7.)

3.1 Liimapuun valmistus

Liimapuun materiaalina käytetään pohjoismaisia havupuita. Pääasiallinen materiaali on kuusi, mutta myös mäntyä ja lehtikuusta käytetään. Puuraaka-aineen lisäksi valmistuksessa käytetään liimaa, jonka osuus on verrattain pieni, noin yhden painoprosentin verran. (Suomen Liimapuuyhdistys ry & Puuinfo Oy, 2014, s. 15.)

Liimapuun valmistustekniikka on yksinkertainen. Liimapuu muodostuu minimissään kahdesta sahatavaramellista. Niiden syysuunta on liimapuun pituussuuntainen. Valmistuksessa puulamellit kasataan ja liimataan toisiinsa kiinni isoiksi rakennusosiksi. Pitkien liimapuuosien valmistuksessa käytetään sormijatkostekniikkaa. Valmistustekniikka mahdollistaa rakennusosien valmistamisen hyvin vaihtelevissa poikkileikkauksissa ja muodoissa. Ensisijaisesti pilareina ja palkkeina käytettäviä suoria rakennusosia valmistetaan lähes minkä kokoisena tahansa. Sen kuinka suuria liimapuuosia voidaan valmistaa, määrittävät valmistajan laitteet ja tilat. Myös kuljetusmahdollisuudet voivat rajoittaa osien kokoa. (Puuinfo Oy, 2020b; Suomen Liimapuuyhdistys ry & Puuinfo Oy, 2014, s. 17, 20.)

Liimapuusta voidaan valmistaa sekä suoria että kaarevia rakennusosia. Suoria rakennusosia käytetään kattopalkkeina, lattiapalkkeina ja pilareina. Kaarevia rakennusosia käytetään ensisijaisesti kaari- ja kehärakenteissa, mutta käytössä on myös kaarevia palkkeja kuten esimerkiksi kaareva harjapalkki. Poikkileikkaus liimapuulla on useimmiten suorakaide, mutta muunkin muotoisia poikkileikkauksia on mahdollista valmistaa. Poikkileikkaus voi olla esimerkiksi I-, T- tai L-muodossa. Myös ontelopoikkileikkauksia voidaan valmistaa yhdistämällä useita suorakulmaisia liimapuuosia. (Suomen Liimapuuyhdistys ry & Puuinfo Oy, 2014, s. 21, 26, 28.)

Liimapuun poikkileikkauksen leveyden mitta riippuu sen puutavaran leveydestä, mistä lamellit valmistetaan. Yleensä sahatavaran suurin leveys on 225 millimetriä, josta valmistetaan höylättynä 215 millimetriä leveää liimapuuta. Ajoittain on saatavilla 275 millimetriä leveää puutavaraa, jolloin liimapuun leveydeksi saadaan 265 millimetriä höyläyksen jälkeen. Mikäli lamellit liimataan syrjittäin yhteen tai liitetään yhteen useampia liimapuisia rakennusosia, on mahdollista valmistaa jopa 500 millimetriä leveitä liimapuutuotteita. Poikkileikkauksen vakioleveys vaihtelee 90–290 millimetrin välillä 25 millimetrin välein. (Puuinfo Oy, 2020c; Suomen Liimapuuyhdistys ry & Puuinfo Oy, 2014, s. 21.)

Liimapuun lamellipaksuus suorilla rakennusosilla on yleensä 45 millimetriä ja näin ollen rakennusosan paksuus on sen kerrannainen. Kaarevilla rakennusosilla lamellipaksuus on yleensä 33 millimetriä ja rakennusosan paksuus sen kerrannainen. (Suomen Liimapuuyhdistys ry & Puuinfo Oy, 2014, s. 21.) Käyttöluokassa 3 liimapuun paksuus on rajoitettu 35 millimetriin (RIL 205-1-2017, 2017, s. 52). Poikkileikkauksen korkeus päällekkäin liimattujen lamellien suuntaan on yleensä enimmillään kaksi metriä. Maksimikorkeus riippuu valmistajan laitteistosta. On kuitenkin mahdollista valmistaa korkeampiakin liimapuuosia käyttäen erilaisia menetelmiä. Esimerkiksi harjapalkkiin voidaan liimata harjajosa vasta myöhemmässä vaiheessa. Näin on mahdollista tehdä jopa kolmen metrin korkuisia liimapuuosia. (Suomen Liimapuuyhdistys ry & Puuinfo Oy, 2014, s. 21.)

Yleensä liimapuisten rakennusosien enimmäismitta on 30 metriä, mutta erikseen tilattuna voidaan tehdä jopa 40 metrin mittaisia rakennusosia. Valmistajien maksimimitoista kannattaa ottaa selvää jo varhain suunnitteluvaiheessa. (Suomen Liimapuuyhdistys ry & Puuinfo Oy, 2014, s. 21.)

3.2 Liimapuun ominaisuudet

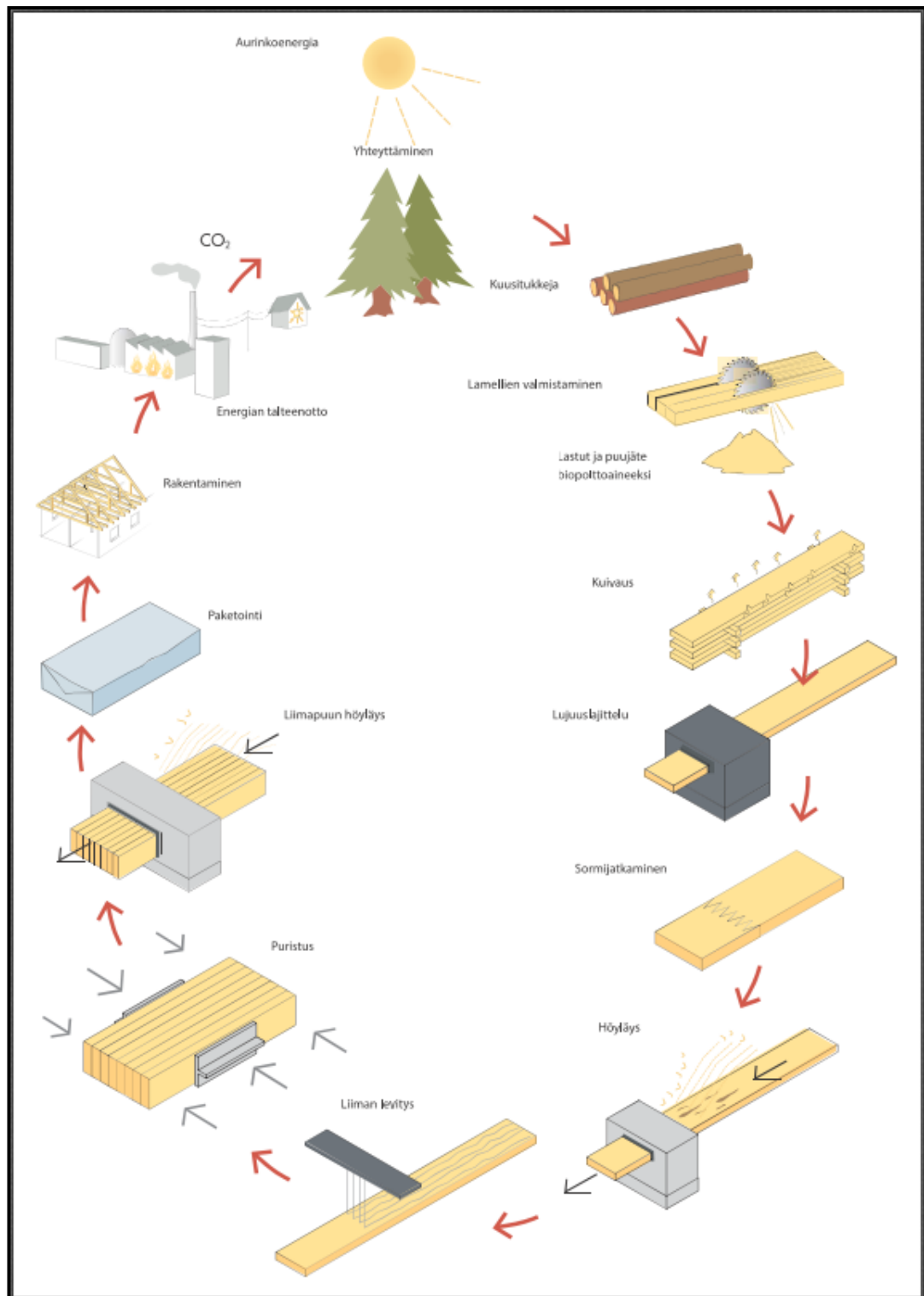
Jäykkyys, lujuus ja kestävyys ovat liimapuun tärkeimpiä käyttöominaisuuksia. Se on jalostettu puutuote, joka on tarkoitettu ensisijaisesti kantaviin rakenteisiin. Liimapuu onkin painoonsa nähden lujimpia rakennusaineita, mikä mahdollistaa pitkien vapaiden jännevälien käyttämisen rakenteissa. (Suomen Liimapuuyhdistys ry & Puuinfo Oy, 2014, s. 15, 19, 22.) Näin ollen se soveltuu mainiosti pilari-palkkirakenteisiin, joita rasittavat suuret kuormitukset. Liimaus vähentää puun elämistä huomattavasti, minkä ansiosta on mahdollista saavuttaa joka suuntaan tarkasti määrämuotoinen ja -mittainen rakennusmateriaali (Versowood, 2019, s. 2).

Liimapuun laminointivaikutus tekee siitä keskimäärin jäykempää ja lujempaa kuin samankokoinen rakennesahatavarasta valmistettu rakennusosa. Koska liimapuu kootaan useista sahatavaralamelleista, on epätodennäköistä, että

kaikkien lamellien heikoin kohta osuisi samaan poikkileikkaukseen. Puutavara lisäksi lujuuslajitellaan, minkä ansiosta lamellien virheiden koko on pienempi. Näin ollen liimapuisilla rakennusosilla on myös vähemmän hajontaa lujuusominaisuuksien suhteen, jos verrataan vastaaviin sahatavarasta valmistettuihin osiin. (Suomen Liimapuuyhdistys ry & Puuinfo Oy, 2014, s. 22.)

3.3 Liimapuu ja ympäristö

Ympäristöministeriön puurakentamisen ohjelmassa kerrotaan puun käytön alentavan rakentamisen hiilijalanjälkeä, kun arvioidaan materiaalien valmistuksesta lähtien koko rakennuksen elinkaarta rakentamisen ja käytön aikana aina kierrätykseen asti (Ympäristöministeriö, n.d.). Elinkaariajattelu on ollut keskeisessä osassa pohjoismaisten liimapuutuotteiden kehityksessä. Elinkaari on huomioitu raaka-ainevalinnasta liimapuun mahdolliseen uudelleenkäyttöön tai uusiokäyttöön asti. Kuvassa 1 on esitetty liimapuun elinkaari puusta energiaksi. (Suomen Liimapuuyhdistys ry & Puuinfo Oy, 2014, s. 15.)



Kuva 1. Liimapuun elinkaari (Suomen Liimapuuyhdistys ry & Puuinfo Oy, 2014, s. 16)

Liimapuuta on mahdollista uudelleen käyttää liimapuuna tai siitä voidaan tehdä muiden tuotteiden raaka-ainetta. Sen käyttö energiaraaka-aineena on myös mahdollista. Ympäristön pitkäaikaiseen hiilitasapainoon vaikuttaa liimapuun

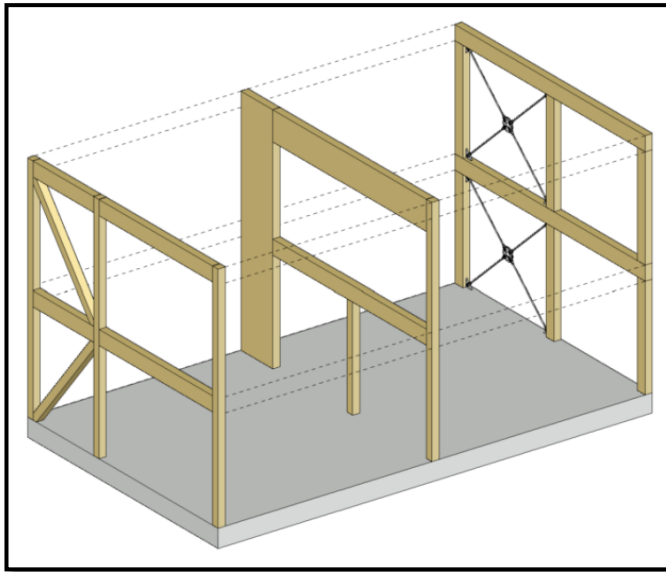
sitoma hiilidioksidi määrä, mikä on yli 700 kilogrammaa kuutiometriä kohden. (Suomen Liimapuuyhdistys ry & Puuinfo Oy, 2014, s. 15.)

Liimapuutuotteet kuivataan 12 prosentin kosteuspitoisuuteen ennen toimitusta. Kuivauksen polttoaineena käytetään mahdollisimman paljon syntyneitä sivutuotteita kuten biomassaa. Koska liimapuu on jalostettu puutuote ja yleensä asiakkaalle tilauksesta valmistettu, työmaalla syntyvän jätteen määrä on vähäinen. Pakkausmateriaalit on mahdollista hyödyntää energiaraaka-aineena. (Suomen Liimapuuyhdistys ry & Puuinfo Oy, 2014, s. 15.)

Liimapuun käytönaikaiset ympäristöhaitat eivät ole merkittäviä (Suomen Liimapuuyhdistys ry & Puuinfo Oy, 2014, s. 15). Sen huoltaminen onnistuu perinteisin menetelmin. Liimapuuta voidaan lisäksi korjata suhteellisen helposti ja sen osia voidaan korvata. Myös työstäminen jälkikäteen onnistuu ja liimapuuta voidaan esimerkiksi hioa tarvittaessa. (Suomen Liimapuuyhdistys ry & Puuinfo Oy, 2015, luku 1.2.)

4 PILARI-PALKKIRUNKO

Suuriin palkkeihin ja pilareihin perustuvaa rakennusjärjestelmää kutsutaan pilari-palkkirungoksi (kuva 2). Pilari-palkkijärjestelmän etuna on mahdollisuus avoimeen ja muuntojoustavaan pohjaratkaisuun sekä suuriin aukotuksiin julkisivussa. Se sopii hyvin esimerkiksi kokoontumisrakennuksiin, joissa tarvitaan isoja avoimia tiloja. Muita käyttökohteita ovat esimerkiksi toimistot, koulut, päiväkodit ja liiketilat. Lisäksi pilari-palkkirunkoa on mahdollista käyttää asuinkerrostaloissa. Rakennus voidaan tehdä kokonaan pilari-palkkirunkoisena tai sitä voidaan käyttää yhdessä muiden runkojärjestelmien kanssa osassa rakennusta. (Lahtela, 2022, dia 7; Puuinfo Oy, 2020c; Suomen Liimapuuyhdistys ry & Puuinfo Oy, 2014, s. 49.)



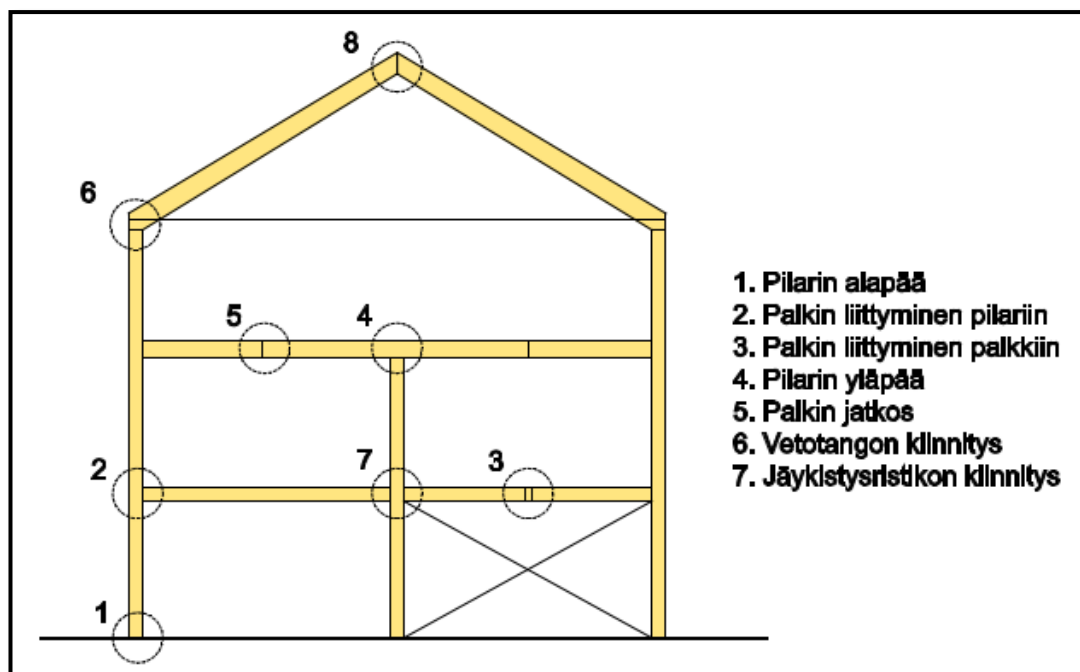
Kuva 2. Pilari-palkkirunko (Puuinfo Oy, 2020c)

Pilarien varaan vapaasti tuetut yksiaukkoiset palkit muodostavat yksinkertaisimman ja tavallisimman rungon. Pilari-palkkirungolla voidaan toteuttaa myös monimutkaisempia rakenteita, joiden varaan ulkoseinät sekä ylä- ja välipohjat asennetaan. Pilari-palkkirungon ulkopuolelle asennetaan ulkovaippa ja vaakarakenne voidaan valmistaa palkkirakenteena tai massiivipuulevyllä. Yleensä pilari-palkkirunko toimii myös rakennuksen jäykisteenä, joka toteutetaan mastojäykisteillä tai diagonaalijäykisteillä. (Puuinfo Oy, 2020c; Suomen Liimapuuyhdistys ry & Puuinfo Oy, 2014, s. 48–49.)

Pilarien ja palkkien tehtävä on välittää pystykuormat perustuksille. Pystykuorman kantokykyä pilari-palkkirungossa rajoittaa yleensä pilarin nurjahduskestävyys. Tästä harvemmin syntyy ongelmia, sillä pilarin nurjahduskestävyyttä voidaan lisätä suurentamalla pilarin poikkileikkausta. Mitoittava tekijä voi joissakin tapauksissa olla tukipainekestävyys pilarin tuella. (Puuinfo Oy, 2020c.)

Pilari-palkkirungossa käytettävät rakennusosat ovat yleensä varsin järeitä ja niihin kohdistuu isoja kuormituksia. Liimapuulla tällaisia kookkaita rakenteita pystytään toteuttamaan, mutta liitosten huolellinen suunnittelu on tärkeää. (Puuinfo Oy, 2020c; Suomen Liimapuuyhdistys ry & Puuinfo Oy, 2015, luku 16.)

Kuvassa 3 on nähtävissä pilari-palkkirungon tyypillisimpiä liitoksia. Liitoksien voidaan kuvailla olevan voimia välittäviä pienehköjä rakennusosia, jotka kiinnittävät yhteen isompia rakennusosia. Kaikki rakenteet koostuvat erilaisista liitoksista. Liitos on usein myös rakenteen heikoin kohta. Näin ollen se määrittelee kestävyuden koko rakenteelle. (Suomen Liimapuu yhdistys ry & Puuinfo Oy, 2015, luku 14–14.2.) Seuraavissa kappaleissa tutkitaan tarkemmin pilarin alapään liittämistä perustuksiin, palkin liittymistä pilariin sekä kahden palkin välistä liitosta.



Kuva 3. Pilari-palkkirungon tyypillisimmät liitokset (Suomen Liimapuu yhdistys ry & Puuinfo Oy, 2015, luku 14.1)

Puu- ja liimapuurakentamisessa käytetään yhä enemmän teräksisiä liitososia ja teräslevyjä, joiden kiinnittämiseen käytetään ruuveja, nauloja ja vaarvoja. Perinteisesti liitoskohdat puurakenteissa tehtiin niin, että ne siirsivät ensisijaisesti puristusvoimia. Vetovoimien siirtokyky liitoksissa oli rajallinen. Teräslitoksilla voimia pystytään siirtämään tehokkaammin ja täsmällisemmin kuin perinteisillä liitostavoilla on mahdollista. (Suomen Liimapuu yhdistys ry & Puuinfo Oy, 2014, s. 36.)

Teknisen kehityksen myötä liitostyypit kehittyvät koko ajan ja uusia kiinnikkeitä ja liitostapoja tulee perinteisten ratkaisujen rinnalle. Muuttuvien vaatimusten vuoksi uusia ratkaisuja on luotava. Hyvä esimerkki tästä ovat piilokiinnikkeet, joilla on monia etuja esiin jääviin kiinnikkeisiin verrattuna kuten parempi palonkestävyys. (Suomen Liimapuu yhdistys ry & Puuinfo Oy, 2014, s. 61; Suomen Liimapuu yhdistys ry & Puuinfo Oy, 2015, luku 14–14.2.)

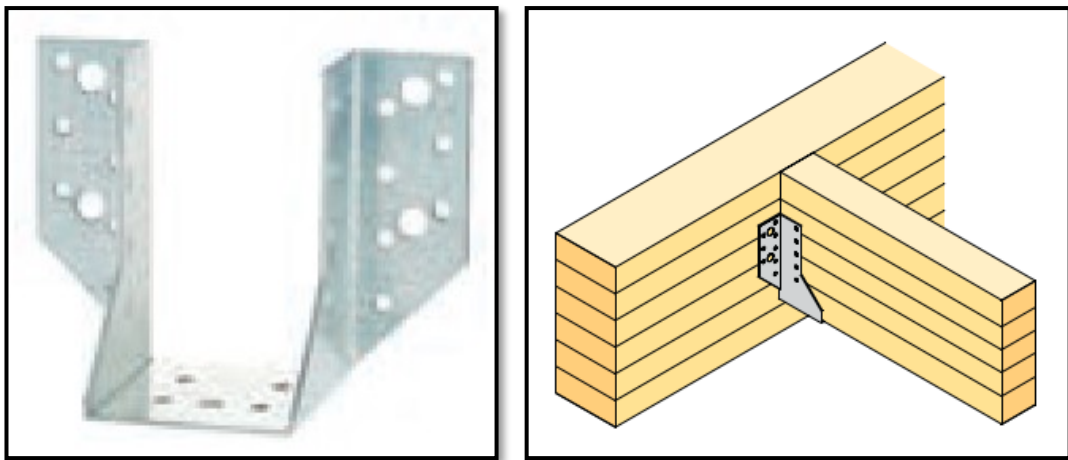
Rakenteelliset rajoitukset, kuten liimapuun ja teräksen välinen kosketuspaine, rajoittavat teräsosien muotoilua. Teräsosat voivat olla pinnalla olevia tai upotettuja ja ne voivat siirtää momenttia tai toimia nivelinä. Tällaisia kiinnityksiä ovat muun muassa perustusliitokset, tuentaratkaisut (palkki-palkki- ja pilari-palkkiliitokset) ja nurkkapisteet eli samassa kohdassa olevat teräksisten vetotankojen tai liimapuisten rakennusosien liitokset. (Suomen Liimapuu yhdistys ry & Puuinfo Oy, 2014, s. 37.)

4.1 Pilari-palkki- ja palkki-palkkiliitos

Pilarin ja palkin liitos voidaan toteuttaa monilla eri tavoilla. Yleensä liitos tehdään nivelellisenä, jolloin se välittää vaaka- ja pystyvoimia. (Suomen Liimapuu yhdistys ry & Puuinfo Oy, 2015, luku 14.4.) Pilari voi olla yhden kerroksen korkuinen, jolloin palkki liitetään sen päälle. Mikäli käytetään kahden kerroksen korkuista pilaria, kiinnitetään palkki pilarin kylkeen. Palkin ja pilarin liitoksen kannalta nämä ovat täysin toisistaan poikkeavia ratkaisuja. Lisäksi rakennuksen pystysuuntainen painuma tulee huomioida eri liitoksilla eri tavoin. Kun palkki jätetään päällekkäin tulevien pilarien väliin, täytyy palkin poikittais-suuntainen kutistuma huomioida, sillä siitä aiheutuu pystysuuntaista painumaa. (Puuinfo Oy, 2020c.)

Pilarin ja palkin väliset liitokset toteutetaan usein vahvistettuna. Vahvistamiseen voidaan käyttää liimaruuveja, puuruuveja tai liitoksen ulkopuolelle tulevia naulauslevyjä. Vahvistamalla voidaan vähentää muodonmuutosta ja näin kasvattaa liitoksen kestävyttä. (Suomen Liimapuu yhdistys ry & Puuinfo Oy, 2015, luku 4.1.)

Pilarien ja palkkien liitoksissa käytetään yleisesti palkkikengiä (kuva 4). Myös samassa tasossa olevia palkkeja voidaan kiinnittää toisiinsa niiden avulla. Palkkikengiä on monia eri mallisia. Niissä olevien siivekkeiden leveydet vaihtelevat ja niitä voidaan taivuttaa sisään- tai ulospäin. Palkkikengiä saa myös eri korkuisina. Palkkikengien kiinnittämiseen käytetään ruuveja, ankkurinauloja ja tappivaarvoja. (Lahtela, 2022, dia 33; Suomen Liimapuu yhdistys ry & Puuinfo Oy, 2014, s. 62, 68; Suomen Liimapuu yhdistys ry & Puuinfo Oy, 2015, luku 14.4–14.5.)

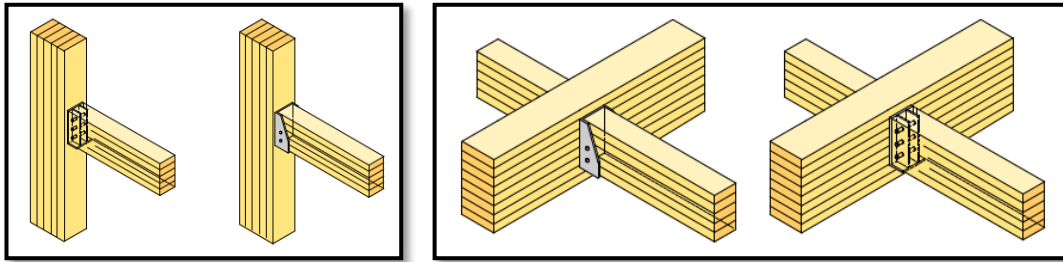


Kuva 4. Palkkikengä (Suomen Liimapuu yhdistys ry & Puuinfo Oy, 2014, s. 62, 69)

Eriyisesti silloin, kun liitettävien palkkien yläpintojen halutaan olevan samassa tasossa, vakiovalmisteisen palkkikengän käyttäminen on tarkoituksenmukainen ja yksinkertainen ratkaisu. Suuria tukireaktioita siirrettäessä palkkikengät pitää yleensä valmistaa kuumavalssatusta lattateräksestä hitsaamalla. Niiden muotoilu monella eri tavalla on mahdollista. (Suomen Liimapuu yhdistys ry & Puuinfo Oy, 2014, s. 69.)

Hitsattuja palkkikengiä on kahta tyyppiä (kuva 5). Suurimpana erona näissä on teräsosien näkyminen. Piilopalkkikengän hyviä ominaisuuksia on sen huomaamattomuus sekä hyvä palonkesto, koska puu suojaa teräsosia. Voimien siirto palkilta palkkikengälle tapahtuu molemmissa malleissa palkkikengän pohjalevyn ja palkin välisen kosketuspaineen kautta. Liittimien leikkausvoiman

avulla voimat siirtyvät eteenpäin pilarille. (Suomen Liimapuu yhdistys ry & Puuinfo Oy, 2015, luku 14.4.)



Kuva 5. Piilopalkkikienkä ja näkyviin jäävä palkkikienkä (Suomen Liimapuu yhdistys ry & Puuinfo Oy, 2015, luku 14.4)

Pienien ja keskisuurien palkkien liittämiseen tarkoitettuja palkkikienkiä löytyy monilta valmistajilta eri koossa ja mallissa. Niihin löytyy myös yleispäteviä käyttösuosituksia ja tietoja kestävydestä sekä valmiita mitoitusohjeita. Liimapuurakenteiden ison koon takia sopivia valmisosia on kuitenkin vaikea löytää ja palkkikengät sekä niitä muistuttavat erikoisvalmisteiset teräskiinnikkeet joudutaan monesti tilaamaan erikseen. (Suomen Liimapuu yhdistys ry & Puuinfo Oy, 2015, luku 14.4–14.5.)

4.2 Pilarin alapään liitos

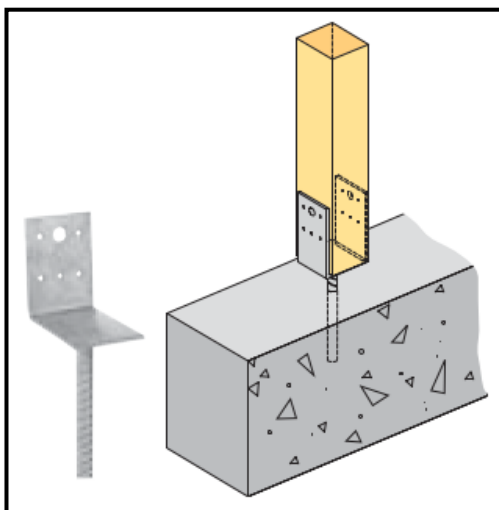
Liimapuurakenteiset pilarit voidaan kiinnittää perustuksiin joko jäykästi tai nivelellisesti. Pilarin alapään kiinnitykseen on erilaisia tapoja. Pilarin kiinnikkeet voidaan valaa betoniin tai hitsata ne kiinnityslevyyn, joka on valettu betoniin. Liitos voidaan tehdä myös perustuksiin valettavien peruspulttien avulla. Mikäli pilarin alapää on kosketuksissa perustuksiin, täytyy väliin asentaa kosteuden siirtymisen estävä kerros, jotta kosteus ei pääse siirtymään pilariin perustuksista. (Keronen, 2009, s. 32; Suomen Liimapuu yhdistys ry & Puuinfo Oy, 2015, luku 14.3.)

Pilareiden liitokset perustuksiin pitää suunnitella niin, että niitä voidaan säätää etenkin pystysuunnassa. Näin varmistetaan rungon kokoamisen mittatarkkuusvaatimusten täytyminen. Mitä enemmän kerroksia rakennuksessa on, sitä enemmän mittatarkkuusvaatimukset korostuvat. Puurungon

asennuksessa ei ole käytettävissä kerroskohtaista tasausmenetelmää, millä vinoon tehtyä runkoa voitaisiin oikaista. Sen vuoksi kaiken pitää olla suorassa heti perustuksista lähtien aina ylimpään kerrokseen asti. (Puuinfo Oy, 2020c.) Pilarien liitokset perustuksiin täytyy suunnitella huolellisesti ja toteuttaa suunnitelmien mukaan. Haasteita liitoksiin tuovat liitososat, erityisesti jos pilariin kohdistuu suuria voimia ja ne toimivat jäykistävinä rakenneosina tai liitososat pitää palosuojata. Pilarien poikkileikkauksessa mahdollisesti tapahtuvat kosteusmuodonmuutokset vaikuttavat myös liitososiin. (Puuinfo Oy, 2020c.)

Pilarin kiinnityksessä käytetään usein sen molemmille puolille laitettuja teräslevyjä, jotka naulataan tai ruuvataan kiinni pilariin. Kiinnityksien vaatimat ruuvien reiät on hyvä porata liimapuuhun vasta asennusvaiheessa. Näin vältetään mahdollisia ongelmia asennuksessa erityisesti silloin, jos kiinnikkeet on valettu jo betoniperustukseen. (Suomen Liimapuuyhdistys ry & Puuinfo Oy, 2015, luku 14.3.)

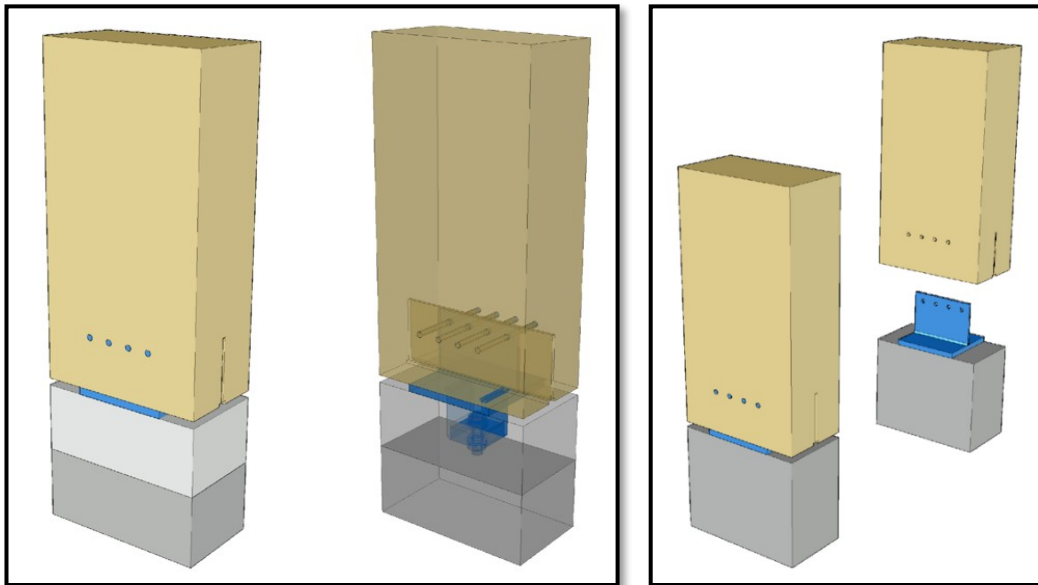
Pilarin alapään liitos voidaan toteuttaa myös pilarikenkien (kuva 6) avulla. Ne valmistetaan kuumasinkitystä teräksestä. Pilarikenkiä valmistetaan eri malleja ja osassa kiinnitys on säädettävä. (Suomen Liimapuuyhdistys ry & Puuinfo Oy, 2014, s. 62.)



Kuva 6. Pilarikenkä (Suomen Liimapuuyhdistys ry & Puuinfo Oy, 2014, s. 62)

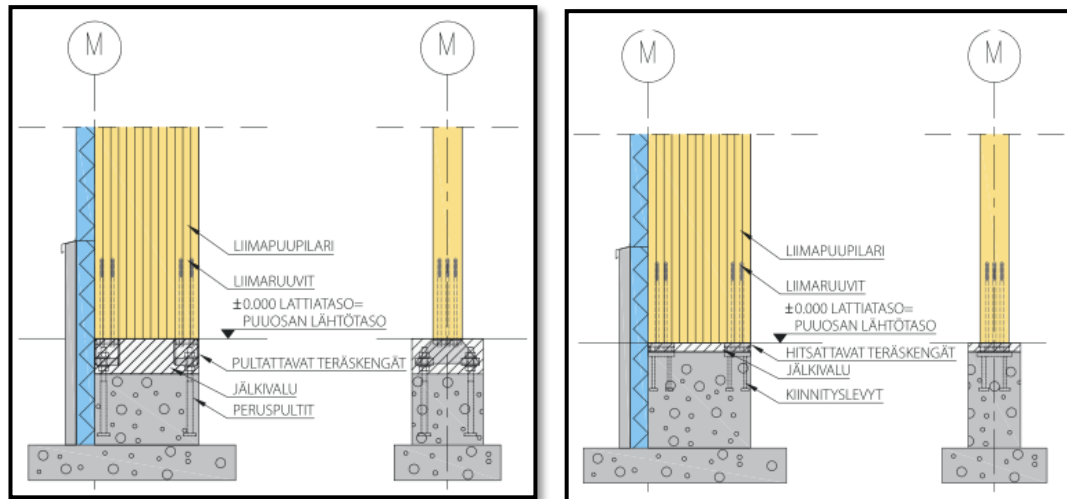
Pilarikenkä sopii hyvin käytettäväksi ulkotiloissa, koska vesi ei pääse imeytymään pilarin päätypuun kautta. Perinteinen kiinnike koostuu U-teräksestä ja harjateräksestä, jotka on hitsattu yhteen. Harjateräksen alapää valetaan yleensä betoniin tai hitsataan kiinni betoniin valettuun kiinnikelevyyn. Voimien siirtämiseen käytetään yleensä ruuveja. Perinteisellä pilarikengällä voidaan kuitenkin siirtää vain pieniä voimia. (Suomen Liimapuu yhdistys ry & Puuinfo Oy, 2014, s. 65.)

Suurempia voimia kestäviä pilarikenkiä on myös saatavilla. Tällaisia ovat esimerkiksi pilarikengät (kuva 7), joiden kiinnittämiseen pilariin käytetään tappivaarvoja. Perustuksiin ne voidaan liittää esimerkiksi käyttämällä peruspultteja tai juotosvalua. Pilarikenkä on mahdollista asentaa myös suoraan perustuksiin niiden valun yhteydessä. Tällöin vaaditaan suurta mittatarkkuutta pilarikenkää asennettaessa. (Lahtela, 2022, dia 30–31.)



Kuva 7. Tappivaarvoilla kiinnitettäviä pilarikenkiä (Lahtela, 2022, dia 30–31)

Jos kiinnitys halutaan tehdä piiloliitoksena, voidaan se toteuttaa esimerkiksi liimaruuviliitoksena (kuva 8). Piiloliitos voidaan haluta paloteknisestä tai esteettisestä syystä. Liimaruuvit asennetaan pilariin jo tehtaalla. Ne yhdistetään pilarikenkään, joka kiinnitetään perustuksiin joko peruspulteilla tai hitsaamalla. (Suomen Liimapuu yhdistys ry & Puuinfo Oy, 2015, luku 14.3; Versowood, 2019.)



Kuva 8. Pilarikengä liimaruuviliitoksessa (Versowood, 2019)

Avoin puuelementtistandardi HalliPES 1.0 tarjoaa suunnitteluohjeita pilarin alapään liitokseen. Puufon sivuilta HalliPES 1.0:n yhteydestä on löydettävissä muun muassa tekninen käyttöohje ja kapasiteettitaulukot liimapuupilari-kengälle sekä lausunto liimaruuviliitosten suunnitteluohjeesta. (Puufon Oy, 2023.)

5 LIITOSOSAT PUURAKENTEIDEN SUUNNITTELUSSA

Puurakentamisessa ei ole yhtenäistä standardia rakennusosien liittymille, joten ne suunnitellaan aina tapauskohtaisesti. Suunniteltaessa rakennusosien liittymiä keskeisiä huomioon otettavia asioita ovat lujuustekniikka, muodonmuutos, lämpö- ja kosteustekniikka, äänitekniikka, palotekniikka sekä työmaatekniikka. Pilari-palkkirungon liitoksia suunniteltaessa esiin nousevat lujuustekniset kysymykset. Miten voimat siirtyvät vaaka- ja pystysuunnassa ja miten voimaliitokset toteutetaan? Puurakenteisten liitosten täytyy välittää kuormat aina yksiselitteisesti eli kuormat eivät saa siirtyä rakenneosien välillä monella eri tavalla. Myös tukipinnat täytyy ottaa suunnittelussa huomioon. Liitosten suunnittelussa täytyy lisäksi pitää mielessä, että kiinnikkeistä johtuvat reiät, urat ja muut työstöt pienentävät liimapuupoikkileikkauksen kestävyyttä. Teräsosien suunnittelussa on huomioitava lisäksi, että ne vaikuttavat rakenteen

ulkonäköön. Varsinkin, jos ne jäävät liimapuun kanssa näkyviin, ollen osa arkkitehtuuria. (Puuinfo Oy, 2020c; Suomen Liimapuuyhdistys ry & Puuinfo Oy, 2014, s. 37; Suomen Liimapuuyhdistys ry & Puuinfo Oy, 2015, luku 14.2, 16.1.)

Puurakenteita mitoitettaessa suunnittelijan tulee huomioida käyttöluokka, kuormituksen aikaluokka ja puussa olevien syiden suunta rasituksen suhteen. Lisäksi on tunnettava puun hygroskooppinen ja ortotrooppinen käyttäytymisen. Hygroskooppisena materiaalina puun kosteusliikkeet ovat suuria, joten kosteuden vaihtelusta johtuvat puun muodonmuutokset, kuten halkeilu ja kuivumiskutistuma, on pidettävä mielessä järeiden rakennusosien kanssa ja niiden liitoksia suunniteltaessa. Metallisia liitososia käytettäessä täytyy huomioida, että puu pääsee kutistumaan ja turpoamaan vapaasti, jotta ei synny liian isoja pakkovoimia. (Suomen Liimapuuyhdistys ry & Puuinfo Oy, 2015, luku 14–14.2.)

Liimapuurakenteisten liitosten suunnittelun pääperiaatteet voidaan tiivistää kolmeen kohtaan.

1. Voima pitää siirtää tehokkaasti ja vetojännitykset syitä vastaan kohtisuorassa suunnassa pitää pyrkiä minimoimaan tai välttämään kokonaan.
2. Liimapuussa muuttuvissa kosteusolosuhteissa tapahtuvien kosteusmuodonmuutosten pitää päästä tapahtumaan liitoksissa vapaasti, jotta syitä vastaan kohtisuoria jännityksiä ei pääse syntymään.
3. Rakenteen lahoamisen estämiseksi pitää liitoksissa huomioida myös rakenteellinen puunsuojaus.

(Suomen Liimapuuyhdistys ry & Puuinfo Oy, 2015, luku 16-16.1.)

Jos liitos on suunniteltu huonosti, voi se johtaa rakenteen hauraaseen murtumiseen. Tätä on vältettävä ja rakenteet tuleekin suunnitella niin, että ne varoitavat sortumisesta jo hyvissä ajoin ennen sen tapahtumista. Mitoitus tulee tehdä niin, että teräksessä tapahtuu isoja, näkyviä teräksen myötäämisestä johtuvia muodonmuutoksia jo ennen kuin varsinainen sortuminen tapahtuu. (Suomen Liimapuuyhdistys ry & Puuinfo Oy, 2015, luku 14.)

Puurakenneosien jäykkyys- ja lujuusominaisuuksiin vaikuttavat puun kosteus ja kuorman kesto. Kuormille määritellään aikaluokat (taulukko 1) ja jokainen kuorma luokitellaan yhteen aikaluokkaan jäykkyyttä ja lujuutta laskettaessa. Rakenteen käyttöiän kuluessa siihen tietyn ajan kohdistuvan vakiokuorman kesto määrittää käytettävän aikaluokan. Muuttuvien kuormien oikean aikaluokan määrittelyssä arvioidaan kuormien tyypillinen ajallinen vaihtelu. (SFS-EN 1995-1-1, 2014, s. 22–23.)

Taulukko 1. Kuormien aikaluokat ja esimerkit kuormista (RIL 205-1-2017, 2017, s. 32–33.)

Kuorman aikaluokka	Ominaiskuorman vaikutusajan suuruusluokka	Esimerkki kuormasta
Pysyvä	yli 10 vuotta	Oma paino Pysyvästi rakenteeseen kiinnitetyt koneet, laitteet ja kevyet väliseinät
Pitkäaikainen	6 kuukautta - 10 vuotta	Varastotilojen tavarakuorma, vesisäiliökuorma
Keskipitkä	1 viikko - 6 kuukautta	Lumi Lattioiden ja parvekkeiden hyötykuorman pintakuormat Kosteuden vaihtelun aiheuttamat kuormitukset
Lyhytaikainen	alle yksi viikko	Hyötykuorman pistekuorma, väliseinien ja kaiteiden vaakakuormat Kunnossapito- tai henkilökuorma katolla Asennuskuormat
Hetkellinen		Tuuli Onnettomuuskuorma

Puurakenteille on olemassa käyttöluokat 1, 2 ja 3, joihin rakenteet tulee luokitella. Käyttöluokkajärjestelmää käytetään tietyissä ympäristöolosuhteissa tapahtuvan muodonmuutoksen laskemiseen sekä lujuusarvojen jaotteluun. Käyttöluokassa 1 puurakenne on lämmitetyssä sisätilassa tai vastaavassa kosteusolossa. Siinä materiaalin kosteuden katsotaan vastaavan lämpötilaa 20°C eikä ympäristön suhteellinen kosteus ylitä arvoa 65 prosenttia kuin parina viikkona vuodessa. Näin ollen havupuun kosteus pysyy pääasiassa alle 12 prosentin. Käyttöluokkaan 1 kuuluvat lämmöneristekerroksessa olevat rakenteet ja palkit, joiden vetopuoli on lämmöneristyksen sisällä. (Puuinfo Oy, 2020a, s. 15.)

Käyttöluokan 2 puurakenne voi olla ulkoilmassa, mutta sen tulee pysyä kuivana. Näin ollen rakenteen täytyy olla katettu ja tuuletettu sekä suojattu kastumiselta niin alta kuin sivuiltakin. Samoin kuin käyttöluokassa 1 materiaalin kosteuden katsotaan vastaavan lämpötilaa 20°C, mutta ympäristön suhteellinen kosteus saa nousta yli arvon 85 prosenttia parina viikkona vuodessa. Käyttöluokassa 2 havupuun kosteus on pääasiassa alle arvon 20 prosenttia. Esimerkiksi kylmän ullakon ja rossipohjan rakenteet katsotaan kuuluvan tähän käyttöluokkaan. Käyttöluokassa 3 kosteusarvot ovat suurempia kuin käyttöluokassa 2. Tällöin puurakenteet voivat olla alttiina säälle ulkona, kosteissa tiloissa tai joutua veden välittömän vaikutuksen alaisiksi. (Puuinfo Oy, 2020a, s. 15.)

Tasapainokosteuden lisäksi tulee huomioida kosteuden vaihtelut valittaessa käyttöluokkaa. Korkeakin tasainen kosteus voi vaikuttaa puurakenteeseen vähemmän kuin jatkuva kosteuden vaihtelu. Käyttöluokassa 1 on huomioitava myös puun halkeiluvaara. (Puuinfo Oy, 2020a, s. 15.)

Kuorman kesto ja kosteuden vaikutukset huomioidaan muunnoskertoimella k_{mod} . Muunnoskertoimen k_{mod} arvot liimapuulle on esitetty taulukossa 2. Mikäli kuormitusyhdistelmässä on eri aikaluokkiin kuuluvia kuormia, on lyhytkestoisin kuormitus määräävä ja k_{mod} valitaan sen perusteella. Esimerkiksi, jos kuormitusyhdistelmä muodostuu pysyvästä ja lyhytaikaisesta kuormasta, valitaan muunnoskertoimen k_{mod} arvo silloin lyhytaikaisen kuormituksen mukaan. (SFS-EN 1995-1-1, 2014, s. 27.)

Taulukko 2. Muunnoskertoimen k_{mod} arvot liimapuulle (SFS-EN 1995-1-1, 2014, s. 28)

Käyttöluokka	Kuorman aikaluokka				
	Pysyvä	Pitkäaikainen	Keskipitkä	Lyhytaikainen	Hetkellinen
1	0,60	0,70	0,80	0,90	1,10
2	0,60	0,70	0,80	0,90	1,10
3	0,50	0,55	0,65	0,70	0,90

Eri materiaaleille on määritelty omat jäykkyys- ja kestävyysominaisuuksien osavarmuusluvut γ_M . Liimapuulle osavarmuusluku γ_M on 1,25. Lisäksi liitoksille on annettu oma osavarmuuslukunsa, joka on 1,3. Osavarmuuslukuja

käytetään muun muassa määritettäessä kestävyuden mitoitusarvoa R_d seuraavalla kaavalla

$$R_d = k_{mod} \frac{R_k}{\gamma_M}, \quad (1)$$

missä

R_k ominaisarvo kestävyydelle

γ_M osavarmuusluku materiaaliominaisuudelle

k_{mod} muunnoskerroin kuorman kestolle ja kosteusvaikutukselle.

(RIL 205-1-2017, 2017, s. 47; SFS-EN 1995-1-1, 2014, s. 25–26.)

Eurokoodissa 5 määritellään, että liimapuun tulee täyttää standardin 14080 vaatimukset (RIL 205-1-2017, 2017, s. 52). Liimapuuta voidaan valmistaa yhdistettynä tai tasa-aineisena. Yhdistetyssä liimapuussa kovemmalle rasiutukselle joutuvat ulkolamellit ovat lujuusluokaltaan parempia ja sisälamellit heikompa lujuusluokkaa. Tasa-aineisessa eli homogeenisessa liimapuussa kaikki lamellit ovat samaa lujuusluokkaa. (Suomen Liimapuuyhdistys ry & Puuinfo Oy, 2014, s. 22.) Standardissa EN 14080 on esitetty havupuusta valmistetulle liimapuulle lujuusluokat erikseen homogeeniselle liimapuulle GL20h–GL32h ja yhdistetylle liimapuulle GL20c–GL32c. Mikäli valmis liimapuupalkki halkaistaan, sen lujuusominaisuudet heikkenevät. Lujuusluokkiin lisätään tällöin tunnus s. Kuvassa 9 on esitetty liimapuun tyypillisimmät lujuusluokat ja niiden ominaislujuudet, jäykkyysoinaisuudet sekä tiheydet. (RIL 205-1-2017, 2017, s. 52.)

Lujuusluokka	Liimapuu				Halkaistu liimapuu		
	GL24c	GL24h	GL30c ¹	GL30h	GL30cs ¹	GL30hs	
Ominaislujuudet (N/mm ²)							
Taivutus	$f_{m,k}$	24	24	30	30	28	28
Veto	$f_{t,0,k}$	17	19,2	19,5	24	18,7	22,4
	$f_{t,90,k}$	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Puristus	$f_{c,0,k}$	21,5	24	24,5	30	23,3	28
	$f_{c,90,k}$	2,5	2,5	2,5	2,5	3,0	3,0
Leikkaus	$f_{v,k}$	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5
	$f_{r,k}$	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2
Jäykkyysominaisuudet (N/mm ²)							
Kimmomoduuli	$E_{0,mean}$	11 000	11 500	13 000	13 600	12 500	13 100
	$E_{0,05}$	9 100	9 600	10 800	11 300	10 300	10 800
	$E_{90,mean}$	300	300	300	300	300	300
Liikumoduuli	G_{mean}	650	650	650	650	650	650
	$G_{0,05}$	540	540	540	540	540	540
Tiheydet (kg/m ³)							
Ominai tiheys	ρ_k	365	385	390	430	390	430
Tiheyden keskiarvo	ρ_{mean}	400	420	430	480	430	480

¹ Vakoluokka Suomessa. Muita lujuusluokkia valmistetaan yleensä vain tilauksesta.

Kuva 9. Liimapuun ominaislujuudet, jäykkyysominaisuudet ja tiheydet (RIL 205-1-2017, 2017, s. 52)

Liitoksen kestävyden osoittamisessa täytyy huomioida sauvojen keskinäiset voimasuureet, jotka on määritelty rakenteen kokonaistarkastelun yhteydessä. Liitoksissa tapahtuvat muodonmuutokset täytyy huomioida rakenteen tai sen osien voimasuureiden laskentamalleissa. Usein liitoksissa tapahtuvien muodonmuutosten vaikutukset huomioidaan liitosten jäykkyyden kautta tai liitokseen kohdistuvan voimatilan avulla oletetun siirtymäarvon suuruuden perusteella. Liitosten muodonmuutosten täytyy olla yhtenäisiä kokonaistarkastelussa oletetun arvon kanssa. Liitoksen analysoinnissa täytyy huomioida kaikkien siihen liittyvien osien käyttäytyminen. (SFS-EN 1995-1-1, 2014, s. 32.)

5.1 Metalliset liitososat

Liitoksissa käytettävien metallisten puikkoliittimien tulee täyttää standardin EN 14592 vaatimukset ja naula-, naulaus- ja vaarnalevyjen pitää olla standardin EN 14545 vaatimukset täyttäviä. Mikäli metalliset liitososat eivät ole edellä mainitun kaltaisia standardiliittimiä eikä niitä suunnitella eurokoodi standardin mukaan käyttökohdekohtaisesti, täytyy niillä olla eurooppalainen tekninen arviointi (ETA), joka oikeuttaa CE-merkinnän käyttämiseen. Vaihtoehtoisesti voidaan käyttää myös varmennustodistusta tai rakennuspaikkakohtaisen kelpoisuuden osoittamiseen käytettävää asiantuntijaselvitystä, joka on rakennusvalvontaviranomaisen hyväksymä. Tällainen asiantuntijaselvitys on esimerkiksi VTT:n antama lausunto/sertifikaatti liitososan käytöstä EN 1995 standardin mukaisen puurakenteiden suunnittelun yhteydessä. Näihin liitososiin kuuluvat muun muassa palkkikengät, pilarikengät, erikoisruuvit ja porakärkiset tappivaarnat. Kun suunnitellaan liitoksia, joissa käytetään tällaisia liitososia, tulee soveltaa ETA:ssa, varmennustodistuksessa tai lausunnossa/sertifikaatissa esitettyjä täydentäviä suunnitteluohjeita. (Puuinfo Oy, 2020a, s. 20.)

Liitoksissa käytettävät metalliosat eivät yleensä kestä korroosiota yhtä hyvin kuin puuaines (Suomen Liimapuuyhdistys ry & Puuinfo Oy, 2015, luku 14.2). Metallisten liittimien korroosiosuojauksen vaatimukset tulevat standardista EN ISO 12944-2. Rakenteen ilmastoluokka määrää kiinnikkeiden korroosiosuojauksen tason. Yleensä se on minimissään korroosioluokka C4. (Suomen Liimapuuyhdistys ry & Puuinfo Oy, 2014, s. 61.) Ilmastokorroosiovaikutusluokka C4 tarkoittaa ankaraa korroosiovaikutusta. Tällainen ulkoilmasto voi olla esimerkiksi teollisuusalueella tai rannikkoalueella, missä suolapitoisuus jää kohtalaiseksi. Sisätiloissa luokkaa C4 vastaa esimerkiksi kemiallinen tehdas, uima-allas tai rannikolla sijaitseva telakka. (ISO 12944-2:2017, 2017, s. 9–10.)

Useimmat valmisosat, jotka on valmistettu kuumasinkitystä teräksestä, täyttävät vaatimuksen korroosioluokasta C4. Myös korroosioluokkaa C5 vastaavia liittimiä on saatavilla. (Suomen Liimapuuyhdistys ry & Puuinfo Oy, 2014, s. 61.) Luokan C5 hyvin ankara korroosiovaikutus voi tulla kyseeseen esimerkiksi

teollisuusalueella, missä kosteus on korkealla ja ilmatila syövyttävä tai sellaisella rannikkoalueella, missä suolapitoisuus on korkea. Sisätiloissa luokka C5 voi olla mahdollinen, jos kondensoituminen on lähes jatkuvaa ja saasteita on paljon ilmassa. (ISO 12944-2:2017, 2017, s. 9–10.)

Kuvassa 10 on nähtävissä esimerkkejä siitä, millaisella vähimmäissuojauksella tai materiaalin valinnalla suojaudutaan korroosiolta eri käyttöluokissa. Esimerkiksi enintään kolme millimetriä paksun teräslevyn kuumasinkityksen tulisi olla luokkaa Z275 käyttöluokissa 1 ja 2. Kuvassa 10 esitetyt sähkösinkityksen Fe/Zn-luokitukset täyttävät standardin ISO 2081 vaatimukset, kuumasinkityksen Z-pinnoitteet ovat standardin EN 10346 mukaisia ja puikkoliittimien kuumasinkitykset (minimipaksuus μm) on määriteltä standardissa ISO 1461. (RIL 205-1-2017, 2017, s. 65.)

Liitin	Käyttöluokka ¹⁾		
	1	2	3
Naulat ja ruuvit, joiden $d \leq 4$ mm	Ei mitään	Fe/Zn 12c, 39 μm	Fe/Zn 25c, 49 μm
Pultit, tappivaarnat, naulat ja ruuvit, joiden $d > 4$ mm	Ei mitään	Ei mitään	Fe/Zn 25c, 49 μm
Hakaset	Fe/Zn 12c, 39 μm	Fe/Zn 12c, 49 μm	Ruostumaton teräs
Naulalevyt ja teräslevyt, joiden paksuus on enintään 3 mm	Fe/Zn 12c, Z275	Fe/Zn 12c, Z275	Ruostumaton teräs
Teräslevyt, joiden paksuus on välillä 3 mm...5 mm	Ei mitään	Fe/Zn 12c, Z275	Fe/Zn 25c, Z350
Teräslevyt, joiden paksuus on yli 5 mm	Ei mitään	Ei mitään	Fe/Zn 25c, Z350

¹⁾ Erityisen syövyttäviin olosuhteisiin on syytä harkita paksumpaa kuumasinkitystä tai ruostumatonta terästä.

Kuva 10. Liittimien korroosiosuojauksen vähimmäisvaatimuksia (RIL 205-1-2017, 2017, s. 65)

Jos kantavan rakenteen tai muun henkilöturvallisuuteen liittyvän rakenteen liitos tehdään kyllästetystä puutavarasta käyttöluokassa 3, tulee käyttää liittimiä ja liitososia, jotka on valmistettu ruostumattomasta teräksestä, mikäli kyseessä olevalle kyllästysaineelle ei ole annettu muunlaista ohjetta. Ruostumaton teräs voi olla peruslaatua EN 1.4301, AISI 304 tai A2. (Puuinfo Oy, 2020a, s. 20.)

Lisäksi pysyväksi tarkoitetuissa puurakenteiden liitoksissa, jotka altistuvat va-
paalle vedelle tai maakosketukselle, tulisi käyttää liittimiä ja liitososia, jotka on
valmistettu ruostumattomasta teräksestä. Peruslaatu EN 1.4301 tavallisesti
riittää, jos ollaan kosketuksissa makeaan veteen tai maahan. Mikäli rakenne
on kosketuksessa suolaisen veden kanssa, on käytettävä vähintään luokkaan
EN 1.4401 kuuluvaa haponkestävää ruostumatonta terästä. (RIL 205-1-2017,
2017, s. 66.)

Eryteisesti käyttöluokan 3 kosteissa olosuhteissa tulisi liitoksissa käyttää liitti-
miä, jotka ovat samaa metallilaatua. Käytettäessä eri metallilaatuja voi tapah-
tua epäjalomman metallin galvaanista korroosiota. (RIL 205-1-2017, 2017, s.
66.)

5.2 Useilla liittimillä muodostetut liitokset

Liitoksia voidaan muodostaa useita liittimiä käyttäen. Tällöin liitoksen liittimien
koot ja sijoittelu, reuna- ja päätyetäisyydet sekä liitinvälit täytyy valita niin, että
liitoksen oletettu jäykkyys ja kestävyys saavutetaan. Täytyy huomioida, että
monesta samankokoisesta ja -tyyppisestä liittimestä koostuvan liitoksen kes-
tävyys saattaa olla pienempi kuin erillisten liittimien kestävyysien perusteella
saatu summa. Mikäli samassa liitoksessa liitoskuormien siirtämiseen käyte-
tään erityyppisiä liittimiä, liittimien poikkeavat jäykkyydet ja niistä aiheutuvat
muutokset voimien jakautumiseen täytyy huomioida. (RIL 205-1-2017, 2017,
s. 103; SFS-EN 1995-1-1, 2014, s. 53.)

Syysuuntaisen kestävyuden tehollinen ominaisarvo yhdelle liitinriville, jota
kuormitetaan rivin suuntaan, saadaan laskettua kaavalla

$$F_{v.ef.Rk} = n_{ef} F_{v.Rk}, \quad (2)$$

missä

$F_{v.ef.Rk}$ yhden syysuuntaisen liitinrivin kestävyuden tehollinen ominais-
arvo

n_{ef}	tehollisten liittimien määrä syysuuntaisessa liitinrivissä
$F_{v,Rk}$	yhden liittimen kestävyden ominaisarvo syysuuntaisesti kuormitettuna.

Voiman vaikuttaessa tietyssä kulmassa rivin suunnan vastaisesti on osoitettava, että rivin kanssa samansuuntainen voimakomponentti on korkeintaan kaavalla (2) lasketun kestävyden suuruinen. (SFS-EN 1995-1-1, 2014, s. 53.)

5.3 Puun ja teräslevyjen väliset liitokset

Puun ja teräksen välisten liitosten kestävyden ominaisarvoon vaikuttaa teräslevyjen paksuus. Ohueksi levyksi luokitellaan teräslevy, joka on paksuudeltaan enintään $0,5d$. Levyn paksuuden ollessa vähintään d ja siinä olevien reikien halkaisijoiden toleranssin ollessa alle $0,1d$ luokitellaan teräslevy paksuksi. Mikäli teräslevyn paksuus on näiden väliltä, saadaan liitoksen kestävyden ominaisarvo interpoloimalla lineaarisesti ohuen levyn ja paksun levyn raja-arvojen välillä. Muuttuja d on liittimen halkaisija tai paksuus. Lisäksi täytyy tarkastaa teräslevyjen kestävyys. Naulojen, ruuvien ja tappivaarujen kestävyden ominaisarvon laskemiseksi liitintä ja leikkaustasoa kohti on Eurokoodissa 5 annettu omat laskentakaavansa riippuen siitä, onko kyseessä yksi- tai kaksileikkäinen, ohut tai paksu teräslevy ja miten teräslevy liitoksessa on sijoitettu. (SFS-EN 1995-1-1, 2014, s. 56–57.)

Edelleen on huomioitava, että puun ja teräksen välisen liitoksen kestävyys voi heikentyä, mikäli kappale on kuormitettu päästään ja murtuminen tapahtuu liitinryhmän piiriä pitkin (SFS-EN 1995-1-1, 2014, s. 58). Puuosien välissä olevien teräslevyjen nurjahdusta ei tarvitse huomioida, mikäli puuosien leviäminen on rajoitettu niin, että teräslevylle varattu rako on korkeintaan 25 prosenttia levyn paksuutta isompi. Muussa tapauksessa nurjahduspituudeksi voidaan olettaa $0,8L_a$, missä L_a on eripuolilla liitossaumaa olevien ensimmäisten liittimien välinen etäisyys. Teräslevylisten liitoksien suunnittelussa on lisäksi huomioitava puun syitä vastaan kohtisuorasti tapahtuva kuivumiskutistuminen. (RIL 205-1-2017, 2017, s. 106.)

5.4 Puikkoliittimin toteutetut liitokset

Kun määritetään metallisilla puikkoliittimillä tehtävien liitosten kestävyuden ominaisarvoa, on huomioitava liittimen ulosvetolujuus, myötölujuus ja reu-
napuristuslujuus (SFS-EN 1995-1-1, 2014, s. 54). Seuraavaksi tarkastellaan
tarkemmin nauloilla, tappivaarnoilla ja ruuveilla tehtäviä liitoksia.

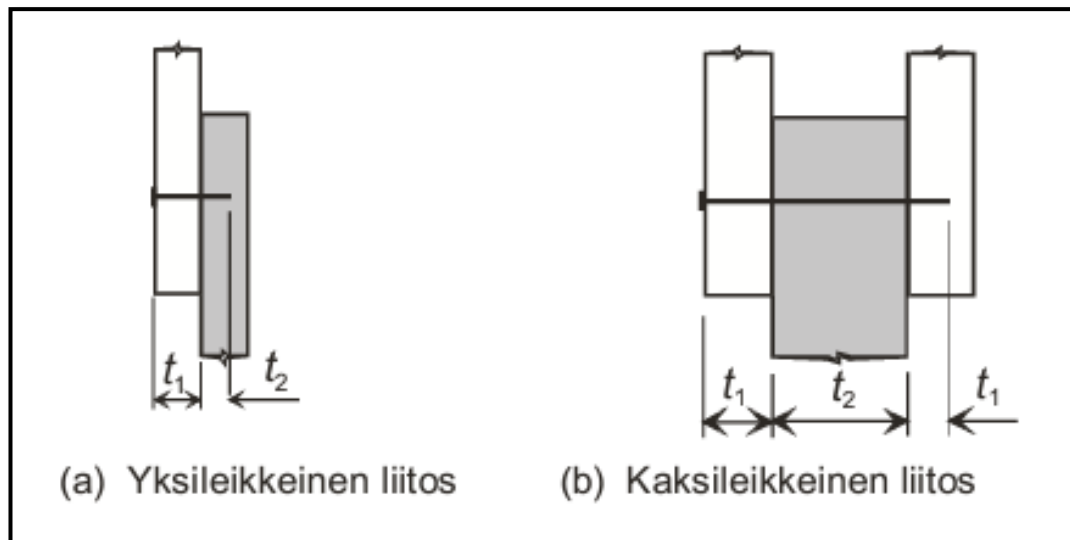
5.5 Naulaliitokset

Annetut ohjeet koskevat nauloja, jotka on valmistettu seostamattomasta teräk-
sestä tai austeniittisestä ruostumattomasta teräksestä. Niiden vetomurtolujuu-
den tulee olla minimissään 600 N/mm^2 , nimellispaksuuden d minimissään
1,9 millimetriä ja maksimissaan 8,0 millimetriä sekä kannan pinta-alan
 $A_h \geq 2,5d^2$. (RIL 205-1-2017, 2017, s. 109.)

Naulaliitoksessa täytyy olla aina vähintään kaksi naulaa. Naulat pitää löydä
niin syväälle, että naulojen kannat ovat tasassa puun pinnan kanssa. Esiporat-
tavilla nauloilla puuhun tehtävän reiän halkaisijan pitää olla $0,5d \dots 0,8d$.
(Puuinfo Oy, 2020a, s. 29.)

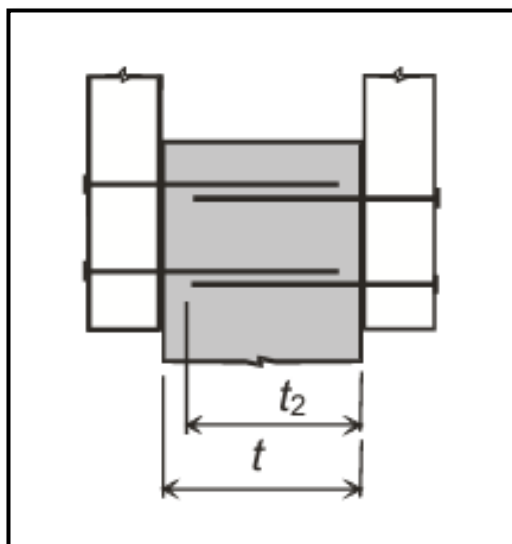
5.5.1 Poikittain kuormitetut naulat

Tässä esitetyt ohjeet koskevat naulaliitoksia, joissa naulojen tunkeuma jokai-
sessa puuosassa on minimissään $8d$ eli kuvan 11 merkintöjen mukaisesti
 $t_1 \geq 8d$ ja $t_2 \geq 8d$. Vaadittuja tunkeumasyvyyksiä voidaan pienentää arvoon $4d$
esiporatuilla liitoksilla. (RIL 205-1-2017, 2017, s. 109.)



Kuva 11. Paksuudet t_1 ja t_2 yksileikkeisessä (a) ja kaksileikkeisessä (b) liitoksessa (SFS-EN 1995-1-1, 2014, s. 59)

Liitoksessa, missä on kolme osaa, naulat saavat osua toisiinsa keskipuussa, mikäli arvo $(t - t_2) > 4d$. Mitat t ja t_2 on määritelty kuvassa 12 (RIL 205-1-2017, 2017, s. 110).

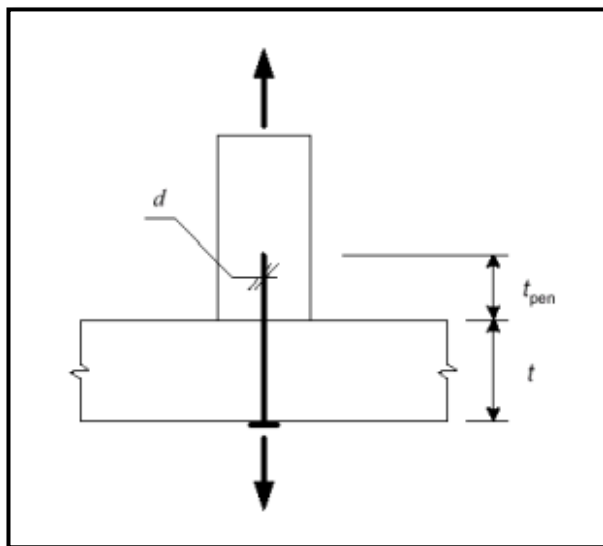


Kuva 12. Limittyvät naulat (SFS-EN 1995-1-1, 2014, s. 59)

5.5.2 Pitkittäin kuormitetut naulat

Mikäli naulaan kohdistuu pitkäaikaisia tai pysyviä pitkittäisiä kuormituksia, on käytettävä kierre- tai kampanauloja. Kierre- ja kampanaulat määritellään standardissa 14592. Sen mukaan naulan varren pitää olla profiloitu minimissään $4,5d$ pituudelta eli 4,5 kertaa nimellispaksuuden verran. Ominaisarvo ulosvetoparametrille $F_{ax,k}$ on oltava vähintään $4,5 \text{ N/mm}^2$, kun se on mitattu puutavaraalla, jonka ominaisarvo tiheydelle on 350 kg/m^3 vakioituissa olosuhteissa. (SFS-EN 1995-1-1, 2014, s. 63.)

Ainoastaan profiloidun osan kierre- ja kampanauloissa katsotaan siirtävän naulan pituussuuntaisia voimia. Tunkeuman kärjen puolella kierre- ja kampanauloilla pitää olla minimissään $8d$. Tartuntapituus t_{pen} on profiloituilla kierre- ja kampanauloilla profiloidun osan pituus kärjen puoleisessa puussa (kuva 13). Näin ollen tunkeumapituus kärjen puolella saadaan vähentämällä kärjessä olevan viisteen pituus ($0,5...2,5d$) sekä mahdollinen sileä osuus varressa. (RIL 205-1-2017, 2017, s. 117, 119.)



Kuva 13. Tunkeuma kärjen puolella naulauksessa kohtisuoraan syysuuntaa vastaan (SFS-EN 1995-1-1, 2014, s. 65)

5.5.3 Naulojen yhdistetty kuormitus

Naulat voivat kuormittua samanaikaisesti pitkittäin ja poikittain. Mikäli nauloihin vaikuttaa sekä pituussuuntainen voima $F_{ax.Ed}$ että poikittainen voima $F_{v.Ed}$, tulee liitoksen täyttää kaavan (3) ehto. Kaava on voimassa standardin 14592 mukaisilla nauloilla poissulkien sileät naulat.

$$\left(\frac{F_{ax.Ed}}{F_{ax.Rd}}\right)^2 + \left(\frac{F_{v.Ed}}{F_{v.Rd}}\right)^2 \leq 1 \quad (3)$$

$F_{ax.Rd}$ mitoitusarvo liitoksen kestävyydelle naulojen kuormittuessa pitkittäin

$F_{v.Rd}$ mitoitusarvo liitoksen kestävyydelle naulojen kuormittuessa poikittain

(SFS-EN 1995-1-1, 2014, s. 65.)

5.6 Tappivaarnaliitokset

Tappivaarnojen halkaisijan pitää olla vähintään kuusi millimetriä, mutta enintään 30 millimetriä. Puuosaan porattava reikä saa olla halkaisijaltaan korkeintaan tappivaarnan nimellispaksuuden d kokoinen ja minimissään sen on oltava $0,95d$. Teräslevyihin porattavien reikien halkaisija saa yleensä olla korkeintaan $D = d + 1 \text{ mm} \leq 1,1d$. (RIL 205-1-2017, 2017, s. 127.)

5.7 Ruuviliitokset

Ruuvien nimellispaksuudella d tarkoitetaan kierteen ulkohalkaisijaa. Sisähalkaisijan eli sydänmitan d_i tulee olla ruuvin kierteisellä osalla $0,6d \leq d_1 \leq 0,9d$. Ruuvin lujusominaisuudet tulee olla määritelty standardin EN 14592 mukaan. Kestävyyden laskennassa käytetään tehollista halkaisijaa d_{ef} , millä huomioidaan ruuvin kierteisen osan vaikutus. (RIL 205-1-2017, 2017, s. 127.)

Ruuvien kestävyttä varmistettaessa seuraavat murtumistavat on huomioitava ruuvien kuormituessa pitkittäin:

- ulosvetomurtuminen ruuvin kierteisellä osalla
- teräslevyn kanssa käytettävän ruuvin kannan irtoaminen, kannan irtoamiskestävyyden tulee olla suurempi kuin ruuvin vetokestävyys
- ruuvien kannan läpivetomurtuminen
- ruuvien vetomurtuminen
- puristettujen ruuvien nurjahtaminen
- ruuviryhmän piiriä pitkin tapahtuva murtuminen teräslevyjen kanssa käytettäessä (palamurtuminen tai lohkeamismurtuminen).

(SFS-EN 1995-1-1, 2014, s. 70.)

Pituussuunnassa kuormitettu ruuviliitos murtuu yleensä hauraasti eli murtotilassa tapahtuva muodonmuutos jää pieneksi ja tämän vuoksi jännitysten mahdollisuus jakautua uudelleen on rajallinen. Ruuvin kärjen puoleisessa puussa kierreosan tunkeuman tulee olla vähintään $6d$. (RIL 205-1-2017, 2017, s. 129–130.)

Mikäli liitoksen ruuvit on kuormitettu samanaikaisesti sekä pitkittäin että poikittain, täytyy tarkistaa, että kaavan (3) ehto toteutuu (SFS-EN 1995-1-1, 2014, s. 71–73).

5.8 Liitosten palonkesto

Liimapuun palonkestävyys tulipalon alkuvaiheessa on hyvä. Pinnalle muodostuva hiiltyvä kerros toimii suojana ja parantaa palonkestoa. Liitoksissa käytettävät metalliosat eivät yleensä kestä paloa yhtä hyvin kuin puuaines. Palonkestävyyden kannalta metalliset osat ovatkin usein rakenteen heikoimpia kohtia. Metallin hyvän lämmönjohtavuuden vuoksi metallinen liitososa voi lisätä rakenteen lämpenemistä. Lisäksi metallin laajeneminen ja muodonmuutos lämmitessä voi johtaa siihen, että rakenteen vakaus menetetään. Liimapuun sisällä olevat kiinnikkeet ovat paremmin suojattuja palolta kuin pinnalliset kiinnikkeet. Liitososat voivat kuitenkin siirtää lämpöä puun sisäosaan ja näin

nopeuttaa palon kehittymistä. (Suomen Liimapuu yhdistys ry & Puuinfo Oy, 2014, s. 37, 70; Suomen Liimapuu yhdistys ry & Puuinfo Oy, 2015, luku 14.2, 15.4.)

6 VALMISOSAT JA SUUNNITTELUOHJEET

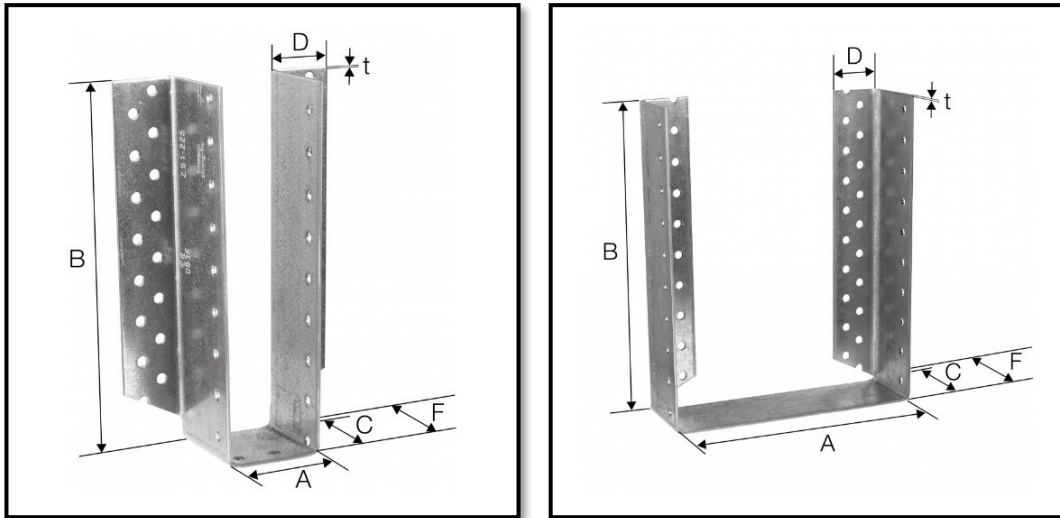
Markkinoilta löytyy käyttökelpoisia valmisosia. Näitä ovat muun muassa nauhauslevyt, kulmalevyt, palkkikengät ja reikävanteet. Liimapuurakenteissa välitettävät voimat ja mitat ovat kuitenkin usein niin suuria, että valmisosien kapasiteetit eivät riitä ja teräsosat joudutaan teettämään konepajalla. Nämä voivat olla tuntuvasti kalliimpia kuin varastotavarana myytävät valmisosat. (Suomen Liimapuu yhdistys ry & Puuinfo Oy, 2014, s. 37; Suomen Liimapuu yhdistys ry & Puuinfo Oy, 2015, luku 14.1.)

Saatavilla olevista valmisosista keskitytään palkkikenkiin ja pilarikenkiin. Seuraavassa on esitelty eri valmistajien palkki- ja pilarikenkiä, jotka soveltuvat suurille liimapuurakenteille. Samalla perehdytään valmistajien antamiin suunniteluohjeisiin kyseisille valmisosille.

6.1 Palkkikengät

6.1.1 Simpson Strong-Tie

Simpson Strong-Tien palkkikengät BSD ja BSDI (kuva 14) on tarkoitettu samassa tasossa olevien puupalkkien yhdistämiseen. BSD palkkikengässä siivekkeet on käännetty ulospäin ja BSDI palkkikengässä sisäänpäin. Suurimman saatavilla olevan palkkikengän korkeus on 320 millimetriä, leveys 200 millimetriä ja materiaalipaksuus 2,0 millimetriä. Palkkikengistä on saatavilla myös erikoiskokoja välillä 34–250 millimetriä ja eri materiaalipaksuuksilla 4,0 millimetriin asti. (Simpson Strong-Tie, n.d.-a.)



Kuva 14. BSD- ja BSDI-palkkikengä (Simpson Strong-Tie, n.d.-a)

BSD ja BSDI ovat yksiosaisia ja hitsaamattomia palkkikengkiä, joita voidaan käyttää puu-puuliitoksissa. Ne on tarkoitettu liittämään palkin pääty puurakenteen kylkeen kantavissa puurakenteissa. BSD palkkikengä voidaan käyttää lisäksi puupalkin liittämiseksi betoniin tai teräkseen. Palkkikengät soveltuvat käytettäväksi standardin EN 14080 mukaisen liimapuun GL24–GL36 kanssa. ETA-dokumentin määräykset perustuvat liittimien oletettuun 50 vuoden käyttöikään. Liitokset tulee suunnitella Eurokoodin 5 tai muun kansallisen säännösten mukaisesti. (ETA-06/0270, 2023, s. 6–7.)

Palkkikengät on valmistettu kuumasinkitystä teräksestä S250GD + Z275 standardin EN 10346 mukaisesti. Palkkikengissä oleva korroosiosuojaus (275 g/m²) vastaa noin 20 mikrometrin sinkkikerrosta. Niitä voidaan käyttää käyttöluokissa 1 ja 2. Palkkikengät voidaan valmistaa myös ruostumattomasta teräksestä standardin EN 10088-2 mukaan, jolloin niitä voidaan käyttää myös käyttöluokassa 3. Riippumatta käytetystä teräslaadusta kaikki palkkikengät voidaan viimeistellä maalaamalla. (ETA-06/0270, 2023, s. 6; Simpson Strong-Tie, n.d.-a.)

Suurimmassa palkkikengässä on siivekkeissä 60 kappaletta halkaisijaltaan 5,0 millimetrin reikiä primääripalkin kiinnitystä varten. Sekundääripalkin kiinnitykseen palkkikengissä on 30 kappaletta 5 millimetrin reikiä. Palkkikengä, jossa on ulospäin käännetty siivekkeet, on saatavilla suurimmillaan

13 millimetrin pultinrei'illä teräkseen tai betoniin asentamiseksi. (Simpson Strong-Tie, n.d.-a.)

Palkkikenkien kiinnityksessä puuhun voidaan käyttää nauloja tai ruuveja. ETA-dokumentissa on määritelty liittimien mitat, joiden kanssa palkkikengästä tulee käyttää. Esimerkiksi CNA4,0xI-naulauslevynaulat tai CSA5,0xI-naulauslevyruuvit, missä I on liittimen pituus, soveltuvat käytettäväksi. Palkkikengät voidaan kiinnittää täydellä kiinnityksellä, jolloin jokaiseen reikään tulee liitoskiinnike tai osittaisella kiinnityksellä, jolloin primääripalkkiin tulee 30 kappaletta ja sekundääripalkkiin 16 kappaletta liitoskiinnikkeitä. ETA-dokumentissa on esitetty naulauskuviot osittaiselle kiinnitykselle, jota käytetään muun muassa pilariin kiinnityksessä. Naulojen ja ruuvien halkaisijan tulee sopia palkkikengässä oleviin reikiin. Pyöreiden naulojen halkaisija saa olla korkeintaan yhden millimetrin reikien halkaisijaa pienempi. Naulojen, joiden poikkileikkaus on neliön muotoinen, halkaisija saa olla enintään 1,25 millimetriä reiän halkaisijaa pienempi. (ETA-06/0270, 2023, s. 9–11, 18; Simpson Strong-Tie, n.d.-a.)

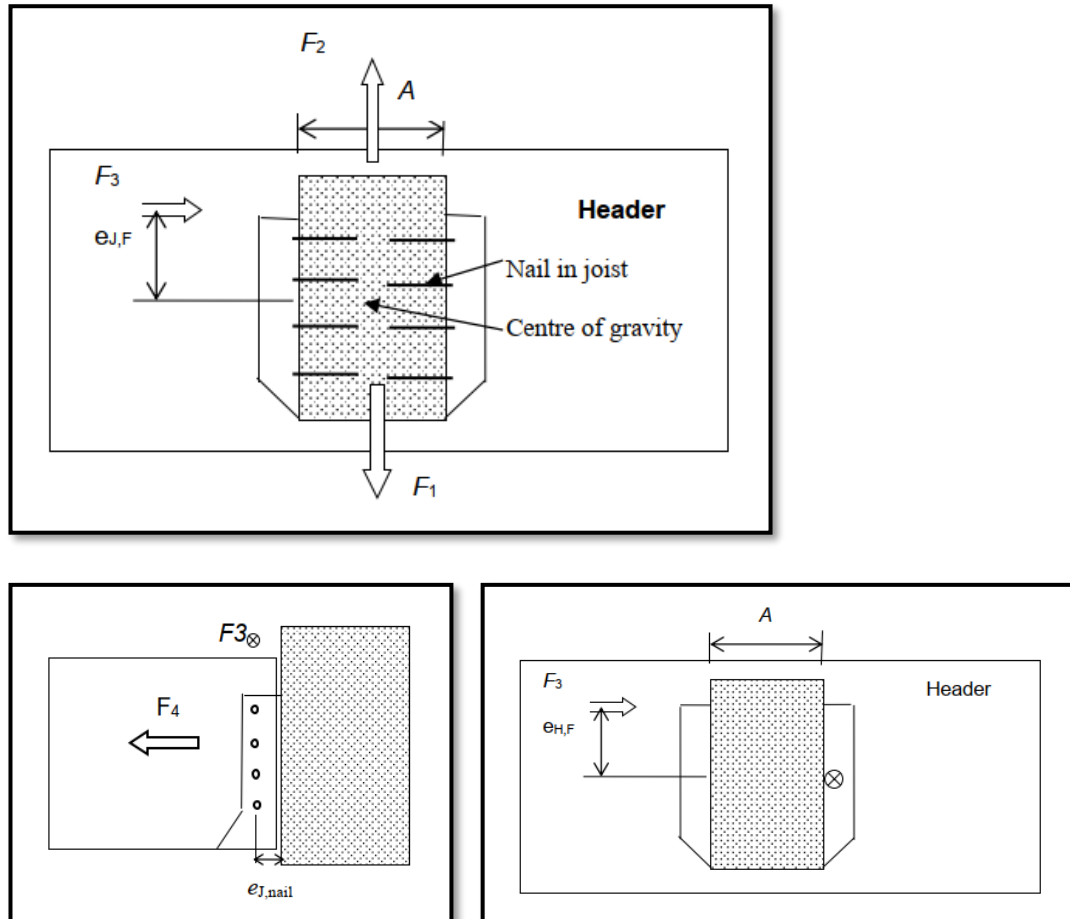
Käytettäessä CNA4,0x60 naulauslevynauloja ja täyttä kiinnitystä BSD(I) 200/320 palkkikengällä toteutetun liitoksen on ilmoitettu kestävän ylhäältä päin tulevaa puristavaa voimaa 75,5 kN ja vaakavoimaa 28,6 kN. Kaikki palkkikengän kestävyysominaisarvot palkkikengälle BSD(I) 200/320 on esitetty taulukossa 3. Osittaisella kiinnityksellä toteutettu liitos kestää 42,5 kN ylhäältä tulevaa puristavaa voimaa ja 37,8 kN alhaalta suuntautuvaa nostavaa voimaa. Vaakavoiman kestävyttä osittaiselle kiinnitykselle ei ole määritelty. (Simpson Strong-Tie, n.d.-a.)

Taulukko 3. BSD- ja BSDI-palkkikenkien kestävyysominaisarvot (Simpson Strong-Tie, n.d.-a)

Kestävyysominaisarvo [kN]		
$R_{1,k}$	$R_{2,k}$	$R_{3,k}$
75,5	70,8	28,6

Kuvassa 15 on nähtävillä palkkikengään kohdistuvien voimien suunnat ja niihin liittyvät merkinnät. Voimien F_1 , F_2 ja F_4 tulee vaikuttaa palkkikengän keskellä. Voiman F_3 oletetaan vaikuttavan mitan $e_{J,F}$ verran sekundääripalkissa olevien

naulojen keskipisteen yläpuolella ja mitan $e_{H,F}$ verran primääripalkin yhden laipan naulojen keskipisteen yläpuolella puristetulla puolella. Lisäksi voimien oletetaan vaikuttavan aivan sekundääripalkin päässä. (ETA-06/0270, 2023, s. 26–27.)



Kuva 15. Palkkikenkään kohdistuvat voimat ja niihin liittyvät merkinnät (ETA-06/0270, 2023, s. 26–27)

ETA-dokumentissa oletetaan, että primääripalkin pyörähtäminen on estetty. Mikäli primääripalkkiin on asennettu palkkikenkä ainoastaan toiselle kyljelle, epäkeskisyydestä aiheutuva momentti on otettava huomioon. Sama pätee myös silloin, jos primääripalkkiin on kiinnitetty palkkikengät molemmille puolille, mutta niiden pystysuorat voimat eroavat toisistaan yli 20 prosenttia. (ETA-06/0270, 2023, s. 10, 27.)

BSD palkkikengälle on määritelty, että väli sekundääripalkin päästä primääripalkkiin saa olla enintään kolme millimetriä. BSDI palkkikengän asennuksessa

saa väli sisäänpäin käännettyjen siivekkeiden naulojen päistä sekundääripalkin päähän olla enintään kahdeksan millimetriä. (ETA-06/0270, 2023, s. 10.)

Sekundääripalkin leveyden tulee olla vähintään $l_{pen}+2,9d$ nauloille ja $l_{pen}+4d$ CSA-ruuveille, missä l_{pen} on naulojen pituus ja d on naulojen halkaisija. Tämä koskee täyttä kiinnitystä sekä sellaista osittaista kiinnitystä, missä naulojen asemointia ei ole porrastettu. Mikäli naulojen asemointi on porrastettu, sekundääripalkin leveyden tulee olla vähintään naulojen tunkeuman suuruinen. Sekundääripalkin leveyden B_J tulee vastata palkkikengän leveyttä. B_J ei saa olla pienempi kuin $A-3$ mm, missä A on palkkikengän sisämitta. Sekundääripalkin korkeuden tulee olla sellainen, että sen yläreuna on vähintään 20 millimetriä palkkikengässä olevan ylimmin naulan yläpuolella. (ETA-06/0270, 2023, s. 10.)

ETA-dokumentin mukaan liitoksen kestävyys suunnassa F_1 saadaan laskettua seuraavalla kaavalla

$$R_{1,k} = \min \left\{ (n_J + 2) * c_1 * R_{lat.J.k}; c_1 * \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{1}{n_H * R_{lat.H.k}}\right)^2 + \left(\frac{1}{k_{H.1} * R_{ax.H.k}}\right)^2}} \right\} \quad (4)$$

c_1	kalibrintikerroin
$k_{H.1}$	muotokerroin
n_J	naulojen kokonaismäärä sekundääripalkin molemmilla puolilla
n_H	naulojen kokonaismäärä primääripalkin sivulla
$R_{lat.J.k}$	naulojen sivuttainen ominaiskantokyky sekundääripalkissa
$R_{lat.H.k}$	naulojen sivuttainen ominaiskantokyky primääripalkissa
$R_{ax.H.k}$	naulojen aksiaalinen ominaiskantokyky primääripalkissa

(ETA-06/0270, 2023, s. 34.)

Liitoksen kestävyys voiman F_2 suunnassa lasketaan kaavalla (5)

$$R_{2,k} = \min \left\{ c_2 * n_j * R_{lat.J.k}; c_2 * \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{1}{n_H * R_{lat.H.k}}\right)^2 + \left(\frac{1}{k_{H.2} * R_{ax.H.k}}\right)^2}} \right\} \quad (5)$$

c_2 kalibrointikerroin

$k_{H.2}$ muotokerroin

Muut muuttujat kuten kaavassa (5). (ETA-06/0270, 2023, s. 35.)

Voiman F_3 suunnassa kestävyys nauloille sekundääripalkissa lasketaan kaavalla (6) ja kestävyys nauloille primääripalkissa lasketaan kaavalla (7).

$$R_{3,k} = \frac{n_j * R_{lat.J.k}}{\sqrt{\left(\frac{2\sqrt{e_{j.F}^2 + e_{j.nail}^2}}{A}\right)^2 + \left(\frac{R_{lat.J.k}}{R_{ax.J.k}}\right)^2}} \quad (6)$$

$e_{j.F}$ Sivuttaisvoiman etäisyys sekundääripalkin naulojen painopisteen yläpuolella

$e_{j.nail}$ Sekundääripalkin naulojen etäisyys primääripalkin pinnasta

A Sekundääripalkin leveys [mm]

$R_{ax.J.k}$ naulojen aksiaalinen ominaiskantokyky sekundääripalkissa

Muuttuja $e_{j.nail}$ voidaan jättää huomioimatta, mikäli käytetään kierre- tai kampanauloja.

$$R_{3,k} = \frac{R_{lat.H.k}}{\sqrt{\left(\frac{1}{n_H} + \frac{e_{H.F} * H}{2I_{p.H}}\right)^2 + \left(\frac{e_{H.F} * W}{2I_{p.H}}\right)^2}} \quad (7)$$

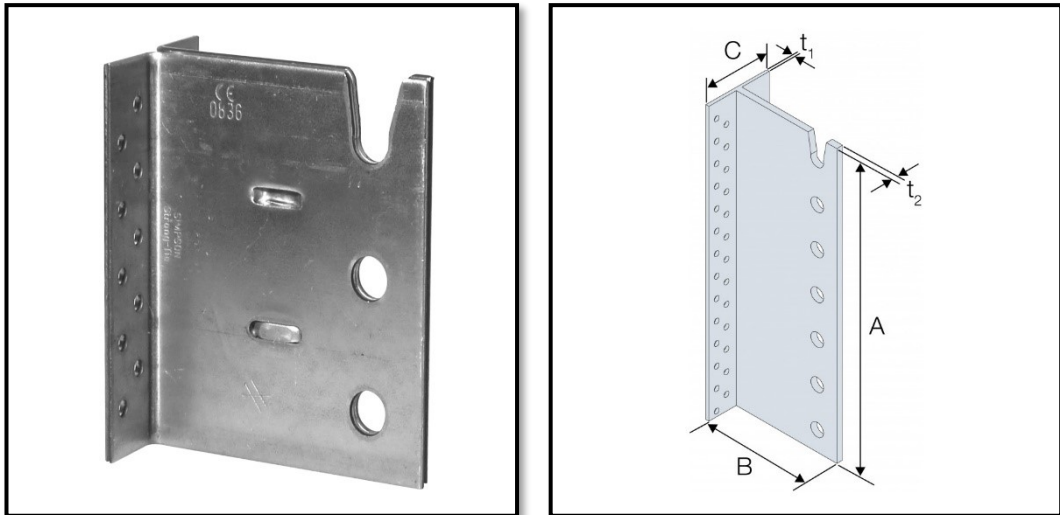
$e_{H.F}$ Sivuttaisvoiman etäisyys primääripalkin naulojen painopisteen yläpuolella

H Suurin pystysuora etäisyys primääripalkin naulojen välissä

$I_{p,H}$ Primääripalkin koko naularyhmän polaarinen jäyhyysmomentti
 W Suurin vaakasuora etäisyys primääripalkin naulojen välissä
Kaavojen muut muuttujat kuten kaavassa (4). (ETA-06/0270, 2023, s. 37.)

ETA-dokumentissa määritellään, että kantavuuden ominaisarvot perustuvat naulaliitosten ja palkkikenkien ominaisarvoihin. Mitoitusarvoja laskettaessa kantavuudet on jaettava materiaalien osavarmuusluvulla ja naulaliitos lisäksi kerrottava muunnoskertoimella k_{mod} . Kantavuuden ominaisarvot määritellään niin puulle kuin teräslevyllekin ja näistä saaduista mitoitusarvoista pienempi on määräävä. ETA-dokumentissa esitetyt palkkikenkien kantavuuden ominaisarvot on määritetty testauksella avustetulla laskennalla tai pelkästään testamalla. Kantavuuden ominaisarvot on laskettava valmistajan antamien ohjeiden mukaisesti. (ETA-06/0270, 2023, s. 9.)

Simpson Strong-Tien valikoimassa on myös piilopalkkikengä BT (kuva 16), joka soveltuu puisiin palkki-palkkiliitoksiin ja palkki-pilariliitoksiin sekä puu-betoniliitoksiin. Ne on tarkoitettu liittämään poikkileikkaukseltaan suorakaiteen muotoisia sekundääripalkkeja pääkannattimeen. Palkkikengää voidaan käyttää GL24c tai paremman liimapuun kanssa. Piilopalkkikengät ovat kolmiulotteisia naulauslevyjä, jotka on valmistettu kuumasinkitystä S250GD + Z275 teräksestä, jonka korroosiosuojaus (275 g/m^2) vastaa paksuudeltaan noin 20 mikrometrin sinkkikerrosta. Niitä voidaan käyttää käyttöluokissa 1 ja 2. Palkkikengät voidaan valmistaa myös ruostumattomasta teräksestä tai alumiinista (BTALU), jolloin niitä voidaan käyttää myös käyttöluokassa 3. Palonkestoksi palkkikengälle luvataan 30 minuuttia. Käyttöäksi palkkikengille oletetaan 50 vuotta. (ETA-07/0245, 2018, s. 4, 27; Simpson Strong-Tie, n.d.-a.)



Kuva 16. Piilopalkkikengä BT (Simpson Strong-Tie, n.d.-a)

BT-palkkikengän korkeus (A) on suurimmillaan 600 millimetriä ja syvyys (B) kaikilla korkeuksilla 103 millimetriä. Sekundääripalkin tulee silloin olla vähintään 60 millimetriä leveä ja 632 millimetriä korkea. Primääripalkkiin kiinnitettävän levyn (t_1) paksuus on 3 millimetriä ja sekundääripalkkiin tulevan levyn (t_2) paksuus 6,0 millimetriä. BT-piilopalkkikengän avulla saadaan liitoksen kaltevuuskulmaksi enimmillään 45 astetta sivulta päin katsottuna. (Simpson Strong-Tie, n.d.-a.)

Palkkikengät on tarkoitettu käytettäväksi ETA-dokumentissa mainittujen kiinnikkeiden kanssa. Soveltuvat kiinnikkeet on listattu kuvassa 17 ja kuvassa 18. Dokumentissa on esitetty kapasiteetteja palkkikengälle käytettäessä tiettyjä nautoja ja ruuveja, mutta kestävydet on laskettava aina tapauskohtaisesti. Myös kierre- tai kampanaulojen, joiden halkaisija on 4,0–4,2 millimetriä ja vähimmäispituus 35 millimetriä, käyttö on mahdollista. Tällöin laskettaessa nauhojen sivusuuntaista kestävyyttä teräslevyjen oletetaan olevan paksuja. (ETA-07/0245, 2018, s. 6.)

Nail and screw type	Nail and screw size (mm)		Finish
	Diameter	Length	
According to ETA 04/0013 Annex A drawing 1 and 2			
Connector nail	4	35, 40, 50, 60, 75, 100	Electroplated zinc
Connector screw	5	35, 40, 50	
Connector nail	4,2	35, 50, 60	
Connector nail	4	35, 40, 50, 60, 75, 100	stainless steel as described
Connector screw	5	35, 40, 50	

Kuva 17. Soveltuvat naulauslevynaulat ja -ruuvit (ETA-07/0245, 2018, s. 34)

other fastener	size [mm]		Finish
	Diameter	Length	
Screws according to EN 14592 or according to an ETA	5	60-120	Electroplated zinc
Washer head screws according to EN14592 or according to an ETA	6	80-160	Electroplated zinc
Screws according to EN 14592 or according to an ETA	8	Up to 300	Electroplated zinc
dowel according to EN 14529	8	-	Electroplated zinc hot dip galvanised stainless steel
	12	-	
Bolt M10	10	-	For relevant concealed joist hangers see the assumed characteristic capacities of the bolt connection and compare with the specification of the manufacturer
Bolt M12	12	-	

Kuva 18. Palkkikengälle soveltuvat muut kiinnikkeet (ETA-07/0245, 2018, s. 35)

BT-palkkikien käyttöön on annettu seuraavia ohjeita:

- palkkikengän avulla kiinnitettävän palkin paksuuden on oltava yhtä suuri kuin kiinnitykseen käytettävien liittimien pituus
- palkkikengän syvyyden on oltava sellainen, että tappivaarnan etäisyys reunasta on vähintään kolme kertaa tappivaarnan paksuus
- aukko palkissa, mihin palkkikengä kiinnitetään, saa olla +1/+2 millimetriä suurempi kuin palkkikengän teräslevyn paksuus
- palkkikengän takaosan tulee olla kontaktissa koko korkeudeltaan

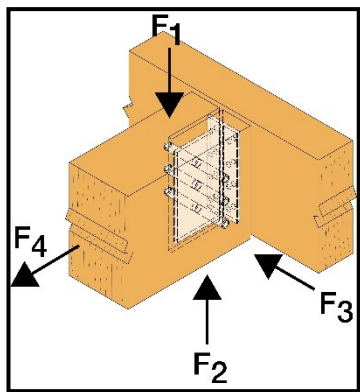
- liitoksessa käytettävien naulojen ja ruuvien halkaisijan tulee vastata palkkikengässä olevia reikiä
- liitinten halkaisija ei saa olla yhtä millimetriä reikiä pienempiä.
(ETA-07/0245, 2018, s. 10–11.)

ETA-dokumentissa esitetyt kaavat kantavuuden laskemiseen soveltuvat puun tiheyksille 290 kg/m^3 – 460 kg/m^3 . Taulukoiden arvot perustuvat puun tiheyteen 350 kg/m^3 ja sitä korkeammille tiheyksille on annettu korotuskertoimet. Vastaavasti tiheyden ollessa pienempi kestävyyttä tulee pienentää. Esimerkiksi liimapuun ominaistiheyttä lähellä olevalle puun tiheydelle 380 kg/m^3 korotuskerroin on 1,05. Mikäli liitoksen kulma poikkeaa nollasta asteesta, on sille määriteltä alennuskoroin 15 asteen välein. Puun tiheyden ollessa yli 420 kg/m^3 on esiporattava reiät nauiloille ja ruuveille. (ETA-07/0245, 2018, s. 27–28, 39.)

BT600 mallin kengässä on 116 kappaletta halkaisijaltaan 5 millimetrin reikiä primääripalkin kiinnittämiseen ja 15 kappaletta halkaisijaltaan 13 millimetrin reikiä sekundääripalkin kiinnitykseen. Kaikkiin palkkikengän reikiin on asennettava naulat tai ruuvit, tai kiinnitys voidaan tehdä myös ETA-dokumentissa esitetyn naulauskuvion mukaan. Käytettäessä CNA4,0x60 naulauslevynauloja 112/116 kappaletta sekä 180 millimetriä pitkiä STD12 teräsvaarvoja 12 kappaletta on liitoksen kestävyudeksi ETA-dokumentissa määriteltä voiman F_1 suunnassa 196,8 kN. Taulukossa 4 on nähtävissä kestävyudet myös muihin suuntiin. Voimien suunnat ovat nähtävissä kuvassa 19. Edellytyksenä on, että primääripalkin molemmin puolin on lähes samansuuruinen kuorma, tai kiertyminen on muuten estetty. Voiman F_4 oletetaan vaikuttavan sekundääripalkin suuntaisesti sekä keskeisesti palkkikengään, nauларыhmään ja teräsvaaraan nähden. (ETA-07/0245, 2018, s. 29, 40–42; Simpson Strong-Tie, n.d.-a.)

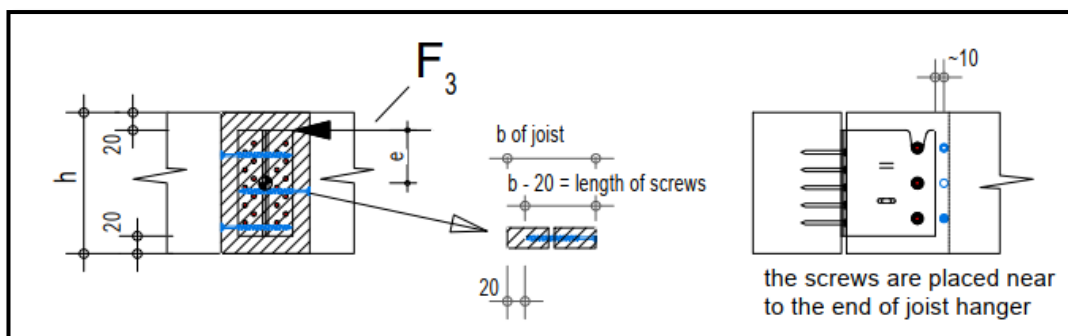
Taulukko 4. BT600 kestävyuden ominaisarvot nauloilla (Simpson Strong-Tie, n.d.-a)

Kestävyuden ominaisarvo [kN]		
$R_{1,k}$	$R_{3,k}$	$R_{4,k}$
196,8	25,4	66,5



Kuva 19. BT-palkkikengän kohdistuvat voimat (Simpson Strong-Tie, n.d.-a)

Liitosta voidaan vahvistaa lisäämällä sekundääripalkkiin ruuveja palkkikengän viereen (kuva 20). Ruuvien tulee olla lyhyempiä, mitä palkin leveys on. ETA-dokumentissa taulukoiduissa kestävyyksissä oletetaan ruuvien olevan 20 millimetriä palkin leveyttä lyhyempiä. Ruuvit asennetaan molemmilta puolilta ja niiden tulee olla täysikierteisiä. (ETA-07/0245, 2018, s. 30.)



Kuva 20. Liitoksen vahvistaminen ruuveilla (ETA-07/0245, 2018, s. 30)

Kun käytetään CNA4,0x60 naulauslevynauloja ja vahvistetaan liitosta ruuveilla, saadaan kestävyudeksi voiman F_3 suunnassa 46,1 kN kun se ilman vahvistamista oli vain 25,4 kN. (ETA-07/0245, 2018, s. 50.)

Kun kiinnitetään palkki pilariin, käytetään osittaista kiinnitystä. Osittaisella kiinnityksellä pilariin tulee 60 naulaa ja sekundääripalkkiin 12 vaarna. Kestävyys voiman F_1 suunnassa on 141,8 kN. Taulukossa 5 on nähtävissä liitoksen kestävyys muihin suuntiin. Voimien suunnat ovat samat kuin täydellä kiinnityksellä (kuva 19). (ETA-07/0245, 2018, s. 43.)

Taulukko 5. BT600 kestävyys ominaisarvot nauloilla osittaisella kiinnityksellä (ETA-07/0245, 2018, s. 43, 50, 56)

Kestävyyden ominaisarvo [kN]			
R _{1,k}	R _{3,k}		R _{4,k}
	Vahvistamaton	Vahvistettu	
141,8	25,4	37,0	36,8

ETA-dokumentissa ei ole valmiiksi taulukoitu kestävyksiä voiman F_2 suunnassa. Ne kuitenkin voidaan laskea seuraavalla kaavalla

$$R_{2,k} = R_{1,k} * (vaarnojen\ lkm - 1) / vaarnojen\ lkm. \quad (8)$$

(Simpson Strong-Tie, n.d.-a).

Mikäli palkkikenkään kohdistuu yhtäaikaaisesti kuormituksia eri suunnista, tulee yhdistetty kestävyys tarkistaa kaavan (9) avulla. Voimia F_1 ja F_2 tulee tarkastella itsenäisesti.

$$\left(\frac{F_{1,d}}{R_{1,d}}\right) + \left(\frac{F_{2,d}}{R_{2,d}}\right) + \left(\frac{F_{3,d}}{R_{3,d}}\right) + \left(\frac{F_{4,d}}{R_{4,d}}\right) \leq 1 \quad (9)$$

(ETA-07/0245, 2018, s. 41.)

6.1.2 Rothoblaas

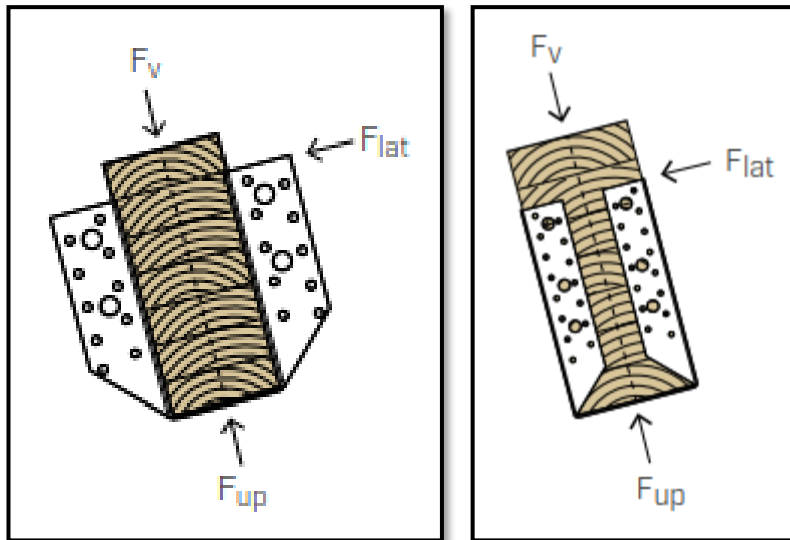
Rothoblaasilla on CE-merkityt metalliset palkkikengät BSAG ja BSIG (kuva 21). BSAG on varustettu ulkosiivillä ja BSIG sisäsiivillä. Niillä on mahdollista kiinnittää palkki kaksisuuntaiseen taivutukseen eli sen akseliin nähden käännettynä. BSIG soveltuu puu-puuliitoksiin ja BSAG sen lisäksi puu-betoni- ja puu-teräslitoksiin. Molemmat soveltuvat käytettäväksi liimapuun kanssa. (ROTHO BLAAS SRL, n.d.-a, s. 368, 376.)



Kuva 21. Rothoblaas BSAG ja BSIG palkkikengät (ROTHO BLAAS SRL, n.d.-a, s. 368, 376)

BSAG- ja BSIG-palkkikengien suurin saatavilla oleva koko on 200x240 millimetriä ja niiden materiaali paksuus on 2,5 millimetriä. Palkkikengät on valmistettu kolmiulotteisesta rei'itetystä hiiliteräslevystä galvaanisella sinkityksellä (S250GD+Z275). Niitä voidaan käyttää käyttöluokissa 1 ja 2. Palkkikengien kiinnitykseen suositellaan LBA-ankkurinauloja, joiden halkaisija on neljä millimetriä tai LBS-ruuveja levyille, joiden halkaisija on viisi millimetriä. (ROTHO BLAAS SRL, n.d.-a, s. 371, 378.)

Palkkikengiin tulee täydessä kiinnityksessä pääpalkkiin 46 naulaa ja sekundääripalkkiin 30 naulaa. Osittaisessa kiinnityksessä nauloja tulee pääpalkkiin 24 kappaletta ja sekundääripalkkiin 16 kappaletta. Osittaista kiinnitystä on käytettävä silloin, kun voima $F_{v,k}$ on samansuuntainen puukuidun kanssa. Osittaiselle kiinnitykselle on määritelty naulauskaavio. Kun kiinnityksessä käytetään LBA4x60 nauloja saadaan molemmille palkkikengille kestävyudeksi $R_{v,k} = 75,6$ kN ja $R_{lat,k} = 31,3$ kN täydellä kiinnityksellä. Osittaisella kiinnityksellä kestävyys $R_{v,k} = 40,7$ kN ja $R_{lat,k} = 16,9$ kN. Teknisten dokumenttien taulukossa esitetyt arvot on laskettu käyttäen sahatavaran ominaistiheyttä 350 kg/m^3 . Kuvassa 22 on esitetty voimien suunnat palkkikengille. (ROTHO BLAAS SRL, n.d.-a, s. 373, 379.)





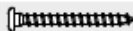







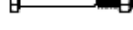



Kuva 22. Voimien suunnat palkkikengille (ROTHO BLAAS SRL, n.d.-a, s. 371, 378)

Rothoblaasin valikoimasta löytyy ALUMINI, ALUMIDI ja ALUMAXI piilokannattimet. Tarkastellaan näistä tarkemmin ALUMAXI piilokannattinta, joka on saatavilla rei'illä tai ilman. Kolmiulotteinen, yksiosainen ALUMAXI (kuva 23) on valmistettu EN AE-6005A alumiiniseoksesta puristamalla, joten se on erittäin kestävä ja saumaton kiinnike. Alumiiniterässeoksen etuna on sen keveys, mikä helpottaa käsittelyä ja kuljetusta paikan päällä. Piilokannattinta voidaan käyttää käyttöluokissa 1 ja 2. Piilokannattimelle löytyy lasketut ja sertifioidut lujuudet kaikkiin suuntiin. Puuprofiilin on oltava minimissään 160x432 millimetriä ja maksimissaan 280x1200 millimetriä. Piilokannattinta voidaan käyttää puu-puuliitoksissa, puu-betoniliitoksissa ja puu-teräслиitoksissa sekä kohtisuoraan että kallistetusti. Sekundääripalkki voidaan liittää ALUMAXIN kanssa joko primääripalkkiin tai pilariin. Piilokannatin soveltuu käytettäväksi liimapuun kanssa ja sitä voidaan käyttää hyvin suurilla palkeilla tehtäviin liitoksiin, joissa tarvitaan suurta lujuutta. Reiättömässä versiossa vaarnat voidaan sijoittaa vapaammin. (ETA-09/0361, 2019, s. 3; ROTHO BLAAS SRL, n.d.-a, s. 38, 39.)



Kuva 23. ALUMAXI piilokannatin (ROTHO BLAAS SRL, n.d.-a, s. 38)

Kuvassa 24 on listattu ALUMAXI piilokannattimen kanssa suositellut kiinnikkeet. Piilokannattimen primääripalkkiin/pilariin tulevan siiven paksuus on 12 millimetriä ja sekundääripalkkiin kiinnitettävän ytimen paksuus 10 millimetriä. Primääripalkkiin kiinnittyvän laipan leveys on 130 millimetriä ja uuman pituus 172 millimetriä. Laipassa olevat reiät ovat halkaisijaltaan 7,5 millimetriä ja 17,0 millimetriä. Reiätetyssä mallissa ytimen reiät ovat halkaisijaltaan 17,0 millimetriä. ALUMAXI on saatavissa tietyn kokoisina esileikattuina versioina sekä tankoina, joiden pituus on 2176 millimetriä. (ROTHO BLAAS SRL, n.d.-a, s. 41.)

tyyppi	kuvaus		d [mm]	tuki
LBA	ankkurinaula		6	
LBS	ruuvi levyille		7	
SBD	itseporautuva teräsvaarna		7,5	
STA	sileä teräsvaarna		16	
KOS	pultti		M16	
VIN-FIX PRO	kemiallinen ankkuri		M16	
EPO-FIX PLUS	kemiallinen ankkuri		M16	

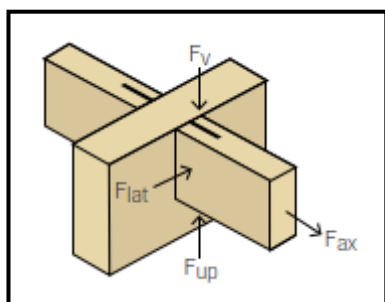
Kuva 24. Piilokannattimen kanssa soveltuvat kiinnikkeet (ROTHO BLAAS SRL, n.d.-a, s. 40)

Suurin esileikattu ALUMAXI, jolle on taulukoitu kestävyysarvoja, on 960 millimetriä korkea. Siinä on 120 reikää nauloille ja 15 reikää vaarnoille. Se soveltuu

käytettäväksi 200x1008 millimetrin kokoisen sekundääripalkin kanssa. Suurin kestävyys $R_{v.k} = 369,0$ kN saavutetaan, kun kiinnitykseen käytetään 120 kappaletta LBA6x80 nauvoja tai LBS7x80 ruuveja sekä 15 kappaletta STA16x200 vaarvoja. Muut palkkikengälle taulukoidut kestävyysarvot on kirjattu Taulukossa 6 ja kuvassa 25 on esitetty voimien suunnat. Kestävyysarvo $R_{lat.k.beam}$ on laskettu liimapuulle GL24h ja puun tiheytenä laskelmissa on muutenkin käytetty arvoa 385 kg/m^3 . (ETA-09/0361, 2019, s. 12; ROTHO BLAAS SRL, n.d.-a, s. 42–44, 46.)

Taulukko 6. ALUMAXI kestävyysarvot (ROTHO BLAAS SRL, n.d.-a, ss. 42–44)

		Kestävyysarvo									
Liitin		STA 16 x 200, 15 kpl				SBD 7,5 x 195, 30 kpl			SBD 7,5 x 195, 26 kpl		
Malli	Kpl	$R_{v.k}$	$R_{lat.k.alu}$	$R_{lat.k.beam}$	$R_{ax.k}$	$R_{v.k}$	$R_{lat.k.alu}$	$R_{lat.k.beam}$	$R_{v.k}$	$R_{lat.k.alu}$	$R_{lat.k.beam}$
LBA	120	369,0	78,0	101,3	198,0	346,1	78,0	101,3		78,0	101,3
LBS	120	369,0	78,0	101,3	360,6	346,1	78,0	101,3		78,0	101,3
LBA	60	249,6	78,0	101,3			78,0	101,3	249,6	78,0	101,3
LBS	60	258,9	78,0	101,3			78,0	101,3	258,9	78,0	101,3



Kuva 25. Kuormitusten suunnat (ROTHO BLAAS SRL, n.d.-a, s. 40)

Oletuksena on, että voimat F_v , F_{up} ja F_{ax} vaikuttavat sekundääripalkin liitoksessa kohtisuoraan primääripalkin akseleihin nähden. Ylöspäin ja alaspäin suuntautuvien voimien oletetaan lisäksi vaikuttavan liitoksen keskellä. Voiman F_{lat} oletetaan vaikuttavan kohtisuoraan liitokseen nähden. Lisäksi oletetaan, että primääripalkin kiertyminen on estetty. Mikäli primääripalkkiin on liitetty sekundääripalkki vain toiselle puolelle, on siitä aiheutuva epäkeskisyyttä otettava huomioon. Tämä pätee myös silloin, kun molemmille puolille on kiinnitetty palakit, mutta niiden pystysuuntaiset voimat eroavat toisistaan yli 20 prosenttia. (ETA-09/0361, 2019, s. 3, 15.)

Jotta kiinnikkeiden vähimmäisetäisyyttä voidaan noudattaa, tulee palkki-pilari-liitoksissa käyttää osittaista naulausta. Osittaista naulausta voidaan käyttää myös palkki-palkkiliitoksissa. Se toteutetaan valmistajan antaman ohjeistuksen mukaisesti. Annetut kestävyys ominaisarvot perustuvat kiinnikkeiden ja teräslevyjen ominaisarvoihin. On mahdollista, että leikkauslujuus $R_{v,k}$ ylittää jossain tapauksissa sekundääripalkin leikkauslujuuden. Tämän vuoksi on kiinnitettävä erityistä huomiota puuosan leikkauskestävyyteen suhteessa kannattimeen. ETA-dokumenteissa olevista Eurokoodi 5:stä johdetuissa kaavoissa kierrenaulojen ja ruuvien kapasiteettia laskettaessa oletetaan teräslevyjen olevan paksuja, kun määritetään liittimien sivuttaista kapasiteettia. Lujuusominaisuuksien mitoitusarvot saadaan käyttämällä kertoimia k_{mod} ja γ_M määräysten mukaisesti. ETA-dokumentissa kannattimien käyttöäksi oletetaan 50 vuotta. (ETA-09/0361, 2019, s. 3, 5; ROTHO BLAAS SRL, n.d.-a, s. 43, 46.)

ALUMAXI piilokannatinta asennettaessa väli siivekkeistä sekundääripalkin päähän saa olla enintään 14 millimetriä. Piilokannattimen kanssa kontaktissa olevien puupintojen tulee olla tasaisia. Naulojen tai ruuvien halkaisijan ja muodon tulee vastata kannattimessa olevia reikiä. (ETA-09/0361, 2019, s. 6.)

Kestävyys ylöspäin ja alaspäin voidaan laskea seuraavalla kaavalla

$$F_{v,Rk} = F_{z,Rk} = \min \left\{ n_{J,ef} * F_{v,J,Rk}; \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{1}{n_H * F_{v,H,Rk}}\right)^2 + \left(\frac{1}{k_H * F_{ax,H,Rk}}\right)^2}} \right\}, \quad (10)$$

missä

$n_{J,ef}$	vaarujen tehollinen määrä sekundääripalkissa
n_H	naulojen tai ruuvien kokonaismäärä primääripalkin kyljessä
$F_{v,J,Rk}$	vaarnan sivuttainen ominaiskantokyky kahdella leikkaustasolla
$F_{v,H,Rk}$	naulan tai ruuvin sivuttainen ominaiskantokyky yhdellä leikkaustasolla primääripalkissa, oletuksena paksu teräslevy
$F_{ax,H,Rk}$	naulan tai ruuvin aksiaalinen ominaiskantokyky primääripalkissa

k_H muotokerroin
(ETA-09/0361, 2019, s. 15.)

Kestävyys kohtisuoraan lasketaan kaavalla (11).

$$F_{lat.Rk} = F_{Y.Rk} = \min \left\{ A_k * H; \frac{k_n * h * b * f_{v.k}}{\sqrt{b} * \left(1,5 + \frac{3,18 * x}{b} \right)} \right\} \quad (11)$$

$F_{Y.Rk}$ piilokannattimen ominaiskestävyys kohtisuorille kuormille
 A_k alumiinilevyn taipumisen huomioon ottava parametri,
 $A = 81,2$ N/mm ALUMAXILLE
 H piilokannattimen syvyys [mm]
 k_n Eurokoodin 5 (6.63) mukainen parametri
 b sekundääripalkin leveys [mm]
 h sekundääripalkin syvyys [mm]
 x kuorman $F_{Y.Ed}$ epäkeskisyyks, $x = 107$ mm ALUMAXILLE
 $f_{v.k}$ sekundääripalkin ominaisleikkauslujuus [N/mm²]

Sekundääripalkin akselin suuntainen kestävyys saadaan laskettua kaavalla (12). Edellytyksenä on, että sekundääripalkin kiinnikkeiden pitää täyttää vähimmäisehdot päätyetäisyyksien suhteen.

$$F_{ax.Rk} = F_{X.Rk} = \min \{ k_{row} * n_H * F_{ax.Rk}; 2 * n_J * F_{v.Rk} \} \quad (12)$$

$F_{ax.Rk}$ piilokannattimen ominaiskestävyys aksiaalisille kuormille
 n_H primääripalkin kiinnikkeiden lukumäärä
 k_{row} kerroin, jolla otetaan huomioon primääripalkin kiinnikerivien lukumäärä, $k_{row} = 0,5$ ALUMAXILLE
 n_J sekundääripalkin kiinnikkeiden lukumäärä
 $F_{v.Rk}$ sivusuunnassa kuormitetun sekundääripalkin kiinnikkeen ominaiskestävyys leikkaustasoa kohti

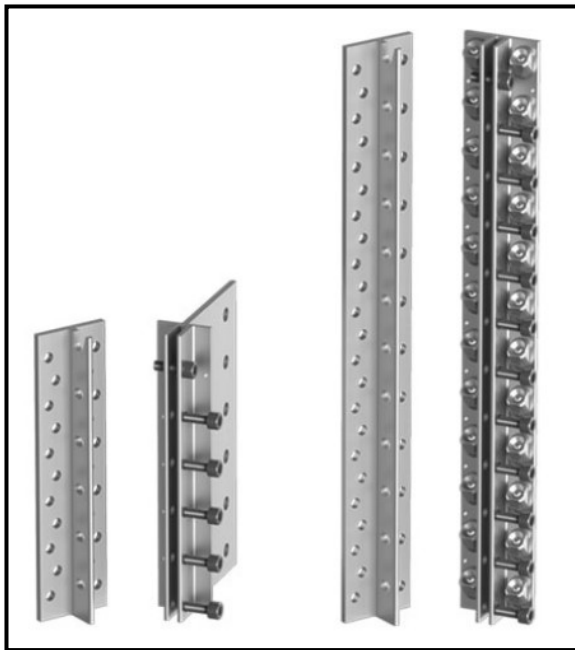
(ETA-09/0361, 2019, s. 16.)

Mikäli piilokannattimeen kohdistuu useita yhtäaikaista kuormituksia, on niiden yhteisvaikutukset huomioitava seuraavalla kaavalla

$$\left(\frac{F_{X.Ed}}{F_{X.Rd}}\right)^2 + \left(\frac{F_{Y.Ed}}{F_{Y.Rd}}\right)^2 + \left(\frac{F_{Z.Ed}}{F_{Z.Rd}}\right)^2 \leq 1,0 \quad (13)$$

(ETA-09/0361, 2019, s. 17).

Rothoblaasille on lisäksi tulossa uutuustuotteena ALUMEGA-kannattimet (kuva 26). Kannatinratkaisu muodostuu kolmesta erilaisesta osasta, jotka mahdollistavat erilaisia kiinnitystapoja. Ne soveltuvat palkki-palkkiliitoksiin ja palkki-pilariliitoksiin mukaan lukien palkit pitkillä jänneväleillä. Modulaarisia liittämäkomponentteja voidaan asentaa rinnakkain erilaisten kiinnitys vaihtoehtojen kanssa ja näin muodostaa erilaisia liitoksia puun, betonin ja teräksen välillä. (ROTHO BLAAS SRL, n.d.-b.)



Kuva 26. ALUMEGA (ROTHO BLAAS SRL, n.d.-b)

ALUMEGA on saatavilla kuudessa vakiokoossa, minkä lisäksi liittimen korkeuden muokkaaminen on mahdollista modulaarisen muotoilun ansiosta. Suurin vakiokokoisien kannattimien korkeus on 840 millimetriä. Lisäksi komponentteja voidaan asentaa vierekkäin vastaamaan geometrian ja kuormituksen

vaatimukseen. ALUMEGA valmistetaan EN AW 6082 alumiiniseoksesta ja sitä voidaan käyttää käyttöluokissa 1 ja 2. Se soveltuu käytettäväksi liimapuun kanssa. (ROTHO BLAAS SRL, n.d.-b.)

ALUMEGA-kannattimelle on annettu jo joitakin alustavia arvoja kestävyys suhteen (kuva 27). Niiden mukaan yhdellä kannattimella voidaan saavuttaa 330–490 kN kestävyys. Kestävyyteen vaikuttavat kannattimen tyyppi ja kiinnitys valinnat. Lopulliset ja sertifioidut suunnittelu-arvot ovat tulossa. (ROTHO BLAAS SRL, n.d.-b.)

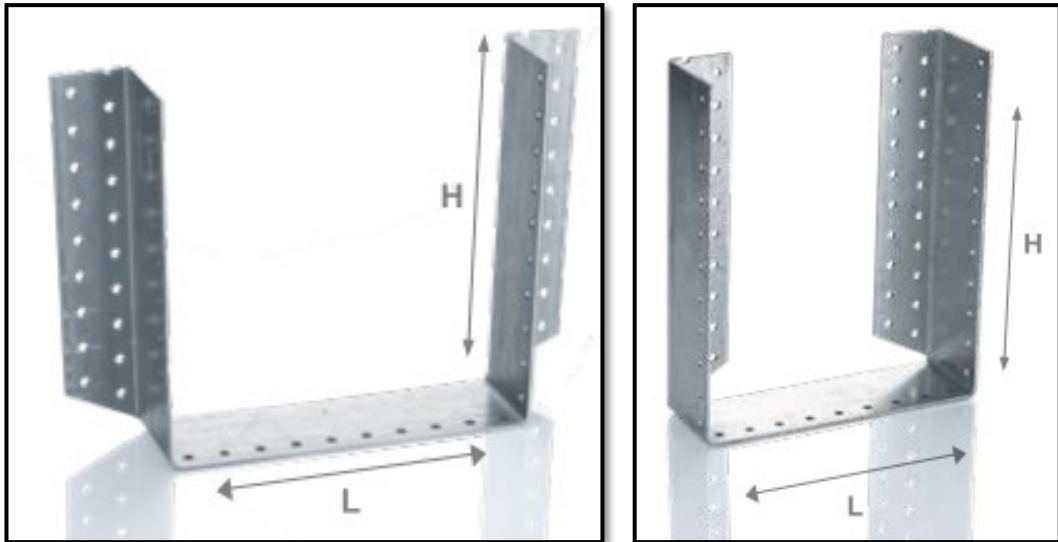
TYPE		single connector		double connector		triple connector	
H		ULS - F_{vRk}	ASD - F_v	ULS - F_{vRk}	ASD - F_v	ULS - F_{vRk}	ASD - F_v
[mm]	[in]	[kN]	[lbs]	[kN]	[lbs]	[kN]	[lbs]
240	9 1/2	90 - 140	5,500 - 9,000	180 - 280	11,000 - 18,000	270 - 420	16,500 - 27,000
360	14 1/4	140 - 210	8,500 - 13,500	280 - 420	17,000 - 27,000	420 - 630	25,500 - 40,500
480	19	180 - 280	11,500 - 18,500	360 - 560	23,000 - 37,000	540 - 840	34,500 - 55,500
600	23 5/8	230 - 350	14,500 - 23,000	460 - 700	29,000 - 46,000	690 - 1050	43,500 - 69,000
720	28 3/8	280 - 420	17,500 - 27,500	560 - 840	35,000 - 55,000	840 - 1260	52,500 - 82,500
840	33 1/16	330 - 490	20,500 - 32,000	660 - 980	41,000 - 64,000	990 - 1470	61,500 - 96,000

- Tabulated values are preliminary resistances obtained through a combination of testing and calculations. Range of resistances depends on the connector types and fastening options. Final and certified design values will be available soon.
- ULS characteristic values are according to EN 1995-1-1 and ETA-11/0030 for GL24h with $\rho_k = 385 \text{ kg/m}^3$. Design values are to be calculated according to EN 1995-1-1.
- ASD resistance values are according to the NDS (2018) and ESR-4645 for timber with $G = 0.42$, and assume a Load Duration Factor, $C_D = 1.0$.

Kuva 27. ALUMEGA alustavat arvot kestävyydelle (ROTHO BLAAS SRL, n.d.-b)

6.1.3 MiTek

Suomalainen MiTek Finland Oy valmistaa muun muassa rakennuskiinnikkeitä. Heidän palkkikenkänsä soveltuvat asennettaviksi puuhun ja betoniin. MiTekin valikoimasta löytyy Special Palkkikengät N ja I (kuva 28). N-mallissa siivekkeet on käännetty ulospäin ja I-mallissa sisäänpäin. Suurin saatavilla oleva valmis-malli on kooltaan 200x240 millimetriä ja siinä on halkaisijaltaan 5,0 millimetrin kokoiset reiät. Kapasiteetteja palkkikengille ei ole valmiiksi annettu nettisivuilla eikä tuoteluettelossa. (MiTek Finland Oy, n.d.-a.)



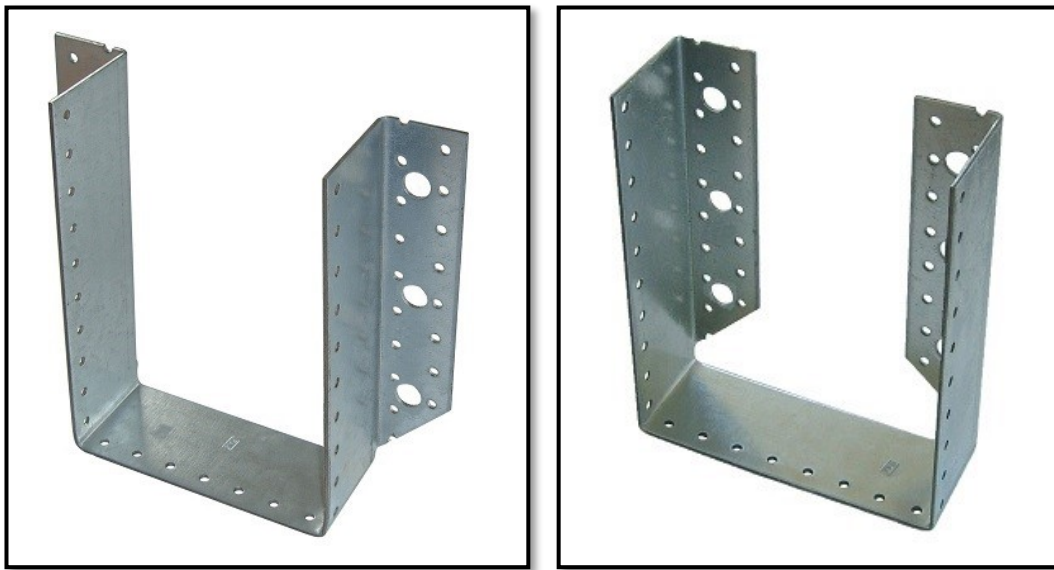
Kuva 28. MiTek Special Palkkikengät N ja I (MiTek Finland Oy, n.d.-a)

Osalle MiTekin palkkikengistä on myönnetty eurooppalainen tekninen hyväksyntä ETA 12/0139. Sen mukaan palkkikengät ovat yksiosaisia, hitsaamattomia ja kolmiulotteisia naulauslevyjä, jotka on valmistettu kuumasinkitystä teräslevystä (S250 GD Z 275 MA) tai kylmämuovatusista galvanoidusta teräksestä (DX51D-Z275) eurooppalaisen standardin EN 10346 mukaisesti. Teräksen myötölujuus on vähintään 250 N/mm^2 ja vetolujuus vähintään 330 N/mm^2 . Palkkikengä voidaan lisäksi käsitellä jauhemaalilla. Kaikki palkkikengät voidaan vaihtoehtoisesti valmistaa myös ruostumattomasta teräksestä. ETA-dokumentin mukaan teräksen materiaalipaksuus palkkikengissä on joko 2,0 millimetriä tai 3,0 millimetriä. (ETA-12/0139, 2017, s. 2.)

ETA-dokumentti ei kuitenkaan koske Special Palkkikengkiä N ja I vaan ainoastaan tiettyjä MiTekin palkkikengkiä. Nämä palkkikengät ovat maksimissaan 103 millimetriä leveitä eivätkä näin ollen sovellu käytettäväksi suurissa liimapuorakenteissa. (ETA-12/0139, 2017, s. 24.) Special Palkkikengät voisivat suuremman kokonsa puolesta soveltua myös liimapuorakenteisiin.

6.1.4 FraP Metall

Saksalainen FraP Metall GmbH valmistaa erilaisia kiinnitystarvikkeita mukaan lukien palkkikengkiä. Heidän verkkokaupassaan suurin saatavilla oleva koko palkkikengistä ulospäin käännettyillä siivekkeillä on 220x260 millimetriä ja sisäänpäin käännettyillä siivekkeillä 200x240 millimetriä (kuva 29). Materiaalipaksuus palkkikengillä on 2,5 millimetriä. Valmiiksi taulukoituja kapasiteetteja palkkikengille ei verkkokaupasta löydy. (FraP Metall GmbH, n.d.)



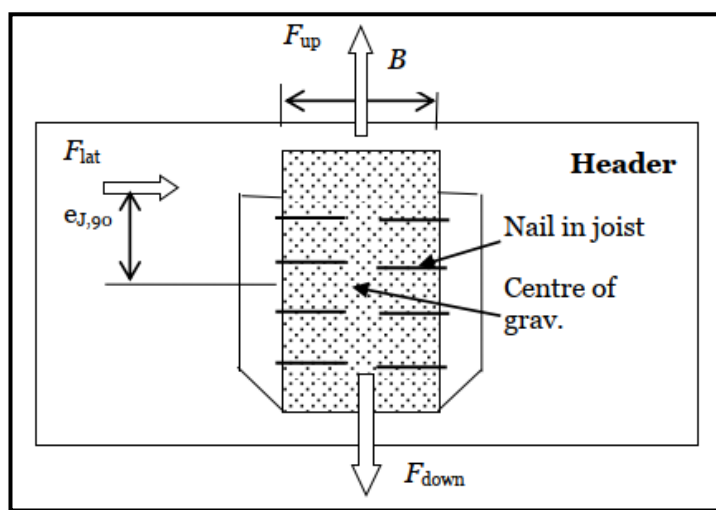
Kuva 29. FMG Joist hanger ja FMG Joist hanger inside (FraP Metall GmbH, n.d.)

Palkkikengille on haettu eurooppalainen tekninen arviointi ETA-08/0063. Sen mukaan FraP kiinnikkeet ovat yksiosaisia, hitsaamattomia palkkikengkiä, joita käytetään puu-puuliitoksissa sekä puupalkkien liittämisenä betoniin ja teräkseen. Palkkikengät on valmistettu galvanoidusta teräksestä (DX51D + Z), jonka myötölujuus on vähintään 250 MPa ja vetolujuus vähintään 330 MPa tai kuumasinkitystä teräksestä (S320GD + Z275), jonka myötölujuus on vähintään 320 MPa ja vetolujuus vähintään 390 MPa. (ETA-08/0063, 2018, s. 3.)

Palkkikengät on tarkoitettu käytettäväksi kantavissa puurakenteissa liittämään yhteen puisia sekundääri- ja primääripalkkeja. Niitä voidaan käyttää myös puupalkkien liittämiseen betoni- tai teräsrakenteeseen. Palkkikengät soveltuvat

käytettäväksi GL24-GL36 liimapuun kanssa. Liitokset tulee suunnitella Eurokoodin 5 mukaisesti tai muun vastaavan kansallisen säännösten mukaan. (ETA-08/0063, 2018, s. 3.)

Kuvassa 30 on esitetty liitokseen vaikuttavat voimat F_{up} , F_{down} ja F_{lat} . Voimien F_{up} ja F_{down} oletetaan vaikuttavan keskellä palkkikenkää. Voiman F_{lat} oletetaan vaikuttavan naulojen painopisteen yläpuolella mitan $e_{J,90}$ verran. Voimien oletetaan lisäksi vaikuttavan aivan sekundääripalkin päässä. (ETA-08/0063, 2018, s. 3.)



Kuva 30. Liitoksessa vaikuttavat voimat (ETA-08/0063, 2018, s. 3)

ETA-dokumentissa oletetaan, ettei primääripalkki, betoni- tai teräsrakenne, johon palkki kiinnitetään, pääse pyörähtämään. Mikäli primääripalkkiin on kiinnitetty sekundääripalkki vain toiselle puolelle, tulee huomioida epäkeskisyydestä aiheutuva momentti. Sama pätee myös silloin, kun primääripalkin molemmille puolille kiinnitetään sekundääripalkit, mutta niihin kohdistuvien pystyvoimien ero on yli 20 prosenttia. (ETA-08/0063, 2018, s. 3–4.)

Sinkittyjä palkkikenkiä voidaan käyttää käyttöluokissa 1 ja 2. Ruostumattomasta teräksestä valmistettuja palkkikenkiä voidaan käyttää lisäksi käyttöluokassa 3. ETA:ssa liittimien käyttöiksi oletetaan 50 vuotta. (ETA-08/0063, 2018, s. 3–4.)

Puu-puuliitoksissa voidaan käyttää kiinnitykseen nauloja. Naulat tulee olla palkkikengän kaikissa rei'issä tai voidaan käyttää ETA:ssa esitettyjä osittaisia naulauskuviota. Mikäli naulat limittyessään osuvat toisiinsa, tulee palkin leveyden olla $l+4d$, missä l on naulan pituus ja d naulan halkaisija. Muussa tapauksessa palkin leveyden pitää olla vähintään naulojen pituus. Sekundääripalkin pään ja primääripalkin välillä ei saa olla yli kolmen millimetrin aukkoa. Sekundääripalkin ja palkkikengän leveyden tulee vastata toisiaan. Sekundääripalkki saa olla korkeintaan kolme millimetriä palkkikengän sisäleveyttä kapeampi. Sekundääripalkin korkeuden tulee olla vähintään 20 millimetriä kiinnitintä korkeampi. Palkkikengän reikien ja kiinnitykseen käytettävien naulojen halkaisijan tulee vastata toisiaan. Kiinnitykseen käytettävien naulojen halkaisija ei saa olla yli yhtä millimetriä pienempiä kuin palkkikengässä olevat reiät. (ETA-08/0063, 2018, s. 7.)

ETA-dokumentista löytyy taulukko palkkikengälle, jossa on ulospäin käännetyt siivekkeet. Sisäänpäin käännetyille siivekkeille ei löydy erikseen omaa taulukkoa. Palkkikengässä 220x260 on täydelle kiinnitykselle 44 reikää primääripalkkiin ja 24 reikää sekundääripalkkiin kiinnitykseen. Osittainen kiinnitys tehdään 22 naulalla primääripalkkiin ja 12 naulalla sekundääripalkkiin. Lisäksi taulukossa on kerrottu palkkien vähimmäis- ja enimmäismitat. (ETA-08/0063, 2018, s. 22.)

ETA-dokumentissa on määritelty kiinnikkeiksi 4,0x35-100 millimetrin kokoiset ankkurinaulat. Nauloille on määritelty kaksi naulauskuviota. Täydessä kiinnityksessä kaikissa rei'issä on naulat ja osittaisessa kiinnityksessä vähintään puolessa rei'istä tulee olla naulat. Sekundääripalkin naulaus voidaan porrastaa, mutta ylimpiin ja alimpiin reikiin naulat tulee kuitenkin aina laittaa ja jakaa muuten tasaisesti palkkikengän korkeudelle. Primääripalkin kiinnityksessä naulat sijoitetaan lähelle taipumaviivaa. (ETA-08/0063, 2018, s. 23–24.)

Alaspäin suuntautuvan voiman laskemiseen on annettu seuraava kaava

$$F_{Z.Rk} = \min \left\{ \frac{(n_J + 2) * F_{v.J.Rk}}{1} \right. \\ \left. \sqrt{\left(\frac{1}{n_H * F_{v.H.Rk}}\right)^2 + \left(\frac{1}{k_{H.1} * F_{ax.H.Rk}}\right)^2} \right\}. \quad (14)$$

Ylöspäin suuntautuva voima lasketaan kaavalla

$$F_{Z.Rk} = \min \left\{ \frac{n_J * F_{v.J.Rk}}{1} \right. \\ \left. \sqrt{\left(\frac{1}{n_H * F_{v.H.Rk}}\right)^2 + \left(\frac{1}{k_{H.2} * F_{ax.H.Rk}}\right)^2} \right\}. \quad (15)$$

Poikittaisvoiman laskemiseen on kaava

$$F_{Y.Rk} = \min \left\{ \frac{n_J * F_{v.J.Rk}}{\left(\frac{2 * \sqrt{e_{J.0}^2 + e_{J.90}^2}}{B} \right)^2 + \left(\frac{F_{v.J.Rk}}{F_{ax.J.Rk}} \right)^2} \right. \\ \left. \frac{F_{v.H.Rk}}{\sqrt{\left(\frac{1}{n_H} + \frac{e_H}{e_1}\right)^2 + \left(\frac{e_H}{e_2}\right)^2}} \right\}. \quad (16)$$

- n_J naulojen kokonaismäärä molemmin puolin sekundääripalkissa
- n_H naulojen kokonaismäärä primääripalkin sivulla
- $F_{v.Rk}$ naulan poikittainen ominaiskantokyky, J = sekundääripalkki ja H = primääripalkki, 2,0 mm ja 2,5 mm teräslevyille voidaan soveltaa Eurokoodi 5 yhtälöä paksujen teräslevyjen osalta
- $F_{ax.Rk}$ naulan aksiaalinen ominaiskantokyky, J = sekundääripalkki ja H = primääripalkki
- B palkkikengän leveys
- $e_{J.90}$ sivuttaisvoiman etäisyys sekundääripalkissa olevien naulojen painopisteestä (kuva 27), vähintään 0,2 kertaa palkkikengän syvyys
- $e_{J.0}$ taulukosta saatava palkkikengän mitta
- e_1 taulukosta saatava palkkikengän mitta

e_2 taulukosta saatava palkkikengän mitta

$k_{H.1}$ muotokerroin

$k_{H.2}$ muotokerroin

(FraP Metall GmbH, n.d., s. 24.)

FraP Metalliilta löytyy lisäksi piilopalkkikengä koossa 240x106 millimetriä (kuva 31). Siihen on haettu eurooppalainen tekninen hyväksyntä ETA-13/0348. Se on yksiosainen palkkikengä, joka on tarkoitettu käytettäväksi puu-puuliitoksissa. Ne on valmistettu 3,0 millimetriä paksusta galvanoidusta teräksestä DX51D + Z (min Z275), jonka myötölujuus on vähintään 250 MPa ja vetolujuus vähintään 330 MPa. Sinkittyjä piilopalkkikengkiä voidaan käyttää käyttöluokissa 1 ja 2. Piilopalkkikengät on tarkoitettu käytettäväksi sekundääripalkkien liittämiseksi primääripalkkiin tai pilariin kantavissa rakenteissa. Niitä voidaan käyttää GL24–GL36 liimapuurakenteissa. ETA-dokumentin määräykset perustuvat siihen, että liittimien oletettu käyttöikä on 50 vuotta. (ETA-13/0348, 2018, s. 3, 7.)



Kuva 31. FMG Joist end support bracket (FraP Metall GmbH, n.d.)

ETA-dokumentissa oletetaan, että voimat F_{up} ja F_{down} vaikuttavat kohtisuoraan vaaka-akseliin nähden, ja että ne vaikuttavat piilopalkkikengän symmetriatasossa. Lisäksi oletetaan, että primääripalkin kiertyminen on estetty. Mikäli primääripalkkiin on kiinnitetty piilopalkkikengä vain toiselle puolelle, on otettava

huomioon epäkeskisyydestä aiheutuva momentti. Tämä pätee myös silloin, jos primääripalkin molemmilla puolilla on piilopalkkikikenkäliitos, mutta pystysuorat voimat eroavat yli 20 prosenttia. Piilopalkkikengät on tarkoitettu käytettäväksi staattisen tai lähes staattisen kuormituksen liitoksissa. (ETA-13/0348, 2018, s. 3, 5.)

Piilopalkkikengät kiinnitetään primääripalkkiin kierre- tai kampanauloilla (ankkurinauloilla) ja sekundääripalkkiin vaarnoilla. ETA-dokumentissa esitetyissä kaavoissa Eurokoodin 5 mukaisesti naulojen sivusuuntaista kestävyyttä laskettaessa on oletettu teräslevyjen olevan paksuja. Liitoksessa palkkikengän kaikkiin reikiin on laitettava naulat, tai kiinnitys pilariin voidaan tehdä osittaisen naulauskuvion mukaan. Vaarnat on oltava kaikissa rei'issä. Sekundääripalkin päädyn ja palkkikengän siivekkeissä olevien naulojen päiden välinen etäisyys on rajoitettu kahdeksaan millimetriin kuormituksen aikana esiintyvän jännitysten vuoksi. Palkkikenkää vasten tulevan primääripalkin pinta tulee olla tasainen. Naulojen ja vaarnojen halkaisijan tulee olla sopiva palkkikengän reikien kokoon nähden. (ETA-13/0348, 2018, s. 5.)

Piilopalkkikengässä 240x106 on 22 kappaletta halkaisijaltaan viiden millimetrin suuruista naulan reikää siivekkeissä ja kuusi kappaletta 13 millimetrin reikää vaarnoille. Vaarnat saavat olla halkaisijaltaan korkeintaan yhden millimetrin palkkikengässä olevia reikiä pienempiä eli tässä tapauksessa vaarnojen tulee olla halkaisijaltaan 12,0 millimetriä. Nauloina käytetään naulauslevynauloja, joiden halkaisija on 4,0 millimetriä. (ETA-13/0348, 2018, s. 7–8.)

Alaspäin ja ylöspäin suuntautuvien voimien oletetaan vaikuttavan palkkikengän keskellä. Palkkikengän kestävyys saadaan laskettua kaavalla (17).

$$F_{Z.Rk} = \min \left\{ \frac{n_{J.ef} * F_{v.J.Rk}}{1} \right\} \sqrt{\left(\frac{1}{n_H * F_{v.H.Rk}} \right)^2 + \left(\frac{1}{k_H * F_{ax.H.Rk}} \right)^2}. \quad (17)$$

$n_{J.ef}$

vaarnojen kokonaismäärä sekundääripalkissa

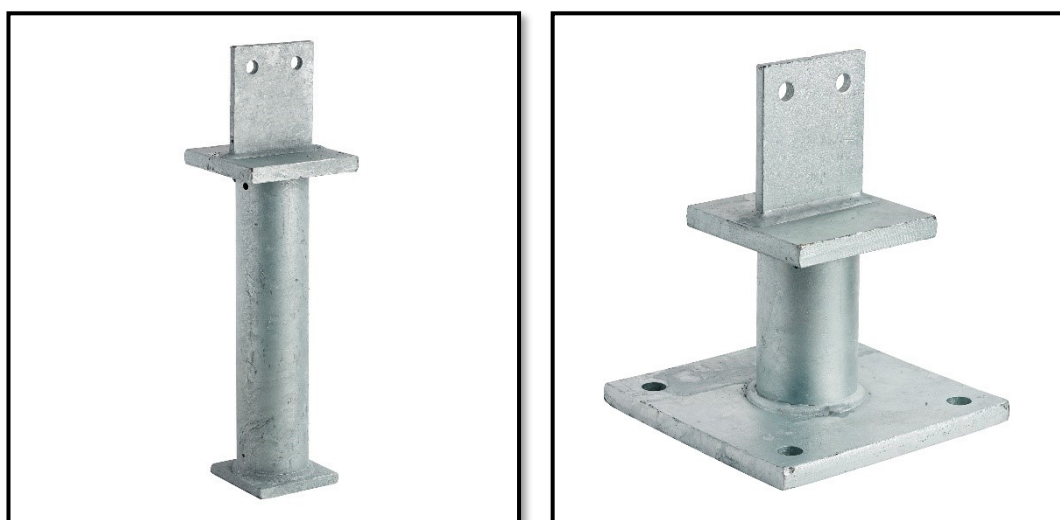
n_H	naulojen kokonaismäärä primääripalkin sivulla
$F_{v.J.Rk}$	vaarnan lateraalinen ominaiskantokyky kaksileikkeisenä
$F_{v.H.Rk}$	naulan lateraalinen ominaiskantokyky yksileikkeisenä (paksu teräslevy)
$F_{ax.H.Rk}$	naulan aksiaalinen ominaiskantokyky
k_H	muotokerroin

(ETA-13/0348, 2018, s. 9.)

6.2 Pilarikengät

6.2.1 Simpson Strong-Tie

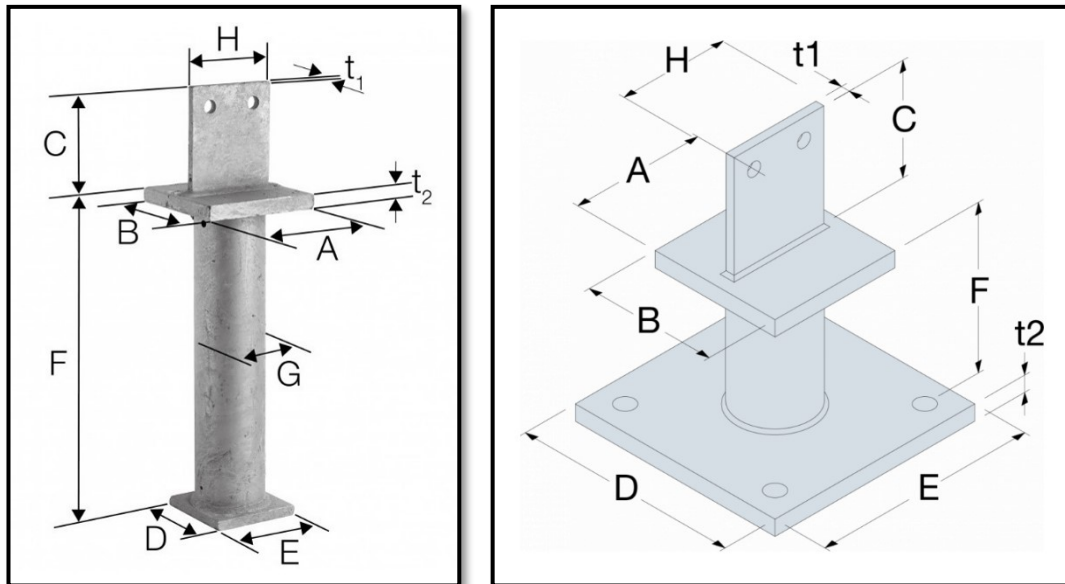
Simpson Strong-Tie valmistaa PISMAXI- ja PISBMAXI-pilarikengkiä (kuva 32), jotka on tarkoitettu käytettäväksi liimapuupilarin kanssa, jonka lujuusluokka on vähintään GL24c. PISMAXI- ja PISBMAXI-pilarikengät valmistetaan S235JR kuumasinkitystä teräksestä hitsaamalla. Niissä on korroosiosuojana 55 mikrometriä paksu sinkkikerros. Pilarikengät voidaan valmistaa myös ruostumattomasta teräksestä. Ne on lisäksi mahdollista maalata. Pilarikengkiä voidaan käyttää käyttöluokissa 1, 2 ja 3. (ETA-07/0285, 2021, s. 5–6; Simpson Strong-Tie, n.d.-b.)



Kuva 32. PISMAXI- ja PISBMAXI-pilarikengät (Simpson Strong-Tie, n.d.-b)

PISMAXI- ja PISBMAXI-pilarikenkien mitat on esitetty kuvassa 33.

Model	Product dimensions [mm]										Holes			
	A	B	C	D	E	F	G	H	t ₁	t ₂	Top		Bottom	
											Qty	size	Qty	size
PISMaxi	120	120	105	90	90	323	120	90	8	15	2	Ø13		
PISBMaxi	120	120	105	200	200	148	120	90	8	15	2	Ø13	4	Ø17



Kuva 33. PISMAXI- ja PISBMAXI-pilarikenkien mitat (ETA-07/0285, 2021, s. 50; Simpson Strong-Tie, n.d.-b)

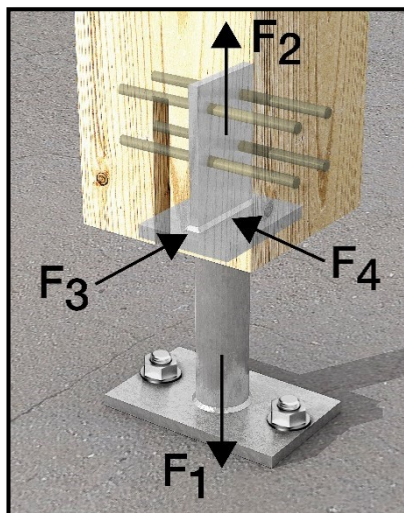
Pilarikengän kiinnittämistä varten liimapuupilariin tehdään 9–10 millimetrin levyinen ura, johon pilarikengän yläpäässä oleva levy kiinnitetään kahdella kuumasinkityllä M12-vaarnalla. Vaarnojen pituuden tulee vastata pilarin leveyttä. PISMAXI-pilarikengän putki asennetaan valettavaan betoniin ja pilarin pohjalevyn sekä betonipinnan väli saa olla korkeintaan 150 millimetriä. PISBMAXI-pilarikengän kiinnittämiseksi betoniin käytetään M16-pultteja. (Simpson Strong-Tie, n.d.-b.)

Pilarikengillä toteutetut liitokset tulee suunnitella Eurokoodin 5 mukaisesti ja yhteen liitokseen tulee käyttää aina vain yhtä pilarikengää. Omaiskantokyvyn laskennassa on huomioitu puun ja teräksen materiaalien osavarmuuslukujen suhdeluvut määräysten mukaisesti. Omaiskapasiteetit on määritetty testeillä avustetuilla laskelmilla. Pilarikenkien kantavuudet on ilmoitettu sahatavaralle, jonka lujuusluokka on C24 ja ominaistiheys 350 kg/m^3 ellei toisin mainita. Kantavuutena suuremmillekin tiheyksille käytetään kuitenkin ETA-dokumentissa

ilmoitettuja arvoja, mikäli asiaa ei ole muuten erityisesti tutkittu. ETA-dokumentin määräykset perustuvat 50 vuoden oletettuun käyttöikään. (ETA-07/0285, 2021, s. 5–6, 8, 18.)

Kyseiset Simpsonin pilarikengät kestävät vetoa, puristusta ja vaakasuuntaista kuormitusta. Pilarikengille annetuissa kuormituskapasiteeteissa oletetaan, että kuormitus on syysuuntainen, mikäli toisin ei mainita. Kun kiinnityksessä käytetään ankkuripultteja, tulee niiden kestävyys tarkistaa ETA-dokumentissa annettujen ohjeiden mukaisesti. Mikäli pilarikengään vaikuttaa useita eri suuntaisia voimia samanaikaisesti, tulee niiden yhteisvaikutus huomioida. (ETA-07/0285, 2021, s. 6, 19, 21; Simpson Strong-Tie, n.d.-b.)

PISMAXI-pilarikengän ominaiskestävyys voiman F_1 suunnassa (kuva 34) on 272,2 kN tai 187,9 kN/ k_{mod} riippuen siitä kumpi arvoista on pienempi. PISBMAXI-pilarikengän ominaiskestävyys on pienempi arvoista 272,2 kN tai 256,9 kN/ k_{mod} . Betonin oletetaan olevan lujuusluokaltaan C12/16 ja pilarin kiinnityksessä voidaan käyttää 120, 140 tai 160 millimetriä pitkiä vaarvoja. Muiden suuntien kestävyudet ovat nähtävissä kuvassa 35. (ETA-07/0285, 2021, s. 50.)



Kuva 34. Pilarikengään kohdistuvien voimien suunnat (Simpson Strong-Tie, n.d.-b)

Model	Fasteners				Characteristic capacities [kN]			
	On post		On concrete		R _{1,k}	R _{2,k}	R _{3,k}	R _{4,k}
	Qty	Type	Qty	Type				
PISMaxi	2	Ø12x120	-	-	min(272.2 ; 187.9/k _{mod})	34.5	22.5	7.7
	2	Ø12x140	-	-		38.5	min(25.2 ; 24/k _{mod})	9.9
	2	Ø12x160	-	-		42.1	min(27.5 ; 24/k _{mod})	12.3
PISBMaxi	2	Ø12x120	4	Ø16	min(272.2 ; 256,9/k _{mod})	34.5	22.5	7.7
	2	Ø12x140	4	Ø16		38.5	min(25.2 ; 14.1/k _{mod})	9.9
	2	Ø12x160	4	Ø16		42.1	min(27.5 ; 14.1/k _{mod})	12.3

Kuva 35. PISMAXI- ja PISBMAXI-pilarikenkien ominaiskestävyydet (ETA-07/0285, 2021, s. 50)

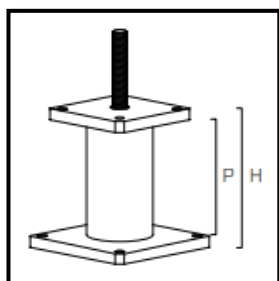
6.2.2 Rothoblaas

Rothoblaas valmistaa S50-pilarikengää (kuva 36), joka soveltuu hyvin isoille pilareille ja suurten jänneväliden pilari-palkkirakenteisiin. Korotetun pilarikengän avulla rakenne nostetaan irti maasta, jolloin voidaan vähentää veden roiskumista ja kertymistä rakenteeseen ja näin saavuttaa parempi kestävyys. (ROTHO BLAAS SRL, n.d.-a, s. 420–421.)



Kuva 36. S50-pilarikengä (ROTHO BLAAS SRL, n.d.-a, s. 420)

S50-pilarikengää on saatavissa kolmea eri korkeutta (120/180/240 mm). Pilarikengän muut mitat ovat nähtävissä kuvassa 37. Pilarikengä on valmistettu hiiliteräksestä, jossa on S235 kuumasinkitys. Sen ominaismyötölujuus on vähintään 235 N/mm^2 ja ominaisvetolujuus 360 N/mm^2 . Pilarikengät voidaan valmistaa myös ruostumattomasta teräksestä, jonka ominaismyötölujuus on vähintään 235 N/mm^2 ja ominaisvetolujuus 500 N/mm^2 . Kierretangot vastaavat standardin EN ISO 898-1 mukaista ominaisuusluokkaa 4.8. Pilarikengää voidaan käyttää käyttöluokissa 1, 2 ja 3. Käyttöluokassa 3 myös kiinnikkeiden tulee olla ruostumatonta terästä tai sinkittyä. S50-pilarikengä soveltuu käytettäväksi liimapuun kanssa ja puun poikkileikkauksen tulee olla vähintään 120x120 millimetriä pienemmillä malleilla ja 160x160 isommilla malleilla. Kiinnitys puuhun tapahtuu piilokiinnityksellä. Kiinnitykseen käytetään puuruuveja, joiden halkaisija on kahdeksan millimetriä ja pituus 80 millimetriä. Pilarin poikkileikkaus tulee asettaa keskeisesti pilarikengään nähden ja päätypuu kiinni pohjalevyyn. (ETA-10/0422, 2019, s. 3–4; ROTHO BLAAS SRL, n.d.-a, s. 420–421.)

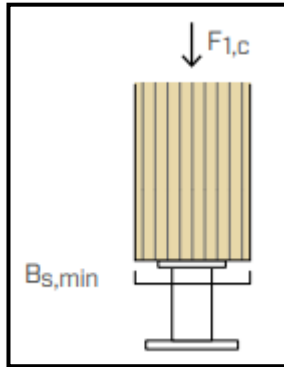


KOODI	H	P	ylempi levy	yläreiät	alempi levy	alareiät	tanko Ø x L	kpl
	[mm]	[mm]	[mm]	[n. x mm]	[mm]	[n. x mm]	[mm]	
S50120120	144	120	120 x 120 x 12	4 x Ø11	160 x 160 x 12	4 x Ø13	M20 x 120	1
S50120180	204	180	120 x 120 x 12	4 x Ø11	160 x 160 x 12	4 x Ø13	M20 x 120	1
S50160180	212	180	160 x 160 x 16	4 x Ø11	200 x 200 x 16	4 x Ø13	M24 x 150	1
S50160240	272	240	160 x 160 x 16	4 x Ø11	200 x 200 x 16	4 x Ø13	M24 x 150	1

Kuva 37. S50-pilarikengän koko vaihtoehdot (ROTHO BLAAS SRL, n.d.-a, s. 422)

Suurimman S50-pilarikengän ominaispuristuslujuus on yli 300 kN. Kuvassa 38 esitetään pilarikengän eri koko vaihtoehtojen puristuslujuudet. Taulukkoarvoja laskettaessa on puun ominaistiheytenä käytetty arvoa 350 kg/m^3 . (ROTHO

BLAAS SRL, n.d.-a, s. 423.) Puulle, jonka ominaistiheys ylittää 350 kg/m^3 , käytetään samoja arvoja kuin puulle, jonka ominaistiheys on 350 kg/m^3 , ellei tarkempia tutkimuksia ole tehty. Liitokset tulee suunnitella Eurokoodin 3 ja Eurokoodin 5 mukaisesti tai vastaavien kansallisten määräysten mukaisesti. Pilarikengien oletettu käyttöikä on 50 vuotta, kun käyttö on tarkoituksenmukaista ja niitä huolletaan asianmukaisesti. (ETA-10/0422, 2019, s. 3–4.)



KOODI	B _{s,min} [mm]	R _{1,c} k timber		R _{1,c} k steel			
		[kN]	Y _{timber}	[kN]	Y _{steel}	[kN]	Y _{steel}
S50120120	120 x 120	193,0	Y _{MT} ⁽¹⁾	127,0	Y _{M0}	277,0	Y _{M1}
S50120180		193,0		127,0		277,0	
S50160180	160 x 160	324,0		247,0		351,0	
S50160240		324,0		247,0		351,0	

Kuva 38. S50-pilarikengän ominaispuristuslujuudet (ROTHO BLAAS SRL, n.d.-a, s. 423)

Mitoitusarvoja laskettaessa on huomioitava materiaalien osavarmuusluvut. Lisäksi tulee huomioida muunnoskerroin k_{mod} . Näiden avulla lasketuista arvoista lujuusominaisuuden mitoitusarvoksi valitaan pienin saatu arvo. Tämän ohella on tarkastettava vielä erikseen kiinnitys betoniin. (ROTHO BLAAS SRL, n.d.-a, s. 423.)

7 ESIMERKKILASKUT

7.1 Simpson Strong-Tie

Lasketaan kestävyys Simpson Strong-Tien palkkikengälle BSD(I) 200/320 voimien F_1 ja F_2 suunnassa nauloilla ja ruuveilla. Valitaan nauloiksi CNA4,0x75 naulauslevynaulat. Lasketaan kestävyys täydellä kiinnityksellä, jolloin primääripalkkiin tulee 60 naulaa ja sekundääripalkkiin 30 naulaa. Tarkistetaan kapaleessa 6.1.1 esitetyt vähimmäismitat. Sekundääripalkin leveyden tulee olla vähintään $l_{pen}+2,9d$ eli tässä tapauksessa 86,6 millimetriä. Tämä täyttyy, sillä sekundääripalkin leveys ei saa olla pienempi kuin A-3 mm eli 197 millimetriä.

Kalibrointikertoimen $c_1 = 1$ ja muotokertoimen $k_{H,1} = 155,8$ arvot saadaan palkkikengien ETA-dokumentista (ETA-06/0270, 2023, s. 34, 62). Naulojen kestävydet $R_{lat,k} = 2,72$ kN ja $R_{ax,k} = 1,71$ kN saadaan naulojen ja ruuvien ETA-dokumentissa esitetystä taulukosta, jossa puun tiheytenä on 380 kg/m³ ja teräksen paksuutena $2,0$ millimetriä (ETA-04/0013, 2019, s. 12).

$$R_{1,k} = \min \left\{ 1 * \frac{(30 + 2) * 1 * 2,72 \text{ kN}}{1}, \sqrt{\left(\frac{1}{(60 * 2,72 \text{ kN})}\right)^2 + \left(\frac{1}{(155,8 * 1,71 \text{ kN})}\right)^2} \right\} = 87,0 \text{ kN} \quad (4)$$

Kestävyudeksi voiman F_1 suunnassa saadaan $87,0$ kN, mikä on hieman enemmän kuin valmistajan taulukossa 3 esittämä kestävyys $75,5$ kN, joka oli laskettu CNA4,0x60 naulauslevynauloilla.

Lasketaan kestävyys vielä samoilla CNA4,0x75 naulauslevynauloilla, mutta täyden kiinnityksen sijaan osittaisella kiinnityksellä. Osittaisessa kiinnityksessä primääripalkkiin tulee 30 naulaa ja sekundääripalkkiin 16 naulaa.

$$R_{1,k} = \min \left\{ 1 * \frac{(16 + 2) * 1 * 2,72 \text{ kN};}{1} \sqrt{\left(\frac{1}{30 * 2,72 \text{ kN}}\right)^2 + \left(\frac{1}{155,8 * 1,71 \text{ kN}}\right)^2} \right\} = 49,0 \text{ kN} \quad (4)$$

Kestävyydeksi voiman F_1 suunnassa saadaan 49,0 kN, mikä on lähes puolet vähemmän kuin täydellä kiinnityksellä saatu kestävyys 87,0 kN.

Kestävyys voiman F_2 suunnassa saadaan laskettua kaavalla (5). Kalibrointi-kertoimen $c_2 = 1$ ja muotokertoimen $k_{H,2} = 158,1$ arvot saadaan palkkikenkien ETA-dokumentista (ETA-06/0270, 2023, s. 35, 64). Naulojen kestävyudet ovat samat kuin edellä. Lasketaan kestävyys täydellä kiinnityksellä.

$$R_{2,k} = \min \left\{ 1 * \frac{1 * 30 * 2,72 \text{ kN};}{1} \sqrt{\left(\frac{1}{60 * 2,72 \text{ kN}}\right)^2 + \left(\frac{1}{158,1 * 1,71 \text{ kN}}\right)^2} \right\} = 81,6 \text{ kN} \quad (5)$$

Kestävyydeksi voiman F_2 suunnassa saadaan 81,6 kN, mikä on hieman enemmän kuin taulukossa 3 esitetty kestävyys 70,8 kN.

Tarkastellaan kestävyyttä voiman F_2 suunnassa vielä osittaisella kiinnityksellä. Siinä nauloja primääripalkkiin tuli 30 kappaletta ja sekundääripalkkiin 16 kappaletta.

$$R_{2,k} = \min \left\{ 1 * \frac{1 * 16 * 2,72 \text{ kN};}{1} \sqrt{\left(\frac{1}{30 * 2,72 \text{ kN}}\right)^2 + \left(\frac{1}{158,1 * 1,71 \text{ kN}}\right)^2} \right\} = 43,5 \text{ kN} \quad (5)$$

Osittaisella kiinnityksellä kestäväydeksi voiman F_2 suunnassa saadaan 43,5 kN, kun se täydellä kiinnityksellä oli 81,6 kN. Samoin kuin voiman F_1 suunnassa kestävyys pieneni lähes puoleen, kun naulojen määräkin väheni likimain puolella.

Lasketaan kestävyys vielä naulauslevyruuveille CSA5,0x80 täydellä kiinnityksellä. Tarkistetaan kappaleessa 6.1.1 esitetyt minimimitat. Sekundääripalkin leveyden tulee olla vähintään $l_{pen}+4d$ eli tässä tapauksessa 100 millimetriä. Tämä täyttyy, sillä sekundääripalkin leveys ei saa olla pienempi kuin A-3 mm eli 197 millimetriä.

Lasketaan kestävyys voiman F_1 suunnassa kaavan (4) avulla. Kalibrointikerroin c_1 ja muotokerroin $k_{H,1}$ ovat samat kuin naulauslevynauloille. Naulauslevyruuvien ominaiskapasiteetit sivuttaisessa suunnassa $R_{lat,k} = 3,70$ kN ja aksiaalissa suunnassa $R_{ax,k} = 5,75$ kN saadaan ETA-dokumentin taulukosta, missä puun tiheys on 380 kg/m³ ja teräksen paksuus $2,0$ millimetriä. (ETA-04/0013, 2019, s. 13.)

$$R_{1,k} = \min \left\{ 1 * \frac{(30 + 2) * 1 * 3,70 \text{ kN};}{1} \sqrt{\left(\frac{1}{60 * 3,70 \text{ kN}}\right)^2 + \left(\frac{1}{155,8 * 5,75 \text{ kN}}\right)^2} \right\} = 118,4 \text{ kN} \quad (4)$$

Naulauslevyruuveilla kestävyudeksi voiman F_1 suunnassa saadaan $118,4$ kN, mikä on selvästi suurempi kuin naulauslevynauloilla saavutettu $87,0$ kN.

Lasketaan liitoksen kestävyys naulauslevyruuveilla CSA5,0x80 voiman F_2 suunnassa täydellä kiinnityksellä. Kalibrointikerroin c_2 ja muotokerroin $k_{H,2}$ ovat samat kuin naulauslevynauloille. Ruuvien kestävydet ovat samat kuin edellä.

$$R_{2,k} = \min \left\{ 1 * \frac{1 * 30 * 3,70 \text{ kN};}{1} \sqrt{\left(\frac{1}{60 * 3,70 \text{ kN}}\right)^2 + \left(\frac{1}{158,1 * 5,75 \text{ kN}}\right)^2} \right\} = 111,0 \text{ kN} \quad (5)$$

Kestävyudeksi saadaan $111,0$ kN naulauslevyruuveilla, mikä on suurempi kuin naulauslevynauloilla laskettu arvo $81,6$ kN.

Piilopalkkikengälle BT600 suurimmat taulukoidut kestävyudet saavutettiin, kun käytettiin 180 millimetriä pitkiä, halkaisijaltaan 12 millimetrin paksuisia teräs-vaarvoja sekä CNA4,0x60 naulauslevynauloja täydellä kiinnityksellä. Ohjeen mukaan kestävyyttä voidaan vielä korottaa puun tiheyden mukaan korotuskertoimella 1,05, jolloin F_1 suunnan kestävyudeksi saadaan 206,6 kN, kun taulukoitu kestävyys oli 196,8 kN. Muiden suuntien korotetut arvot on esitetty taulukossa 7.

Taulukko 7. BT600-piilopalkkikengän kestävyuden ominaisarvot nauloilla täydellä kiinnityksellä ja korotuskertoimella

Kestävyuden ominaisarvo [kN]			
$R_{1,k}$	$R_{3,k}$		$R_{4,k}$
	Vahvistamaton	Vahvistettu	
206,6	26,7	48,4	69,8

ETA-dokumentissa ei ollut taulukoitu arvoja F_2 suunnan nostavalle voimalle. Kestävyys voidaan kuitenkin laskea kaavalla (8). Määritetään kestävyys F_2 suunnassa taulukossa 7 esitetystä tapauksesta.

$$R_{2,k} = 206,6 \text{ kN} * (12 - 1)/12 = 189,4 \text{ kN} \quad (8)$$

Kestävyudeksi F_2 suunnassa saadaan tässä tapauksessa 189,4 kN.

Selvitetään vielä edellä esitettyjen kestävyyksien $R_{1,k}$ ja $R_{3,k}$ mitoitusarvot, jotka saadaan laskettua kaavan (1) avulla. Oletetaan käyttöluokan olevan 2 ja aikaluokan keskipitkä, jolloin kerroin $k_{mod} = 0,80$. Liitokselle osavarmuusluku $\gamma_M = 1,3$.

$$R_{1,d} = 0,80 * \frac{206,6 \text{ kN}}{1,3} = 127,1 \text{ kN} \quad (1)$$

Liitoksen mitoitusarvoksi voiman F_1 suunnassa saadaan näin ollen 127,1 kN, kun ominaiskestävyys oli 206,6 kN.

Oletetaan liitoksen olevan vahvistamaton, jolloin $R_{3,k} = 26,7$ kN.

$$R_{3,d} = 0,80 * \frac{26,7 \text{ kN}}{1,3} = 16,4 \text{ kN} \quad (1)$$

Mitoitusarvo voiman F_3 suunnassa on 16,4 kN, kun ominaisarvo kestävyydelle oli 26,7 kN. Huomataan mitoitusarvojen olevan olennaisesti ominaisarvoja pienempiä.

Tarkistetaan vielä yhdistetty kestävyys, mikäli liitosta kuormitetaan sekä voiman F_1 että voiman F_3 suunnasta. Päätetään kuormituksen voiman F_1 suunnassa olevan 100 kN ja voiman F_3 suunnassa 10 kN. Yhdistetyn kestävyuden tarkastamiseen käytetään kaavaa (9)

$$\left(\frac{100 \text{ kN}}{127,1 \text{ kN}} \right) + \left(\frac{10 \text{ kN}}{16,4 \text{ kN}} \right) = 1,4 \quad (18)$$

Tulokseksi saadaan 1,4. Kaavassa (9) ehtona oli, että tuloksen pitää olla pienempi tai yhtä suuri kuin yksi. Näin ollen saatu tulos ei toteuta vaatimusta, joten liitos ei kestä yhdistettyä kuormitusta.

7.2 Rothoblaas

Lasketaan Rothoblaasin ALUMAXI piilokannattimelle ominaiskestävyys ylöspäin ja alaspäin suuntautuvalla voimalla täydellä kiinnityksellä. Käytetään kiinnityksessä LBS7,0x100 ruuveja ja STA16x200 sileää teräsvaarnaa. Ruuvien kestävyudet $F_{v.RK} = 5,08 \text{ kN}$ ja $F_{ax.RK} = 8,40 \text{ kN}$ saadaan niiden teknisistä tiedoista (ROTHO BLAAS SRL, n.d.-a, s. 105). Kestävyyttä ei löydy erikseen 10 tai 12 millimetrin teräslevylle, joten käytetään 8,0 millimetrin teräslevylle annettua kestävyyttä. Kaavassa esiintyvät muuttujat k_H ja $n_{J,ef}$ riippuvat kuormituksen suunnasta. Lasketaan ensin ominaiskestävyys, kun kuormitus on alaspäin. Silloin $k_H = 274$ ja $n_{J,ef} = 15$ ETA-dokumentissa olevan taulukon B.1 mukaisesti (ETA-09/0361, 2019, s. 15-16).

$$F_{v.Rk} = F_{z.Rk} = \min \left\{ \frac{15 * 26,7 \text{ kN};}{1} \right\} = 400,5 \text{ kN} \quad (10)$$

$$\sqrt{\left(\frac{1}{120 * 5,08 \text{ kN}}\right)^2 + \left(\frac{1}{274 * 11,7 \text{ kN}}\right)^2}$$

Kestävyydeksi saadaan peräti 400,5 kN. Lasketaan vielä kestävyys ylöspäin suuntautuvalla voimalla. Silloin $k_H = 274$ ja $n_{J,ef} = 14$ taulukon B.1 mukaisesti (ETA-09/0361, 2019, s. 15-16).

$$F_{v.Rk} = F_{z.Rk} = \min \left\{ \frac{14 * 26,7 \text{ kN};}{1} \right\} = 373,8 \text{ kN} \quad (10)$$

$$\sqrt{\left(\frac{1}{120 * 5,08 \text{ kN}}\right)^2 + \left(\frac{1}{274 * 11,7 \text{ kN}}\right)^2}$$

Tällöin kestäväydeksi tulee 373,8 kN. Näiden lisäksi tulisi tarkastaa myös puuosien kestävyys.

7.3 FraP Metall

Lasketaan palkkikengän 220x260 ominaiskestävyys täydellä kiinnityksellä. Valitaan nauloiksi Simpson Strong-Tien CNA4,0x75 naulauslevynaulat, joilla $F_{v.Rk} = 2,72 \text{ kN}$ ja $F_{ax.Rk} = 1,71 \text{ kN}$ puun tiheydellä 380 kg/m^3 ja teräslevyn paksuudella 2,0 millimetriä (ETA-04/0013, 2019, s. 12). Kestävyydeksi alaspäin suuntautuvan voiman suhteen saadaan laskettua kaavan (14) avulla. Kaavassa oleva muotokerroin $k_{H,1}$ saadaan ETA-dokumentin taulukosta ja kyseiselle palkkikengälle se on 78,4 (ETA-08/0063, 2018, s. 73).

$$F_{Z.Rk} = \min \left\{ \frac{(24 + 2) * 2,72 \text{ kN}}{1} \right. \\ \left. \sqrt{\left(\frac{1}{44 * 2,72 \text{ kN}}\right)^2 + \left(\frac{1}{78,4 * 1,71 \text{ kN}}\right)^2} \right\} = 70,7 \text{ kN}. \quad (14)$$

Näin ollen palkkikengän kestävyudeksi kyseisillä nauloilla kiinnitettynä tulisi 70,7 kN.

Ylöspäin suuntautuvan voiman suhteen kestävyys lasketaan kaavalla (15). Muotokerroin $k_{H.2}$ on 60,6 (ETA-08/0063, 2018, s. 73).

$$F_{Z.Rk} = \min \left\{ \frac{24 * 2,72 \text{ kN}}{1} \right. \\ \left. \sqrt{\left(\frac{1}{44 * 2,72 \text{ kN}}\right)^2 + \left(\frac{1}{60,6 \text{ kN} * 1,71 \text{ kN}}\right)^2} \right\} = 65,3 \text{ kN}. \quad (15)$$

Kestävyudeksi saadaan tässä tapauksessa 65,3 kN.

Lasketaan piilopalkkikengän 240x106 kestävyys, jos käytetään Simpson Strong-Tien CNA4,0x75 naulauslevynauloja sekä Rothoblaasin sileää teräs-vaarnaa STA12. Nauhojen $F_{v.H.Rk} = 2,72 \text{ kN}$ ja $F_{ax.H.Rk} = 1,71 \text{ kN}$ (ETA-04/0013, 2019, s. 12). Vaarnojen $F_{v.J.Rk} = 17,8 \text{ kN}$ (ROTHO BLAAS SRL, n.d.-a, s. 58). Vaarnojen tehollinen määrä ja muotokerroin saavat eri arvot voiman suunnan mukaan. Alaspäin suuntautuvalla voimalla ne ovat $n_{J.ef} = 3,07$ ja $k_H = 165$ sekä ylöspäin suuntautuvalla voimalla $n_{J.ef} = 2,68$ ja $k_H = 66,0$ (ETA-13/0348, 2018, s. 9). Kestävyudet molempiin suuntiin saadaan laskettua kaavalla (17).

$$F_{Z.Rk} = \min \left\{ \frac{3,07 * 17,8 \text{ kN}}{1} \right. \\ \left. \sqrt{\left(\frac{1}{22 * 2,72 \text{ kN}}\right)^2 + \left(\frac{1}{165 * 1,71 \text{ kN}}\right)^2} \right\} = 54,6 \text{ kN} \quad (17)$$

$$F_{Z.Rk} = \min \left\{ \frac{2,68 * 17,8 \text{ kN}}{1} \right\} = 47,7 \text{ kN} \quad (17)$$

$$\sqrt{\left(\frac{1}{22 * 2,72 \text{ kN}}\right)^2 + \left(\frac{1}{66,0 * 1,71 \text{ kN}}\right)^2}$$

Alaspäin suuntautuvalle voimalle saadaan kestävyudeksi 54,6 kN ja ylöspäin suuntautuvalle voimalle 47,7 kN.

8 VALMISOSIEN KÄYTTÄMINEN PUURAKENNELIITOKSISSA

Opinnäytetyössä selvitettiin, millaisia valmisosaliitoksia liimapuusta valmistetussa pilari-palkkirungossa käytetään, miten niitä mitoitetaan ja millaisia liitososia niihin on saatavilla. Erityisesti keskityttiin palkki-palkki- ja pilari-palkki-liitoksiin sekä perustusliitoksiin. Selvisi, että palkki-palkkiliitoksia voidaan tehdä esimerkiksi palkkikenkien avulla. Palkkikenkiä käytetään lisäksi yleisesti pilari-palkkiliitoksissa. Palkkikenkien kiinnityksessä liimapuuhun voidaan käyttää ruuveja, nauloja ja tappivaarvoja.

Perustusliitoksissa voidaan käyttää useita erilaisia tapoja. Liitos voidaan tehdä liimapuupilariin nauloilla tai ruuveilla kiinnitettävien teräslevyjen avulla tai esimerkiksi liimaruuveilla. Käytettävissä on myös erilaisia pilarikenkiä, joiden avulla pilari saadaan kiinnitettyä perustuksiin. Pilarikenkien kiinnityksessä liimapuuhun käytetään ruuveja tai vaarvoja. Perustuksiin ne voidaan kiinnittää valamalla tanko suoraan betoniin tai ne voidaan asentaa betoniin pulttien avulla.

Puurakentamisessa liitokset on suunniteltava jokaisessa tapauksessa erikseen. Standardin mukaisille puikkoliittimille, kuten nauloille, tappivaarvoille ja ruuveille, löytyy mitoitusohjeet Eurokoodista 5. Lisäksi löytyy mitoitusohjeita puun ja teräslevyn välisille liitoksille. Valmisosat, jotka eivät ole standardiliittimiä, tarvitsevat eurooppalaisen teknisen arvioinnin tai vastaavan

hyväksynnän. Esimerkiksi palkki- ja pilarikengille täydentävät suunnitteluohjeet saadaan niille myönnettyistä ETA-dokumenteista.

8.1 Suurille kuormille soveltuvat palkkikengät

Suuremmille kuormille soveltuvia palkkikengkiä löytyi neljältä eri valmistajalta (liite 1). Näitä olivat Simpson Strong-Tie, Rothoblaas, MiTek ja FraP Metall. Suurimpien siivekkeellisten palkkikengien leveys oli pääasiassa 200 millimetriä, jolloin ne soveltuvat tavallisimmille liimapuupalkeille. Siivekkeellisten palkkikengien valmistajien ilmoittamat kantavuudet pystysuorille kuormille jäivät kuitenkin alle 100 kN. MiTekin Special palkkikengälle ei löytynyt valmiiksi laskettuja kestävyksiä eikä mitoitusohjeita. Kotisivuillaan he kuitenkin lupaavat suunnittelijoille pyydettäessä toimittaa tiedot kiinnikkeiden kantavuudesta (MiTek Finland Oy, n.d.-b). Myöskään FraP Metallilta valmiiksi laskettuja kantavuuksia ei löytynyt, mutta suunnitteluohjeiden mukaan laskettu kantavuus oli alle 100 kN.

Siivekkeellisten palkkikengien lisäksi löytyi piilopalkkikengkiä, joiden kantavuudet olivat siivekkeellisiä suurempia. Simpson Strong-Tien piilopalkkikengä BT:lle ilmoitettu kantavuus pystysuoralle kuormitukselle oli lähes 200 kN. FraP Metallin piilopalkkikengälle ETA-dokumentin ohjeen mukaan laskettu kantavuus oli kuitenkin vain 54,6 kN. Joukosta erottui selkeästi Rothoblaasin ALU-MAXI-piilokannatin, jonka suurin kantavuus pystysuoralle kuormitukselle oli 369,0 kN. Lisäksi Rothoblaasilta on tulossa uutuustuote ALUMEGA, jolle luvaan alustavasti jopa lähes 500 kN kantavuutta yhdellä kannattimella. Lisäksi kannattimia voidaan yhdistää, jolloin kolmella kannattimella päästäisiin lähes 1 500 kN kestävyteen. ALUMEGA-kannattimet poikkeavat jonkin verran perinteisesti piilopalkkikengistä ja niitä on kolmea erilaista mallia.

Palkkikengien korroosiosuojaus oli pääasiassa toteutettu luokan Z275 kuumasinkityksellä, mikä tarkoittaa, että niitä voidaan käyttää käyttöluokissa 1 ja 2. Useimpien palkkikengien yhteydessä oli maininta, että ne voidaan valmistaa myös ruostumattomasta teräksestä, jolloin ne soveltuvat käytettäväksi

käyttöluokassa 3. Rothoblaasin ALUMAXI- ja ALUMEGA-kiinnikkeet valmistetaan alumiiniseoksesta, mutta niidenkin käyttöluokaksi oli ilmoitettu 1 ja 2. Simpson Strong-Tien BTALU-piilopalkkikengää voidaan käyttää lisäksi käyttöluokassa 3, mutta sitä ei valmisosana löytynyt yhtä suurta kokoa kuin BT-piilopalkkikengää.

8.1.1 Täydentävät suunnitteluohjeet

Simpson Strong-Tien BSD- ja BSDI-palkkikengien ja FraP Metallin siivekkeellisten palkkikengien ETA-dokumenttien suunnitteluohjeet noudattavat pääosin samaa linjaa. Esimerkiksi molemmissa määritellään, että sekundääripalkin ja primääripalkin väli ei saa olla yli kolmea millimetriä eikä sekundääripalkki saa olla kolmea millimetriä palkkikengän sisäleveyttä kapeampi. Lisäksi sekundääripalkin korkeuden tulee molemmissa olla 20 millimetriä ylintä liitintä korkeampi. Tämä johtuu siitä, että palkkikengien ETA-dokumenteissa annetut suunnitteluohjeet perustuvat monilta osin Eurokoodissa 5 tai muissa vastaavissa säännöksissä annettuihin määräyksiin. Esimerkiksi Simpson Strong-Tien ja FraP Metallin siivekkeellisten palkkikengien ohjeissa määritellään sekundääripalkin vähimmäisleveyttä naulojen pituuden ja halkaisijan mukaan. Nämä perustuvat Eurokoodin 5 ohjeisiin naulojen tunkeumasyvyyksistä.

Kestävyyksien laskemiseen annetut kaavat ovat myös hyvin samanlaisia Simpson Strong-Tien ja FraP Metallin siivekkeellisillä palkkikengillä. Esimerkiksi ylöspäin ja alaspäin suuntautuvien voimien laskennassa ainoa ero on Simpson Strong-Tien palkkikengien laskentakaavoissa esiintyvä kalibrointikerroin. Kun verrataan kaavojen ensimmäistä lauseketta Eurokoodissa 5 annettuun kaavaan (2) kestävyys tehollisesta ominaisarvosta yhdelle liitinriville, huomataan sen olevan hyvin samankaltainen. Kaavoja tarkasteltaessa huomataan muutenkin, että ne perustuvat pitkälti käytettävien liitinten kestävyys-teen ja määrään.

Palkkikengien ETA-dokumenteissa on määritelty, millaisia nauloja tai ruuveja palkkikengien kanssa tulee käyttää. Liittimien halkaisijaa rajoittavat

palkkikengissä olevat reiät. Liittimet eivät saa olla yhtä millimetriä reikiä pienempiä, mutta toisaalta ne eivät myöskään voi olla reikiä suurempia. Kiinnityksessä käytettävillä liittimillä on suuri vaikutus liitoksen kestävyysasteeseen, minkä vuoksi valmiiksi annettujen kantavuuksien yhteydessä on kerrottu, mille liittimille ne on laskettu.

Palkkikengien ETA-dokumenteissa mainitaan naulojen kestävyysasteen laskemisen yhteydessä oletus paksusta teräslevystä. Tällä viitataan Eurokoodissa 5 esitettyihin laskentakaavoihin puikkoliittimien kestävyysasteen ominaisarvojen laskemisesta ohuiden ja paksujen teräslevyjen tapauksessa. ETA-dokumentissa esitettyjen täydentävien suunnitteluohjeiden lisäksi onkin aina huomioitava muut annetut määräykset liitoksen suunnittelusta.

8.1.2 Esimerkkilaskujen tulokset

Kappaleessa 7 laskettiin palkkikengillä toteutettaville liitoksille kestävyysasteita esimerkin omaisesti. Simpson Strong-Tien palkkikengälle BSD(I) naulauslevynauloilla CNA4,0x75 täydellä kiinnityksellä laskettu kestävyysaste oli suurempi kuin taulukoitu arvo, joka oli laskettu naulauslevynauloilla CNA4,0x60. Näin ollen vaikuttaisi, että pidemmällä naulalla saavutetaan parempi kestävyysaste. Tämä johtuu siitä, että CNA4,0x75 naulalle annetut kestävyysasteen ominaisarvot ovat suurempia kuin CNA4,0x60 naulalle annetut arvot.

Kestävyysaste laskettiin lisäksi osittaiselle kiinnitykselle. Osittaisessa kiinnityksessä nauvoja tuli primääripalkkiin puolet vähemmän ja sekundääripalkkiin lähes puolet vähemmän kuin täydessä kiinnityksessä. Samalla kestävyysasteelle laskettu arvo aleni lähes puoleen täyden kiinnityksen arvosta. Naulojen määrällä on tämän perusteella suuri vaikutus liitoksen kestävyysasteeseen.

BSD(I)-palkkikengällä toteutetulle liitokselle laskettiin kestävyysaste vielä käyttäen CSA5,0x80 naulauslevyruuveja. Naulauslevyruuveilla laskettu kestävyysaste oli selvästi naulauslevynauloilla laskettua kestävyysastetta suurempi. Tämä selittyy naulauslevyruuvien suuremmilla kestävyysasteen ominaisarvoilla. Voidaankin

todeta, että liitoksen kestävyysvaikutusta on sillä, millaisia puikkoliittimiä liitoksessa käytetään. On kuitenkin huomioitava, että käytettävät palkkikengät asettavat rajoituksia sille, millaisia liittimiä niiden kanssa voidaan käyttää, jolloin mahdollisuudet kestävyyskasvattamiseen ovat rajalliset. Jonkin verran liittimien valinnalla voidaan kuitenkin vaikuttaa.

Simpson Strong-Tien piilopalkkikengälle BT600 laskettiin puun tiheyden mukaan korotetut kestävyysvaikutukset. Näiden lisäksi tarkasteltiin ominaisarvoista laskettuja mitoitusarvoja. On aina muistettava, että ETA-dokumenteissa annetut arvot ovat ominaisarvoja. Mitoitusarvojen laskennassa on otettava huomioon materiaalien osavarmuusluvut sekä muunnoskerroin k_{mod} . Ohjeet näiden käyttämiseen on annettu Eurokoodissa 5. Mitoitusarvoista havaittiin niiden olevan lasketussa tapauksessa huomattavasti ominaisarvoja pienempiä. Tämän vuoksi tulee aina muistaa käyttää suunnittelussa mitoitusarvoja.

Piilopalkkikengän BT600 osalta tarkasteltiin myös yhdistettyä kestävyysvaikutusta kahden voiman vaikuttaessa yhtä aikaa. Havaittiin, että liitos ei kestäisi näiden voimien yhdistettyä vaikutusta. Vaikka liitosta rasittavat voimat oletettiin mitoitusarvoja pienemmiksi, oli niiden yhdistetty vaikutus silti liian suuri. Liitosten suunnittelussa onkin tärkeää ottaa huomioon kaikki liitokseen eri suunnista vaikuttavat voimat ja tarkistaa niiden yhteisvaikutus.

Rothoblaasin ALUMAXI-piilokannattimelle oli taulukoitu kestävyys 80 millimetrin pituisilla nauloilla ja ruuveilla. Esimerkkilaskussa kestävyys laskettiin 100 millimetrin pituisilla ruuveilla ja se oli noin 30 kN suurempi kuin taulukoitu kestävyys. Laskettu arvo on kuitenkin vain suuntaa antava, koska ruuvien kestävyys ei ollut laskettu Eurokoodin 5 määräysten mukaisesti vaan oli käytetty taulukoitua arvoa, joka oli annettu ohuemmalle teräslevylle kuin piilokannattimessa todellisuudessa oli. Lisäksi tulisi huomioida käytettävien puuosien kestävyys.

Esimerkkilaskuissa on muutenkin käytetty naulojen ja ruuvien kestävyysvaikutusta valmiita taulukoituja arvoja laskujen yksinkertaistamiseksi. Näin ollen saadut tulokset ovat ainoastaan suuntaa antavia. Puikkoliittimien kestävyysvaikutukset on

suositeltavaa laskea Eurokoodissa 5 annettujen ohjeiden mukaisesti tarkempien tulosten saamiseksi.

8.2 Suurille kuormille soveltuvat pilarikengät

Suuremmille rakenteille tarkoitettuja pilarikenkiä löytyi ainoastaan kahdelta valmistajalta, jotka olivat Simpson Strong-Tie ja Rothoblaas (liite 2). Simpsonin pilarikengästä oli saatavilla versio, joka voidaan joko valaa suoraan betoniin tai kiinnittää betoniin pulteilla. Betoniin valettavalle versiolle kantavuus pystysuuntaiselle kuormalle oli 272,2 kN tai 187,9 kN/ k_{mod} riippuen siitä kumpi arvoista on pienempi. Pulteilla kiinnitettävän version kestävyys oli 272,2 kN tai 256,9 kN/ k_{mod} . Rothoblaasin pilarikengän kantavuus oli suurempi eli yli 300 kN. Tämän suuremmille kuormituksille ei kuitenkaan pilarikenkien osalta valmiita ratkaisuja löytynyt.

Molempien valmistajien pilarikengät soveltuvat käytettäväksi käyttöluokissa 1, 2 ja 3. Pilarikenkien malli mahdollistaa pilarin nostamisen irti perustuksista, jolloin kosteus ei pääse siirtymään pilariin. Pilarikengille on annettu valmiiksi taulukoidut kantavuusarvot. Niissä puun ominaistiheys on 350 kg/m³. ETA-dokumenttien ohjeissa kuitenkin todetaan, että samoja kantavuusarvoja tulee käyttää myös tiheydeltään suuremmalle puutavaralle.

9 JOHTOPÄÄTÖKSET

Opinnäytetyön lähtökohtana oli koota tietoa liimapuurakenteisen pilari-palkkirungon liitoksista ja niissä käytettävistä valmisosista. Kaikkia pilari-palkkirungossa esiintyviä liitostyyppöjä ei kuitenkaan lähdetty käsittelemään vaan tutkimus rajattiin palkki-palkki- ja pilari-palkkiliitoksiin sekä perustusliitoksiin. Selvisi, että palkki-palkki- ja pilari-palkkiliitoksissa yleisesti käytetty valmisosa on palkkikengä. Perustusliitoksista käytettävistä valmisosista päätettiin keskittyä pilarikenkiin.

Aihe oli lisäksi rajattu koskemaan liitoksia, joita rasittavat suuret kuormitukset. Kun lähdettiin kartoittamaan eri valmistajilta löytyviä palkkikengkiä, selvisi nopeasti, että vaikka erilaisia palkkikengkiä on markkinoilla paljon vain harvat niistä soveltuvat suuriin liimapuurakenteisiin ja isoille kuormille. Lisäksi kattavia teknisiä tietoja kapasiteetteineen löytyi vain kahdelta valmistajalta. Löytyneistä palkkikengistä koottiin kaikki saatavilla oleva tieto taulukkoon, josta nähdään, millaisia palkkikengkiä on saatavilla. Erityisesti esiin nousivat hieman perinteisistä palkkikengistä poikkeavat Rothoblaasin ALUMAXI- ja ALUMEGA-piilokannattimet, joiden kapasiteetit aidosti riittävät suuremmillekin kuormituksille. Erityisesti vasta markkinoille tulossa oleva ALUMEGA-kannatin vaikutti erittäin lupaavalta yhdisteltävyytensä ansiosta.

Puurakenteisten liitosten suunnittelua käytiin läpi nimenomaan liitososien kannalta sekä ETA-dokumenteista löytyneiden täydentävien suunnitteluohjeiden avulla. Täydentävien suunnitteluohjeiden havaittiin pohjautuvan monelta osin Eurokoodissa 5 esitettyihin määräyksiin. Kestävyyden laskemiseksi annettuja kaavoja tarkasteltaessa havaittiin, että ne perustuvat pitkälti liitoksessa käytettävien puikkoliittimien kestävyteen ja määrään. Suunnitteluohjeiden mukaan lasketuissa esimerkkilaskuissa vahvistuikin, että käytettäessä suuremman ominaiskestävyyden omaavia puikkoliittimiä, koko liitoksen kestävyys on isompi. Myös käytettävien puikkoliittimien määrän huomattiin vaikuttavan suoraan liitoksen kestävyteen. Palkkikengissä olevien reikien koko ja määrä sekä liitettävien palkkien paksuus asettavat rajoituksia käytettäville puikkoliittimille, joten kestävyden kasvattaminen pelkästään puikkoliittimien avulla on rajallista.

Valmistajille myönnettyistä ETA-dokumenteista pyrittiin keräämään tiivistetysti käytettävyyden kannalta oleellista tietoa sekä mitoittamiseen käytettäviä laskentakaavoja. Näin voidaan arvioida liitososien soveltuvuutta suunniteltavaan kohteeseen ilman, että on käytävä koko ETA-dokumenttia läpi jo arviointivaiheessa. Tällä voidaan taulukoiden lisäksi helpottaa ja nopeuttaa liitososien valintaa.

10 POHDINTA

Opinnäytetyön tavoitteena oli helpottaa ja nopeuttaa suunnittelua kokoamalla saatavilla olevaa tietoa yhteen. Tätä lähdettiin toteuttamaan laatimalla eri valmistajien palkkikengistä ja pilarikengistä taulukot, joista tiedot löytyvät tiivistysti. Vaikka suurille kuormille soveltuvia valmisosia ei ollut paljon saatavilla, erityisesti palkkikengistä löytyi muutamia varteenotettavia vaihtoehtoja. Pilarikenkien osalta tulokset jäivät heikommiksi. Taulukosta on kuitenkin nähtävissä, millaisille kuormille pilarikenkiä löytyy ja minkä jälkeen on mietittävä muita vaihtoehtoja.

Suunnittelun helpottamiseksi taulukoitujen valmisosien ETA-dokumentteja käytiin läpi ja niistä pyrittiin kokoamaan oleellista tietoa opinnäytetyön raporttiin. Näin voidaan tarkastella valittuja valmisosia tarkemmin ja tutkia niiden soveltuvuutta omaan kohteeseen ilman, että on avattava koko ETA-dokumenttia, jotka usein sisältävät paljon tietoja monista eri tuotteista.

Valmisosia kehitetään kuitenkin jatkuvasti ja markkinoille tuodaan uusia tuotteita. Hyvä esimerkki tästä on Rothoblaasin ALUMEGA-kannatin, joka oli opinnäytetyön tekohetkellä vasta tulossa markkinoille. Jotta taulukosta ja muusta kootusta tiedosta olisi hyötyä myös tulevaisuudessa, tulisi sitä päivittää säännöllisesti. Tämä vaatisi julkaistavien uusien tuotteiden kartoittamista aktiivisesti sekä niistä saatavan tiedon kokoamista taulukkoon tai muuhun vastaavaan alustaan, joka on kaikkien saatavilla.

Opinnäytetyössä esitetyissä esimerkkilaskuissa puikkoliittimien kestävyys ominaisarvoja ei laskettu Eurokoodissa 5 esitettyjen ohjeiden mukaisesti vaan ne poimittiin valmistajien antamista taulukoista. Tällä tavalla saatiin helposti laskettua suuntaa antavia tuloksia liitosten kestävydestä. Taulukoidut arvot eivät kuitenkaan kaikissa tapauksissa täysin vastanneet kyseessä olevaa tilannetta. Tämän vuoksi saatuja tuloksia ei voida pitää täysin luotettavina. Niistä voidaan kuitenkin päätellä, millaisia vaikutuksia erilaisilla puikkoliittimillä on liitosten kestävyys.

Oma tietämys liitososien käytöstä puurakenteissa oli melko vähäistä ennen opinnäytetyön aloittamista. Tämän vuoksi aiheeseen piti perehtyä monin tavoin jo ennen työn varsinaista aloittamista sekä työn edetessä. Laajan aineiston pohjalta oli ajoittain hankalaa löytää tutkimuksen kannalta olennainen tieto aiheesta. Toisaalta kattavan aineiston läpikäyminen auttoi lisäämään osaamistani monipuolisesti myös työn varsinaisen aiheen ulkopuolelta.

10.1 Tutkimuksen eteneminen

Tutkimusta lähdettiin toteuttamaan perehtymällä liimapuuhun rakennusmateriaalina. Tämän jälkeen selvitettiin pilari-palkkirungon rakennetta ja erityisesti siinä käytettäviä liitoksia. Aineistoa aiheesta kerättiin laajasti ja sitä analysoitiin samalla. Analysoinnin perusteella päätettiin keskittyä erityisesti pilari-palkki- ja palkki-palkkiliitoksiin sekä perustusliitoksiin. Näistä kootun tiedon pohjalta valittiin tarkempaan tarkasteluun palkkikengät ja pilarikengät.

Palkkikengistä ja erityisesti niiden mitoittamisesta tietoa löytyi parhaiten valmistajien ETA-dokumenteista. Niistä pyrittiin keräämään olennaisin tieto työhön. Tukea liitososien mitoittamiseen puurakenteissa etsittiin erityisesti eurokoodista sekä sitä selittävistä oppaista. Saavutetun tietämyksen pohjalta lauskettiin esimerkkilaskuja palkkikengien kestävydestä erilaisilla puikkoliittimillä. Pilarikengien osalta mitoittamisesta löydetyt tiedot jäivät vähäisiksi. Niistä oli annettu pääasiassa valmiita taulukoita, joista kestävyksiä selvitettiin. Lopuksi pyrittiin vielä kokoamaan saadut tulokset yhteen sekä miettimään yhteyksiä kerätyn tiedon välillä.

10.2 Lähteiden arviointi

Valmistajille myönnetyt ETA-dokumentit olivat tärkeitä lähteitä valmisosien tietoja ja suunnitteluohjeita selvitettäessä. Kyseisiä dokumentteja voidaan pitää luotettavina tiedon lähteinä, koska ne ovat ulkopuolisen arvioijan hyväksymiä. Valmistajien ETA-dokumentteja läpi käytäessä varmistettiin aina, että käytössä on viimeisin versio. Samoin toimittiin tuoteluetteloiden kanssa ja lisäksi

verrattiin niissä esiintyviä tietoja valmistajien kotisivujen tietoihin sekä ETA-dokumentteihin. Tiedoissa havaittiin jonkin verran ristiriitaisuuksia eri lähteiden välillä. Näissä tapauksissa pyrittiin varmistamaan tiedon oikeellisuus.

Suunnitteluun ja mitoitukseen liittyvissä asioissa pääasiallisena lähteenä ETA-dokumenttien lisäksi olivat standardit sekä RIL:n julkaisema Puurakenteiden suunnitteluohje, joka perustuu eurokoodiin. Standardeista käytössä olivat viimeisimmät voimassa olevat versiot.

Opinnäytetyössä on käytetty lisäksi useita Puuinfo Oy:n tuottamia materiaaleja. Niistä on valittu pääsääntöisesti uusimpia julkaisuja, mutta mukana on myös muutama vanhempi teos. Näistä saadun tiedon on kuitenkin katsottu olevan edelleen ajankohtaista. Puuinfo on tunnettu toimija puurakentamisen kentällä, joten sen tuottamiin materiaaleihin voidaan luottaa.

Lähteitä lainattaessa niiden yhteyteen on kirjattu lähdemerkinnät. Lähdeluettelosta löytyvät laajemmat tiedot lähteistä, joiden perusteella alkuperäinen aineisto on löydettävissä. Opinnäytetyötä kirjoitettaessa on pyritty välittämään alkuperäisen lähteen ajatus asianmukaisesti ja oikein.

10.3 Jatkotutkimukset

Palkkikenkien osalta olisi mielenkiintoista perehtyä lisää erilaisten puikkoliittimien vaikutukseen liitosten kestävyys. Tutkimusta voisi jatkaa selvittämällä, millaisia puikkoliittimiä on saatavilla ja miten ne soveltuvat erilaisille palkkikengille. Myös markkinoille tulossa olevan ALUMEGA-kannattimen mahdollisuuksien tutkiminen ja sen soveltuvuus erilaisiin liitoksiin olisi kiinnostava aihe. Perustusliitoksiin soveltuvista valmisosista tarkasteltiin tarkemmin ainoastaan pilarikenkiä. Tutkimusta kannattaisi laajentaa muihin saatavilla oleviin valmisosiin ja selvittää niiden käyttömahdollisuuksia ja saatavuutta.

Simpson Strong-Tien ETA-dokumentissa kerrottiin palkkikenkien kantavuuden ominaisarvojen perustuvan testaukseen tai testauksella avustettuun

laskentaan. Tutkimusta voisi jatkaa selvittämällä, miten kokeellisesti saadut arvot poikkeavat teoreettisesti lasketuista arvoista. Edelleen voisi perehtyä siihen, miten eri valmistajien tarjoamat laskentaohjelmistot soveltuvat käytettäväksi rakennesuunnittelun yhteydessä ja sen eri vaiheissa.

Teorian lisäksi tutkimusta voisi laajentaa jo tehtyihin suunnitteluratkaisuihin erilaisissa kohteissa. Miten valmisosia on rakennetuissa kohteissa käytetty? Miten liitoksia on käytännössä mitoitettu ja miksi valittuihin ratkaisuihin on päädytty? Tämän ohessa voisi miettiä vaihtoehtoisia ratkaisuja tai suunnitella toimivampia ratkaisuja tuleviin kohteisiin.

LÄHTEET

- A-Insinöörit. (n.d.). Puurakennesuunnittelu. Noudettu osoitteesta <https://www.ains.fi/palvelut/rakennesuunnittelu/puurakennesuunnittelu>
- ETA-04/0013. (2019). CNA Connector nails and CSA Connector screws. Noudettu osoitteesta https://www.strongtie.fi/sites/default/files/field_media_file_2/2022/06/24/111428/eta040013-sst-cna-csa-r3-2019-cor1.pdf
- ETA-06/0270. (2023). Simpson Strong-Tie Joist Hangers. Noudettu osoitteesta https://www.strongtie.fi/sites/default/files/field_media_file_2/2023/01/24/120247/eta-060270-sst-rev-8-2022.pdf
- ETA-07/0245. (2018). SIMPSON STRONG-TIE® concealed beam hangers. Noudettu osoitteesta https://www.strongtie.fi/sites/default/files/field_media_file_2/2022/06/24/103558/eta070245-sst-je-ch-r6-2018-v01.pdf
- ETA-07/0285. (2021). Simpson Strong-Tie Hold Downs & Post Bases. Noudettu osoitteesta https://www.strongtie.fi/sites/default/files/field_media_file_2/2022/06/24/105705/eta070285-sst-pb-hd-r9-2021.pdf
- ETA-08/0063. (2018). FraP Joist Hangers. Noudettu osoitteesta https://frapmetall.com/content/downloads/ETA-08-0063_FMG_Joist_hangers.pdf
- ETA-09/0361. (2019). Three-dimensional nailing plate (Joist bearings). Noudettu osoitteesta <https://www.rothoblaas.com/products/fastening/brackets-and-plates/concealed-connections/alumaxi>
- ETA-10/0422. (2019). Rotho Blaas GmbH/srl post bases type. Noudettu osoitteesta <https://www.rothoblaas.com/products/fastening/brackets-and-plates/pillar-bases/s50>
- ETA-12/0139. (2017). MiTek palkkikengät. Noudettu osoitteesta https://cdn.mitekea.com/wp-content/uploads/sites/21/2019/10/30131526/ETA-12_0139_Mitek_-_Joist-hangers.pdf
- ETA-13/0348. (2018). FraP concealed beam hangers. Noudettu osoitteesta https://frapmetall.com/content/downloads/ETA-13-0348_FMG_Concealed_beam_hangers.pdf
- FraP Metall GmbH. (n.d.). Joist hangers. Haettu 02.03.2023 osoitteesta <https://shop.frapmetall.com/joist-hangers/?p=1>
- ISO 12944-2:2017. (2017). Maalit ja lakat. Teräsrakenteiden korroosionesto suojamaaliyhdistelmillä. Osa 2: Ympäristöolosuhteiden luokittelu. International Organization for Standardization. Noudettu osoitteesta <https://online.sfs.fi>
- Kananen, J. (2019). Opinnäytetyön ja pro gradun pikaopas: Avain opinnäytetyön ja pro gradun kirjoittamiseen. Jyväskylän ammattikorkeakoulu.

Keronen, A. (2009). Puuhallin rakenteet: Esisuunnittelu ja valintaperusteet. Puuinfo. Noudettu osoitteesta <https://puuinfo.fi/wp-content/uploads/2020/07/090202-puuhallin-rakennesuunnittelu.pdf>

Lahtela, T. (2022). Teollinen puurakentaminen: 2.1 Pilari-palkkirunko [Power-Point-diat]. Puuinfo. Haettu 27.1.2023 osoitteesta <https://puuinfo.fi/koulu-tus/teollisen-puurakentamisen-oppimateriaali-tpuur-aineistot/>

MiTek Finland Oy. (n.d.-a). Palkkikenkä. Haettu 02.03.2023 osoitteesta <https://www.mitek.fi/rakennuskiinnikkeet/palkkikenka/>

MiTek Finland Oy. (n.d.-b). Rakennuskiinnikkeiden valinnan perussäännöt. Haettu 23.04.2023 osoitteesta <https://www.mitek.fi/2020/06/18/rakennuskiinnikkeiden-valinnan-perussaannot/>

Ojasalo, K., Moilanen, T. & Ritalahti, J. (2015). Kehittämistyön menetelmät: Uudenlaista osaamista liiketoimintaan (3.–4.painos). Sanoma Pro.

Puuinfo Oy. (2020a). Puurakenteiden lyhennetty suunnitteluohje (Viides painos). Noudettu osoitteesta <https://puuinfo.fi/wp-content/uploads/2020/07/Eurokoodi-5-Lyhennetty-suunnitteluohje-5.-PAINOS-2020-P%C3%84IVITYS-22.7.-web.pdf>

Puuinfo Oy. (23.6.2020b). Liimapuu. Noudettu osoitteesta <https://puuinfo.fi/puutieto/insinoorituotteet/liimapuu-glt/>

Puuinfo Oy. (10.7.2020c). Rakenteet: Pilari-palkkirakenteet. Noudettu osoitteesta <https://puuinfo.fi/rakenteet/pilari-palkkirakenteet/>

Puuinfo Oy. (22.3.2023). HalliPES 1.0. Noudettu osoitteesta <https://puuinfo.fi/suunnittelu/ohjeet/halli-pes/>

RIL 205-1-2017. (2017). Puurakenteiden suunnitteluohje. Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL.

ROTHO BLAAS SRL. (n.d.-a). Liittimet ja liitoslevyt puurakentamiseen; rakennukset, rakenteet ja ulkotilat. Noudettu osoitteesta <https://issuu.com/rothoblaas/docs/2-liittimet-ja-liitoslevyt-puurakentamiseen?mode=embed>

ROTHO BLAAS SRL. (n.d.-b). ALUMEGA, Pinned connection for post and beam. Noudettu osoitteesta <https://www.rothoblaas.com/products/fastening/brackets-and-plates/concealed-connections/alumega>

Salminen, A. (2011). Mikä kirjallisuuskatsaus? Johdatus kirjallisuuskatsauksen tyyppeihin ja hallintotieteellisiin sovelluksiin. Vaasan yliopiston julkaisuja. Noudettu osoitteesta https://www.uwasa.fi/materiaali/pdf/isbn_978-952-476-349-3.pdf

SFS-EN 1995-1-1. (2014). Eurokoodi 5. Puurakenteiden suunnittelu. Osa 1–1: Yleiset säännöt ja rakennuksia koskevat säännöt. Suomen Standardisointiliitto. Noudettu osoitteesta <https://online.sfs.fi>

Simpson Strong-Tie. (n.d.-a). Palkkikenkä. Haettu 27.02.2023 osoitteesta <https://www.strongtie.fi/fi-FI/tuotelinjat/rakennuskiinnikkeiden/palkkikenka>

Simpson Strong-Tie. (n.d.-b). Pilarikengät. Haettu 15.04.2023 osoitteesta <https://www.strongtie.fi/fi-FI/tuotelinjat/rakennuskiinnikkeiden/pilarikengat>

Suomen Liimapuu yhdistys ry & Puuinfo Oy. (2014). Liimapuukäsikirja osa 1. Noudettu osoitteesta <https://puuinfo.fi/wp-content/uploads/2020/07/Liimapuuk%C3%A4sikirja-Osa-1.pdf>

Suomen Liimapuu yhdistys ry & Puuinfo Oy. (2015). Liimapuukäsikirja osa 2. Noudettu osoitteesta <https://puuinfo.fi/wp-content/uploads/2020/07/Liimapuuk%C3%A4sikirja-Osa-2.pdf>

Tuomi, S., Kunnela, A. & Luukkonen, A. (2022). Opinnäytetyön ohjaajan käsikirja – Thesis Tutor Handbook. Jyväskylän ammattikorkeakoulu. Haettu 22.1.2022 osoitteesta <https://oppimateriaalit.jamk.fi/yamk-kasikirja/>

Versowood. (2019). Verso liimapuu - kotimainen ja ekologinen laatutuote [esite]. Noudettu osoitteesta <https://online.flowpaper.com/789c0735/VersowoodLiimapuuesite/>

Ympäristöministeriö. (n.d.). Puurakentamisen ohjelma. Noudettu osoitteesta <https://ym.fi/puurakentaminen>

LIITE 1: PALKKIKENGÄT

Valmistaja	Tuotenimi	Tyyppi	Materiaali	Käyttöluokka	Liitoskiinnikkeet [kpl]		Kestävyyden ominaisarvo [kN]			
					Täysi kiinnitys	Sekundaari	R _{1,k}	R _{2,k}	R _{3,k}	R _{4,k}
Simpson Strong-Tie	BSD	Siivekkeet ulos	S250GD + Z275	1,2	60	30	75,5	70,8	28,6	
Simpson Strong-Tie	BSDI	Siivekkeet sisään	S250GD + Z275	1,2	60	30	75,5	70,8	28,6	
Simpson Strong-Tie	BT	Piilopalkkikengä	S250GD + Z275	1,2	112/116	12	196,8	180,4	25,4	66,5
Simpson Strong-Tie	BTALU	Piilopalkkikengä	EN AW-6082 T6	1, 2, 3	44	6	70,3	70,3	9,8	21,6
Rothoblaas	BSAG	Siivekkeet ulos	S250GD + Z275	1,2	46	30	75,6		31,3	
Rothoblaas	BSIG	Siivekkeet sisään	S250GD + Z275	1,2	46	30	75,6		31,6	
Rothoblaas	ALUMAXI	Piilokannatin	EN AW-6005A	1,2	120	15	369,0		78,0	198,0
Rothoblaas	ALUMEGA	Piilokannattimet	EN AW-6082	1,2			490			
FraP Metall	FMG Joist hanger	Siivekkeet ulos	DX51D + Z S320GD + Z275	1,2	44	24				
FraP Metall	FMG Joist hanger	Siivekkeet sisään	DX51D + Z S320GD + Z275	1,2	40	22				
FraP Metall	FMG Joist end support bracket	Piilopalkkikengä	DX51D + Z275	1,2	22	6				
MiTek	Special Palkkikengä	Siivekkeet sisään / ulos	DX51D + Z S320GD + Z275	1,2						

LIITE 2: PILARIKENGÄT

Valmistaja	Tuotenro	Materiaali	Käyttöluokka	Liitoskiinnikkeet [kp]		Kestävyyden ominaisarvo [kN]							
				Määrä	Tyyppi	$R_{1,k}$		$R_{2,k}$		$R_{3,k}$		$R_{4,k}$	
						Min	/k _{mod}	Min	/k _{mod}	Min	/k _{mod}	Min	/k _{mod}
Simpson Strong-Tie	PISMAXIG	S235JR	1, 2, 3	2	Ø12	272,2	187,9 /k _{mod}	42,1	27,5	24 /k _{mod}	12,3		
Simpson Strong-Tie	PISBMAXIG-B	S235JR	1, 2, 3	2	Betoni	272,2	256,9 /k _{mod}	42,1	27,5	14,1 /k _{mod}	12,3		
Rothblaas	S50	S235JR	1, 2, 3	4	Betoni	324,0	$R_{1,c,k}$ timber	$R_{1,c,k}$ steel (V _{M0})	247,0	$R_{1,c,k}$ steel (V _{M1})	351,0		-