

Liimapuuhallin ristikkojäykistysliitos

LAB-ammattikorkeakoulu
Insinööri (AMK), Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka
2023
Topi Hänninen

Tiivistelmä

Tekijä(t) Hänninen Topi	Julkaisun laji Opinnäytetyö, AMK	Valmistumisaika 2023
	Sivumäärä 69	
Työn nimi Liimapuuhallin ristikkojäykistysliitos		
Tutkinto Insinööri (AMK)		
Toimeksiantajan nimi, titteli ja organisaatio AFRY Finland Oy		
Tiivistelmä <p>Työn tarkoituksena oli kehittää liimapuuhalliin vakioitu ristikkojäykistysliitos hyödyntämällä Anstarin valmista betonielementtirungolle tarkoitettua ristikkoliitosratkaisua. Opinnäytetyössä tutkittiin yhdeksän kuvitteellisen liimapuuhallin pituussuuntaisia jäykistysvoimia, liitoksen voimien siirtymistä liimapuuhun ja optimaalista liitosta jäykistysvoimille.</p> <p>Työn teoriaosuus käsittelee liitoksen kehittämiseen vaikuttavia liimapuun ominaisuuksia ja liimapuuhallin jäykistämistä. Jäykistysvoimat ja liitoksen kestävyudet laskettiin käsin Eurokoodin mukaisesti. Liitoksen leikkauskestävyyttä ei voitu tarkasti selvittää liitoksessa olevan muhvin ja liimauksen takia. Kestävyyden varmistamiseksi suunniteltiin koekuormitus, jonka tuloksia ei käydä läpi tässä opinnäytetyössä.</p> <p>Tutkimuksessa selvisi liimapuuhallien jäykistyskuormat, jäykistysliitoksen laskennallinen veto-, puristus- ja leikkauskestävyys ja optimaalisin liitos. Kehitetyn liitoksen kestävyys riittää tutkittujen liimapuuhallien jäykistyskuormille ja kestävyyttä on mahdollista kasvattaa muuttamalla liitoksen dimensioita. Liitoksen haasteena on liimapuun kosteuseläminen ja palosuojaus.</p>		
Asiasanat Puuliitos, Jäykistysliitos, Liimapuu, Liimapuuhalli, Ristikkoliitos		

Abstract

Author(s) Hänninen Topi	Type of Publication Thesis, UAS	Published 2023
	Number of Pages 69	
Title of Publication Lattice bracing joint of a glulam hall		
Name of Degree Engineer (UAS)		
Name, title and organization of the client AFRY Finland Oy		
Abstract <p>The purpose of the work was to develop a standardized stiffening truss joint for a glued laminated timber hall, utilizing Anstar's pre-designed truss joint solution for a concrete element frame. The study examined the longitudinal stiffening forces of nine hypothetical glued laminated timber halls, the transfer of forces to the glued laminated timber, and the optimal joint for stiffening forces.</p> <p>The theoretical part of the work discusses the properties of glued laminated timber that affect joint development and stiffening of glued laminated timber halls. Stiffening forces and joint resistances were calculated manually according to Eurocode. The joint's shear resistance could not be accurately determined due to the presence of the sleeve and adhesive in the joint. To ensure resistance, a load test was designed, the results of which are not presented in this thesis.</p> <p>The study revealed the stiffening loads of glued laminated timber halls, the calculated tensile, compressive, and shear resistance of the stiffening joint, and the optimal joint. The developed joint's strength is sufficient for the investigated stiffening loads of glued laminated timber halls, and the resistance can be increased by changing the joint's dimensions. The challenge of the joint is the moisture movement of the glued laminated timber and fire protection.</p>		
Keywords Wood joint, Stiffening joint, Glued wood, Glued wood hall, Truss joint		

Sisällys

1	Johdanto.....	1
1.1	Työn tausta.....	1
1.2	Työn tavoitteet ja rajaus.....	1
1.3	Tutkimus- ja työmenetelmät.....	1
1.4	Toimeksiantajat	2
2	Liimapuu rakennusmateriaalina	3
2.1	Edut ja valmistus	3
2.2	Lujuusominaisuudet.....	5
2.3	Kosteuskäyttäytyminen.....	6
2.4	Palotekniset ominaisuudet.....	9
2.5	Käytettävät mitat.....	11
3	Liimapuuhallin kokonaisjäykistäminen vaakavoimia vastaan	12
3.1	Yleistä.....	12
3.2	Kuormat.....	12
3.3	Jäykistysperiaatteet	13
3.3.1	Pystyjäykisteet.....	13
3.3.2	Vaakajäykistys.....	17
3.4	Kokonaisjäykistys	17
4	Jäykistyskuormien laskennan selostus	18
4.1	Perustiedot	18
4.2	Hallikombinaatioiden jäykistysperiaate.....	19
4.3	Kuormat.....	20
4.3.1	Tuulikuorma.....	20
4.3.2	Lumikuorma.....	25
4.3.3	Pysyvät kuormat	28
4.3.4	Lisävaakavoima	28
4.3.5	Kiepahdustuen voima	29
4.4	Kuormitusyhdistelmät	31
4.5	Tulokset.....	32
5	Jäykistysliitos.....	33
5.1	Ristikkoliitostuotteet ADE ja ADK.....	33
5.2	Jäykistysristikon puuliitos.....	35
5.3	Liitoksen hyödyt.....	37
5.3.1	Kosteusmuodonmuutokset	38
5.3.2	Palosuojaus	38

6	Liitoksen kestävyyslaskennan selostus.....	41
6.1	Voimien siirtyminen teräkseltä puuhun.....	41
6.1.1	Puikkoliitosteoria.....	43
6.1.2	Syysuuntaan kohtisuora puristus.....	46
6.1.3	Pituussuunnassa kuormitetut kierretangot.....	47
6.2	Teräslevyn taivutuskestävyys.....	49
6.3	Epäkeskisyys.....	51
7	Liitoksen optimointi.....	53
7.1	Yleistä.....	53
7.2	Leikkauskestävyys.....	53
7.3	Liimapuun puristus- ja vetokestävyys.....	55
7.4	Pohdinta ja tulokset.....	57
8	Koekuormitus.....	61
8.1	Tavoite.....	61
8.2	EN 26891.....	61
8.3	Koekuormitussuunnitelma.....	63
9	Yhteenveto ja pohdinta.....	66
	Lähteet.....	68

Liitteet

Liite 1. Hallikombinaation 1 jäykistyskuorman laskenta

Liite 2. Hallikombinaation 1 harjapalkin mitoitus Puuinfon Excel-alustalla

Liite 3. Liitosten leikkauskestävyyden kuvaajat

Liite 4. Liitosten puristus- ja vetokestävyyden kuvaajat

Liite 5. Liimapuun valmistuspiirustukset

Liite 6. Puuliitos ADE20 valmistuspiirustukset ja osaluettelo

Liite 7. Koekuormitustelineen valmistuspiirustukset

Liite 8. Kuormitustaltan valmistuspiirustukset

Liite 9. Koekuormitusjärjestelyt

Liite 10. Epoksiliiman tuotetiedot

Liite 11. Puuliitos ADE20 leikkauskestävyyden ominaisarvo 140 mm paksussa liimapuussa

Liite 12. Puuliitos ADE20 leikkauskestävyyden ominaisarvo 190 mm paksussa liimapuussa

1 Johdanto

1.1 Työn tausta

Puurakentamisesta on viime vuosina tullut Suomessa yhä houkuttelevampaa. Yhteiskunnalliset ja ilmastopoliittiset tarpeet edellyttävät yhä laajempaa puuhun pohjautuvia rakennusjärjestelmiä ja tuotteiden kehittämistä. Ympäristöministeriön tavoitteena on lisätä puun käyttöä niin kaupunkien rakentamisessa, julkisessa rakentamisessa kuin suurissa puurakenteissakin. Suurten puurakenteiden teollisten ratkaisujen kehittyminen edellyttää yhteisiä menetelmiä ja avoimia standardeja.

Tällä hetkellä puurakentamisessa ei ole kehittynyt samanlaisia vakiintuneita rakenneratkaisuja, kuin betoni- ja teräsrakentamisessa. Puuttuvat rakenneratkaisut ja siitä johtuvat suuremmat kokonaiskustannukset hidastavat puurakentamisen yleistymistä suurissa rakennuksissa.

Puuliitosten vakioinnilla saavutetaan monia hyötyjä. Vakioinnissa on kyse tuotteista, jotka täyttävät euronormiston. Rakennusten kuormia siirtävissä liitoksissa vakioitu ratkaisu tarkoittaa yleensä tuotteita, joilla on tuotehyväksyntä-, laadunvalvonta- ja vastuullisuusasiat kunnossa. Liitoksen kestävyys määritetään valmiiksi voimassa olevien normien mukaisesti. Tämä opinnäytetyö vastaa osaltaan puurakentamisen puutteeseen vakioiduista tuotteista puurakenteisen hallin jäykistysliitoksen osalta.

1.2 Työn tavoitteet ja rajaus

Tässä opinnäytetyössä pyritään luomaan liimapuuhallin pituussuuntaiseen jäykistykseen vakioitu liitos hyödyntämällä Anstarin betonielementtirungolle tarkoitettua ristikkoliitosratkaisua. Jäykistykseen kehitetään yksi liitos, jonka kestävyys on riittävä kaikille lasketuille jäykistyskuormille.

Aihe on rajattu käsittelemään tavanomaisten liimapuuhallien jäykistyskuormia ja siihen kehitettävää vakioitua liitosta. Vakioidun liitoksen leikkauskestävyyden varmistamiseen suunnitellaan koekuormitus. Teoriaosuudessa käsitellään liimapuuhallin jäykistystä yleisesti, liitoksen voimien siirtymistä teräkseltä puulle ja liimapuun ominaisuuksia.

1.3 Tutkimus- ja työmenetelmät

Opinnäytetyöraportin teoriaosa toteutetaan olemassa olevien kirjallisten aineistojen perusteella. Aineistoa kerätään asetuksista, standardeista, ohjeista ja kirjoista.

Liimapuuhallin pituussuuntaisen jäykistysvoimien laskemiseen käytetään aineistona liimapuukäsikirja osaa 3 ja standardeja EN 1995-1-1, EN 1991-1-4 ja EN 1991-1-3 sekä kirjoja RIL 205-1-2017, RIL 201-1-2008 ja RIL 244-2007. Liitoksen kestävyden laskennassa käytetään aineistona standardia EN 1995-1-1 ja RIL 205-1-2017 kirjaa. Liitoksen leikkauskestävyyden varmentamisen suunnitteluun koekuormituksella käytetään aineistona standardia EN 26891.

1.4 Toimeksiantajat

AFRY Finland Oy on kansainvälinen suunnittelu- ja konsulttialan pörssi-yhtiö. AFRY on syntynyt helmikuussa 2019, kun 1895 Ruotsissa perustettu ÅF osti 1958 Suomessa perustetun Pöyryn. Pääkonttori sijaitsee Tukholmassa. Yhtiön palveluksessa työskentelee maailmanlaajuisesti noin 17 000 työntekijää, joista 2800 työskentelee Suomessa. Yhtiöllä on toimistoja 50 eri maassa ja projekteja 100 eri maassa. Liikevaihto on noin 2 miljardia euroa. (AFRY 2023.)

AFRY on jaettu kuuteen eri divisioonaan, joita ovat prosessiteollisuus, rakennettu ympäristö, energia, liikkeenjohdon konsultointi, AFRY X ja teolliset ja digitaaliset ratkaisut. AFRY:n palveluihin kuuluu asiakkaiden tukeminen hankkeen koko elinkaaren ajan, alun selvityksistä ja strategisista valinnoista hanke- ja toteutussuunnitteluun sekä käytön ja ylläpidon tukeen. Toimeksiannot voivat vaihdella suurista investointihankkeista yksittäisiin suunnittelutehtäviin. AFRY:n missio on vauhdittaa muutosta kohti kestävämpää yhteiskuntaa. (AFRY 2023.)

Anstar Oy on betonirakenteiden liitososien ja liittopalkkien myyntiin ja valmistukseen erikoistunut 1981 perustettu suomalainen perheyritys. Yritys valmistaa tuotteensa Suomessa omalla tehtaalla Lahden Villähteellä. Yrityksen palveluksessa työskentelee 80 työntekijää. Anstarin kohteita on 30 eri maassa ja toimitettuja tuotteita 10 miljoonan euron edestä. Anstarin kattava tuotevalikoima nopeuttaa rakentamista ja säästää kustannuksia. (Anstar.)

2 Liimapuu rakennusmateriaalina

2.1 Edut ja valmistus

Liimapuulla tarkoitetaan lamelleista liimaamalla valmistettua rakenteellista puutuotetta. Liimapuu on kantaviin rakenteisiin tarkoitettu puutuote. Liimapuu valmistetaan vähintään kahdesta mitallistetusta sahatavarasta eli lamellista, jotka liimataan yhteen siten, että puun syyt ovat liimapuun pituussuuntaan. Lamellit ovat korkeintaan 45 mm paksuja ja yleensä sormijatkettuja, jotta rakenteesta saadaan pidempi. Liimapuu valmistetaan standardin EN 14080 mukaan. (Puuinfo 2020a.)

Liimapuun käyttö ei elinkaarensa aikana aiheuta haitallisia ympäristövaikutuksia, ja sitä voidaan kätevästi hyödyntää uudelleen esimerkiksi liimapuuna, raaka-aineena muille tuotteille tai polttaa energiaksi. Liimapuu sitoo ilmakehästä hiilidioksidia tehokkaasti, jopa yli 700 kg kuutiometriä kohti, mikä auttaa ylläpitämään ympäristön hiilitasapainoa pitkällä aikavälillä. Pohjoismaissa liimapuun raaka-aineena käytetään pääasiassa kuusta, mutta myös mäntyä ja lehtikuusta. Liimaa käytetään lamellien yhdistämiseen verrattain vähän. (Liimapuukäsikirja osa 1 2014, 15—19.)

Liimapuun valmistuksessa käytetään liimoja, jotka on tutkitusti todettu kestäviksi ja lujuudeltaan korkeiksi myös pitkäaikaisessa kuormitustilanteessa. Liimat jaetaan kahteen liimatyypin. Liimatyypin 1 mukaista liimaa voidaan käyttää kaikissa käyttöluokissa 1—3 eli sekä sääälle alttiina, että suojattuna. Liimatyypin 2 mukaista liimaa voidaan käyttää käyttöluokissa 1—2 eli sääältä suojatuissa olosuhteissa. Nykyään käytetään ympäristösyistä lähes yksinomaan melamiini-urea-formaldehydiliimaa, josta puhutaan myös MUF-liimana tai melamiiniliimana. Melamiiniliima kuuluu liimatyypin 1. (Liimapuukäsikirja osa 1 2014, 19—20.)

Liimapuuksi suositellaan käytettävän kantavissa rakenteissa lujuusluokkaa GL30c, jota myös tämän opinnäytetyön liimapuuna koekuormituksessa ja hallin jäykistysvoimien laskennassa käytetään. Kirjaimet GL tulevat englanninkielisistä sanoista Glued laminated timber eli liimapuu. Luku 30 kertoo liimapuun taiputuslujuuden ominaisarvon $f_{m,k}$ (N/mm²). Tunnuksen lopussa kirjain c tulee englanninkielisestä sanasta combined eli yhdistetty. Tämä tarkoittaa, että liimapuun poikkileikkauksessa on käytetty kahta eri lujuusluokan omaavaa lamellia. Yleensä poikkileikkauksen uloimmille lamelleille tulee suurempi jännitys, kuin keskelle poikkileikkausta. Tämän takia uloimmissa lamelleissa käytetään korkeamman

lujuusluokan lamelleja kuin keskellä (kuva 1). Näin myös liimapuun kustannuksia saadaan laskettua, koska korkeamman lujuusluokan lamellit ovat kalliimpia. (Puuinfo 2020a.)



Kuva 1. GL30c poikkileikkaus (Liimapuukäsikirja Osa 1 2014, 23)

Luokan GL30c liimapuun ulkolamellit koostuvat T22 mukaisista lamelleista ja sisälamellit lujuusluokasta T15 tai T14. Liimapuu on valmistettava siten, että vähintään uloimman kuudesosan lamellit ovat lujuusluokan T22 ulkolamelleja (Puuinfo 2020a.). Liimapuun lamellien T-luokkien ominaisvetolujuudet ($f_{t,0,l,k}$), jäykkyydet ($E_{t,0,l,mean}$) ja tiheydet ($\rho_{l,k}$) on esitetty taulukossa 1.

Lamellien T-luokka ^{a)}	$f_{t,0,l,k}$	$E_{t,0,l,mean}$	$\rho_{l,k}$
T8(C14)	8	7 000	290
T9	9	7 500	300
T10(C16)	10	8 000	310
T11(C18)	11	9 000	320
T12(C20)	12	9 500	330
T13(C22)	13	10 000	340
T14(C24)	14	11 000	350
T14,5	14,5	11 000	350
T15	15	11 500	360
T16(C27)	16	11 500	370
T18(C30)	18	12 000	380
T21(C35)	21	13 000	390
T22	22	13 000	390
T24(C40)	24	13 500	400
T26	26	14 000	410
T27(C45)	27	15 000	410
T28	28	15 000	420
T30(C50)	30	15 500	430

^{a)} Standardin EN 338:2009 mukaiset C-luokat täyttävät vähintään vastaavien T-luokkien vaatimukset.

Taulukko 1. Liimapuun lamellien T-luokkien ominaisvetolujuudet [N/mm^2], jäykkyydet [N/mm^2] ja tiheydet [kg/m^3] (EN 14080 2013, 22)

Liimapuu voidaan valmistaa myös saman lujuusluokan lamelleista, jolloin saadaan tasalaa-
tuista liimapuuta. Tunnuksena käytetään kirjainta h, joka tulee englannin kielen sanasta
homogeneous eli tasa-aineinen liimapuu. (Puuinfo 2020a.)

Liimapuutuotteet joiden leveys on alle 90 mm valmistetaan leveämmästä liimapuusta van-
nesahalla halkaisemalla. Halkaistut liimapuut valmistetaan lujuusluokasta GL30c tai GL30h.
Halkaistun liimapuun tunnus on GL30cs tai GL30hs. Liimapuu GL30cs täyttää GL24c-luo-
kan vaatimukset ja GL30h täyttää GL28h-luokan vaatimukset. (Liimapuukäsikirja osa 1
2014, 17.)

2.2 Lujuusominaisuudet

Liimapuu on erittäin luja rakennusmateriaali suhteessa sen painoon. Yksittäisen sahatava-
rakappaleen heikoin kohta, kuten suurin oksa, sormijatkos tai syyhäiriö, määrittää sen lu-
juuden. Liimapuut ovat keskimäärin lujempia ja jäykempiä kuin samankokoiset perinteiset
sahatavarakappaleet, koska liimapuu on valmistettu useasta yhteen liimatusta lamellista.
On epätodennäköistä, että saman poikkileikkauksen kaikissa lamelleissa olisi heikko kohta
samanaikaisesti. Liimapuun lamellit ovat myös lujuuslajiteltuja, mikä vähentää vikojen ko-
koa. Tämä johtaa siihen, että liimapuilla on myös pienempi lujuusominaisuuksien hajonta
kuin sahatavaralla. (Liimapuukäsikirja osa 1 2014, 22.)

Liimapuu- ja puurakenteiden lujuusmitoituksessa käytetään yleisesti ominaislujuuksia, jotka
määritetään laboratorio-olosuhteissa suuresta määrästä koekuormituksia. Ominaislujuudet
kasvavat, kun lujuuden keskiarvo kasvaa ja hajonta pienenee. Liimapuulle voidaan raken-
teen turvallisuutta vaarantamatta käyttää suurempia ominaislujuuksia kuin yksittäisille la-
melleille, josta se on tehty. Lujuuden mitoitusarvo määritetään ominaislujuuksista, jota pie-
nennetään erilaisten osavarmuuskertoimien ja korjauskertoimien avulla. (Liimapuukäsikirja
osa 1 2014, 22.) Liimapuiden ominaislujuudet on esitetty taulukossa 2.

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
Jäykkysominaisuudet (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
Liukumoduuli	G_{mean}	650	650	650	650	650	650
	$G_{0,05}$	540	540	540	540	540	540
Tiheydet (kg/m ³)							
Ominaiستیheys	ρ_k	365	385	390	430	390	430
Tiheyden keskiarvo	ρ_{mean}	400	420	430	480	430	480

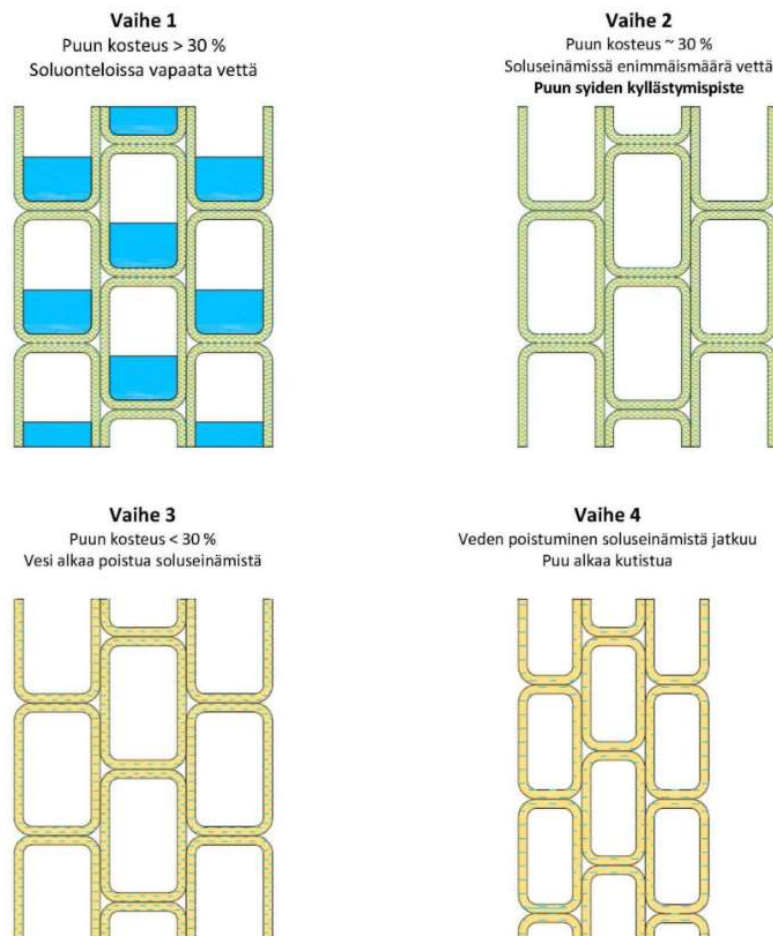
Taulukko 2. Liimapuiden ominaislujuudet, jäykkysominaisuudet ja tiheydet (RIL 205-1-2017, 2017, 53)

2.3 Kosteuskäyttäytyminen

Puu on hygrooskooppinen materiaali eli puulla on kyky sitoa ja luovuttaa kosteutta pyrkiesään tasapainokosteuteen ympäröivän ilman suhteellisen kosteuden kanssa. Kosteuden vaihteluiden seurauksena puu kutistuu tai turpoaa. Tämän takia rakentamisessa on pyrittävä estämään puutavaran tasapainokosteuden suuri vaihtelu käyttökohteeseen suunnitellusta kosteudesta varastoinnin, kuljetuksen, asennuksen aikana. Liimapuun taipumus vääntyä ja käyristyä on pienempi kuin tavallisella sahatavaralla (Liimapuukäsikirja osa 1 2014, 24). Puun kosteuspitoisuus ilmaistaan yleensä prosentteina ja se kertoo puun sisältämän veden painon määrän suhteessa puun absoluuttiseen kuivapainoon. (Puuinfo 2020b.)

Puun kuivuessa soluonteloissa oleva vesi poistuu ensimmäisenä. Kun soluontelot ovat täysin tyhjentyneet, sisältävät soluseinämät vielä maksimaalisen määrän vettä. Puun kosteus on tällöin noin 30 %, joka on tuoreen havupuun kosteuspitoisuus. Puun jatkaessa kuivumista alkaa vesi poistumaan myös soluseinämistä. Tässä vaiheessa myös puu alkaa

kutistua. Kutistuminen aiheuttaa puuhun muodonmuutoksia, jotka saavat aikaan sisäisiä jännityksiä. Sisäiset jännitykset saavat puussa aikaan halkeamia ja kieroutumista. Puun kuivumisesta on hyötyä rakentamisen kannalta, koska kuivan puun lujuus ja jäykkyysominaisuudet ovat märkää puuta paremmat. Lujuusominaisuuksien paraneminen perustuu soluseinämien liikkumiseen lähemmäs toisiaan ja toisiinsa kiinnittymiseen. Puu on myös turvassa lahottajasieniltä, homeilta ja muilta biologisilta tuhoajilta, kun puun kosteus on $\leq 20\%$. (Puuinfo 2020b.) Kuvassa kaksi esitetään veden poistumista puun solukoista.



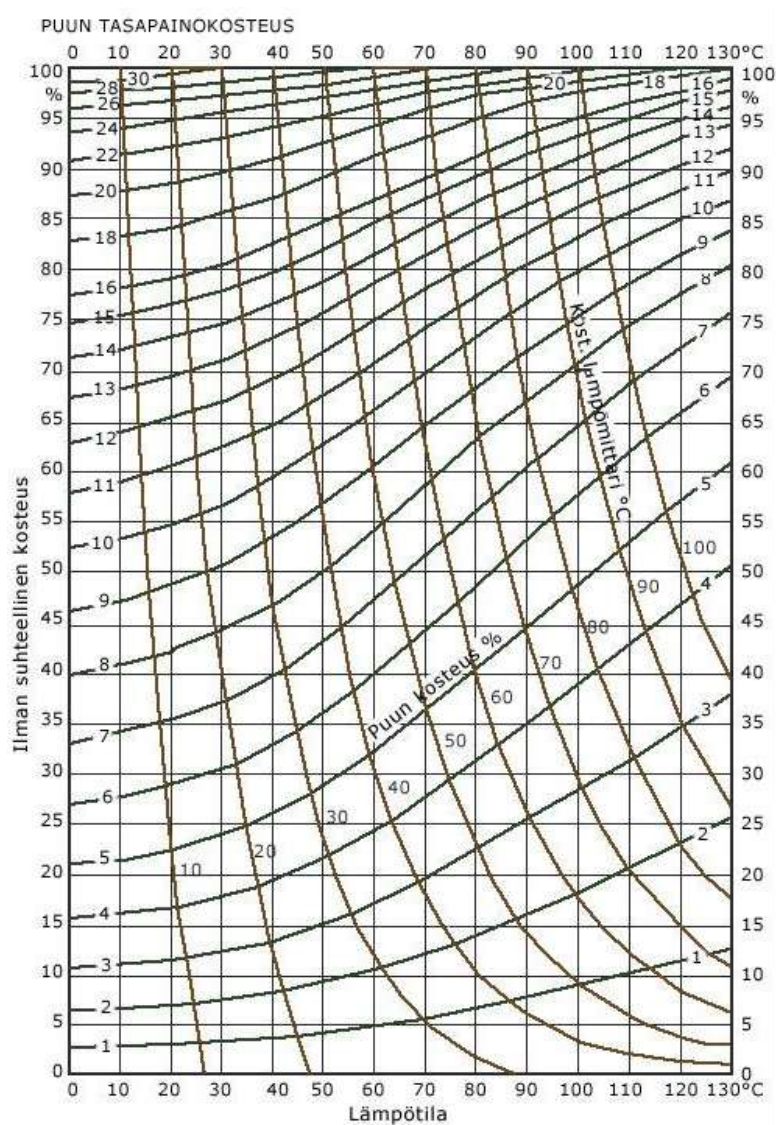
Kuva 2. Veden poistuminen puun solukosta (Puuinfo 2020b)

Puun syiden suuntainen kosteuseläminen on hyvin vähäistä verrattuna syitä vastaan kohtisuoraan suuntaan. (Puuinfo 2020b.) Havupuusahatavaran mittamuutokset kosteuden muutoksen mukaan voidaan määrittää likimääräisesti taulukon 3 mukaan.

KOSTEUDEN MUUTOS	POIKKILEIKKAUKSEN MITTAMUUTOKSET	PITUUDEN MITTAMUUTOS
1 % - yksikkö	0,25 %	0,02 %

Taulukko 3. Havupuusahatavaran mittamuutokset (Puuinfo 2020b)

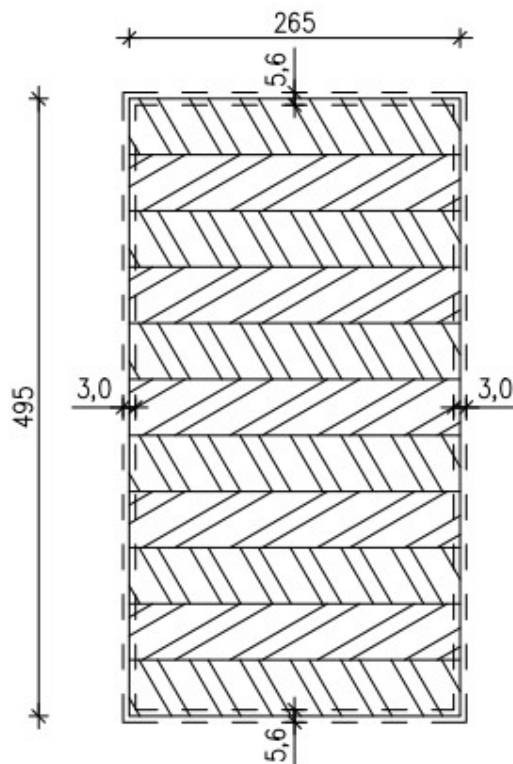
Kesällä sisäilman suhteellinen kosteus vaihtelee välillä 50—70 % ja talvella välillä 20—40 %. Sisäilman lämpötila on tavallisesti 22 °C (Puuinfo 2020b). Kuviosta 1 saadaan määritettyä puun tasapainokosteus ympäröivän suhteellisen kosteuden ja lämpötilan mukaan.



Kuvio 1. Puun tasapainokosteuden riippuvuus ympäröivän ilman suhteellisesta kosteudesta ja lämpötilasta (Puuinfo 2020b)

Kesällä suhteellisen kosteuden ollessa korkeimmillaan 70 % on puun tasapainokosteus noin 13,5 %. Talvella suhteellisen kosteuden ollessa pienimmillään 20 % on puun kosteuspitoisuus noin 4,5 %. Puun kosteuden muutos on siis maksimissaan 9 %-yksikköä (13,5 % - 4,5 %). Poikkileikkauksen mittamuutos on siis maksimissaan syysuuntaan kohtisuorasti (9 %-yksikköä \times 0,25 %) = 2,3 %. (Puuinfo 2020b.)

Pitää kuitenkin huomioida, että tämä on maksimaalinen kosteuden muutos sisätiloissa. Yleensä kuitenkin sisätilassa olevan liimapuun kosteussuhde vaihtelee välillä 4–5 %-yksikköä (Liimapuukäsikirja osa 2 2015, luku 6, 20). Kuvassa 3 on esitetty liimapuun 265 mm \times 495 mm poikkileikkauksen maksimaalinen mittamuutos.

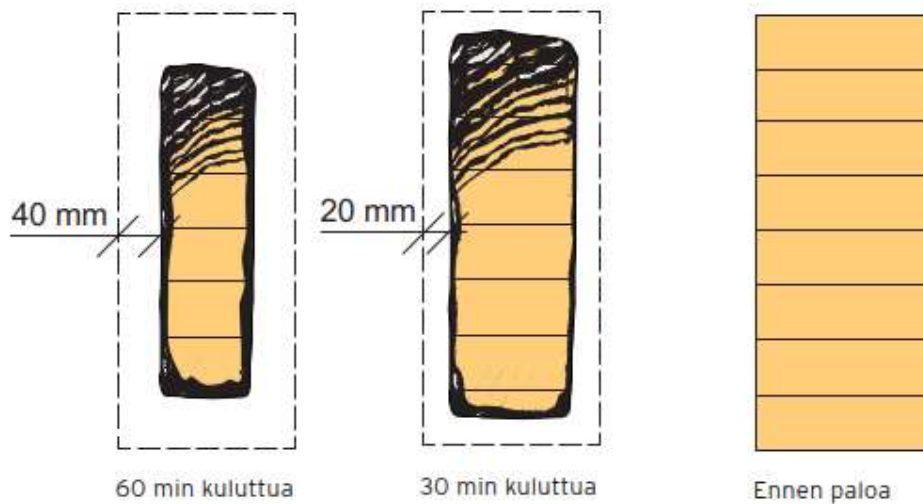


Kuva 3. Liimapuun 265 mm \times 495 mm kosteuden muutoksesta johtuva mittamuutos

2.4 Palotekniset ominaisuudet

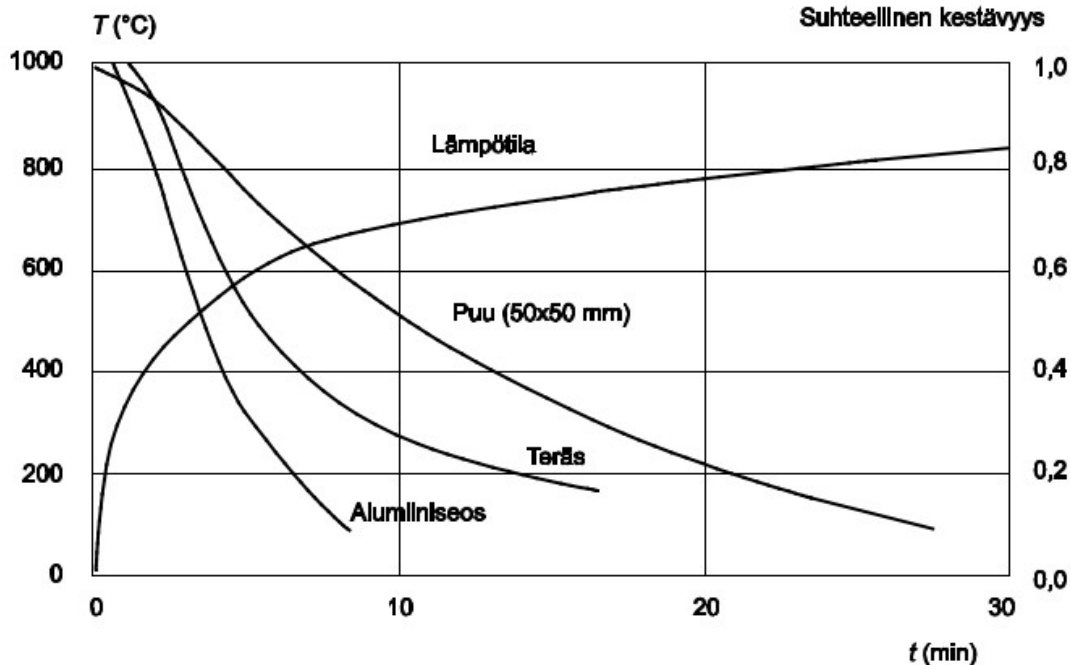
Vaikka liimapuu on palavaa materiaalia, se soveltuu hyvin rakenteisiin, joilta vaaditaan tiettyä palonkestävyyttä. Puun palamisen eteneminen on hyvin ennustettavissa ja se tapahtuu lähes vakionopeudella. Liimapuun syttyminen ja palaminen ovat hidasta. Kun liimapuu

palaa, sen pinnalle muodostuu hiiltynyt kerros, joka suojaa sisäosia. Tämä auttaa liimapuuta säilyttämään kantokykynsä, vaikka palo jatkuisi (kuva 4). Liimasaumat eivät heikennä liimapuun palonkestävyyttä, kun käytetään hyväksytyjä liimatyppejä. Liimapuun hiiltymisnopeus on yleensä 0,6—1,0 mm/min. Usein liimapuun luontainen palonkestävyys on riittämätön vain liitosten kohdalla. Liitosten palonkestävyyttä voidaan lisätä esimerkiksi kiinnittämällä puusta tai kipsilevystä tehtyjä verhoukslevyjä liitoksen ulkopuolelle. (Liimapuukäsikirja osa 1 2014, 24—70.)



Kuva 4. Liimapuun poikkileikkauksen muutos standardipalossa (Liimapuukäsikirja Osa 1 2014, 70)

Kuvio 2 esittää alumiiniseoksen, teräksen ja puun käyttäytymistä standardi palossa. Kuvio 2 voidaan päätellä puulla olevan parempi suhteellinen palonkestävyys kuin teräksellä ja alumiiniseoksella. Puun käyttäytyminen palossa riippuu sen mitoista, toisin kuin muiden materiaalien. Siksi puulle on määritetty kuviossa poikkileikkaus 50x50 mm. (Liimapuukäsikirja osa 2 2015, luku 15, 22.)



Kuvio 2. Puun, teräksen ja alumiiniseoksen suhteellisen kestävyuden muutos palossa (Liimapuukäsikirja osa 2 2015, luku 15, 22)

2.5 Käytettävät mitat

Liimapuut valmistetaan 45 mm paksuiksi höylätyistä lamelleista, joiden leveys määräytyy sahojen vakiovalikoiman mukaan. Höyläyksen jälkeen lamellien vakioleveydet ovat 90, 115, 140, 165, 190, 215 ja 240 mm. Saatavilla on myös erikoistilauksena 265 mm leveitä lamelleja. Leveämpiä rakennusosia voidaan valmistaa liimaamalla tai poraamalla yhteen vierekkäisiä lamelleja. (Liimapuukäsikirja osa 2 2015, luku 1, 17.)

Liimapuupalkin valmistuksessa käytettävän höyläyskaluston rajoitukset vaikuttavat palkin maksimi korkeuteen. Tyypillisesti palkin suurin korkeus on noin 2 metriä, mutta tätä korkeampia palkkeja voidaan valmistaa esimerkiksi liimaamalla harjapalkin harjaosa paikoilleen höyläyksen jälkeen. (Liimapuukäsikirja osa 2 2015, luku 1, 17.)

Liimapuusta valmistettavan rakennusosan pituutta rajoittaa käytännössä sen kuljetusmahdollisuudet. Tavallisella kuorma-autolla voidaan kuljettaa 9—10 metrin pituisia liimapuuosia, mutta erityiskuljetusluvalla voidaan maanteitse kuljettaa jopa 35 metrin pituisia rakennusosia. Kuitenkin, jos liimapuuosien määrä on pieni, pitkän rakenteen kuljetuskustannukset voivat olla suuret. Siksi kannattaa suunnitella rakenteet lyhyemmistä osista, jotka mahtuvat tavalliseen kuorma-autoon. (Liimapuukäsikirja osa 2 2015, luku 1, 17—22.)

3 Liimapuuhallin kokonaisjäykistäminen vaakavoimia vastaan

3.1 Yleistä

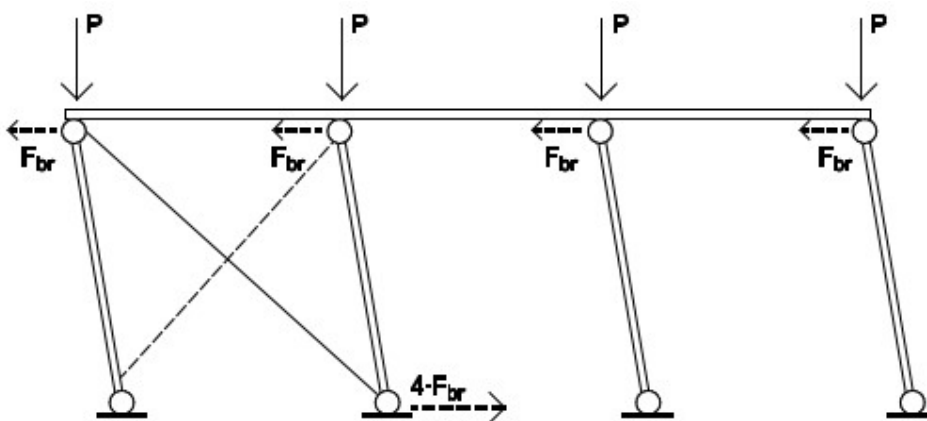
Yksi rakennesuunnittelijan tehtävistä on rakennuksen kokonaisjäykistäminen vaakavoimia vastaan. Rakennuksen on pysyttävä pystyssä, vaikka sitä pyrkii kaatamaan ulkoisista vaakakuormista ja ulkoisista pystykuormista aiheutuvien vaakakuormien rasitukset. Oikein suunnitellun jäykistyksen avulla nämä voimat saadaan siirrettyä hallitusti perustuksille.

Rakennuksen jäykistämiseen kuuluu myös yksittäisten rakennusosien jäykistyksen mitoitus sisäisistä voimia vastaan. Tällaisia rasituksia syntyy, kun rakenneosia pyrkii menettämään stabiiliuden kuormituksen alaisena. (RIL 244-2007 2007, 10.)

Jäykistys suunnitelmissa tulee ilmetä miten voimat siirtyvät rakenteilta toisille ja mitkä voimat pitää siirtää perustuksille asti. Suunnitelma sisältää lyhyen sanallisen kuvauksen ja yksinkertaisen piirroksen. Esityksen avulla hankkeen jokainen toteutusosapuoli ymmärtää eri rakennusosien tärkeyden rakenteiden toimivuuden kannalta. Myös rakentamisen aikaisesta jäykistämisestä on oltava suunnitelma. (RIL 244-2007 2007, 10.)

3.2 Kuormat

Kuormat voidaan jakaa sisäisiin ja ulkoisiin kuormiin. Ulkoiset kuormat ovat pääasiassa tuuli, nosturin jarrukuorma sekä pystykuormista aiheutuva lisävaakavoima, joka syntyy pystyrakenteen poikkeamasta ideaalista, mikä aiheutuu mm. asennustoleranssista (kuva 5). Nämä voimat pitää viedä perustuksille asti. (RIL 244-2007 2007, 13.)



Kuva 5. Lisävaakavoiman havainnollistava kuva (Liimapuukäsikirja osa 2 2015, luku 13, 25)

Sisäisiä voimia ovat mm. nurjahdukselle ja kiepahdukselle alttiiden palkkien ja ristikoiden puristussauvojen tukemisesta aiheutuvat voimat. Sisäisiä voimia ei tarvitse viedä perustuksille, jos ne voidaan tasapainottaa rakennekokonaisuuden sisälle. (RIL 244-2007 2007, 13.)

Pääkannattimen tapauksessa sisäiset voimat saadaan tasapainotettua rakennekokonaisuuden sisälle suljetulla jäykistyssysteemillä. Suljetussa jäykistyssysteemissä rakenteessa on sellainen jatkuva jäykistysrakenne, joka pystyy palauttamaan sisäisten voimien tukireaktiot pääkannattimen päihin. (HalliPES 1.0 2014, 27.)

Jäykistyksessä on otettava huomioon vaakakuormina ns. pakkovoimat. Nämä voivat syntyä muun muassa puun kosteusmuodonmuutoksista tai teräsosissa muodonmuutoksia lämpötilan vaihtuessa. (RIL 244-2007 2007, 13.)

Rakennuksessa vaikuttavat sisäiset ja ulkoiset kuormat voidaan ottaa vastaan samalla rakenteella. Nämä kuormat lasketaan yhteen, jos ne voivat vaikuttaa samanaikaisesti. (RIL 244-2007 2007, 13.)

3.3 Jäykistysperiaatteet

Liimapuuhallit ovat usein suorakaiteen muotoisia. Hallit jäykistetään erikseen sen pituus- ja poikkisuunnassa.

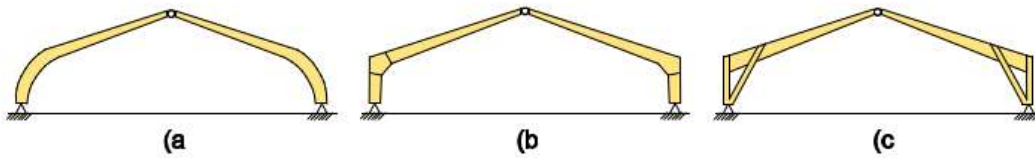
Pituussuuntaisella jäykistyksellä tarkoitetaan hallin pidemmän sivun vaaka- ja pystysuuntaista jäykistämistä. Poikkisuuntaisella jäykistyksellä tarkoitetaan lyhyemmän sivun vaaka- ja pystysuuntaista jäykistämistä. Seuraavaksi esitellään liimapuuhallin jäykistykseen tavanomaisesti käytettäviä ratkaisuja.

3.3.1 Pystyjäykisteet

Nivelkehät

Nivelkehiä käytetään yleisesti yksikerroksisen teollisuushallin poikittaisjäykistykseen. Kehärakenteet on kiinnitetty perustukseen nivelellisesti. Kehien nurkat voivat koostua momenttijäykästä liitoksesta tai yhdestä taivutetusta liimapuusta. (RIL 244-2007 2007, 19.)

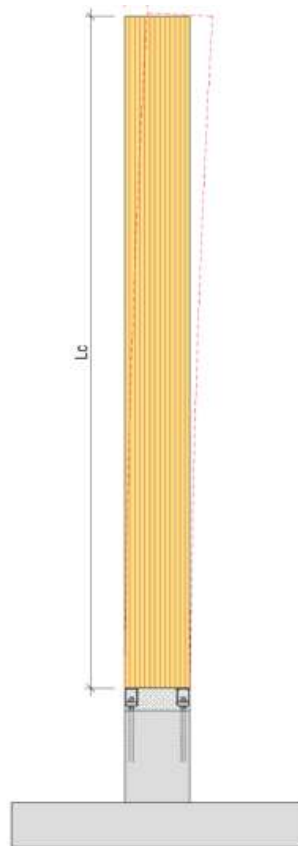
Kehiä on kolminivel- ja kaksinivelkehä. Kolminivelkehässä niveliä on nimensä mukaisesti kolme kappaletta, jotka sijaitsevat perustuksilla ja keskellä kehää. Kolminivelkehä on yleisin kehrakenne puurakenteissa (kuva 6). Kaksinivelkehässä on niveliä kaksi kappaletta, jotka sijaitsevat perustuksilla. Kaksinivelkehä on jäykempi kuin kolminivelkehä, mutta on huomattavasti vaikeampi toteuttaa ja siksi kalliimpi. (Liimapuukäsikirja osa 2 2015, luku 10, 2.)



Kuva 6. Esimerkkejä kolminivelkehistä (Liimapuukäsikirja osa 2 2015, luku 10, 2)

Mastot ja mastokehät

Teollisuusrakennukset, joissa kuormina on lähinnä vain tuulikuorma voi mastoina toimia liimapuu. Mastopilarit ovat kiinnitetty perustuksiin momenttijäykästi (kuva 7). (RIL 244-2007 2007, 19.) Mastokehässä kantava vaakarakenne kiinnitetään mastopilariin nivelellisesti. Hallit jäykistetään mastoilla usein poikkisuunnassa.

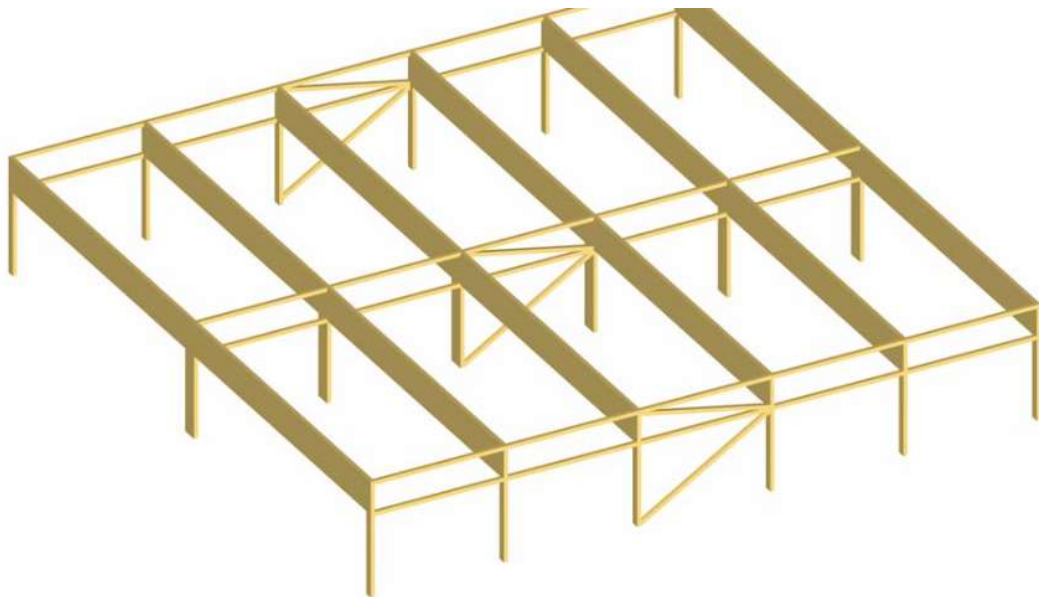


Kuva 7. Esimerkki mastopilarin momenttijäykästä kiinnityksestä perustukseen (Jani Pitkänen 2018, 19)

Mastopilarin jäykistyksessä etuna on yksinkertaisuus ja selkeys, sekä se, että jäykistys on heti valmis asennuksen jälkeen. Matalat hallit voidaan jäykistää pituussuunnassa myös mastoilla. Haasteena kuitenkin on suuri tukimomentti, joka vaatii suuren anturan pystykuormien ollessa tyypillisesti pieniä. Tuulipilarit eivät myöskään usein voi toimia aitoina mastoina, koska yläpään siirtymä on estetty. Tämän takia tuulipilarit siirtävät osan vaakakuormista eteenpäin yläpohjarakenteelle, josta kuormat olisi jollain tapaa siirrettävä edelleen perustuksille. (Keronen & Lahikainen 2009, 39—41.) Tämän takia pituussuuntainen jäykistys toteutetaan usein esimerkiksi jäykistysristikolla.

Ristikkojäykistys

Ristikkojäykistyksessä vaakavoimat siirtyvät perustuksille vinosauvojen avulla. Vinosauvoina käytetään tavanomaisesti puuta tai terästankoja. Terästangot voivat ottaa vastaan vetoa, kun taas puu voi ottaa sekä vetoa että puristusrasituksia. (RIL 244-2007 2007, 20.) Kuvassa 8 puusauvoilla toteutettu ristikkojäykistys.



Kuva 8. Esimerkki hallin pystyrakenteen ristikkojäykistyksestä (Tero Lahtela 2015, 64)

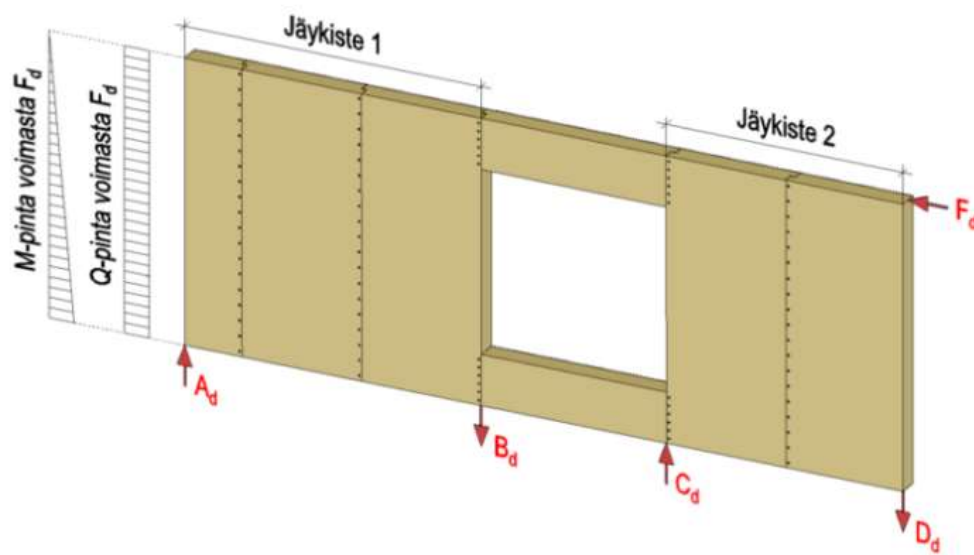
Ristikkojäykistyksen etuna on, että pääkannattimet voidaan kiinnittää perustuksiin nivelellisesti. Tämä pienentää anturan ja liimapuupilarin koko vaatimusta pituussuunnassa, koska momenttia ei ole. Pilarin ja anturan välinen liitos on myös vaatimuksiltaan pienempi kuin

momenttijäykkä liitos. Nivelellinen kiinnitys tuo haasteita asennusaikana, koska pilarit pitää tukea ennen kuin vaaka ja vinosauvat on asennettu.

Levyjäykistys

Levyjäykistys on rakennejärjestelmä, joka koostuu pysty- ja vaakasuorista puutolpista, sekä puu- tai kipsilevyistä. Jäykistys saavutetaan levyjen kiinnittämisellä puutolppiin liittimien avulla. Alapinnan vaakajuoksut ankkuroidaan perustuksiin, jotta vaakavoimasta syntyvä nousu estyy. Pystytolpat on mitoitettava kestämään puristusta, joka aiheutuu pystykuormista ja vaakakuormista. (RIL 244-2007 2007, 20.)

Levyjäykistys voidaan tehdä myös elementeillä, joiden jäykistysominaisuudet on määritetty (RIL 244-2007 2007, 20). Kuvassa 9 on esimerkki levyjäykistyksestä pystyrakenteessa.

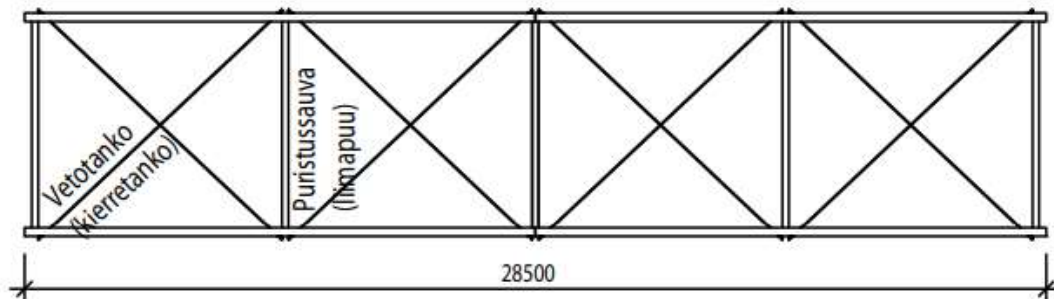


Kuva 9. Esimerkki levyjäykistyksestä pystyrakenteessa (Puuinfo 2020c)

3.3.2 Vaakajäykistys

Rakennuksien kattotasossa ja kussakin kerroksessa on oltava vaakajäykistys. Ne voidaan toteuttaa pystyjäykisteiden tapaan ristikkorakenteina, tehdasvalmisteisina elementteinä tai muina levymäisinä rakenteina. (RIL 244-2007 2007, 20—21.)

Vaakajäykisteiden tehtävä on vastaanottaa kuormat hallitusti ja siirtää ne pystyjäykisteille tai palauttaa sisäiset voimat pääkannattimen päihin. Kuvassa 10 vaakasuuntainen ristikkojäykistys liimapuuhallin yläpohjassa.



Kuva 10. Esimerkki vaakasuuntaisesta ristikkojäykistyksestä. (EC 5 sovelluslaskelmat halirakennus 2010, 12)

3.4 Kokonaisjäykistys

Rakennuksissa, joissa pituus on merkittävä jäykistettävän suunnan suhteen, eivätkä jäykisteet jatku katkeamattomina koko rakennuksen läpi, pitää jäykistävät kentät asentaa vähintään pitkän sivun molempiin päihin ja tarvittaessa myös rakennuksen keskelle. Jos voimat joutuvat siirtymään pitkiä matkoja rakennuksen sisällä jäykistävälle rakenteelle, lisää se riskiä rakenteen toimivuuden kannalta. (RIL 244-2007 2007, 22.)

Jäykistävien rakenteiden vähimmäismäärä pystyrakenteissa on yksi rakennuksen kummasakin pitkässä seinässä ja yksi kummassakin päädyssä. Jäykistävien vaakarakenteiden minimimäärä on yksi, joka sijoitetaan rakennuksen keskelle. Jäykistävät vaakarakenteet voidaan myös tarvittaessa sijoittaa rakennuksen molempiin pätyihin. (RIL 244-2007 2007, 22.)

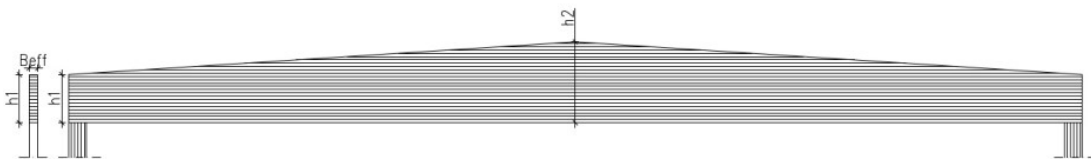
4 Jäykistyskuormien laskennan selostus

4.1 Perustiedot

Käsinlaskenta suoritettiin Mathcad Express Prime 5.0.0.0 -ohjelmalla ja sen tarkoituksena oli saada käsitystä tavanomaisten liimapuuhallien pystysuuntaiselle jäykistysristikolle tulevien voimien suuruusluokasta. Jäykistyskuormat laskettiin 9 erilaiselle hallille taulukon 4 mukaisilla muuttujien arvoilla. Kaikkien hallien laskennassa vakiona oli kahdeksan pääkannattajaa, seuraamusluokka CC2, sijainti Lappeenrannassa ja maastoluokka 2. Pääkannattimen alustavat mitat määritettiin Puuinfon harjapalkkien mitoitus Excelin avulla, jotta kiepahdustuen voiman sai laskettua. Kuvassa 11 esitetty mitat h_1 , h_2 ja B_{eff} . Hallikombinaation 1 jäykistyskuorman laskenta on esitetty liitteessä 1.

Kombinaatiot	Leveys [m]	Pituus [m]	pilarin korkeus [m]	Kehäjako [m]	h_1 [mm]	h_2 [mm]	B_{eff} [mm]
1	15	28	6	4	900	1275	140
2	15	35	8	5	900	1275	190
3	15	42	10	6	900	1275	215
4	20	28	6	4	1000	1500	240
5	20	35	8	5	1100	1600	240
6	20	42	10	6	1150	1650	240
7	25	28	6	4	1250	1875	240
8	25	35	8	5	1375	2000	240
9	25	42	10	6	1400	2000	265

Taulukko 4. Hallin dimensiot ja pääkannattimen mitat



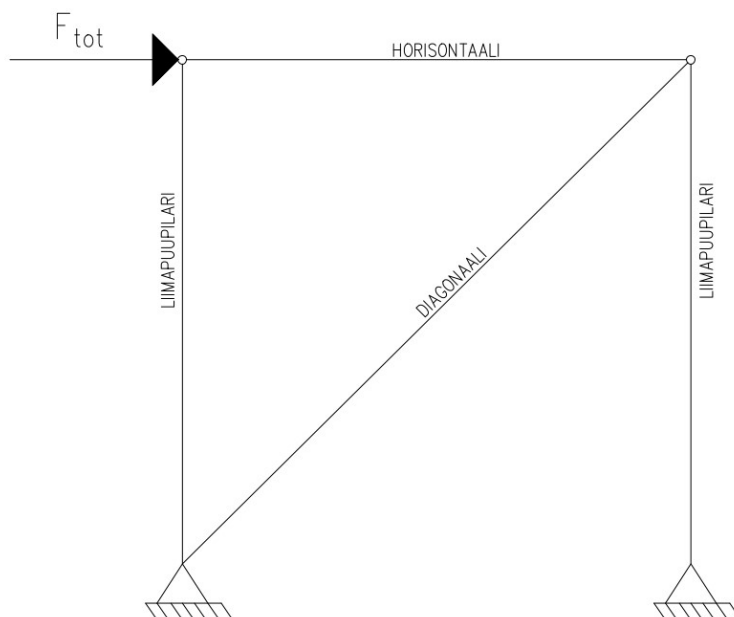
Kuva 11. Mittojen h_1 , h_2 ja B_{eff} havainnollistava kuva

4.2 Hallikombinaatioiden jäykistysperiaate

Hallien pituussuuntainen jäykistys on toteutettu jäykistysristikolla pystysuunnassa, että vaakasuunnassa hallin molemmissa päissä. Lyhyemmän suunnan jäykistys on toteutettu mastopilareilla, mutta sen jäykistykseen ei tässä työssä oteta enempää kantaa.

Pituussuuntaisessa jäykistyksessä yläpohjan katto-orret siirtävät sisäiset ja ulkoiset voimat vaakasuuntaiselle jäykistysristikolle, joka siirtää ne edelleen pystysuuntaiselle jäykistysristikolle ja sitä kautta perustuksille. Sisäiset jäykistyskuormat viedään myös perustuksille kokonaisvarmuuden lisäämiseksi, vaikka tämä ei ole pakollista suljetun jäykistyssysteemin takia.

Tämän oletetaan olevan yleinen käytäntö, koska Liimapuukäsikirja osa 3 (2015, 139—145) ja EC 5 sovelluslaskelmat hallirakennus (2010, 84—101) lähteiden esimerkkilaskelmissa vaakajäykisteenä toimii myös suljettu jäykistyssysteemi, mutta sisäiset kuormat viedään silti perustuksille. Sisäiset jäykistyskuormat koostuvat hallikombinaatioissa harjapalkin kiepahduksen tuentavoimasta. Jäykistyskuormat ovat noin 10 % suurempia, kun sisäiset voimat vietiin perustuksille kuin ne jätettäisiin hallin suljetun systeemin tasapainottamiseksi. Pystysuuntaisen jäykistysristikon laskentamalli on esitetty kuvassa 12.



Kuva 12. Pystysuuntaisen jäykistysristikon laskentamalli

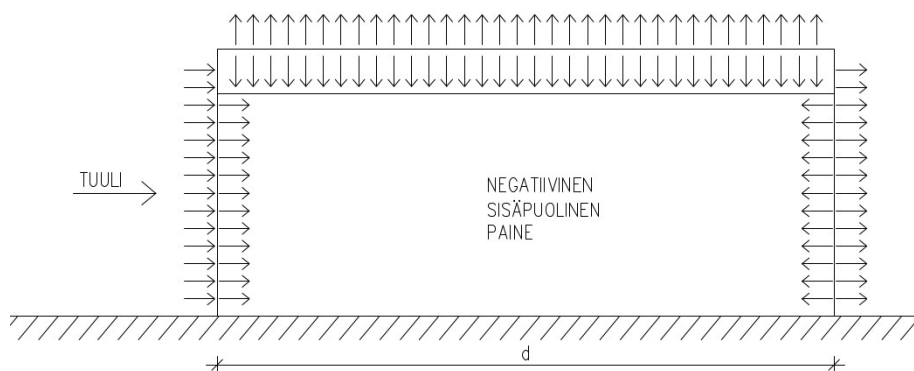
4.3 Kuormat

Hallin pituussuuntaiset kuormitukset syntyvät päätyseinän tuulikuormasta, pääkannattimen kiepahdustuennan aiheuttamista sisäisistä voimista ja lisävaakavoimasta. Lisävaakavoiman suuruus määräytyy pystykuorman vaikutuksesta, joka on rakenteen omapaino ja lumi-kuorma. Eurokoodi 5 ei tunne lisävaakavoimaa, joten se lasketaan liimapuukäsikirjan osan 3 mukaan. Lumi- ja tuulikuorma määritettiin RIL 201-1-2008 mukaan. Kiepahdustuen voima laskettiin Eurokoodi 5:n mukaan.

4.3.1 Tuulikuorma

Päädyn tuulikuormasta noin puolet katsotaan menevän nivelpäisten tuulipilareiden kautta perustuksille ja loput siirtyvät yläpohjan katto-or sien kautta yläpohjan jäykistysristikolle ja sitä kautta pystyjäykisteelle. Tuulenpuoleisen jäykistysristikon oletetaan ottavan koko tuulenpuoleiseen päätyseinään kohdistuva tuulenpaine ja imupaineen ottaa vastaan hallin toisessa päässä oleva jäykisteristikko, koska tämä on teoreettisesti oikein. Hallin tuulenpuoleisen päätyseinän tuulikuorma määritettiin RIL 201-1-2008 (2008, 117—140) rakenneosien tuulikuormana, joka vietiin yläpohjan tasoon viivakuormaksi kaavalla 1. Rakenneosan tuulikuormaan on lisätty tuulen ja yläpohjan välisestä kitkasta aiheutuva kuorma, josta puolet ottaa tuulenpuoleisen päätyseinän jäykistysristikko ja loput imupuolen jäykistysristikko. Yläpohjasta ei synny muita kuormituksia tuulesta.

Tuulenpuoleisen jäykistysristikon oletuksena ottaa vastaan koko tuulenpuoleiseen päätyseinään kohdistuva tuulenpaine on varmemman päälle mitoitus kuin kokonaistuulikuorman määrittäminen pintapaineiden avulla ja sen jakaminen tasan molemmille jäykistysristikoille, koska imupuolta tasoittaa negatiivinen sisäpuolinen paine (kuva 13). Tästä syystä imupuolen tuulenpaine jää varsin pieneksi. Jäykistysristikoiden tuulikuorma siis määräytyy tuulenpuoleisen päätyseinän paineelle.



Kuva 13. Halliin vaikuttavien tuulenpainoiden suunnat (mukailtu EN 1991-1-4 2011, 44)

$$q_w = q_{w,e} + q_{w,i} + q_{fr} \quad (1)$$

missä

q_w Tuulenpuoleisen seinän kokonaistuulikuorma viivakuormana yläpohjan tasossa.

$q_{w,e}$ Päätyseinään vaikuttava ulkopuolinen tuulenpaine viivakuormana, joka saadaan kaavasta 2.

$q_{w,i}$ Päätyseinään vaikuttava sisäpuolinen tuulenpaine viivakuormana, joka saadaan kaavasta 4.

q_{fr} Tuulen ja katon välisestä kitkasta syntyvä viivakuorma, joka saadaan kaavasta 6.

$$q_{w,e} = c_s c_d w_e \frac{A_{ref}}{b} \quad (2)$$

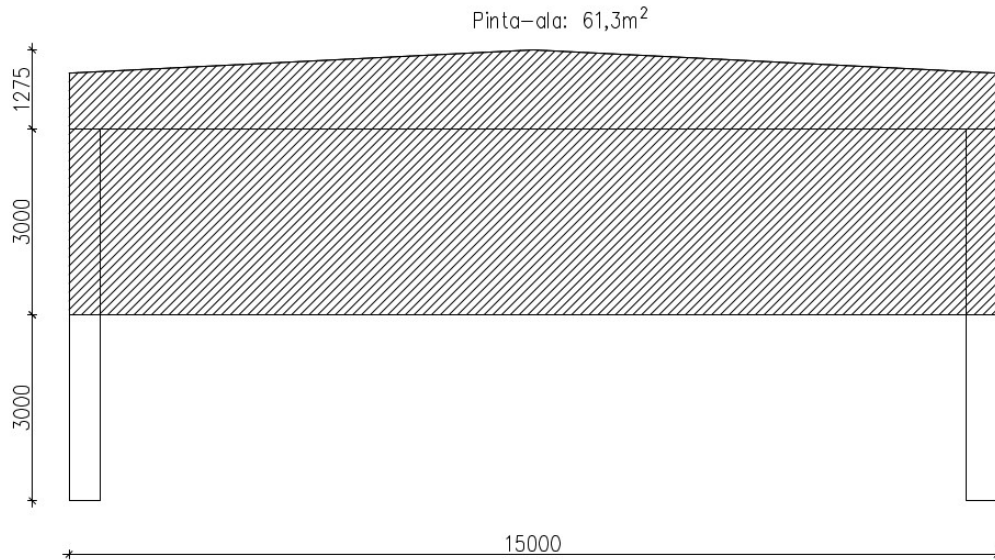
missä

$c_s c_d$ Rakennekerroin, joka ottaa huomioon rakennuksen koon ja mittasuhteiden vaikutuksen ja puuskien dynaamisen vaikutuksen. Tämä kerroin on kaikissa kombinaatioissa 1.

w_e Päätyseinään vaikuttava ulkopuolinen tuulenpaine, joka saadaan kaavasta 3.

A_{ref} Päätyseinän pinta-alan puolikas, koska tuulipilareiden oletetaan ottavan alapinnasta katsottuna puolet tuulenpaineesta (kuva 14).

b Hallin päätyseinän leveys.



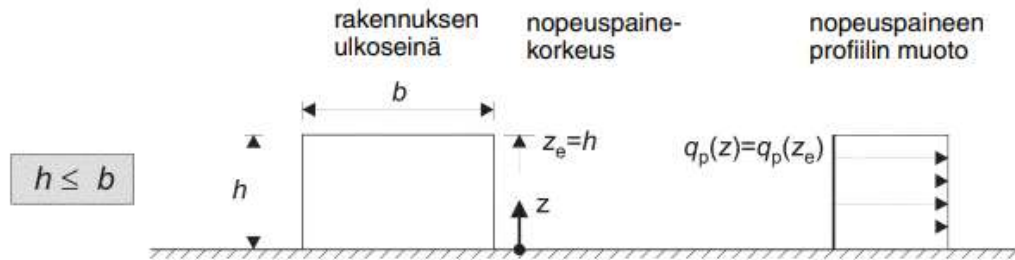
Kuva 14. Esimerkki hallikombinaation 1 A_{ref} pinta-alasta, joka on vinorasterilla

$$w_e = q_p(z_e)c_{pe} \quad (3)$$

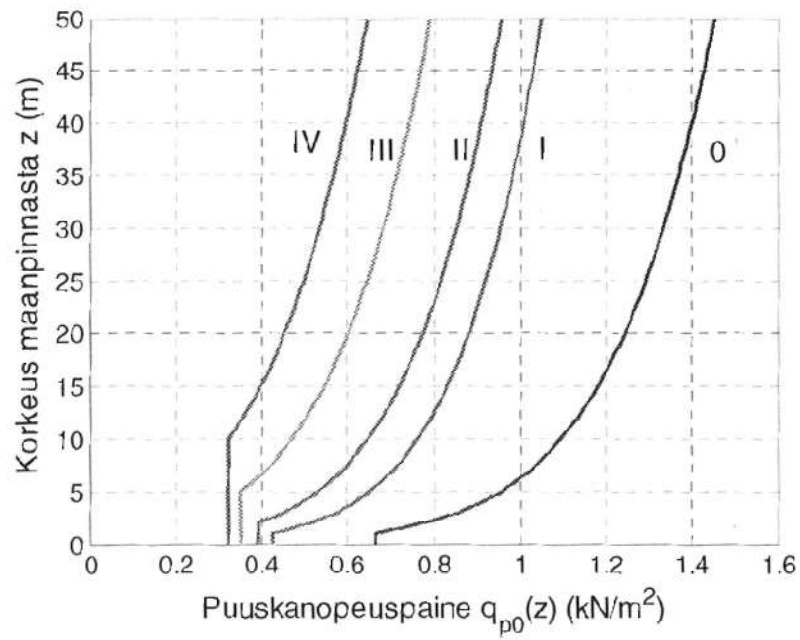
missä

$q_p(z_e)$ Yhtä suuri kuin $q_p(z)$, koska kaikissa kombinaatioissa hallin korkeus on pienempi kuin hallin tuulensuuntainen pituus (kuva 15). $q_p(z) = q_{p0}(z)$, koska kaikki hallit kuvitellaan sijaitsevan alueella, jossa maaston kaltevuus on pieni. $q_{p0}(z)$ saadaan kuviosta 3. Hallien maastoluokka on kaikissa hallin kombinaatioissa 2.

c_{pe} Ulkoisen paineen painekerroin, joka saadaan taulukosta 5. Kaikissa hallikombinaatioissa painekerroin määritetään $c_{pe,10}$ mukaan. Vyöhyke D on tuulenpuoleisen päätyseinän painekerroin ja E imupuolen päätyseinän painekerroin (kuva 16).



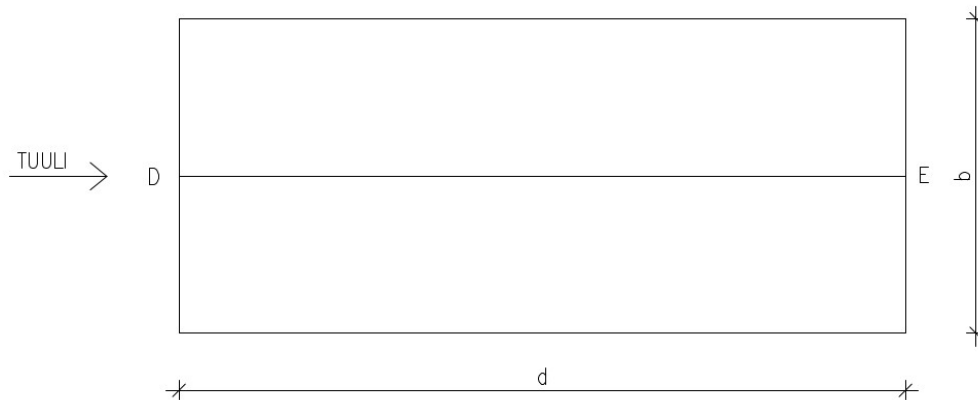
Kuva 15. Nopeuspaineen profiili (EN 1991-1-4 2011, 60)



Kuvio 3. Puuskanopeuspaine $q_{p0}(z)$ rakennuksen korkeuden ja maastoluokan mukaan (RIL 201-1-2008 2008, 132)

Vyöhyke	A		B		C		D		E	
h/d	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$
5	-1,2	-1,4	-0,8	-1,1	-0,5		+0,8	+1,0	-0,7	
1	-1,2	-1,4	-0,8	-1,1	-0,5		+0,8	+1,0	-0,5	
$\leq 0,25$	-1,2	-1,4	-0,8	-1,1	-0,5		+0,7	+1,0	-0,3	

Taulukko 5. Ulkopuolisen paineen painekertoimet eri vyöhykkeiden ja korkeus leveys suhteen mukaisesti (EN 1991-1-4 2011, 62)



Kuva 16. Tuulenpuoleisen ja imupuolen seinien vyöhykkeet D ja E (mukailtu EN 1991-1-4 2011, 62)

$$q_{w,i} = w_i \frac{A_{ref}}{b} \quad (4)$$

w_i Päätyseinään kohdistuva ulkopuolinen paine, joka saadaan kaavasta 5.

A_{ref} Päätyseinän pinta-alan puolikas, koska tuulipilareiden oletetaan ottavan alapinnasta katsottuna puolet tuulenpaineesta (kuva 14).

b Hallin päätyseinän leveys.

$$w_i = q_p(z_i) c_{pi} \quad (5)$$

missä

$q_p(z_i)$ Sama kuin kaavassa 3 esiintyvä $q_p(z_e)$.

c_{pi} Sisäpuolisen paineen kerroin. Kaikissa hallikombinaatioissa käytetään yksinkertaistamiseksi kertoimen arvona -0,3, jota voidaan käyttää lähes neliömäisissä rakennuksissa, joiden aukkosuhdetta ei voida tarkkaan arvioida.

$$q_{fr} = \frac{c_{fr} q_p(z_e) \frac{A_{fr}}{b}}{2} \quad (6)$$

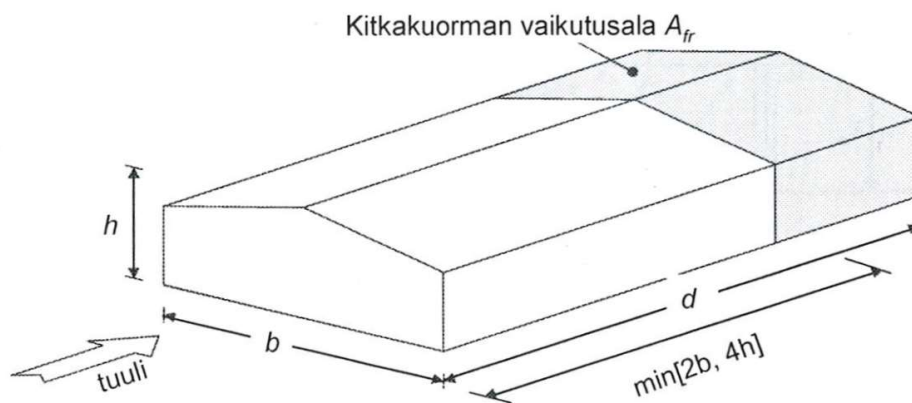
missä

c_{fr} Kitkakerroin, jonka arvona käytetään 0,02 kaikissa hallikombinaatioissa. Arvo vastaa kattohuopaa (RIL 201-1-2008, 165).

$q_p(z_e)$ Kaavassa 3 esiintyvä arvo.

A_{fr} Kitkakuorman vaikutusalue (kuva 17).

b Hallin päätyseinän leveys.



Kuva 17. Kitkakuorman vaikutusalue (RIL 201-1-2008 2008, 166)

4.3.2 Lumikuorma

Hallien katon lumikuorma määritettiin Eurokoodi 1 osan 1—3 mukaan kaavalla 7. Lumikuorma muutettiin yhdelle harjapalkille viivakuormaksi kertomalla se kehäjaolla ja

kertoimella 1.1, koska katto-orret oletetaan olevan 3 aukkoisia. Tästä on kerrottu tarkemmin luvussa 4.3.3.

$$s = \mu_i C_e C_t S_k \quad (7)$$

missä

μ_i Lumikuorman muotokerroin. Kaikissa hallikombinaatioissa harjapalkkien kaltevuutena käytettiin noin 20 astetta, jolloin muotokerroin on 0,8. Se määräytyy taulukon 6 mukaan, jossa luetaan harjapalkkien muotokerrointa μ_2 . Muotokerroin μ_2 määräytyy kuvan 18 mukaan.

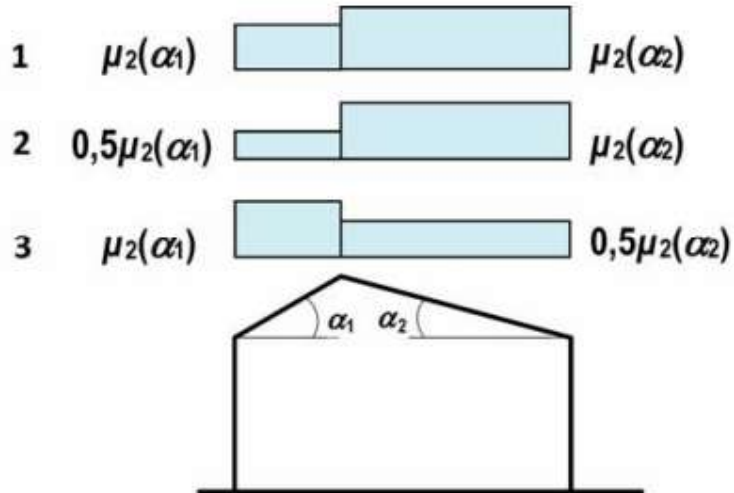
C_e Tuulensuojaisuuskerroin. Arvona käytetään 1,0 kaikissa hallikombinaatioissa.

C_t Lämpökerroin, jonka arvo on kaikissa hallikombinaatioissa 1,0

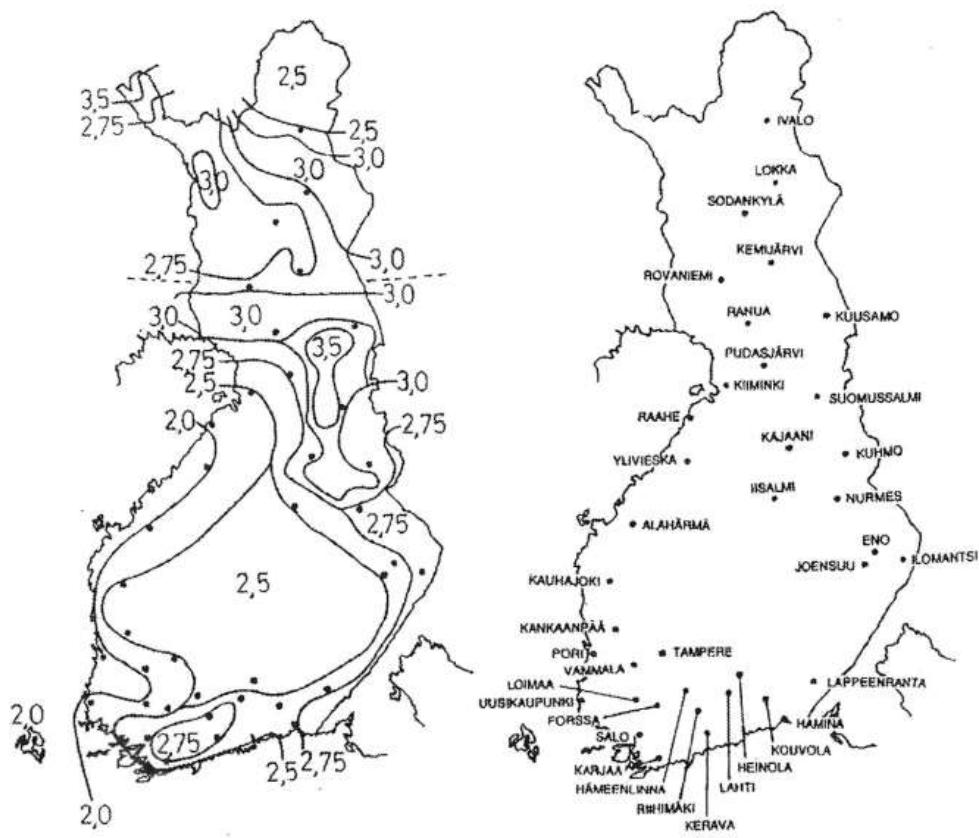
S_k Maassa olevan lumikuorman ominaisarvo, joka saadaan kuvasta 19. Arvona käytetään kaikissa hallikombinaatioissa 2,75kN/m².

Katon kaltevuuskulma α	$0^\circ \leq \alpha \leq 30^\circ$	$30^\circ < \alpha < 60^\circ$	$\alpha \geq 60^\circ$
$\mu_1(\alpha)$	$\mu_1(0^\circ) \geq 0,8$	$\mu_1(0^\circ) \frac{(60^\circ - \alpha)}{30^\circ}$	0,0
$\mu_2(\alpha)$	0,8	$0,8 \frac{(60^\circ - \alpha)}{30^\circ}$	0,0
$\mu_3(\alpha)$	$0,8 + 0,8 \alpha/30^\circ$	1,6	--

Taulukko 6. Lumikuorman muotokerroin (EN 1991-1-3 2011, 32)



Kuva 18. Harjakattojen muotokerroin (RIL 201-1-2008 2008, 96)



Kuva 19. Maassa olevan lumikuorman ominaisarvo [kN/m^2] (RIL 201-1-2008 2008, 92)

4.3.3 Pysyvät kuormat

Hallien pysyvinä kuormina pidetään yläpohjan omaa painoa, joita on esimerkiksi kattoelementit, LVI rakenteiden ripustuskuormat ja harjapalkin omapaino. Kattoelementtien ja LVI ripustuskuorman arvioitiin olevan 0.5 kN/m^2 , josta saadaan yhdelle harjapalkille tuleva viivakuorma kertomalla neliökuorma kehäjaolla ja kertoimella 1,1. Kerroin 1,1 tulee oletuksesta, että katto-orret ovat 3 aukkoisia, jolloin suurin tukireaktio syntyy kahdelle keskimmaisista palkeista (Rakentajain kalenteri, 2016, 469).

Harjapalkin viivakuorma saatiin Puuinfon valmiista mitoitus Excelistä. Liitteessä 2 on kombinaation 1 vaatimuksilla mitoitettu harjapalkki. Harjapalkin mitoitukseen ei tarkemmin syvennytä tässä opinnäytetyössä.

4.3.4 Lisävaakavoima

Lisävaakavoima laskettiin liimapuukäsikirja osan 3 (2015, 144) hallin jäykistys esimerkin mukaan kaavalla 8. Kaavassa oletetaan, että jäykistykselle tuleva vaakasuuntainen voima on 1 prosentti pystysuuntaisesta puristusvoimasta. Puristusvoima on hallin yläpohjan omapaino ja lumikuorma.

$$F_{stiffen} = \frac{nR_{tapered}}{100} \quad (8)$$

missä

n Puolet pääkannattimien lukumäärästä, koska loput jäykistetään toisella jäykistysristikolla.

$R_{tapered}$ Harjapalkin päissä oleva pistekuorma, joka saadaan kaavasta 9

$$R_{tapered} = q_{ver.i} \frac{l}{2} \quad (9)$$

missä

$q_{ver.i}$ Mitoittavan kuormitusyhdistelmän mukainen puristus viivakuorma.

l Harjapalkin pituus.

4.3.5 Kiepahdustuen voima

Kiepahdustuen voima määritettiin RIL 205-1-2017 (2017, 172) mukaan kaavalla 10.

$$q_d = k_l \frac{nN_d}{50l} \quad (10)$$

Kaavassa 9 esiintyvät arvot:

k_l Kerroin, joka saadaan kaavasta 11.

n Puolet pääkannattimien lukumäärästä, koska loput jäykistetään toisella jäykistysristikolla.

N_d Kiepahdustuettavan palkin puristusvoima, joka saadaan kaavasta 12.

l Harjapalkin pituus.

$$k_l = \min \left\{ \frac{1}{\sqrt{\frac{15}{l}}} \right\} \quad (11)$$

missä

l Harjapalkin pituus

$$N_d = (1 - k_{crit}) \frac{M_d}{h} \quad (12)$$

missä

k_{crit} Poikittain tukemattoman palkin kiepahduskerroin, joka saadaan kaavasta 13.

M_d Palkin suurimman momentin mitoitusarvo, joka saadaan kaavasta 17.

h Harjapalkin korkeus.

$$k_{crit} = \begin{cases} 1 & \text{Kun } \lambda_{rel,m} \leq 0,75 \\ 1,56 - 0,75\lambda_{rel,m} & \text{Kun } 0,75 < \lambda_{rel,m} \leq 1,4 \\ \frac{1}{\lambda_{rel,m}^2} & \text{Kun } 1,4 < \lambda_{rel,m} \end{cases} \quad (13)$$

missä

$\lambda_{rel,m}$ Harjapalkin suhteellinen hoikkuus, joka saadaan kaavasta 14.

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{f_{m,k}}{\sigma_{m,crit}}} \quad (14)$$

missä

$f_{m,k}$ Taivutuslujuuden ominaisarvo. Hallikombinaatioiden harjapalkkina käytetään liimapuuta GL30c, jonka taivutuslujuuden ominaisarvo on 30N/mm².

$\sigma_{m,crit}$ Kriittinen taivutusjännitys, joka saadaan kaavasta 15.

$$\sigma_{m,crit} = \frac{cB_{eff}^2}{hl_{ef}} E_{0,05} \quad (15)$$

missä

c 0,70 liimapuun lujuusluokille GL30c.

B_{eff} Harjapalkin leveys.

h Harjapalkin korkeus.

l_{ef} Palkin tehollinen pituus. Hallikombinaatioissa harjapalkit tuettiin puristetulta reunalta ja kuormitus vaikuttaa palkin puristetulla reunalla, jolloin l_{ef} saadaan kaavasta 16.

$E_{0,05}$ Syysuuntaista kuormitusta vastaava kimmokerroin, joka on liimapuulla GL30c 10800 N/mm².

$$l_{ef} = a + 2h \quad (16)$$

missä

a Kiepahdustukien k-jako.

h Harjapalkin korkeus.

$$M_d = \frac{q_{ver.i} l^2}{8} \quad (17)$$

missä

$q_{ver.i}$ Mitoittavan kuormitusyhdistelmän mukainen puristus viivakuorma.

$q_{ver.i}$ Harjapalkin pituus.

4.4 Kuormitusyhdistelmät

Hallin pysyvät ja muuttuvat kuormat yhdisteltiin kirjan RIL 205-1-2017 (2017, 27) mukaan kaavalla 18. Kuormat yhdisteltiin kahdella eri tavalla. Ensimmäisessä yhdistelyssä lumi-kuorma oli määräävä muuttuva kuorma ja toisessa yhdistelyssä tuulikuorma. Kuormitusyhdistely, jossa tuulikuorma oli määräävänä muuttuvana kuormana, saatiin suurin jäykistysristikolle tuleva vaakakuorma.

$$1,15K_{FI}G_{kj} + 1,5K_{FI}Q_{k,1} + 1,5K_{FI} \sum \psi_{0,i} Q_{k,i} \quad (18)$$

missä

K_{FI} Seuraamusluokasta riippuva kuormakerroin. Hallikombinaatiot katsotaan kuuluvan seuraamusluokkaan CC2, jolloin kuormakerroin on 1,0.

G_{kj} Pysyvien kuormien ominaisarvo.

$Q_{k,1}$ Määräävän muuttuvan kuorman ominaisarvo.

$Q_{k,i}$	Muun muuttuvan kuorman ominaisarvo
$\psi_{0,i}$	Muuttuvien kuormien yhdistelykerroin. Lumikuorman ollessa toissijainen muuttuvakuorma on kerroin 0,7. Tuulikuorman ollessa toissijainen muuttuva kuorma on kerroin 0,6.

4.5 Tulokset

Hallikombinaatioiden mukaiset jäykistysvoimat ovat taulukossa 7. Vaakasuuntaiset jäykistyskuormat F_{tot} vaihtelevat välillä 41,5—121,6kN. Hallin leveyden, kehäjaon ja korkeuden kasvattaminen lisäsi oletetusti jäykistyskuormaa.

Kombinaatiot	F_{tot} [kN]	V_d [kN]	$N_{t,d}$ [kN]
1	41,5	41,5	58,7
2	53,6	53,6	75,8
3	68,4	68,4	96,7
4	57,1	57,1	80,8
5	73,6	73,6	104,1
6	92,3	92,3	130,5
7	76,1	76,1	107,6
8	95,7	95,7	135,3
9	121,6	121,6	172,0

Taulukko 7. Hallikombinaatioiden jäykistyskuormat

Hallin suurempi kehäjako ja hallin leveys kasvattaa lisävaakavoimaa ja kiepahdustuen voimaa, koska suuremmalla kehäjaolla ja hallin leveydellä yksittäiset pääkannattimet ottavat pysyviä- ja lumikuormia suuremmalta pinta-alalta. Korkeampi ja leveämpi halli lisää päätyseinän pinta-alaa ja puuskanopeuspainetta, joka lisää tuulikuormaa.

Taulukon 6 leikkausvoima V_d on laskettu 45 asteen kulmassa olevalle diagonaalisauvalle. Se on suurin mahdollinen leikkausvoima, koska pystyjäykisteen diagonaalit jaetaan korkeussuunnassa siten, että diagonaalien kaltevuus on $45^\circ < \alpha < 60^\circ$. Taulukossa 4 $N_{t,d}$ on 45 asteen kulmassa olevan diagonaalisauvan suuntainen voima, eli puristus tai vetovoima.

5 Jäykistysliitos

5.1 Ristikkoliitostuotteet ADE ja ADK

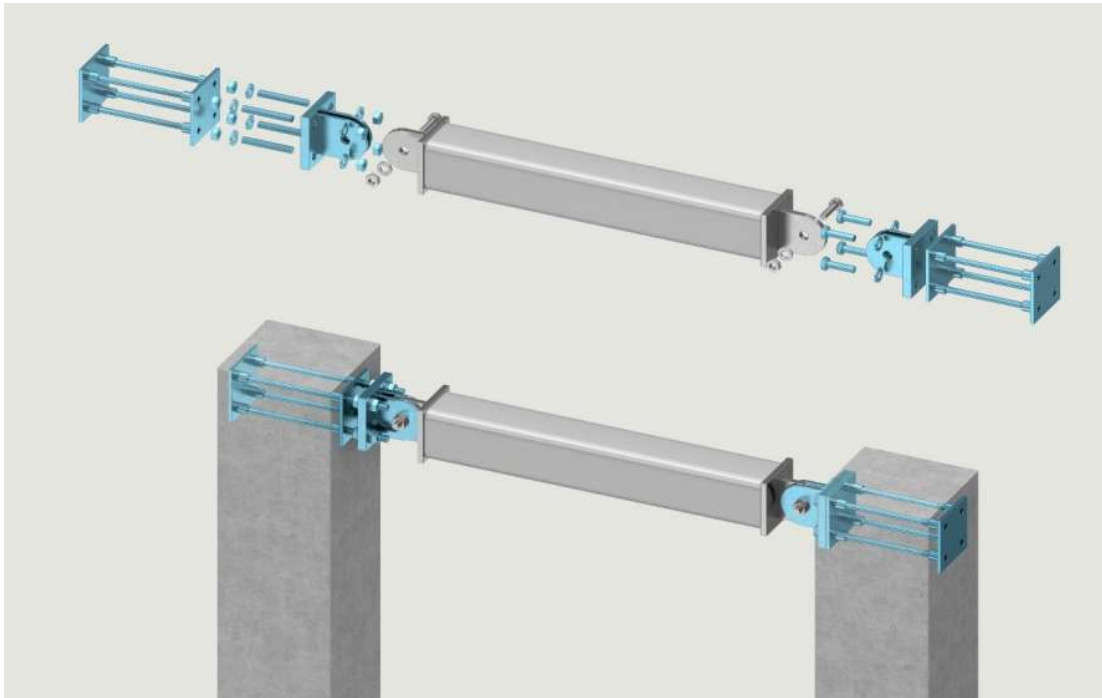
ADE ja ADK on Anstarin valmistaman vakioidun ristikkoliitostuotteiden nimet. Tuotteet on suunniteltu betonielementtirunkojen jäykistystä varten. Liitososilla teräsrakenteiset jäykistyssauvat kiinnitetään betonielementtipilariin (Kuva 20).



Kuva 20. Ristikkoliitostuotteiden käyttökohteen havainnollistava kuva (Anstar 2021, 4)

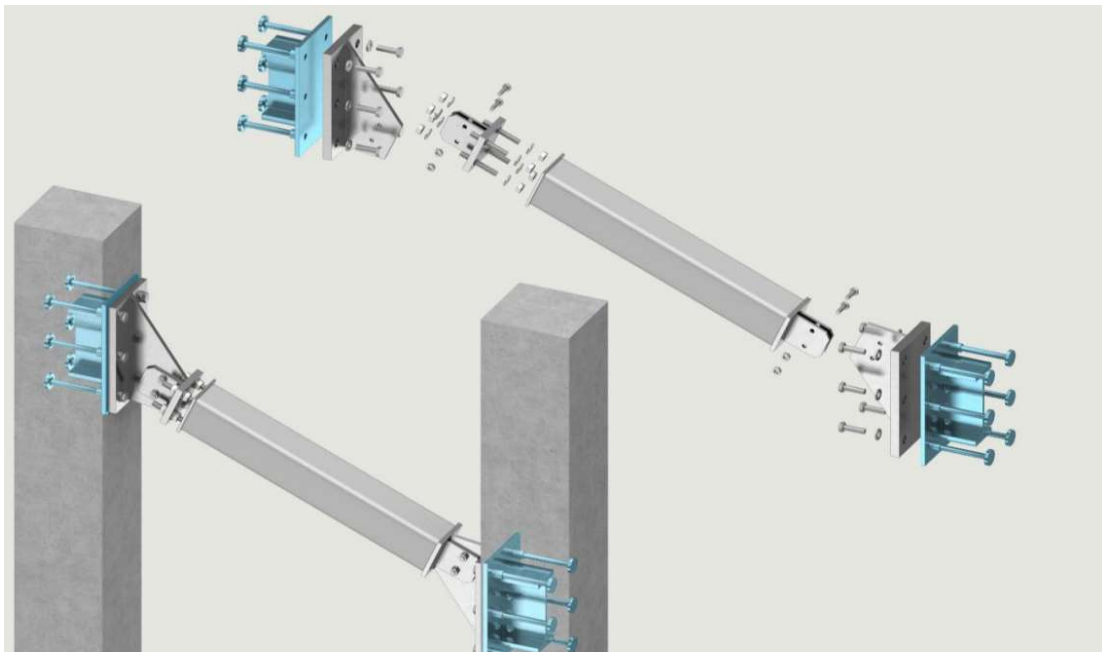
Ristikkoliitostuotteen käytöstä on hyötyä elementtitehtaalla, koska betonin liitososasta ei tule mitään elementtipilarin tason suuntaisia ulokkeita. Tämä helpottaa muottien rakentamista. Liitoksen avulla työmaalla vältetään hitsaus ja jälkivalut, koska vino- ja vaakajäykistykset kiinnittyvät elementtipilariin ruuviliitoksella.

Liitos ADE on suunniteltu vain vaakasuuntaiseen voimien siirtämiseen (kuva 21). Se sopii elementtipilarin vaakasuuntaiseen nurjahdustuentaan ja siirtämään vaakakuormia runkoa jäykistävälle pystyrakenteille ja vinojäykisteristikoiille.



Kuva 21. Liitos ADE-vaakasauvaliitos (Anstar 2021, 6)

Liitos ADK on suunniteltu vinojäykisteen kiinnittämiseen elementtipilariin (kuva 22). Vinojäykisteen tarkoituksena on siirtää vaakakuormat vinosauvan kautta perustuksille.

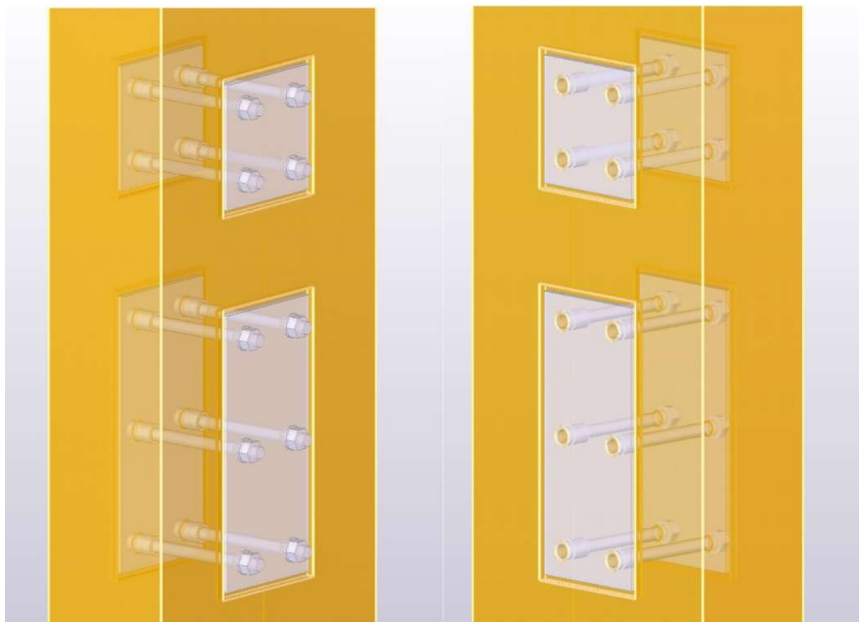


Kuva 22. ADK-ristikkoliitos (Anstar 2021, 5)

Kuvassa 21 ja 22 sinisellä esitetyt osat kuuluvat Anstarin toimitukseen ja harmaalla kuuluvat tilaajan suunnitteluun ja toimitukseen. Sinisellä esitetyt osat ovat siis vakioituja ja niille on laskettu tietyt kestävyysarvot, joiden avulla suunnittelija voi valita oikean tuotteen kohteelleen.

5.2 Jäykistysristikon puuliitos

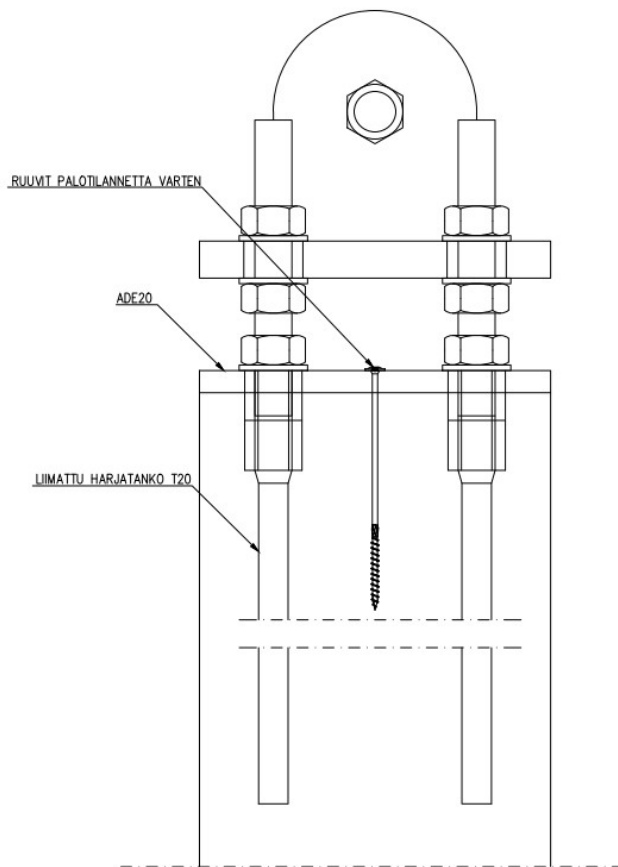
Tässä työssä liimapuuhallin pystysuuntainen jäykistysristikko toteutettiin hyödyntämällä Anstarin betonielementtirunkoon tarkoitetun jäykistysristikon komponentteja. Puuliitos koostuu ADE-liitoksen elementtipilariin menevästä teräslevystä ja muhvista. Muhviin kiinnitetään kierretangolla, jotka liimataan puuhun kuorman suunnan vaihtelun takia. Vastakappaleena toimii teräslevy, joka kiristetään puuhun mutterilla. Liitoksen teräslevyt upotetaan liimapuuhun teräslevyn paksuudelta. Liitoksia voidaan valmistaa kahdenlaisia kuvan 23 mukaisesti pitkiä ja kapeita teräslevyjä, jotka sisältävät useamman kuin neljä kierretankoa tai neliön muotoisia teräslevyjä, jotka sisältävät neljä kierretankoa. Pitkään ja kapeaan liitokseen voidaan liittyä kahdella tai useammalla sauvalla tai yhdellä sauvalla, jonka kuormat ovat niin suuria, että se vaatii useamman kuin neljä kierretankoa. Useamman kuin yhden sauvan liitokseen ajaa myös epäkeskisyydestä syntyvän momentin välttäminen liimapuupilarissa. Tästä on kerrottu tarkemmin luvussa 6.2.



Kuva 23. Jäykistysristikon liitoksen liimapuuhun kiinnitettävät osat

Useamman sauvan liitoksessa on erilainen voimien siirtyminen puuhun kuin yhden sauvan liitoksessa. Tässä opinnäytetyössä keskitytään yhden sauvan liitoksen kestävyden laskentaan. Voimien siirtyminen liitoksesta puuhun käsitellään kappaleessa 6.

Liimapuussa olevaan teräslevyyn liitytään ADE- ja ADK-liitoksen tapaan teräslevyllä, jossa on jäykistyssauvan kiinnitykseen teräskorvake. Jäykistyssauvan korvakkeen liitoksessa hyödynnetään myös ADE-liitoksen teräslevyä. Liimapuusauvaan työstetään reiät muhville ja harjateräkselle. Harjateräs siirtää vetovoimat liimapuulle liimauksen avulla. Liimapuusauvan säätöpäällä varustettu korvake kuvassa 24. Teräskorvakkeita ei tässä työssä käydä tarkemmin läpi aiheen rajaamiseksi.



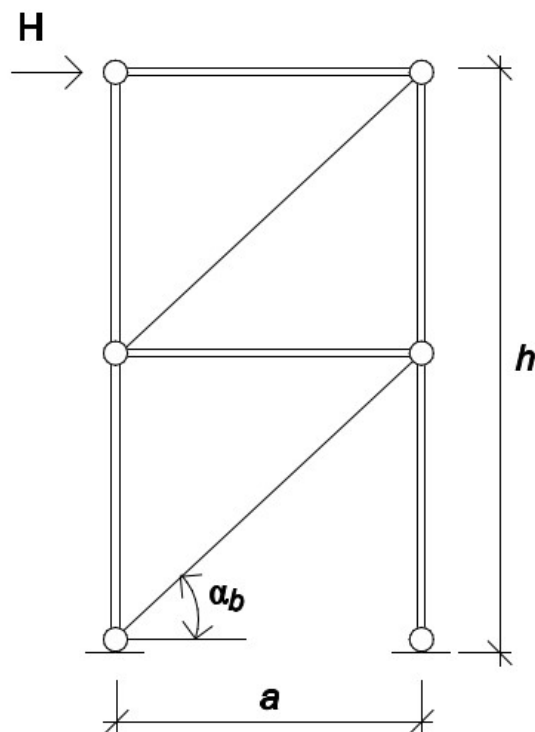
Kuva 24. Liimapuusauvan korvakkeen liitos säätöpäällä

5.3 Liitoksen hyödyt

Liimapuuhallin pystysuuntaisen jäykistysristikon liitoksen vakioiminen nopeuttaa suunnittelua. Suunnittelija voi valita valmiin liitosratkaisun laskemilleen jäykistysvoimille. Vakioitun liitoksen valitseminen myös ehkäisee virheitä, koska uuden liitoksen luominen on haastavaa ja aikaa vievää. Suunnittelutehtävissä on usein kiire, joka lisää virheiden mahdollisuutta. Vakioitu liitos myös vähentää kustannuksia, kun volyyymi on suuri ja liitosta tuotetaan liukuhinnamaisesti, pystytään hintaa myös laskemaan.

Jäykistysliitos, joka suunnitellaan jokaiseen projektiin erikseen, joutuu suunnittelija ensin suunnittelemaan liitoksen ja piirtämään konepajapiirustukset. Tämän jälkeen vielä liitokselle pitää etsiä mahdolliset tekijä ja kilpailuttaa ne. Hyvin aikaa vievä ja kallis ratkaisu.

Suunnittelussa usein rakennuksen pääkannattimien korkeus ja k-jako on määritetty ennen pystysuuntaisen jäykistysristikon suunnittelua. Liitoksen käyttäminen mahdollistaa pystyjäykisteen diagonaalien jakaminen korkeussuunnassa siten, että diagonaalien kaltevuus on $45^\circ < \alpha < 60^\circ$, joka on osoitettu olevan tehokkain ratkaisu (kuva 25). Jäykistyskenttien lukumäärä on taloudellisuuden ja tehokkuuden kompromissi. (Liimapuukäsikirja osa 2 2015, luku 13, 13.)



Kuva 25. Pystysuuntaisen jäykistysristikon jakaminen pystysuunnassa tehokkaiden kulmien mukaisesti (Liimapuukäsikirja osa 2 2015, luku 13, 13)

Pystysuuntaisen jäykistysristikon diagonaalit ja horisontaalit ovat liimapuusauvoja. Liimapuut voivat ottaa vastaan sekä puristusta, että vetoa. Verrattuna vetotangoilla toteutettuun jäykistysristikkoon yksi liimapuusauva korvaa kaksi vetotankoa.

Liimapuuhun tehtävät syvennykset ja reiät, sekä liitoksen kiinnitys tehdään liimapuutehtaalla. Tämä lisää mittatarkkuutta ja vähentää rakentamista säälle alttiissa ympäristössä työmaalla.

Liitoksissa on säätömahdollisuus ADE- ja ADK-liitoksen tapaan. Tämän avulla sauvat saadaan helpommin asennettua ja rungon suoruus säädettyä asennustoleranssien mukaisesti.

Korvakelevyn erillinen kiinnittäminen työmaalla helpottaa liimapuupilareiden kuljettamista ja Anstarin toimitusrajat pysyvät samana, kuin ADE ja ADK liitoksessa.

5.3.1 Kosteusmuodonmuutokset

Liitos on haasteellinen kosteuselämisen suhteen. Liitokset pitäisi lähtökohtaisesti suunnitella siten, että kosteusliikkeitä ei estetä, mutta liitoksen teräslevyt kiristetään syitä vastaan kohtisuorassa suunnassa liimapuupilarin väliin, joka estää kosteusliikkeet. Liimapuun syitä vastaan kohtisuora suunta on herkin kosteuselämiselle, sekä heikoin vedolle ja puristukselle. Jos kosteusliikkeet estetään, syntyy liimapuuhun halkeamia, kun veto- ja puristuslujuus ylittyy. (Liimapuukäsikirja osa 2, 2015, luku 6, 9.)

Kosteusvaihtelun vaikutusta liimapuun kosteuselämiseen voidaan välttää pintakäsittelyllä, joka hidastaa kosteuden tunkeutumista liimapuuhun. Ongelmana on käsittelyn työläisyys ja työn hinta. Toinen vaihtoehto olisi liimapuun kyllästäminen, mutta tämäkään ei ole erityisen käytännöllistä, kun sisätilassa oleva liimapuu ei sitä muuten vaatisi (Liimapuukäsikirja osa 2, 2015, luku 6, 9). Kolmantena vaihtoehtona olisi tutkia kierretankojen liimauksen vaikutusta kosteuselämisen estämiseen. Neljäntenä vaihtoehtona olisi teräslevyn ja liimapuun väliin asennettava joustava levy, joka sallii kosteuselämisen.

Joka tapauksessa liitoksen jäykkyys ja kestävyys kärsii, jos teräslevyt eivät ole tiukasti kiristettynä liimapuuta vasten. Tämän takia liitos tulee jälki kiristää puun kuivumisen jälkeen. (Liimapuukäsikirja osa 2, 2015, luku 6, 21.)

5.3.2 Palosuojaus

Liitoksen teräslevyjen palokestävyys lasketaan standardin EN 1993-1-2 mukaan. Teräslevyjen poikkileikkaustekijää laskettaessa oletetaan, että puuta vasten olevat pinnat eivät

altistu palolle. Liitokset, joissa uloimmat osat ovat terästä on yleensä palosuojattava. Liitoksen hyötynä palotilanteessa on teräslevyjen kiristäminen vastakkain kierretangolla, koska vaikka kierretangot kuumenevat ja puu alkaa hiiltä niiden ympärillä ei liitos pääse irtoamaan puusta. Verrattuna esimerkiksi ruuveilla kiinnitettyyn teräslevyyn, joka putoaa puun hiiltyessä ruuvien ympärillä.

Liitos voidaan palosuojata esimerkiksi puuverhouksella tai teräsosat voidaan maalata palosuojamaalilla. Liitosta voidaan pitää palosuojattuna, kun sitä peittävän puun tai puulevytyksen paksuus on vähintään a_{fi} kaavan 19 mukaan.

$$a_{fi} = \beta_n k_{flux} (t_{req} - t_{d,fi}) \quad (19)$$

missä

β_n	Hiilitymisnopeus, joka saadaan taulukosta 8.
k_{flux}	Kerroin, jolla otetaan huomioon liittimen kautta lisääntyvä lämpö. Arvona käytetään 1,5.
t_{req}	Vaadittu palonkesto aika.
$t_{d,fi}$	Suojaamattoman liitoksen palonkesto aika, joka on tässä tapauksessa 5 min.

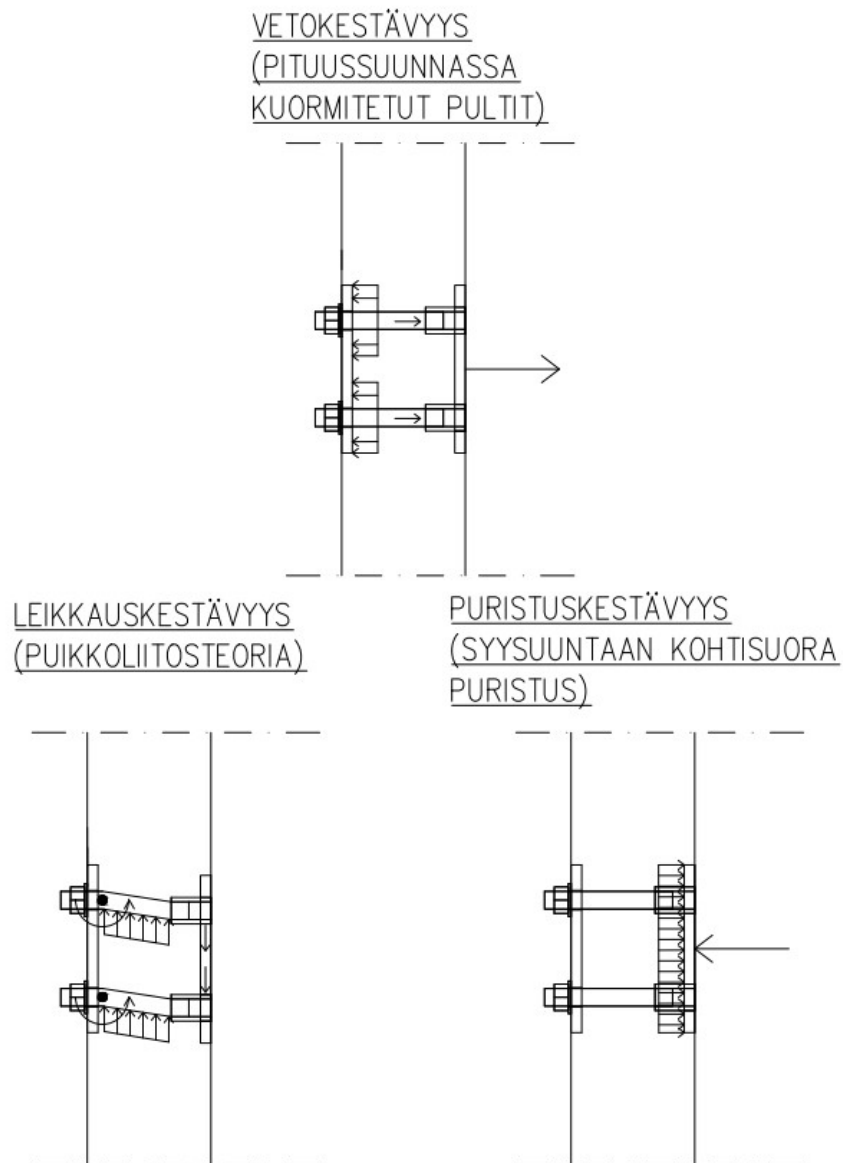
	β_0 mm/min	β_n mm/min
a) Havupuu		
Liimapuu, jonka ominaistiheys $\geq 290 \text{ kg/m}^3$	0,65	0,7
Sahatavara, jonka ominaistiheys $\geq 290 \text{ kg/m}^3$	0,65	0,8
b) Lehtipuu		
Lehtipuusta valmistettu sahatavara tai liimapuu, jonka ominaistiheys on 290 kg/m^3	0,65	0,7
Lehtipuusta valmistettu sahatavara tai liimapuu, jonka ominaistiheys $\geq 450 \text{ kg/m}^3$	0,50	0,55
c) LVL:		
jonka ominaistiheys on $\geq 480 \text{ kg/m}^3$ ^{a)}	0,65	0,7
jonka ominaistiheys on $\geq 410 \text{ kg/m}^3$ ^{b)}	0,7	0,75
d) Levyt ja lautatavara ^{c)}		
Lautatavara	0,9	-
Vaneri	1,0	-
Muut puulevyt kuin vaneri	0,9	-

Taulukko 8. Hiiltymisnopeuden arvot eri puutavaroille. (RIL 205-2-2019, 2019, 24)

6 Liitoksen kestävyden laskennan selostus

6.1 Voimien siirtyminen teräkseltä puuhun

Liitoksen voimat siirtyvät puuhun syysuuntaan kohtisuoran leikkauksen, sekä syysuuntaan kohtisuoran vedon ja puristuksen välityksellä. Kuva 26 havainnollistaa voimien siirtymistä.



Kuva 26. Leikkaus-, veto- ja puristusvoimien siirtyminen liitoksesta puuhun

Luvussa 6.1.1 ja 6.1.3 esitetyt liitoksen kestävydet ovat ominaisarvoina. Liitoksen mitoituskestävyys saadaan EN 1995-1-1 (2014, 26) mukaan kaavasta 19.

$$R_d = k_{mod} \frac{R_k}{\gamma_M} \quad (19)$$

missä

k_{mod} Muunnoskerroin, jolla huomioidaan kuorman keston ja kosteuden vaikutukset. Tässä työssä liitos suunnitellaan käyttöluokkaan 1 ja tuuli on määräävä muuttuva kuorma, joka kuuluu hetkelliseen aikaluokkaan. Tällöin kertoimeksi saadaan 1,1 (taulukko 9).

R_k Kestävyyden ominaisarvo.

γ_M Materiaaliominaisuuden osavarmuusluku, joka on liitoksille 1,3 (taulukko 10).

Materiaali	Standardi	Käyttöluokka	Kuorman aikaluokka				
			Pysyvä kuorma	Pitkäaikainen kuorma	Keskipitkä kuorma	Lyhytaikainen kuorma	Hetkellinen kuorma
Sahatavara	EN 14081-1	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
Liimapuu	EN 14080	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

Taulukko 9. Muunnoskerroimen arvot (EN 1995-1-1, 2014, 28)

Perusyhdistelmät:	
Sahatavara	1,3
Liimapuu	1,25
LVL, vaneri, OSB-lastulevy	1,2
Muu lastulevy	1,3
Kova kuitulevy	1,3
Puolikova kuitulevy	1,3
MDF-levy	1,3
Huokoinen kuitulevy	1,3
Liitokset	1,3
Naulalevyt	1,25
Onnettomuusyhdistelmät	1,0

Taulukko 10. Materiaaliominaisuuksien osavarmuusluku (EN 1995-1-1, 2014, 25)

6.1.1 Puikkoliitosteoria

Liitokseen aiheutuva leikkausvoima siirtyy puuhun EN 1995-1-1 (2014, 53—57) puikkoliitosteorian mukaan. Liitoksen yhden liitinrivin leikkauskestävyys saadaan kaavasta 20.

$$F_{V,ef,Rk} = n_{ef}F_{V,Rk} \quad (20)$$

missä

- $F_{V,ef,Rk}$ Syysuuntaisen yhden kierretankorivin kestävyuden tehollinen ominaisarvo.
 n_{ef} Syysuuntaisen kierretankorivin tehollinen lukumäärä, joka saadaan kaavasta 21.
 $F_{V,Rk}$ Syysuuntaan kuormitetun yksittäisen kierretanko liitoksen kestävyuden ominaisarvo, joka saadaan kaavasta 22 ja 23.

$$n_{ef} = \min \left\{ n, n^{0,9^4} \sqrt{\frac{a_1}{13d}} \right\} \quad (21)$$

missä

- n Syysuuntaan samassa rivissä olevien pulttien määrä.
 a_1 Syysuuntainen pulttiväli.
 d Pultin halkaisija.

Kun lasketaan koko liitoksen leikkauskestävyyttä, kerrotaan arvo $F_{V,ef,Rk}$ syysuuntaan kohtisuorien kierretankorivien määrällä olettaen, että kierretankorivit ovat identtisiä syysuunnassa. Koska syysuuntaan kohtisuorasti $n_{ef} = n$.

Leikkausvoima vaikuttaa vain toisella puolella levyä, jolloin liitos kuvitellaan yksileikkeisenä. Puikkoliitosteoria antaa yksileikkeisen teräslevyn yksittäisen kierretangon kapasiteetin laskemiseen kaksi kaavaa teräslevyn paksuuden mukaan. Teräslevyn paksuus määritetään seuraavanlaisesti.

Teräslevy, jonka paksuus on enintään 0,5d, luokitetaan ohueksi levyksi ja teräslevy, jonka paksuus on vähintään d ja jossa reiän halkaisijan toleranssi on alle 0,1d, luokitetaan paksuksi levyksi. Liitoksen kestävyuden ominaisarvo teräslevyn paksuuden

ollessa ohuen levyn ja paksun levyn välillä lasketaan interpoloimalla lineaarisesti ohutta levyä ja paksua levyä vastaavien raja-arvojen välillä. (EN 1995-1-1, 2014, 56.)

Yksileikkeisen ohuen teräslevyn liitoksen leikkauskapasiteetti lasketaan kaavan 22 mukaan. Yksileikkeisen paksun teräslevyn liitoksen leikkauskapasiteetti lasketaan kaavan 23 mukaan.

$$F_{V,Rk} = \min \begin{cases} 0,4f_{h,0,k}t_1d & (a) \\ 1,15\sqrt{2M_{y,Rk}f_{h,0,k}d} + \frac{F_{ax,Rk}}{4} & (b) \end{cases} \quad (22)$$

$$F_{V,Rk} = \min \begin{cases} f_{h,0,k}t_1d & (e) \\ f_{h,0,k}t_1d \left[\sqrt{2 + \frac{4M_{y,Rk}}{f_{h,0,k}dt_1^2}} - 1 \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4} & (c) \\ 2,3\sqrt{M_{y,Rk}f_{h,0,k}d} + \frac{F_{ax,Rk}}{4} & (d) \end{cases} \quad (23)$$

missä

$f_{h,0,k}$ Puuosan reunapuristuslujuuden ominaisarvo liitoksen kuormittuessa syy suuntaisesti, joka saadaan kaavasta 24.

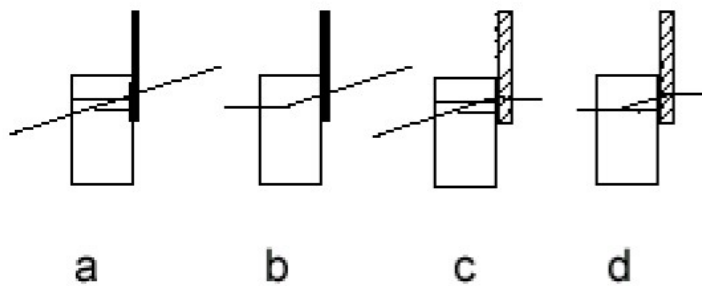
t_1 Puisen sivukappaleen paksuus tai kierretangon pituus, sen mukaan kumpi on pienempi

d Kierretangon paksuus tai halkaisija.

$M_{y,Rk}$ Kierretangon myötömomentin ominaisarvo, joka saadaan kaavasta 25.

$F_{ax,Rk}$ Kierretangon ulosvetokestävyyden ominaisarvo, joka lasketaan samalla tavalla kuin kappaleen 6.5 pituussuunnassa kuormitetut kierretangot.

$a - d$ Kaavan huomioima murtumismuoto (kuva 27).



Kuva 27. Yksileikkeisen teräslevyn ja puun väliset murtumismuodot. (EN 1995-1-1 2014, 57)

$$f_{h,0,k} = 0,082(1 - 0,01d)\rho_k \quad (24)$$

missä

ρ_k Puun tiheyden ominaisarvo, joka on liimapuulla GL30c 390 kg/m³.

d Kierretangon halkaisija.

$$M_{y,Rk} = 0,3f_{u,k}d^{2,6} \quad (25)$$

missä

$f_{u,k}$ Kierretangon vetolujuuden ominaisarvo, joka saadaan kaavasta 26.

d Kierretangon halkaisija.

$$f_{u,k} = f_{u,kierretanko}A \quad (26)$$

missä

$f_{u,k}$ Kierretangon murtolujuus. Liitoksessa käytettävän kierretangon murtolujuus on 800N/mm².

A Kierretangon pinta-ala.

6.1.2 Syysuuntaan kohtisuora puristus

Liitoksen syysuuntaan kohtisuora puristuskestävyys määritetään standardin EN 1995-1-1 (2014, 36—37) mukaan kaavalla 27.

$$\sigma_{c,90,d} \leq k_{c,90} f_{c,90,d} \quad (27)$$

missä

$\sigma_{c,90,d}$ Syitä vastaan kohtisuoralla tehollisella kosketuspinnalla vaikuttavan puristusjännityksen mitoitusarvo, joka saadaan kaavasta 28.

$k_{c,90}$ Kerroin, jonka avulla otetaan huomioon kuorman sijainti, halkeamismahdollisuus ja puristuman suuruus. Kertoimena käytetään arvoa 1,0.

$f_{c,90,d}$ Puristuslujuuden mitoitusarvo syysuuntaan kohtisuorassa suunnassa, joka saadaan kaavasta 19. Liimapuu GL30c syysuuntaan kohtisuora mitoitusarvo on 2,2N/mm² käyttöluokassa 1 ja hetkellisessä aikaluokassa.

$$\sigma_{c,90,d} = \frac{F_{c,90,d}}{A_{ef}} \quad (28)$$

missä

$F_{c,90,d}$ Syitä vastaan kohtisuoran puristuskorman mitoitusarvo

A_{ef} Syitä vastaan kohtisuoran puristavan kuorman tehollisen kosketuspinnan pinta-ala. Liitoksen kosketuspinnan pituuteen lisätään molemmin puolin 30 mm.

Kaava 27 voidaan myös muuttaa muotoon, josta saadaan liitoksen maksimi puristuslujuus, kun tiedetään liitoksen puristuksen vastaanottava tehollinen syysuuntaan kohtisuora pinta-ala ja puun puristuslujuuden mitoitusarvo (kaava 29).

$$F_{c,90,d} = k_{c,90} f_{c,90,d} A_{ef} \quad (29)$$

6.1.3 Pituussuunnassa kuormitetut kierretangot

Liitoksen vetokestävyys määritetään EN 1995-1-1 (2014, 69) mukaan. Vetokestävyuden ominaisarvona käytetään pienempää seuraavista arvoista:

- Kierretangon vetokestävyuden ominaisarvo, joka määritetään kaavalla 30.
- Teräslevyn kestävyuden ominaisarvo, kaava 31.
- Vedetyn teräslevyn alla olevan liimapuun puristuskestävyyden ominaisarvo, kaava 35.

Vedetyn kierretangon teräslevyn alla olevan liimapuun puristuslujuuden ominaisarvo lasketaan olettamalla, että liimapuun puristuslujuuden ominaisarvo on $3,0f_{c,90,k}$. Teräslevyn ja liimapuun kestävyys lasketaan kierretankoa kohden pinta-alalle, jonka halkaisija on maksimissaan pienempi seuraavista arvoista (kuva 28):

- $12t$, missä t on levyn paksuus
- $4d$, missä d on pultin halkaisija

$$F_{t,Rk} = f_{yb}A_s \quad (30)$$

Kierre ^{a)} <i>d</i>	Nimellinen jännitys- poikkipinta- ala <i>A_{s,nom}</i> ^{b)} mm ²
M3	5,03
M3,5	6,78
M4	8,78
M5	14,2
M6	20,1
M7	28,9
M8	36,6
M10	58
M12	84,3
M14	115
M16	157
M18	192
M20	245
M22	303
M24	353
M27	459
M30	561
M33	694
M36	817
M39	976

Taulukko 11. Pulttien jännityspoikkipinta-alat (EN ISO 898-1 2013, 26)

missä

f_{yb} Kierretangon myötöraja. Liitoksen kierretangon myötöraja on 640N/mm^2 .

A_s Kierretangon jännityspoikkipinta-ala, joka saadaan taulukosta 11.

$$F_{M,Rk} = \sigma_{sal} A \quad (31)$$

missä

σ_{sal} Sallittu jännitys, joka saadaan kaavasta 32.

A Teräslevyn laskenta pinta-ala (Kuva 28).

$$\sigma_{sal} = \frac{M_{c,Rk} * z}{z^2 * b} \quad (32)$$

missä

$M_{c,Rk}$ Momenttikestävyys, joka saadaan kaavasta 33.

z Vipuvarsi (kuva 28).

b Suorakaidepoikkileikkauksen leveys (kuva 28).

$$M_{c,Rk} = W f_y \quad (33)$$

missä

W Suorakaidepoikkileikkauksen taivutusvastus, joka saadaan kaavasta 34.

f_y Teräslevyn myötöraja. Liitoksen teräslevy on S355, joten myötörajan arvo on 355 N/mm^2 .

$$W = \frac{bh^2}{6} \quad (34)$$

missä

b Suorakaidepoikkileikkauksen leveys (kuva 28).

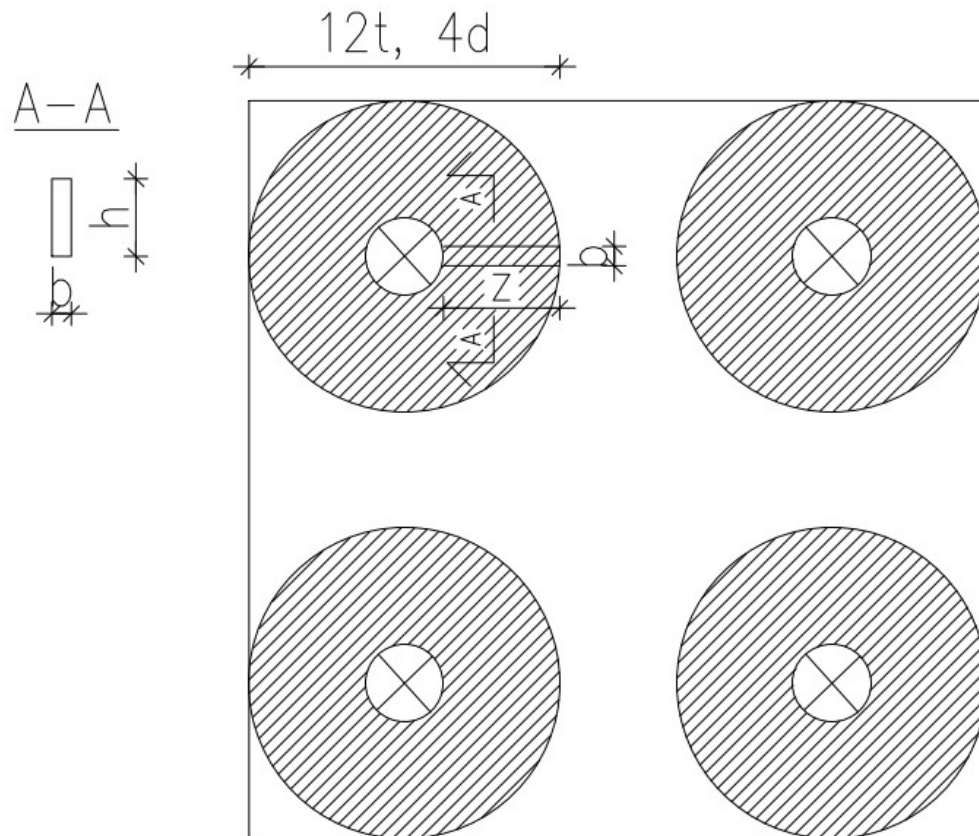
h Suorakaidepoikkileikkauksen korkeus (kuva 28).

$$F_{Rk} = 3f_{c,90,k} A \quad (35)$$

missä

$f_{c,90,k}$ Syitä vastaan kohtisuora puristuslujuus, joka on liimapuulla GL30c 2,5N/mm².

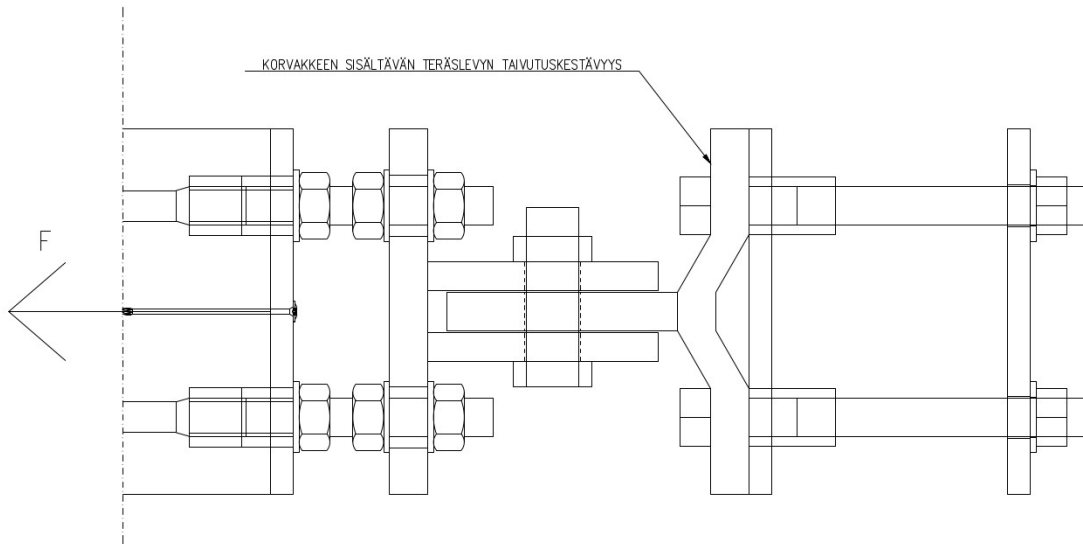
A Laskenta pinta-ala (kuva 28).



Kuva 28. Teräslevyn ja liimapuun laskenta pinta-alan, sekä taivutusvastukseen tarvittavien mittojen havainnollistava kuva

6.2 Teräslevyn taivutuskestävyys

Liimapuussa olevaan liitokseen liitetään pulteilla teräslevy, joka sisältää jäykistyssauvaan kiinnitettävän korvakkeen. Korvakkeen sisältämä teräslevy lasketaan ottamaan vastaan puristus- ja vetovoimat kuva 29 mukaisesti.



Kuva 29. Liimapuu liitokseen liitettävän teräslevyn taivutuskestävyys

Teräslevyn taivutuskestävyys lasketaan standardin EN 1993-1-1 (2005, 55) mukaan. Teräslevyn sallima puristus ja vetokestävyys saadaan rakentajain kalenterin (2016, 450) mukaan kaavalla 35.

$$M_{max} = \frac{FL}{4} \quad (35)$$

Kaava 35 voidaan muuttaa kaavan 36 muotoon, jotta puristus ja vetovoima saadaan selville.

$$F_{Rd} = \frac{M_{Rd}^4}{L} \quad (36)$$

missä

F_{Rd} Puristus- ja vetokestävyys.

M_{Rd} Momenttikestävyys, joka saadaan kaavasta 37.

L Kierretankojen suurin etäisyys liitoksessa.

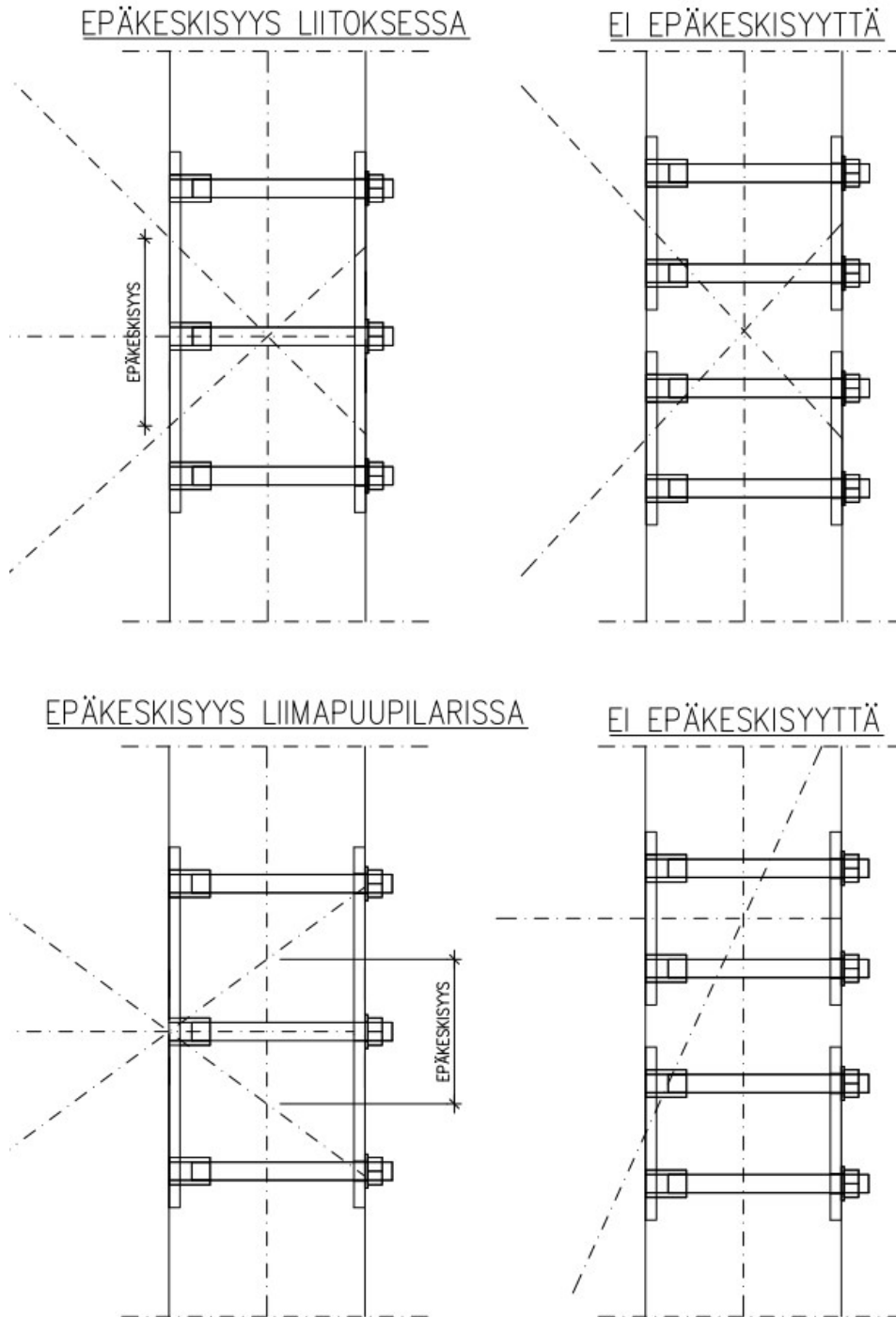
$$M_{Rd} = \frac{Wf_y}{\gamma_{M0}} \quad (37)$$

missä

W	Suorakaidepoikkileikkauksen taivutusvastus, joka saadaan kaavasta 34.
f_y	Teräslevyn myötöraja. Liitoksen teräslevy on S355, joten myötörajan arvo on 355N/mm^2 .
γ_{M0}	Osavarmuusluku, jonka arvo on 1,0.

6.3 Epäkeskisyys

Liitoksen korvakkeet ja vinosauvojen kulmat pyritään suunnittelemaan niin, että sauvojen systeemiviivat kulkevat teräslevyn keskeisen pinnan kautta ja kohtaavat samassa pisteessä liimapuupilarin systeemiviivassa. Näin vältetään epäkeskisyydestä aiheutuva taivutusjännitys liimapuupilarissa ja liitoksessa. Liimapuupilarit ovat liitoksen suunnassa suhteellisen ohuita verrattuna betonirakentamiseen. Tämä ajaa liitoksen sauvat lähelle toisiaan, kun tavoitellaan systeemiviivojen kohtaamista liimapuupilarin systeemiviivassa. Tästä syystä on tehtävä liitos, jossa on kaksi tai useampia sauvoja. Liitos, jossa on useampi sauva eivät systeemiviivat voi kohdata sekä teräslevyn keskellä pinnassa, että liimapuupilarin systeemiviivassa. Liitokset suunnitellaan silloin niin, että systeemiviivat kohtaavat liimapuupilarin systeemiviivassa ja liitokseen syntyvän epäkeskisyyden takia liitoksen kestävyttä laskettaessa otetaan epäkeskisyyden lisärasitukset huomioon kertomalla sauvavoimat 1,5 (RIL 205-1-2017, 2017, 105). Tässä opinnäytetyössä keskitytään liitoksiin, jossa on vain yksi sauva per liitos, jolloin systeemiviivat kohtaavat teräslevyn keskeisen pinnan kautta liimapuupilarin systeemiviivassa. Kuvassa 30 on esimerkit epäkeskisyydestä liitoksessa ja liimapuupilarissa, sekä liitokset yksittäisellä sauvalla, jossa ei ole epäkeskisyyttä.



Kuva 30. Systemiivojen kohtaamispaikat liimapuupilarissa ja liitoksessa

7 Liitoksen optimointi

7.1 Yleistä

Hallikombinaatioiden jäykistyskuormille pyrittiin löytämään parhaat liitosratkaisut. Tämän takia leikkaus- sekä puristus- ja vetokestävyys laskettiin useilla eri kestävyteen vaikuttavilla muuttujilla. Kestävyyksistä tuotettiin kuvaajat. Leikkauskestävyyden kuvaajat ovat liitteessä 3 ja puristus- ja vetokestävyys kuvaajat ovat liitteessä 4. Kestävyyden arvot ovat mitoitusarvoja.

7.2 Leikkauskestävyys

Leikkauskestävyyden laskennassa vakioina olivat:

- Kaksi kierretankoa rinnan syysuuntaan kohtisuorasti 110 mm.
- Liitoksen maksimikorkeus 600 mm.
- Kierretangon halkaisija 20 mm.
- Kierretangon myötöraja 640 N/mm^2 .
- Liimapuu GL30c.
- Teräslevyn leveys 190 mm.
- Teräslevyn myötöraja 355 N/mm^2 .

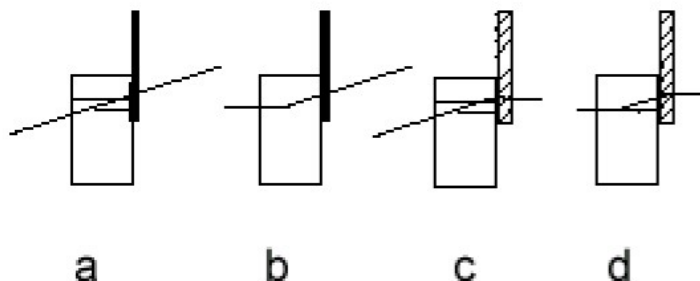
Leikkauskestävyyden laskennassa muuttujina olivat:

- Liimapuun paksuus on 140 mm, 190 mm, 215 mm, 240 mm tai 265 mm.
- Teräslevyn paksuus on 10 mm, 12 mm, 15 mm, 20 mm tai 25 mm.
- Kierretankojen määrä syysuunnassa on 4, 6 tai 8 kappaletta.
- Kierretankojen etäisyydet syysuunnassa 110 mm, 130 mm, 150 mm, 170 mm, 190 mm, 210 mm, 230 mm tai 250 mm.

Liimapuun paksuuden ollessa 140 mm ja 190 mm leikkauskapasiteetti määräytyy teräslevyn ja liimapuun paksuuden mukaan. Puikkoliitosteorian mukaan paksujen teräslevyjen mitoitettava murtumismuoto on (c), mukaan lukematta teräslevyn paksuuksia 10 mm ja 12 mm, joiden murtumismuoto on (d) liimapuun paksuudella 190 mm. Ohuita teräslevyjä käytettäessä murtumismuoto on (a) (kuva 31). Teräslevyt on upotettu liimapuuhun, joka pienentää

liimapuun paksuutta teräslevyn paksuuden kasvaessa, joka vaikuttaa leikkauskestävyyteen.

Liimapuun paksuuden ollessa 215 mm, 240 mm ja 265 mm leikkauskapasiteetti on yhtä suuri teräslevyjen paksuudella 12 mm ja 15 mm. Myös teräslevyjen paksuudella 20 mm ja 25 mm on samat leikkauskestävyyden arvot. Liimapuun paksuuksilla 215 mm, 240 mm ja 265 mm määrääväksi murtumismuodoksi tulee puikkoliitosteorian kaavassa paksuja teräslevyjä käytettäessä (d) ja ohuita teräslevyjä käytettäessä (b) (kuva 31). Nämä kaavat eivät ota huomioon liimapuun tai teräslevyn paksuutta. Kapasiteetti ei siis kasva 215 mm jälkeen, vaikka liimapuun tai teräslevyn paksuutta kasvatetaan.



Kuva 31. Puikkoliitosteorian murtumismuodot. (EN 1995-1-1, 2014, 57)

Liitoksessa kierretangon halkaisija on 20 mm, joten teräslevyjen paksuudet 0—10 mm on ohuita teräslevyjä. Ohuen ja paksun teräslevyn välissä on paksuudet 11—19 mm. Paksut teräslevyt ovat ≥ 20 mm. Paksujen ja ohuiden teräslevyjen määritelmä on luvussa 6.1.1.

12 mm paksu teräslevy saa suurimman leikkauskestävyyden arvon teräslevyn paksuuksista 11—19 mm, kun liimapuun paksuudet ovat 140 mm ja 190 mm. 20 mm paksu teräslevy saa suurimman leikkauskestävyyden arvon kaikista teräslevyn paksuuksista. 12 mm ja 20 mm teräslevyt saavat omassa ryhmässään eli ohuen ja paksun teräslevyn välissä ja paksujen teräslevyjen suurimmat arvot, koska liitoksen levyt on upotettu ja suurempi teräslevy syö liimapuun paksuutta, joka on mitoittava tekijä leikkauskestävyydelle liimapuun paksuuksissa 140 mm ja 190 mm. Jos teräslevyjä ei olisi upotettu saisivat samassa ryhmässä olevat teräslevyt saman leikkauskestävyyden arvon, koska kierretangon vetokestävyyden mitoittaa aluslevyn alla olevan liimapuun puristuskestävyys, eikä teräslevyn taivutuskestävyys. Teräslevyn paksuuden lisäämisestä on hyötyä, jos se kasvatetaan niin, että päästään paksimpien levyjen ryhmään. Esimerkiksi 10 mm paksu teräslevy kasvatetaan 20 mm paksuksi, koska näin puikkoliitosteorian kaavalla saadaan suurempi leikkauskestävyyden arvo,

vaikka kierretangon vetokestävyys pysyy samana. Tapauksessa, jossa kierretangon vetokestävyden mitoittaa teräslevyn taivutuskestävyys on teräslevyn paksuuden lisäämisestä hyötyä. Tässä tapauksessa vasta 6 mm paksussa teräslevyssä kierretangon ulosvetokestävyden mitoittaa teräslevyn taivutuskestävyys, mutta tällaista teräslevyn paksuutta ei tarkasteltu sen tarkemmin.

Jos leikkauskestävyydestä halutaan 20 mm paksun levyn antamaa kestävyyttä suurempi on kierretangon halkaisijaa kasvatettava, jotta isompaa puristuspinta-alaa voidaan hyödyntää teräslevyn alla olevan liimapuun puristuskestävyyttä laskettaessa, joka kasvattaa ulosvetokestävyyttä.

Mitä suuremmaksi kierretankojen välinen etäisyys syysuunnassa kasvaa, sitä suuremmaksi leikkauskestävyys kasvaa. Kierretangoille lasketaan efektiivinen määrä syysuunnassa, joka on riippuvainen niiden välisestä etäisyydestä. Mitä suurempi väli on sitä suurempi määrä kierretangoista, otetaan huomioon. Efektiivinen kierretankojen määrä ei voi kuitenkaan kasvaa yli todellisen kierretankojen määrän. Mitä enemmän kierretankoja on sitä suuremmaksi leikkauskestävyys kasvaa.

7.3 Liimapuun puristus- ja vetokestävyys

Liimapuun puristus- ja vetokestävyiden laskennassa vakioina olivat:

- Kaksi kierretankoa rinnan syysuuntaan kohtisuorasti 110 mm.
- Liitoksen maksimikorkeus 600 mm.
- Kierretangon halkaisija 20 mm.
- Kierretangon myötöraja 640 N/mm^2 .
- Liimapuu GL30c.
- Teräslevyn leveys 190 mm.
- Teräslevyn myötöraja 355 N/mm^2 .

Liimapuun puristus- ja vetokestävyiden laskennassa muuttujina olivat:

- Jäykistyssauvan liitososan teräslevyn paksuus on 20 mm, 25 mm, 30 mm, 35 mm, 40 mm.
- Kierretankojen määrä syysuunnassa on 4, 6 tai 8 kappaletta.

- Kierretankojen etäisyydet syysuunnassa 110 mm, 130 mm, 150 mm, 170 mm, 190 mm, 210 mm, 230 mm tai 250 mm.

Jäykistyssauvan liitososan teräslevyn paksuuden ollessa 20 mm ja kierretankojen määrä 4 kpl liitoksen mitoittaa kierretankojen etäisyyden ollessa syysuuntaan 110 mm ja 130 mm vedetyn kierretangon teräslevyn alla olevan puun puristuskestävyys. Kierretankojen välisen etäisyyden ollessa syysuunnassa välillä 150—250 mm liitoksen mitoittaa liitososan teräslevyn taivutuskestävyys. Kierretankojen määrän ollessa 6 kpl liitoksen mitoittaa kaikissa lasketuissa kierretankojen syysuuntaisissa etäisyyksissä vedetyn kierretangon teräslevyn alla olevan liimapuun puristuskestävyys. Kierretankojen määrän ollessa 8 kpl liitoksen mitoittaa kaikissa lasketuissa kierretankojen syysuuntaisissa etäisyyksissä liitososan teräslevyn taivutuskestävyys.

Jäykistyssauvan liitososan teräslevyn paksuuden ollessa 25 mm ja kierretankojen määrä 4 kpl liitoksen mitoittaa kierretankojen etäisyyden ollessa syysuuntaan 110—210 mm vedetyn kierretangon teräslevyn alla olevan puun puristuskestävyys. Kierretankojen välisen etäisyyden ollessa syysuunnassa välillä 230—250 mm liitoksen mitoittaa liitososan teräslevyn taivutuskestävyys. Kierretankojen määrän ollessa 6 kpl liitoksen mitoittaa kaikissa lasketuissa kierretankojen syysuuntaisissa etäisyyksissä vedetyn kierretangon teräslevyn alla olevan liimapuun puristuskestävyys. Kierretankojen määrän ollessa 8 kpl liitoksen mitoittaa kaikissa lasketuissa kierretankojen syysuuntaisissa etäisyyksissä liitososan teräslevyn taivutuskestävyys.

Jäykistyssauvan liitososan teräslevyn paksuuden ollessa 30 mm ja kierretankojen määrä 4 kpl tai 6 kpl liitoksen mitoittaa kaikissa lasketuissa kierretankojen syysuuntaisissa etäisyyksissä vedetyn kierretangon teräslevyn alla olevan puun puristuskestävyys. Kierretankojen määrän ollessa 8 kpl liitoksen mitoittaa kierretankojen välisen etäisyyden ollessa välillä 110—150 mm vedetyn kierretangon teräslevyn alla olevan liimapuun puristuskestävyys. Kierretankojen välisen syysuuntaisen etäisyyden ollessa 170 mm liitoksen mitoittaa liitososan teräslevyn taivutuskestävyys.

Jäykistyssauvan liitososan teräslevyn paksuuden ollessa 40 mm ja 35 mm liitoksen mitoittaa kaikissa variaatioissa vedetyn kierretangon teräslevyn alla olevan liimapuun puristuskestävyys. Kierretankojen määrän ollessa 6 kpl puristus-/vetokapasiteetti on kaikissa teräslevyn paksuuksissa sama, koska kestävyys mitoittaa vedetyn kierretangon teräslevyn alla olevan liimapuun puristuskestävyys. 6 kpl liitoksessa kaksi kierretankoa sijaitsee teräslevyn keskellä, jossa on myös ulkoisen voiman resultantti. Tämän ansiosta teräslevyn taivutusvastus lasketaan teräslevyn korkeuden mukaan ja nostaa täten liitososan teräslevyn

taivutuskestävyyttä verrattuna 4 kpl ja 8 kpl liitokseen, jossa taivutusvastus lasketaan liitoksen leveyden mukaan.

7.4 Pohdinta ja tulokset

Tarkastelluissa liitoksissa teräslevy on upotettu liimapuuhun. Ohuissa liimapuun paksuuksissa 140 mm ja 190 mm teräslevyn paksuus pienentää liitoksen leikkauskestävyyttä, joten teräslevyn kannattaa olla pienin mahdollinen omassa teräslevyn paksuusluokassa (ohut, keskipaksu, paksu). Kun halutaan kasvattaa liitoksen leikkauskestävyyttä teräslevyn paksuutta kasvattamalla, on kannattavampaa siirtyä seuraavaan paksuusluokkaan ja valita sieltä ohuin teräslevy. Esimerkiksi ohuen teräslevyn luokasta siirrytään keskipaksun levyn ryhmään.

Leikkauskestävyyden kaavassa kierretangon ulosvetokestävyyden mitoittaa yleensä liimapuun puristuskestävyys vedetyn kierretangon teräslevyn alla. Ulosvetokestävyyttä voidaan kasvattaa kierretangon halkaisijaa suurentamalla, koska liimapuun puristuspinta-ala kasvaa vedetyn kierretangon teräslevyn alla.

Kierretankojen etäisyyksiä kasvattamalla saadaan kasvatettua leikkauskestävyyttä taloudellisemmin kuin kierretankojen määrää lisäämällä. Jos liitoksen olisi tarkoitus ottaa vastaan vain leikkausvoimia kannattaisi liitoksen kierretankojen olla niin kaukana toisistaan, että efektiivinen kierretankojen määrä on yhtä suuri kuin todellinen kierretankojen määrä.

Kierretankojen etäisyyden kasvattamisesta tulee ongelmia, kun liitoksen pitää kestää myös veto- ja puristusvoimia. Liitoksen vetokestävyyden mitoittaa usein teräslevyn taivutuskestävyys. Levyyn kohdistuva taivutusmomentti kasvaa, kun kierretankojen välinen etäisyys kasvaa. Liitokset, joihin kohdistuu suuria veto-/ puristusvoimia on kannattavaa käyttää kuutta kierretankoa, koska teräslevyn taivutuskestävyydestä saadaan tällöin suurin. Jos vetokestävyyden mitoittaa teräslevyn alla olevan liimapuun puristuskestävyys, pitää kierretangon halkaisijaa kasvattaa, jotta liimapuun puristuskestävyydessä voidaan huomioida suurempi pinta-ala. Kierretankojen välinen etäisyys on siis kompromissi liitoksen leikkauskestävyyden ja puristus-/ vetokestävyyden välillä.

Taulukossa 12 on optimoinnin tuloksena nostettu esille suurimman kestävyden omaavan liitoksen, ADE20-teräslevyn mitoilla valmistetun liitoksen ja tehokkaimman liitoksen mitat ja materiaalmäärät. Tehokkain liitos kestää pienimmällä materiaalmäärällä kaikkien hallikombinaatioiden rasitukset. Taulukossa 13 on näiden liitosten leikkauskestävyydet ja

taulukossa 14 puristus- ja vetokestävydet. Kuvat 32—34 ovat liitosten ulkonäön hahmottamiseksi.

Liitos	Suurin liitoskestävyys	ADE20-puuliitos	Tehokkain liitos jäykistyskuormille
Teräslevyn paksuus [mm]	20	12	12
Kierretankojen määrä	8	4	4
Kierretankojen välinen etäisyys syy-suunnassa [mm]	170	110	190
Jäykistyssauvan liitososan teräslevyn paksuus [mm]	40	20	25
Teräslevyn korkeus [mm]	590	190	270
Teräslevyn leveys [mm]	190	190	190
Kierretankojen reunaetäisyydet [mm]	40	40	40

Taulukko 12. Optimoinnin tuloksena liitosten mitat ja materiaalmäärät.

Liimapuun paksuus [mm]	Leikkauskestävyys [kN]				
	140	190	215	240	265
Suurin liitoskestävyys	200,3	243,5	256,7	256,7	256,7
ADE20-puuliitos	81,4	104,9	108,6	108,6	108,6
Tehokkain liitos jäykistyskuormille	93,4	120,3	124,5	124,5	124,5

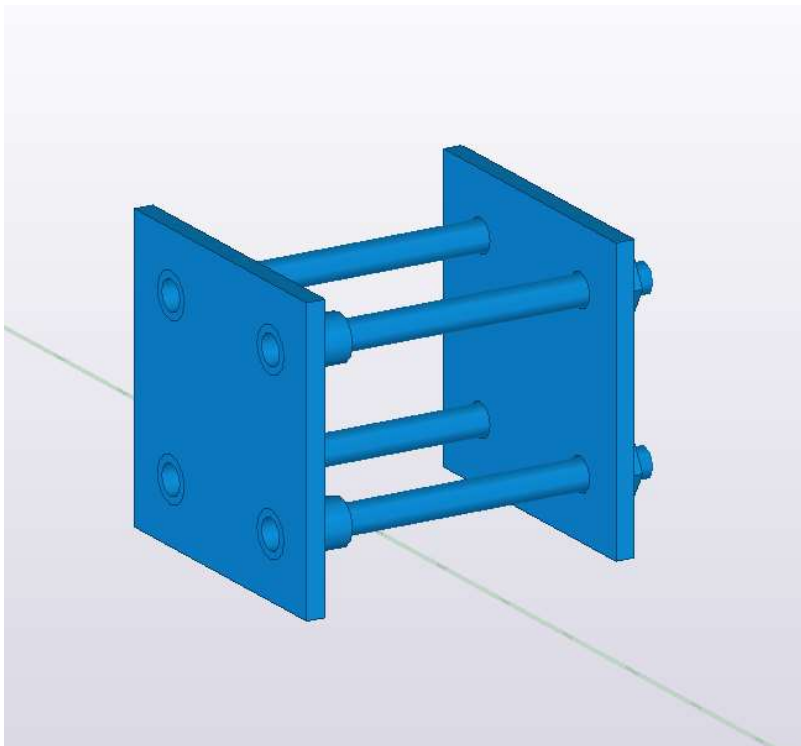
Taulukko 13. Liitosten laskennalliset leikkauskestävyydet.

Liimapuun paksuus [mm]	Puristus- ja vetokestävyys [kN]				
	140	190	215	240	265
Suurin liitoskestävyys	248,8	248,8	248,8	248,8	248,8
ADE20-puuliitos	124,4	124,4	124,4	124,4	124,4
Tehokkain liitos jäykistyskuormille	124,4	124,4	124,4	124,4	124,4

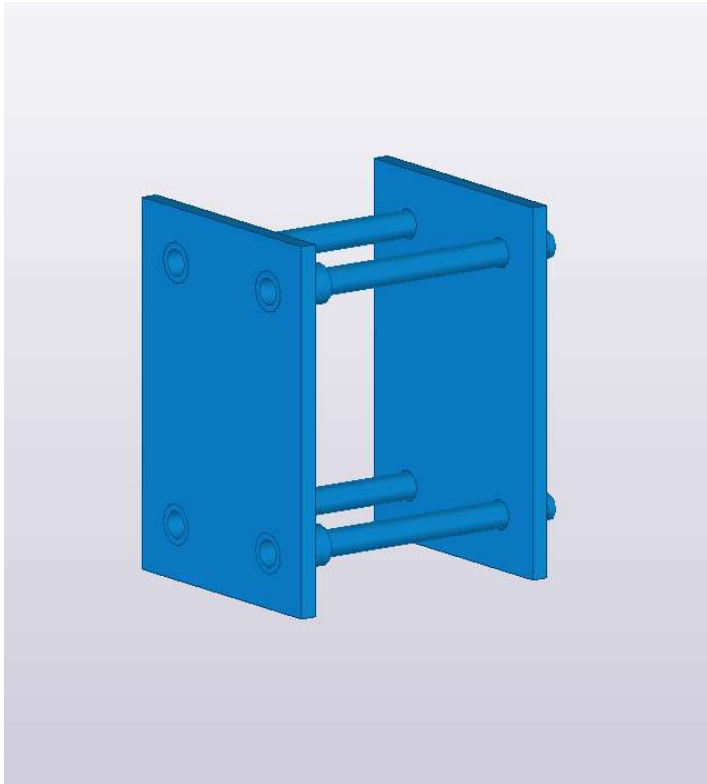
Taulukko 14. Liitosten laskennalliset puristus- ja vetokestävydet.



Kuva 33. Suurimman kestävyuden liitos



Kuva 32. ADE20-teräslevyn mitoilla valmistettu puuliitos



Kuva 34. Tehokkain liitos suurimmalle jäykistyskuormalle

Jotta tuotannossa ei tarvitse tehdä suuria muutoksia uuden liitoksen myötä, pyritään hyödyntämään mahdollisimman paljon valmiita tuotteita. ADE20-teräslevyn mitoilla valmistetun liitoksen kapasiteetti riittää kaikkiin jäykistyskuormiin pois lukien halli kombinaatioon 9. Hallikombinaation 9 vaakasuuntainen voima on 121,4, johon liitoksen kestävyys riittää. Leikkausvoima on laskettu 45 asteen kulmassa olevalle vinosauvalle, joka on liian suuri liitokselle. Vinosauvan kulmaa muuttamalla 50 asteeseen, riittää leikkauskapasiteetti myös kombinaatiossa 9. Liitoksen leikkauskestävyys päätettiin varmistaa koekuormituksella, josta tarkemmin kappaleessa 8.

8 Koekuormitus

8.1 Tavoite

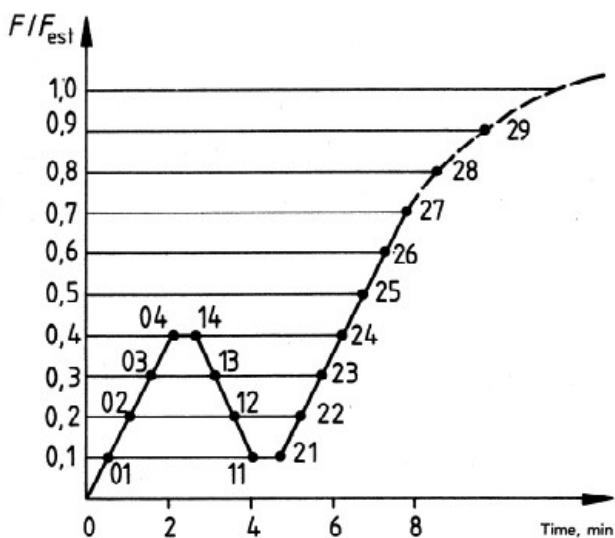
Koekuormituksen tavoitteena on selvittää ADE20-liitoksen teräslevyn mitoilla valmistetun puuliitoksen leikkauskestävyys ja murtumuoto. Liitoksen leikkauskestävyyttä ei voida puikkoliitosteorialla täysin varmistaa, koska se ei ota huomioon liitoksessa olevan muhvin, puun ja teräslevyn välisen kitkan tai liiman vaikutusta. Kokeissa otetaan huomioon myös liimapuupaksuuden vaikutus leikkauskestävyyteen.

Eurokoodi 5:n mukaan, jos standardissa ei ole liitoksen kestävyden laskentaan ohjeita, määritetään kestävyden ominaisarvo kokeellisesti standardin EN 1075, EN 1380, EN1381, EN 26891 tai EN 28970 mukaan. Tässä koekuormituksessa seurattiin standardin EN 26891 ohjeita.

8.2 EN 26891

Standardin vaatimukset kuormituskehälle on, että kuormitusta voidaan tallentaa vähintään 1 % tarkkuudella arvioidusta kuormituksesta ja siirtymäanturin pitää tallentaa siirtymiä vähintään 1 % tarkkuudella tai alle 2 mm siirtymät 0,02 mm tarkkuudella.

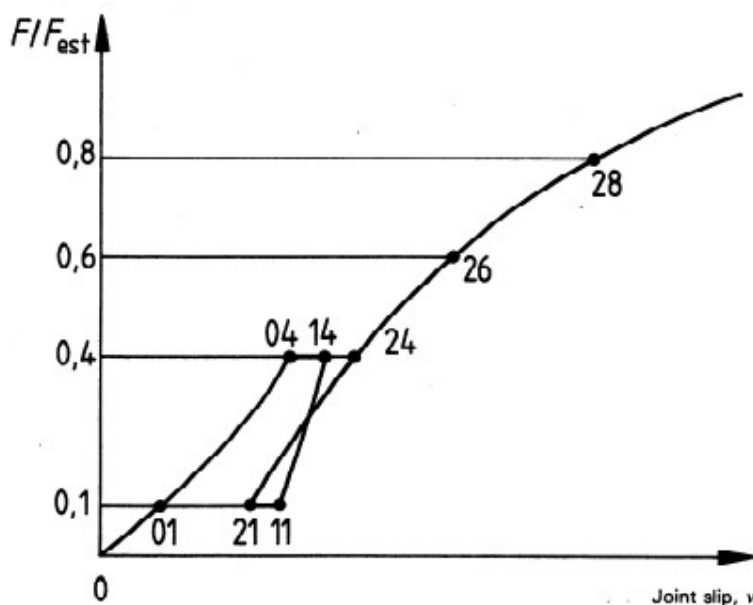
Kuormituksen pitää kulkea kuvion 5 mukaan. Liitokselle pitää määrittää kokemuksen, laskelmien tai aiemman kokemuksen mukaan arvioitu maksimikuorma F_{est} . Kuorma nostetaan $0,4 \times F_{est}$ ja pidetään siellä 30 s. Tämän jälkeen kuormitus lasketaan $0,1 \times F_{est}$ ja pidetään 30 s. Tämän jälkeen kuormitus nostetaan maksimikuormitukseen tai kun saavutetaan 15 mm siirtymä.



Kuvio 5. Kuormituksen kuvaaja (EN 26891 1992, 3)

Alle $0,7 \times F_{est}$ vakio kuormitusnopeuden tai siirtymän pitää seurata $0,2 \times F_{est}$ per minuutti vauhtia. Yli $0,7 \times F_{est}$ vakionopeutta siirtymän suhteen on käytettävä niin, että maksimi kuormitus tai 15 mm siirtymä tapahtuu 3–5 min sisällä. Testi saa kestää kokonaisuudessaan noin 10–15 min. Testi voidaan keskeyttää, kun maksimikuormitus tai 15 mm siirtymä on saavutettu. Jos testien ensimmäisen koekuormituksen enimmäiskuorma poikkeaa yli 20 % arvioidusta arvosta F_{est} niin F_{est} pitää muuttaa vastaamaan testien maksimikuormia seuraavia kahta testiä varten.

Jokaisesta testikappaleesta tuotetaan siirtymäkuvaaja (kuvio 6). Siirtymä mitataan vähintään jokaisen $0,1 \times F_{est}$ kuorman muutoksen jälkeen.



Kuvio 6. Esimerkki siirtymäkuvaajasta (EN 26891 1992, 3)

Standardin mukaan kokeen ilmaston, puun kosteuspuiteisuuden ja lujuuden pitää vastata realistisia olosuhteita. Testikappaleiden pitää olla muodoiltaan ja mitoiltaan realistisia.

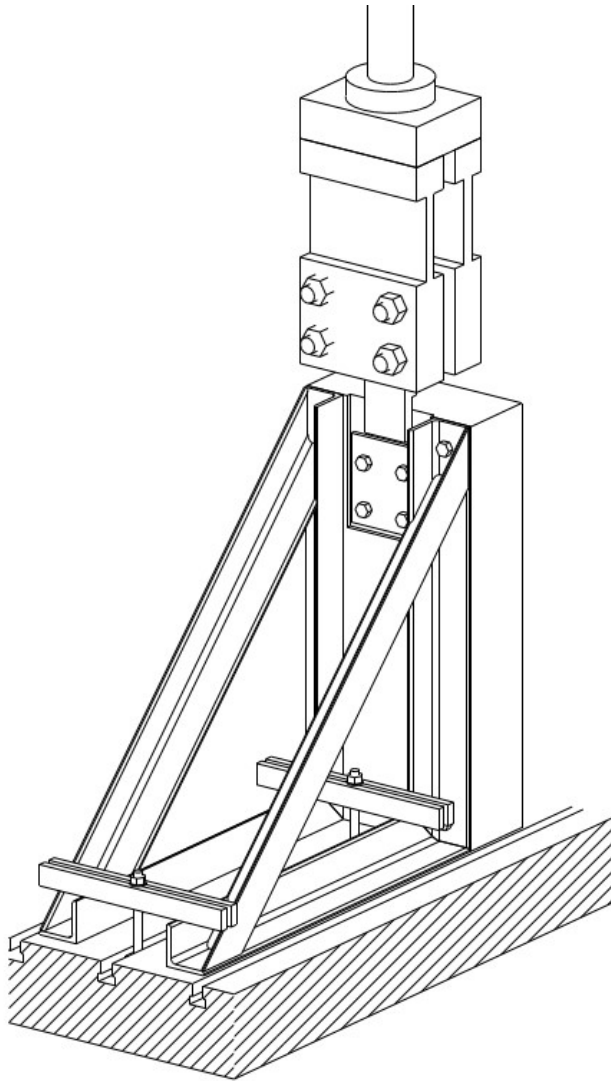
Koekuormituksista pitää tuottaa raportti, joka sisältää vähintään seuraavat tiedot:

- Puutavara, tiheys ja asiaankuuluvat lujuusominaisuudet.
- Kiinnikkeiden laatu, lujuusominaisuudet ja pintakäsittely. Mukaan lukien ruosteesto-
suoja.
- Liitosten mitat, koko ja kiinnikkeiden määrä.

- liitoskappaleiden välisten rakojen yksityiskohdat.
- Puun ja koekappaleiden käsittely ennen ja valmistuksen jälkeen. Puun kosteuspiitoisuus valmistuksessa ja testissä. Halkeamat jne.
- Käytetty kuormitusmenettely viitaten standardiin EN26891 ja selvitys mahdollisista poikkeamista.
- Yksittäiset testitulokset ja kaikki asiaankuuluvat tiedot, säädöt, keskiarvot ja standardipoikkeamat sekä vikatiilojen kuvaukset.

8.3 Koekuormitussuunnitelma

Koekuormitus järjestetään LUT Voiman laboratorion tiloissa. Koekuormitusjärjestelyjen suunnitelma on kuvassa 35 ja kokonaisuudessaan liitteessä 9. Koekuormituskehän tunkin maksimi kuormitus on 1200 kN. Liimapuu kiinnitetään koekuormitustelineeseen, joka estää liimapuun kaatumisen. Telineen valmistuspiirustukset ovat liitteessä 7. Leikkauskuorma tuotetaan liitokseen tunkkiin kiinnitetyn taltan avulla, joka asetetaan liitoksen teräslevyn yläpintaan. Jotta taltta saadaan liitoksen teräslevyn yläpintaan, pitää liimapuuhun työstää teräslevyn paksuinen syvennys liimapuun yläpintaan asti. Liimapuiden valmistuspiirustukset ovat liitteessä 5. Taltan pään irtoaminen liitoksen teräslevyn yläpinnasta estetään liitoksen muhviin kiinnitettävällä teräslevyllä, joka on yläpinnasta pidempi, kuin liitoksen teräslevy. Taltan valmistuspiirustukset ovat liitteessä 8. Liitoksen siirtymästä saadaan tietoa tunkin pään siirtymällä sekä mittakellolla, joka kiinnitetään teräslevyyn.



Kuva 35. Suunnitelma koekuormitusjärjestelyistä

Virallisia kuormitussarjoja tehdään yhteensä kuusi kappaletta ja yksi testi koekuormitus. Virallisiin koekuormitukseen varataan kolme kutakin liimapuun paksuutta. Liimapuun paksuutena käytetään 140 mm ja 190 mm. Testi koekuormitukseen varataan yksi 140 mm paksu liimapuun. Kokeen kestävyteen vaikuttava muuttuja on liimapuun paksuus. Liimapuiden lujuusluokkina käytetään GL30c ja ne toimitetaan 12 % kosteuspitoisuudessa. Liitoksen tarvitsemat reiät ja syvennykset tehdään valmiiksi liimapuutehtaalla. Liimapuun koot ovat 140x450 mm ja 190x630 mm, korkeus on kaikissa liimapuissa 1000 mm. Liimapuun leveys ei vaikuta liitoksen leikkauskestävyyteen ja se on erilainen liimapuun paksuudella 140 mm kuin 190 mm saatavuuden takia.

Liitteessä 6 on ADE20-puuliitoksen valmistuspiirustukset. Liitos upotetaan liimapuuhun teräslevyn paksuudelta, kuten liitos on todellisuudessa kuviteltu toteutettavan. Liitoksen ympärillä oleva syvennys on 20 mm leveämpi jokaiselta sivulta, jotta teräslevyn reuna ei koskettaisi liimapuun reunaa ennen 15 mm siirtymää.

Liitoksen kierretangot liimataan liimapuuhun epoksilla. Liimalla pitää olla pieni viskositeetti, jotta se saadaan kierretangon ja puun väliin. Koekuormitus tehdään aikaisintaan 7 vuorokautta liimauksesta, jotta se on täysin kovettunut. Käytettävän liiman tuotetiedot ovat liitteessä 10.

Kuormituskehällä voidaan tuottaa standardin EN 26891 vaatimuksien mukaiset kuormitusjärjestelyt ja kuvaajat. Liitteessä 11 ja 12 on liitoksen laskennalliset leikkauskestävyyden ominaisarvot, jotka toimivat liitoksen arvioituna maksimikuormituksena. Virallisista koekuormitussarjoista tehdään standardin vaatimuksien mukainen raportti.

9 Yhteenveto ja pohdinta

Opinnäytetyön tarkoitus oli selvittää tavanomaisen jäykistysristikoilla pituus suunnassa jäykistetyin liimapuuhallin jäykistyskuormia ja suunnitella kuormien vaatimuksille pystysuuntaisen jäykistysristikon horisontaali- ja vinosauvoille vakioitu liitosratkaisu hyödyntämällä Anstarin valmiita betonielementtirungolle tarkoitettua ristikkoliitoksen komponentteja. Liitoksen leikkauskestävyyttä ei voitu laskennalla tarkasti selvittää liitoksessa olevien muhvien ja liimauksen takia. Tästä syystä leikkauskestävyyden varmistamiseksi suunniteltiin koekuormitus.

Aihetta tutkittiin, koska AFRY:n tavoitteena on lisätä puurakentamisen asiantuntijuutta yrityksen sisällä ja Anstar on kiinnostunut kehittämään uusia vakioituja puuliitos ratkaisuja. Puurakentamisesta puuttuu vakioituja suunnitteluratkaisuja, jotka nopeuttavat koko rakennushanketta ja lisäävät siten osaltaan puurakentamista. Vaikka aiheesta rajattiin liitoksen sauvojen korvakkeiden suunnittelu, kosteusmuodonmuutosten hallinta liitoksessa, useamman kuin yhden jäykistyssauvan liitoksen kestävyys laskenta ja palosuojaus, työstä tuli laaja käsiteltävien asioiden määrän vuoksi.

Opinnäytetyön tuloksena saatiin ratkaistua yhdeksän eri hallikombinaation jäykistyskuormien avulla tavanomaisten liimapuuhallien jäykistyskuormien suuruusluokka. Hallin jäykistykseen suunniteltiin liitos Anstarin ristikkoliitoksen komponentteja hyödyntäen. Liitokselle laskettiin leikkaus-, puristus- ja vetokestävyys useilla eri kestävyteen vaikuttavilla muuttujilla, jotta optimaalinen liitos löydettäisiin. ADE20-teräslevyn mitoilla valmistettu puuliitos osoittautui parhaaksi ratkaisuksi, koska siinä voitiin hyödyntää eniten Anstarin valmiita komponentteja ja se toimii kaikille työssä lasketuille jäykistysvoimille. ADE20-teräslevyn mitoilla valmistetun puuliitoksen leikkauskestävyyden varmistamiseksi saatiin suunniteltua koekuormitusjärjestely, sekä siihen tarvittavat materiaalit.

Liitoksen kestävyys arvoja voidaan jatkossa hyödyntää, kun suunnitellaan useamman sauvan liitosta tai sauvan kuormat ovat suuremmat kuin tässä työssä. Liitosta voidaan hyödyntää myös muiden rakennusten jäykistämiseen kuin liimapuuhallin. Jäykistysliitokset voivat toimia esimerkiksi CLT-pilaripalkkirunkoisen rakennuksen jäykistyksessä. Yhden sauvan liitokset voivat toimia paremmin CLT-pilarissa, kuin liimapuupilarissa, koska CLT-pilarit ovat paksumpia, jolloin sauvojen systeemi viivat on helpompi saada kohtaamaan pilarin systeemi viivassa.

Jatkossa liitokselle pitäisi tutkia vaihtoehtoisia tapoja palosuojaukselle eri palonkestovaatimuksilla. Jäykistyssauvojen päihin asennettavista korvakkeista pitäisi kehittää vakioitu liitos ja tutkia niiden kestävyys. Liitoksen kosteusliikkeiden hallintaan esitettiin työssä

vaihtoehtoisia ratkaisuja, mutta niiden kannattavuutta ja toimivuutta pitäisi tutkia. Useamman kuin yhden sauvan liitoksessa pitäisi tutkia, miten voima siirtyy liitoksesta puuhun, kun sauvat ovat epäkeskeisiä liitoksen teräslevyn keskipisteeseen nähden.

Liitoksen arkkitehtonista ulkoasua voisi myös kehittää, jotta liitos sopisi paremmin esimerkiksi pilaripalkkirunkoiseen asuntorakentamiseen. Arkkitehtuurisempia ratkaisuja olisi esimerkiksi vastakkaisen kierretangon ja mutterin piilottaminen holkkimutterilla, jossa hyödynnetään muhvia.

Opinnäytetyötä täydennetään koekuormituksesta saaduilla tuloksilla. Tulosten pohjalta saadaan luotettava näkemys liitoksen leikkauskestävyydestä, joka on avaintekijöitä liitoksen kehittämisprosessissa.

Lähteet

AFRY. 2023. Tietoa meistä. Viitattu 17.3.2023. Saatavissa <https://afry.com/fi-fi/tietoa-meista>

Anstar. Smart steel. since 1981. Viitattu 17.3.2023. Saatavissa <https://www.anstar.fi/#x>

Anstar. 2021. Ristikkoliitokset. Viitattu 17.3.2023. Saatavissa https://www.anstar.fi/wp-content/uploads/2023/01/Ristikkoliitos_Kayttoohje_2021.pdf

HalliPES 1.0 OSA 11: JÄYKISTYS. 2014. Viitattu 27.3.2023. Saatavissa https://puuinfo.fi/wp-content/uploads/2020/07/HalliPES_1.0_Osa_11_J%C3%A4ykistys.pdf

Keronen, A & Lahikainen, M. 2009. Puuhallin rakenteet esisuunnittelu ja valintaperusteet. Puuinfo Oy. Viitattu 28.3.2023. Saatavissa <https://puuinfo.fi/wp-content/uploads/2020/07/090202-puuhallin-rakennesuunnittelu.pdf>

Lahtela, T. 2018. Mastopilarihallin jäykistys. Puuinfo. Viitattu 17.3.2023. Saatavissa https://puuinfo.fi/wp-content/uploads/2020/06/22_Mastopilarihallin-j%C3%A4ykistys_p%C3%A4ivitetty-18.1.2019.pdf

Liimapuukäsikirja osa 1. Suomen Liimapuuyhdistys ry ja Puuinfo Oy. 2014. Viitattu 17.3.2023. Saatavissa <https://puuinfo.fi/wp-content/uploads/2020/07/Liimapuuk%C3%A4sikirja-Osa-1.pdf>

Liimapuukäsikirja osa 2. Suomen Liimapuuyhdistys ry ja Puuinfo Oy. 2015. Viitattu 17.3.2023. Saatavissa <https://puuinfo.fi/wp-content/uploads/2020/07/Liimapuuk%C3%A4sikirja-Osa-2.pdf>

Liimapuukäsikirja osa 3. Suomen Liimapuuyhdistys ry ja Puuinfo Oy. 2015. Viitattu 17.3.2023. Saatavissa <https://puuinfo.fi/wp-content/uploads/2020/07/Liimapuuk%C3%A4sikirja-Osa-3.pdf>

Pitkänen, J. 2018. Momenttijäykkä liimaruuviliitos. Puuinfo. Viitattu 17.3.2023. Saatavissa https://puuinfo.fi/wp-content/uploads/2020/06/16_Momenttij%C3%A4ykk%C3%A4-liimaruuviliitos.pdf

Puuinfo. 2020a. Liimapuu. Viitattu 17.3.2023. Saatavissa <https://puuinfo.fi/puutieto/insinööriotteet/liimapuu-glt/>

Puuinfo. 2020b. Puun kosteuskäyttäytyminen. Viitattu 17.3.2023. Saatavissa <https://puuinfo.fi/suunnittelu/ohjeet/tekniset-tiedotteet/puun-kosteuskayttaytyminen/>

Puuinfo. 2020c. Rakennuksen jäykistys. Viitattu 17.3.2023. Saatavissa <https://puuinfo.fi/rakenteet/massiivipuulevyrakenteet/rakennuksen-jaykistys/>

RIL 244-2007. Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry. 2007. Helsinki: Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry

RIL 201-1-2008. Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry. 2008. Helsinki: Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry

RIL 205-2-2019. Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry. 2019. Helsinki: Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry

SFS EN 14080. 2013. Puurakenteet. Liimapuu ja liimattu sahatavara. Vaatimukset. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto.

SFS EN 1995-1-1. 2014. Eurokoodi 5. Puurakenteiden suunnittelu. Osa 1—1: Yleiset säännöt ja rakennuksia koskevat säännöt. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto.

SFS EN 1991-1-3. 2015. Eurokoodi 1: Rakenteiden kuormat. Osa 1—3: Yleiset kuormat. Lumikuormat. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS ry.

SFS EN 1991-1-4. 2011. Eurokoodi 1: Rakenteiden kuormat. Osa 1—4: Yleiset kuormat. Tuulikuorma. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto.

SFS-EN ISO 898-1. 2013. Kiinnittimien lujuusominaisuudet. Seostamattomat ja seosteräkset. Osa 1: Ruuvien ja vaarnaruuvien lujuusluokat. Vakiokierre ja taajakierre. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto.

SFS-EN 26891. 1992. Timber structures. Joints made with mechanical fasteners. General principles for the determination of strength and deformation characteristics (ISO 6891:1983). Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto.

Liite 1. Hallikombinaation 1 jäykistyskuorman laskenta

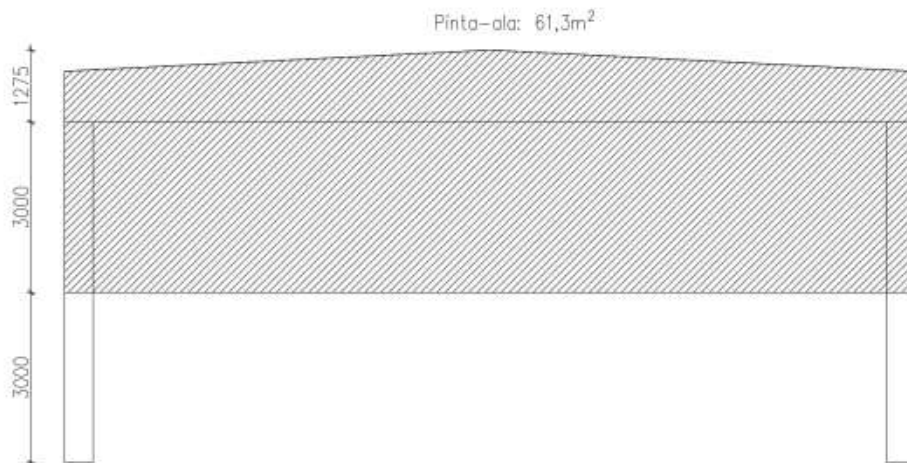
HALLIN PITUUSSUUNTAINEN JÄYKISTYS

Topi Hänninen

RAKENNE, MITAT JA SUUNNITTELUSSA TARVITTAVAT PARAMETRIT

$b := 15 \text{ m}$	Hallin leveys
$k := 4 \text{ m}$	Kehäjako
$h := 6 \text{ m}$	Pilarin korkeus
$K_{FI} := 1$	CC2
$kpl := 8$	Palkkien määrä
$d := k \cdot (kpl - 1) = 28 \text{ m}$	Hallin pituus

Harjapalkki liimapuuta GL30c

1. TUULIKUORMA**1.1 PÄÄTYSEINÄN PINTA-ALAN PUOLIKAS**

$$A_{ref} := 61.3 \text{ m}^2 \cdot 1.1 = 67.43 \text{ m}^2$$

Kerroin 1.1 tulee orsien ja julkisivun vaikutuksesta

1.2 PÄÄTYSEINÄÄN VAIKUTTAVA ULKOPUOLINEN TUULENPAININE

$$q_{p,z_e} := 0.6 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \quad c_{pe} := 0.8$$

$$w_e := q_{p,z_e} \cdot c_{pe} = 0.48 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \quad c_s c_d := 1$$

$$q_{w,e} := c_s c_d \cdot w_e \cdot \frac{A_{ref}}{b} = 2.158 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

1.3 PÄÄTYSEINÄÄN VAIKUTTAVA SISÄPUOLINEN TUULENPAININE

$$q_{p,z_i} := q_{p,z_e} \quad c_{pi} := 0.3$$

$$w_i := q_{p,z_i} \cdot c_{pi} = 0.18 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$q_{w,i} := w_i \cdot \frac{A_{ref}}{b} = 0.809 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

1.3 KATON JA TUULEN VÄLISEN KITKAN KUORMAN PUOLIKAS (JAETAAN TASAN KAHDEN JÄYKISTYSRISTIKON VÄLILLÄ)

$$c_{fr} := 0.02 \quad A_{fr} := b \cdot (d - \min(2 \cdot b, 4 \cdot h)) + (2 \cdot h \cdot (d - \min(2 \cdot b, 4 \cdot h))) = 108 \text{ m}^2$$

$$q_{fr} := \frac{c_{fr} \cdot q_{p,z_e} \cdot A_{fr}}{2} = 0.043 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

1.4 JÄYKISTYSRISTIKOLLE TULEVA TUULIKUORMA

$$q_w := q_{w,e} + q_{w,i} + q_{fr} = 3.01 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

2. LUMIKUORMA

$$C_e := 1$$

$$\mu_i := 0.8$$

$$C_t := 1.0$$

$$s_k := 2.75 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$s := \mu_i \cdot C_e \cdot C_t \cdot s_k \cdot k \cdot 1.1 = 9.68 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

3. YLÄPOHJAN KUORMAT

$$g_{k,2} := 0.5 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \cdot k \cdot 1.1 = 2.2 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$g_{k,beam} := 0.76 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$G_{kj} := g_{k,2} + g_{k,beam} = 2.96 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

4. KUORMITUSYHDISTELYT

4.1 YHDISTELMÄ 1

$$q_{ver.1} := 1.15 \cdot K_{FI} \cdot G_{kj} + 1.5 \cdot K_{FI} \cdot s = 17.924 \frac{kN}{m}$$

$$\psi_{0,w} := 0.6$$

$$q_{w,1} := 1.5 \cdot K_{FI} \cdot q_w \cdot \psi_{0,w} = 2.709 \frac{kN}{m}$$

4.2 YHDISTELMÄ 2

$$\psi_{0,s} := 0.7$$

$$q_{ver.2} := 1.15 \cdot K_{FI} \cdot G_{kj} + 1.5 \cdot K_{FI} \cdot \psi_{0,s} \cdot s = 13.568 \frac{kN}{m}$$

$$q_{w,2} := 1.5 \cdot K_{FI} \cdot q_w = 4.515 \frac{kN}{m}$$

5. KIEPAHDUSTUEN VOIMA

$$h_1 := 900 \text{ mm} \quad h_2 := 1275 \text{ mm} \quad B_{eff} := 140 \text{ mm}$$

Palkin korkeudet tuella ja harjalla, sekä leveys laskettu puuinfon excel ohjelmalla

$$l := b = 15 \text{ m}$$

$$k_l := \min \left(1, \sqrt{\frac{15}{\frac{l}{m}}} \right) = 1$$

$$n := 4$$

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

$$c := 0.7$$

$$a := 2500 \text{ mm}$$

$$l_{ef} := a + 2 \cdot h_2 = 5.05 \text{ m}$$

$$E_{0.05} := 10800 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\sigma_{m,crit} := \frac{c \cdot B_{eff}^2}{h_2 \cdot l_{ef}} \cdot E_{0.05} = 23.013 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\lambda_{rel,m} := \sqrt{\frac{f_{m,k}}{\sigma_{m,crit}}} = 1.142$$

$$k_{crit} := 1.56 - 0.75 \cdot \lambda_{rel,m} = 0.704$$

$$M_{d,1} := \frac{q_{ver,1} \cdot l^2}{8} = 504.113 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$N_{d,1} := (1 - k_{crit}) \cdot \frac{M_{d,1}}{h_2} = 117.158 \text{ kN}$$

$$q_{d,1} := k_l \cdot \frac{n \cdot N_{d,1}}{50 \cdot l} = 0.625 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$M_{d,2} := \frac{q_{ver,2} \cdot l^2}{8} = 381.6 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$N_{d,2} := (1 - k_{crit}) \cdot \frac{M_{d,2}}{h_2} = 88.685 \text{ kN}$$

$$q_{d,2} := k_l \cdot \frac{n \cdot N_{d,2}}{50 \cdot l} = 0.473 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

6. YHDELLE YLÄPOHJAN RISTIKOLLE TULEVA VAAKASUUNTAINEN VIIVAKUORMA

$$q_{tot,1} := q_{w,1} + q_{d,1} = 3.334 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$q_{tot,2} := q_{w,2} + q_{d,2} = 4.988 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

7. PYSTYSUUNTAISELLE JÄYKISTYSRISTIKOLLE SIIRTYVÄ TUKIREAKTIO YLÄPOHJAN VIIVAKUORMASTA

$$F_1 := q_{tot,1} \cdot \frac{b}{2} = 25.005 \text{ kN}$$

$$F_2 := q_{tot,2} \cdot \frac{b}{2} = 37.411 \text{ kN}$$

8. LISÄVAAKAVOIMA

$$R_{\text{tapered},1} := q_{\text{ver},1} \cdot \frac{l}{2} = 134.43 \text{ kN}$$

$$F_{\text{stiffen},1} := \frac{n \cdot R_{\text{tapered},1}}{100} = 5.377 \text{ kN}$$

$$R_{\text{tapered},2} := q_{\text{ver},2} \cdot \frac{l}{2} = 101.76 \text{ kN}$$

$$F_{\text{stiffen},2} := \frac{n \cdot R_{\text{tapered},2}}{100} = 4.07 \text{ kN}$$

9. HALLIN KOKONAIS JÄYKISTYSVOIMA

$$F_{\text{tot},1} := F_1 + F_{\text{stiffen},1} = 30.4 \text{ kN}$$

$$F_{\text{tot},2} := F_2 + F_{\text{stiffen},2} = 41.5 \text{ kN}$$

Liite 2. Hallikombinaation 1 harjapalkin mitoitus Puuinfon Excel-alustalla

Versio 1.1	
Suunnittelutieto	Työn reu
X	X
	Päätyä Toijä
	X X
Rakennuskohta	Sovikio
X	Liimapuuharjapalkin mitoitusohjelma (EC 5)

1.0 RAKENTEEN TIEDOT

Palkkijako	k = 4000 mm
Palkin jänneväli (15...32 m)	L = 15000 mm
Palkin korkeus tuella	H1 = 900 mm
Palkin korkeus harjalla (max 2000 mm)	H2 = 1275 mm
Yläreunan ja syysuunnan välinen kulma	α = 2,88 °

Sekundäärin jatkuvuus	3-aukkoinen (kerroin 1,10)
Palkin leveys	b = 140 mm (vakiotuote)
Tuettu Y-suunnassa	6 kpl poikittaistuettuja kenttiä
Taipuma (w_{fin} : $w_{net,fin}$)	L/200 ; L/300 : ei esikorotusta
Lujuusluokka	GL30c
Käyttöluokka	KL 1
Aikaluokka	Keskipitkä
Kuormitus tulee palkille	Puristetulta reunalta
Kuormituksen tyyppi	Symmetrinen
Pintakäsittely	Ei estä kosteuden siirtymistä

Pysyvä kuorma	g _s = 0,5 kN/m ²
Muuttuva kuorma (vasen lape)	q _{k,1} = 2,2 kN/m ²
Muuttuva kuorma (oikea lape)	q _{k,2} = 2,2 kN/m ²
Muuttuvan kuorman pitkäaikaisisuus	ψ ₂ = 0,2
Palkin omapaino	g _{k,palkki} = 0,76 kN/m

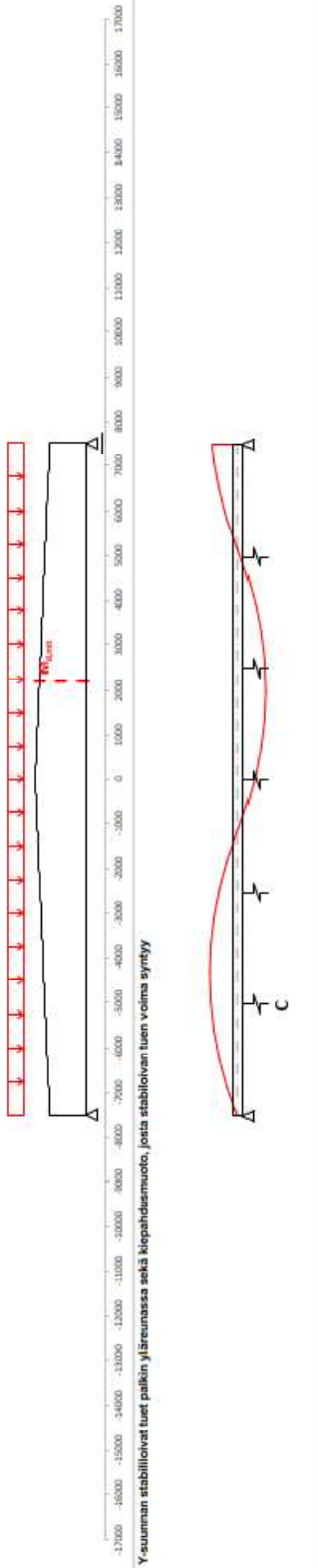
Poikkileikkaus

2.0 MITOITUSTULOKSET Info

Taivutuskestävyys	Taivutuskestävyys	Kiepahdukestävyys	Leikkauskestävyys
M_{d,mit}	M_{d,max}	M_{d,mit}	V_{d,mit}
OK	OK	OK	OK
79 %	75 %	100 %	80 %

Poikittainen vetokestävyys	Taipuma	Y-suunnan stabiloiva tuki	Tukipituus
M_{d,harja} + V_{d,harja}	w_{fin} w_{net,fin}	F_d [kN] C [N/mm] a [mm]	l_{min} [mm]
OK	OK OK	2,4 kN 431,9 2500	370
55 %	88 % 98 %	Tuen voiman määrää 2. muoto	

Mitoitettava palkki



Y-suunnan stabiiloivat tuet palkin yläreunassa sekä kiepahduksimuoto, jossa stabiiloivan tuen voima syntyy

Rasitukset

$Q_{1,000}$	17.9	kN/m	Mitoituskuorma (vasen laipu)
$Q_{1,000}$	17.9	kN/m	Mitoituskuorma (oikea laipu)
A_k	134.4	kN	Tuulireaktio
B_k	134.4	kN	Tuulireaktio
$M_{1,000}$	480.2	kNm	Tuulivarmuudetti mitalivassa kohdassa
$M_{1,000}$	504.2	kNm	Tuulivarmuudetti (raaj)
$M_{1,000}$	504.2	kNm	Tuulivarmuudetti hajan kohdalla
$V_{1,000}$	116.3	kN	Mittavaa leikkauvoima
$V_{1,000}$	0.0	kN	Leikkauvoima hajan kohdalla

Materiaaliominaisuudet

W_k	1.25		Materiaalin osavarmuuskerroin
R_{sct}	0.80		Muunnoskerroin
R_{ed}	0.60		Vuunnuskerroin
R_k	1.00		Tuulivarmuuden korotuskerroin (vakio)
$F_{t,1.0}$	30.00	N/mm ²	Leikkauksisuuden ominisarvo
$F_{t,1.0}$	3.50	N/mm ²	Leikkauksisuuden ominisarvo
$F_{t,1.0}$	2.50	N/mm ²	Puristuslujuuden ominisarvo
$E_{t,0.05}$	0.50	N/mm ²	Velolujuuden ominisarvo
$E_{t,0.05}$	13000	N/mm ²	Krommoduuli
$E_{t,0.05}$	10800	N/mm ²	Krommoduuli
$Q_{1,000}$	650	N/mm ²	Liikemoduuli
$F_{t,1.0}$	19.20	N/mm ²	Tuulivarmuuden laskeinta-arvo
$F_{t,1.0}$	2.24	N/mm ²	Leikkauksisuuden laskeinta-arvo
$F_{t,1.0}$	1.60	N/mm ²	Puristuslujuuden laskeinta-arvo
$F_{t,1.0}$	0.32	N/mm ²	Velolujuuden laskeinta-arvo

Taivutuskestävyys ($M_{d,adm}$)

$W_{pl,y}$	31629459.6	mm ³	Taivutusvastus
b	140	mm	Palkkileikkauksen leveys
$h_{pl,y}$	1164	mm	Palkkileikkauksen korkeus
$\sigma_{m,y,d}$	14.55	N/mm ²	Taivutusjännitys
$K_{m,y}$	0.98		Puristuksen väistelyn muuttokerroin
EHTO	0.79	≤ 1	Taivutus

Taivutuskestävyys ($M_{d,adm}$)

$W_{pl,y}$	37931250	mm ³	Taivutusvastus
b	140	mm	Palkkileikkauksen leveys
h	1275	mm	Palkkileikkauksen korkeus
$K_{m,y}$	1.08		Taivutusjännityskerroin
$\sigma_{m,y,d}$	14.40	N/mm ²	Taivutusjännitys
K_m	1.00		Kerroin
EHTO	0.75	≤ 1	Taivutus

Kiepahdukskestävyys ($M_{d,adm}$)

α	0.70		Kerroin
L_{eff}	4829	mm	Kiepahduspihtaus Z-suunnan taivutuksessa
$\sigma_{m,y,d}$	26.36	N/mm ²	Kiinteen taivutusjännitys
$\beta_{m,y,d}$	1.07		Suhteellinen halkaisukätkä
$K_{m,y}$	0.76		Kiepahdukskerroin
$\sigma_{m,y,d}$	14.55	N/mm ²	Taivutusjännitys
EHTO	1.00	≤ 1	Kiepahdus

Leikkaukskestävyys ($V_{d,adm}$)

$K_{m,y}$	1.0		Mitoituskerroin lämpuilla (vakio)
A	132300	mm ²	Palkkileikkauksen pinta-ala
T_k	1.34	N/mm ²	Leikkauksjännitys
EHTO	0.60	≤ 1	Leikkaus

Poikittainen vetokestävyys harjalla ($M_{d,adm} + V_{d,adm}$)

k_p	0.010		Yläreunan kaltevuuden kerroin
$\sigma_{t,y,d}$	0.13	N/mm ²	Poikittainen vetojännitys
t_d	0.00	N/mm ²	Leikkauksjännitys
$K_{m,y}$	1.40		Jännityksen jakautumiskerroin
$K_{m,y}$	0.54		Kokovetokertoimen
EHTO	0.55	≤ 1	Poikittainen veto + Leikkaus

Taipuma palkin keskellä (yksikätkövoimavarmuudella)

W_k	0.0	mm	Esikerroin
$W_{pl,0}$	9.3	mm	Hedelmäinen taipuma (pysyvä)
$W_{pl,0}$	30.5	mm	Hedelmäinen taipuma (muuttuva)
$W_{pl,0}$	49.2	mm	Lopputaipuma
$W_{pl,0}$	49.2	mm	Lopputaipuma (netto)
EHTO	0.66	≤ 1	Taipuma
EHTO	0.98	≤ 1	Taipuma (netto)

Y-suunnan stabiiloivan tuen voima ja jousijäykkyys (1. muoto)

a	2500	mm	Stabiiloivan tuen etäisyys
$F_{t,1}$	1.0	kN	Voima stabiilivassa tuessa (1. muoto)
C	431.9	N/mm	Stabiiloivan tuen jousijäykkyysvaatimus

Y-suunnan stabiiloivan tuen voima ja jousijäykkyys (2. muoto)

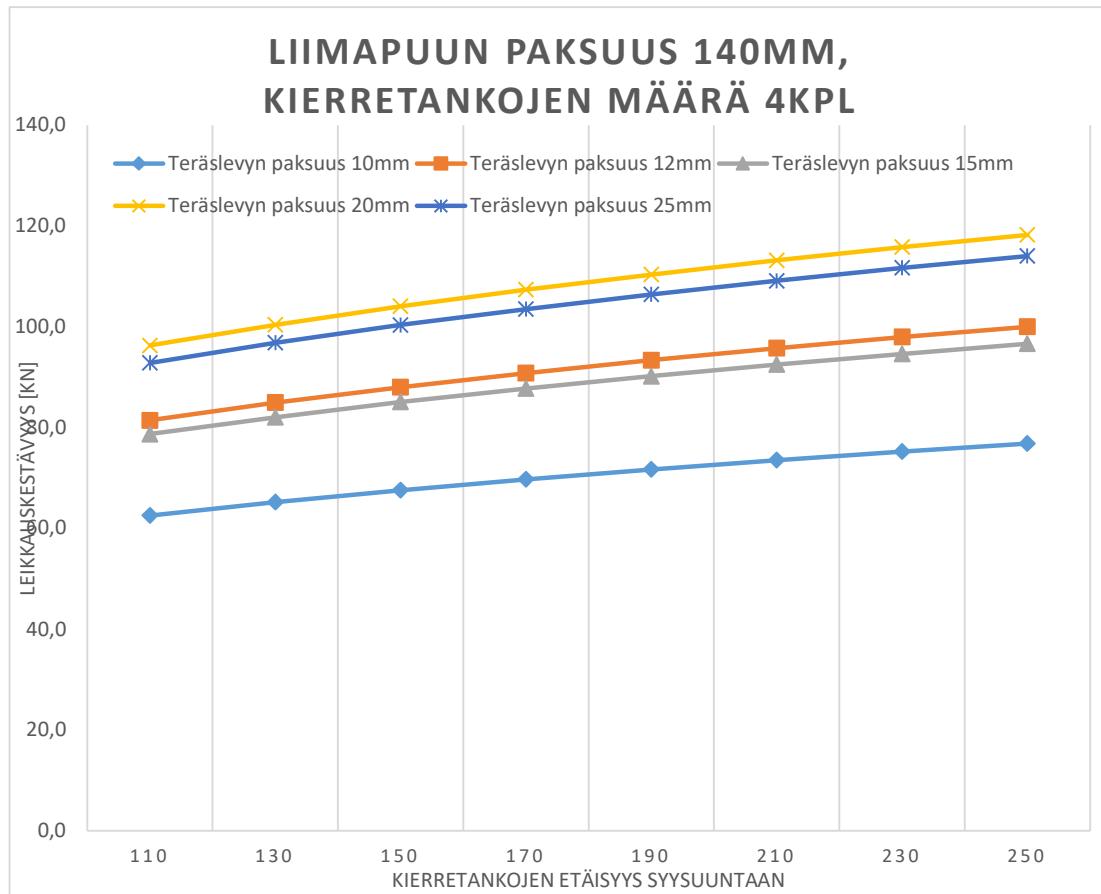
m	6	kpl	Palkkileikkauksen kerroin määrä
a	2500	mm	Stabiiloivan tuen etäisyys
l_d	262227632	mm ⁴	Jäykkömomentti Z-akselin suhteen
I_d	8345	mm ⁴	Kiepahdusmuodon kiinteen akselipoltus
$K_{m,y}$	0.65		Stabiiloivan tuen voiman pienennykerroin
$F_{t,1}$	2.4	kN	Voima stabiilivassa tuessa (2. muoto)
C	431.9	N/mm	Stabiiloivan tuen jousijäykkyysvaatimus

Info

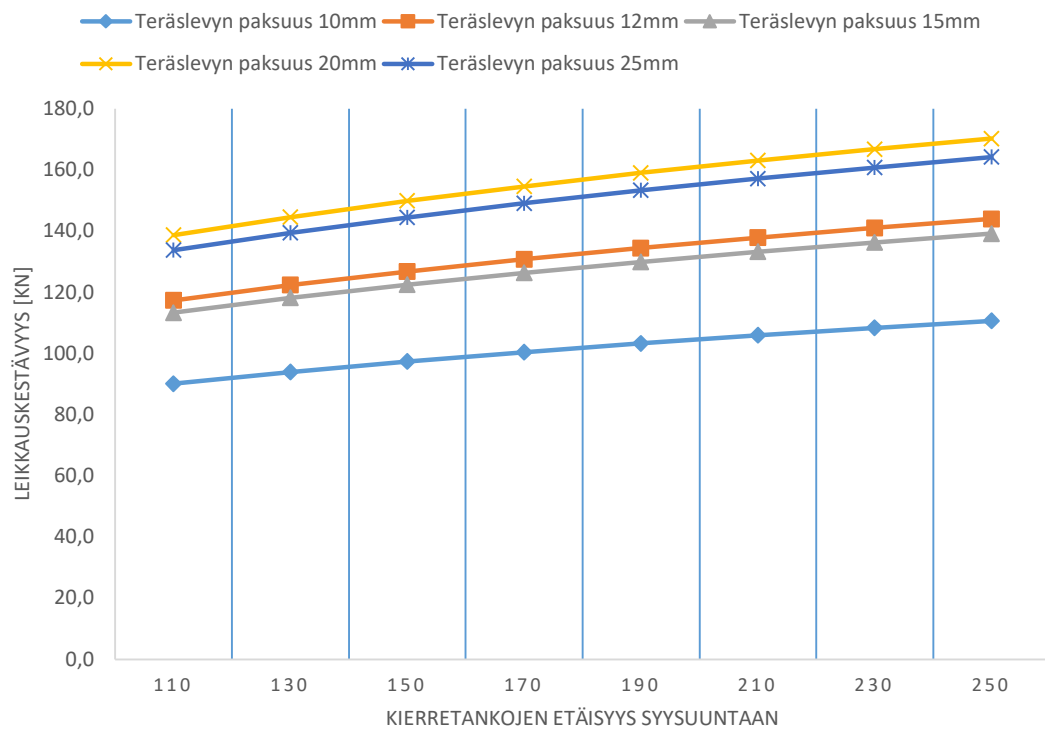
Info

Info

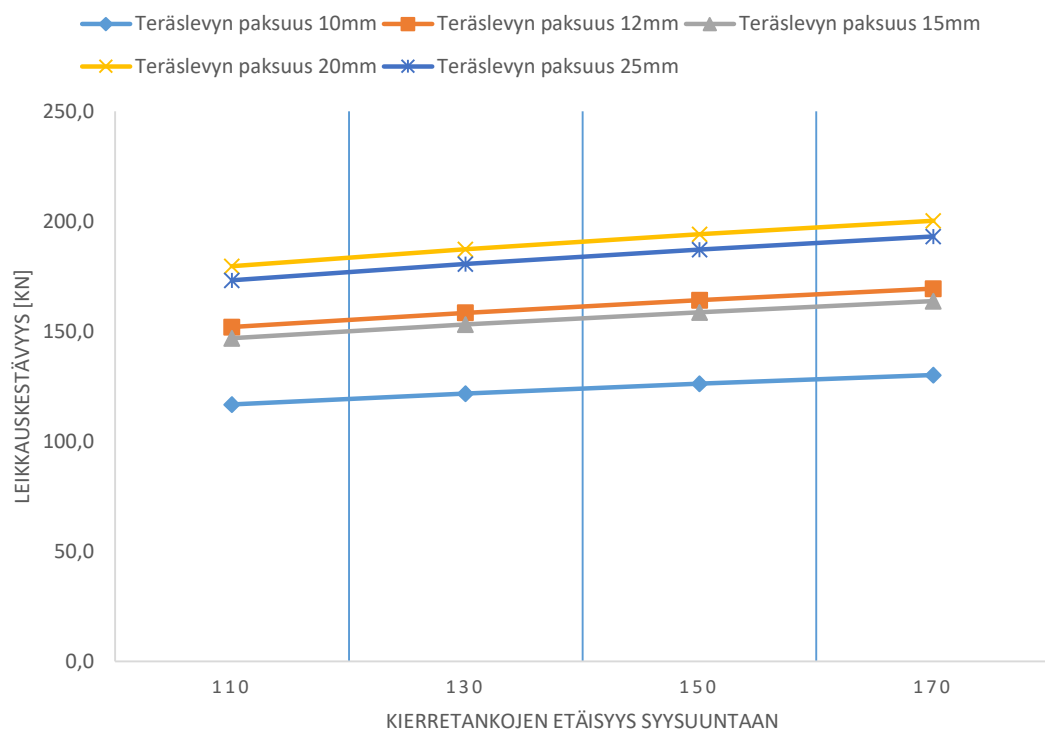
Liite 3. Liitosten leikkauskestävyyden kuvaajat

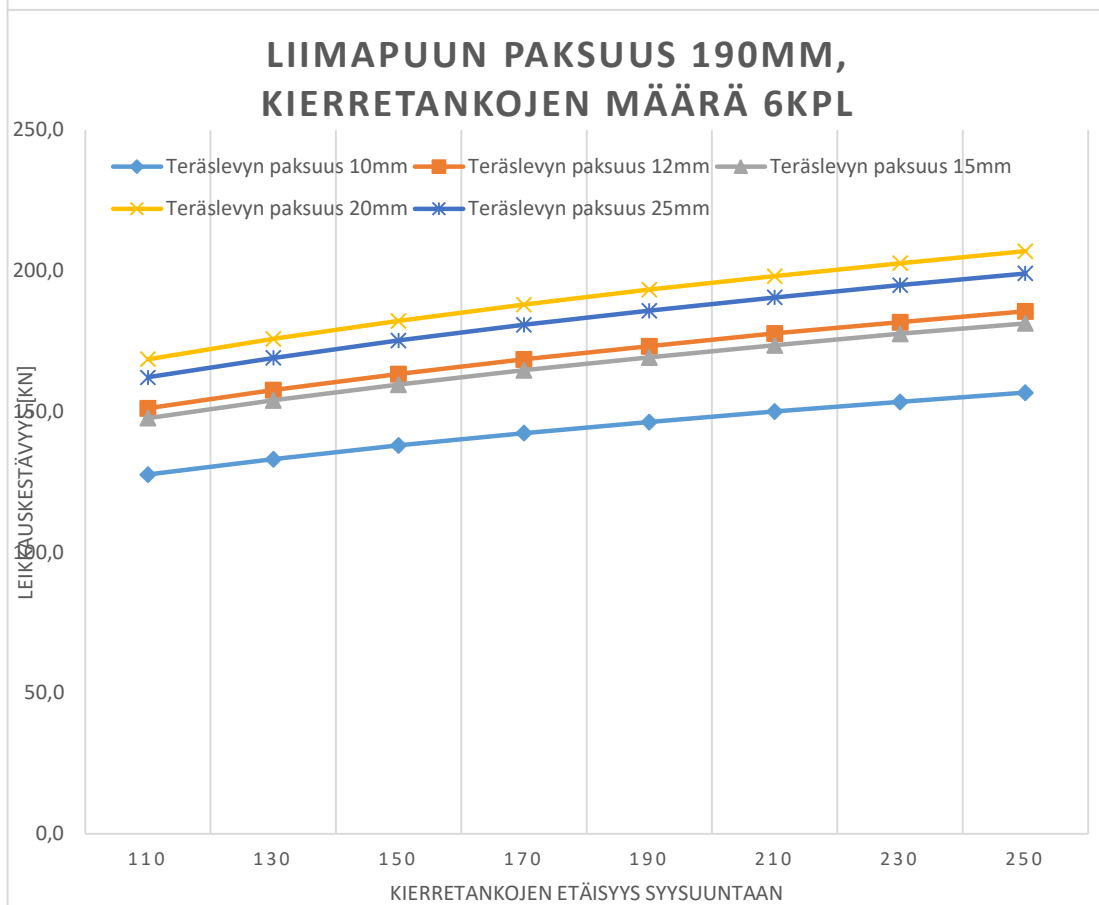
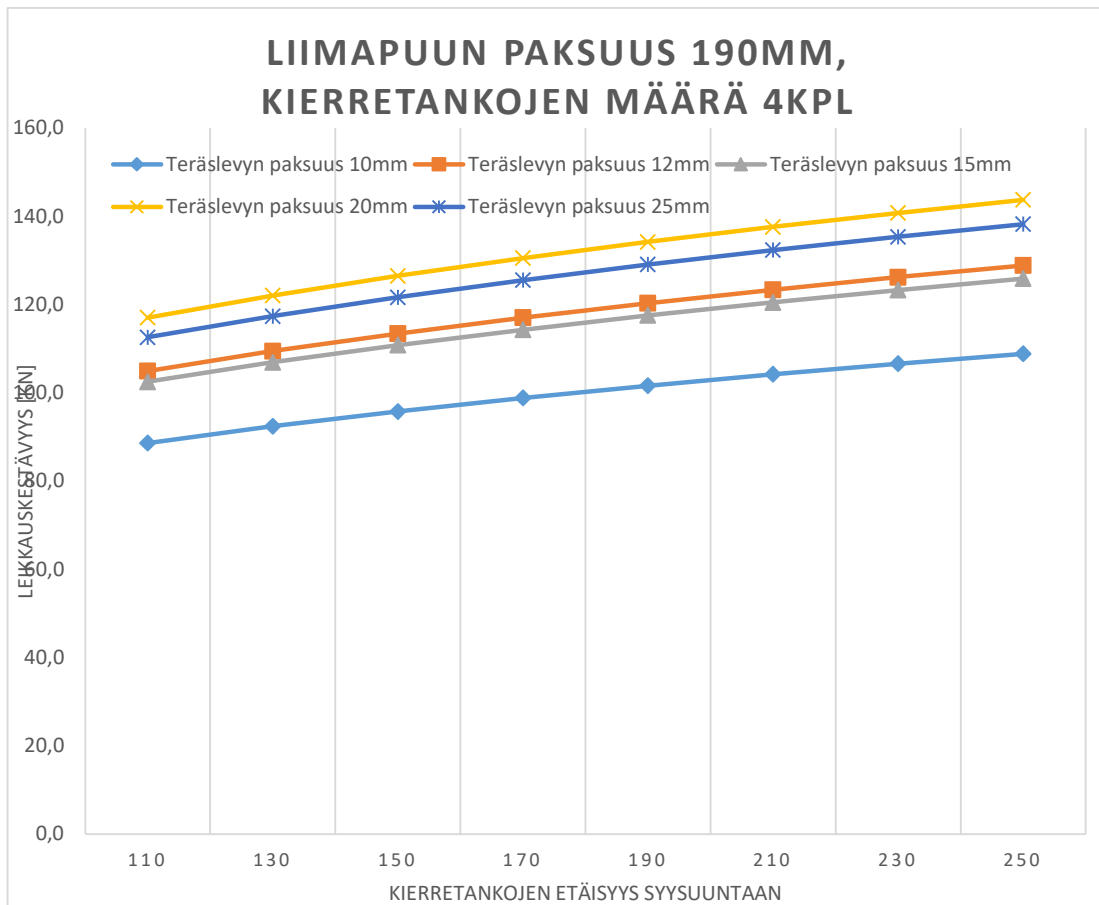


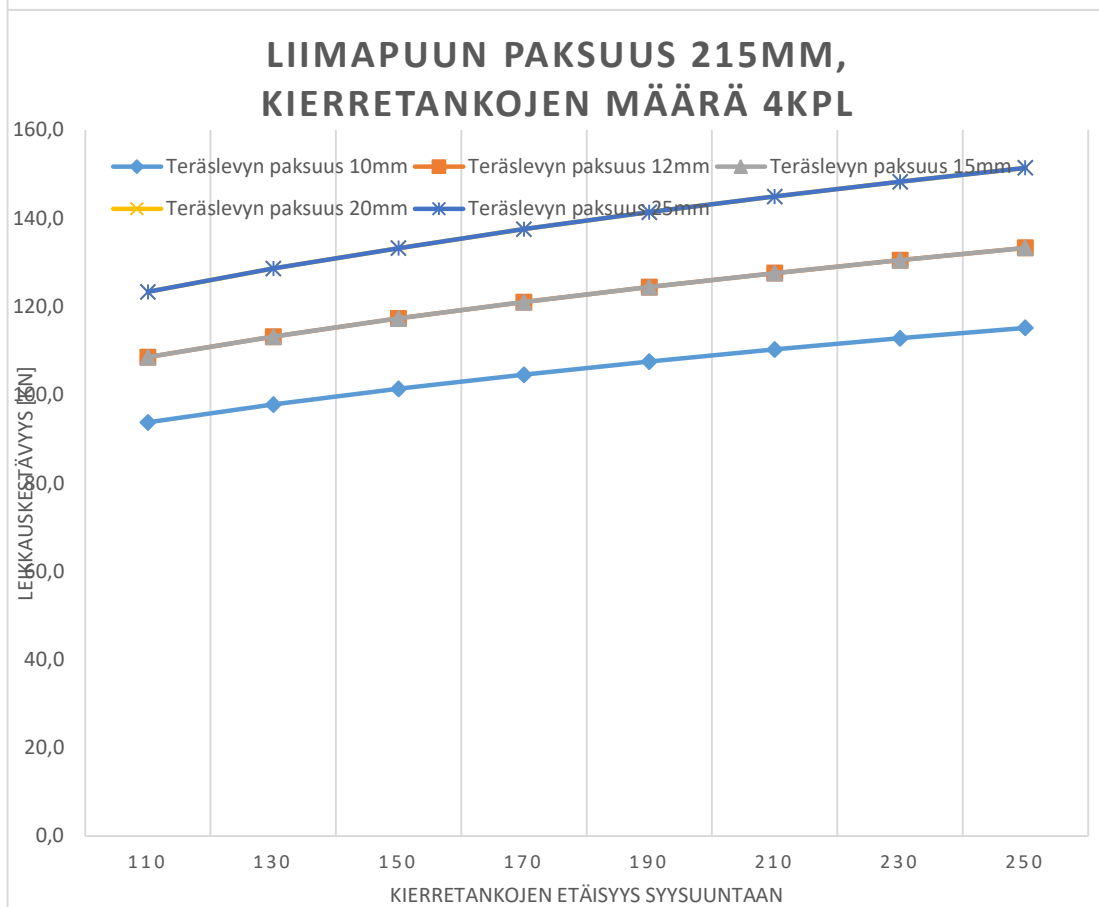
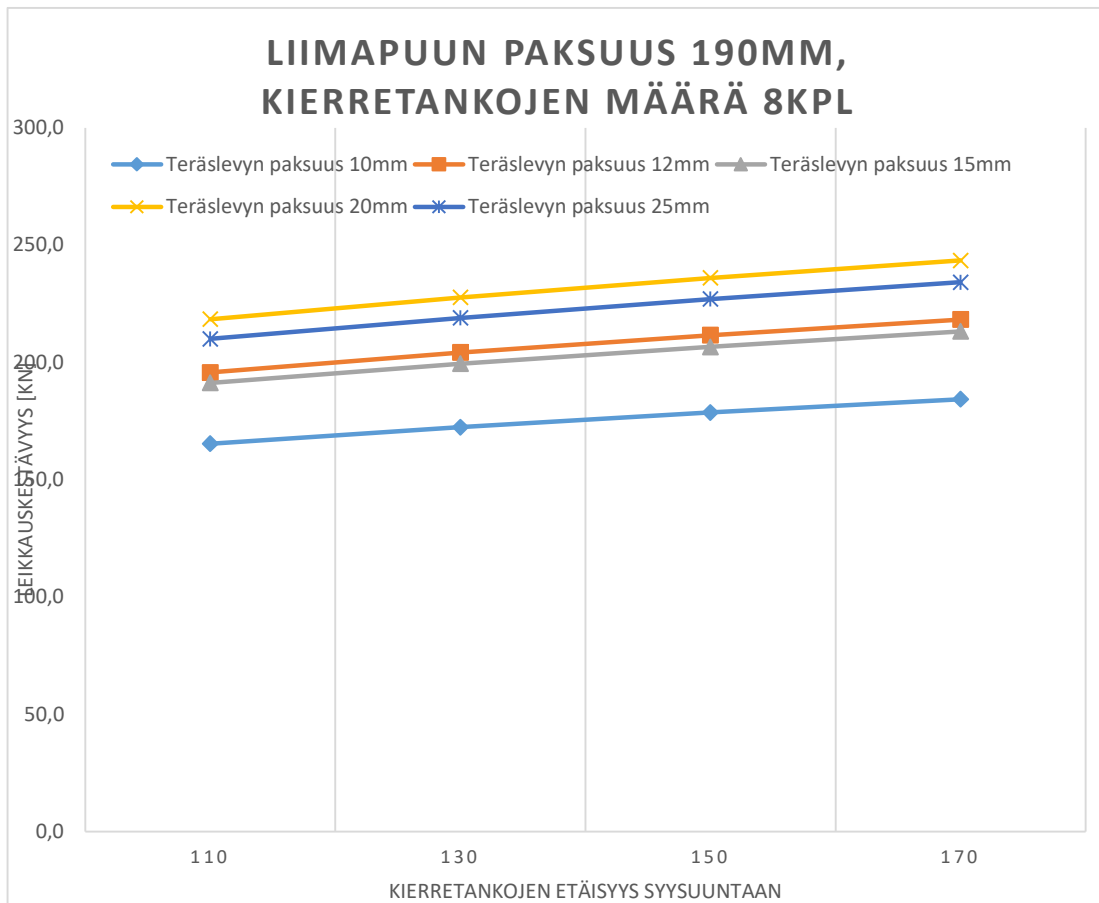
LIIMAPUUN PAKSUUS 140MM, KIERRETANKOJEN MÄÄRÄ 6KPL

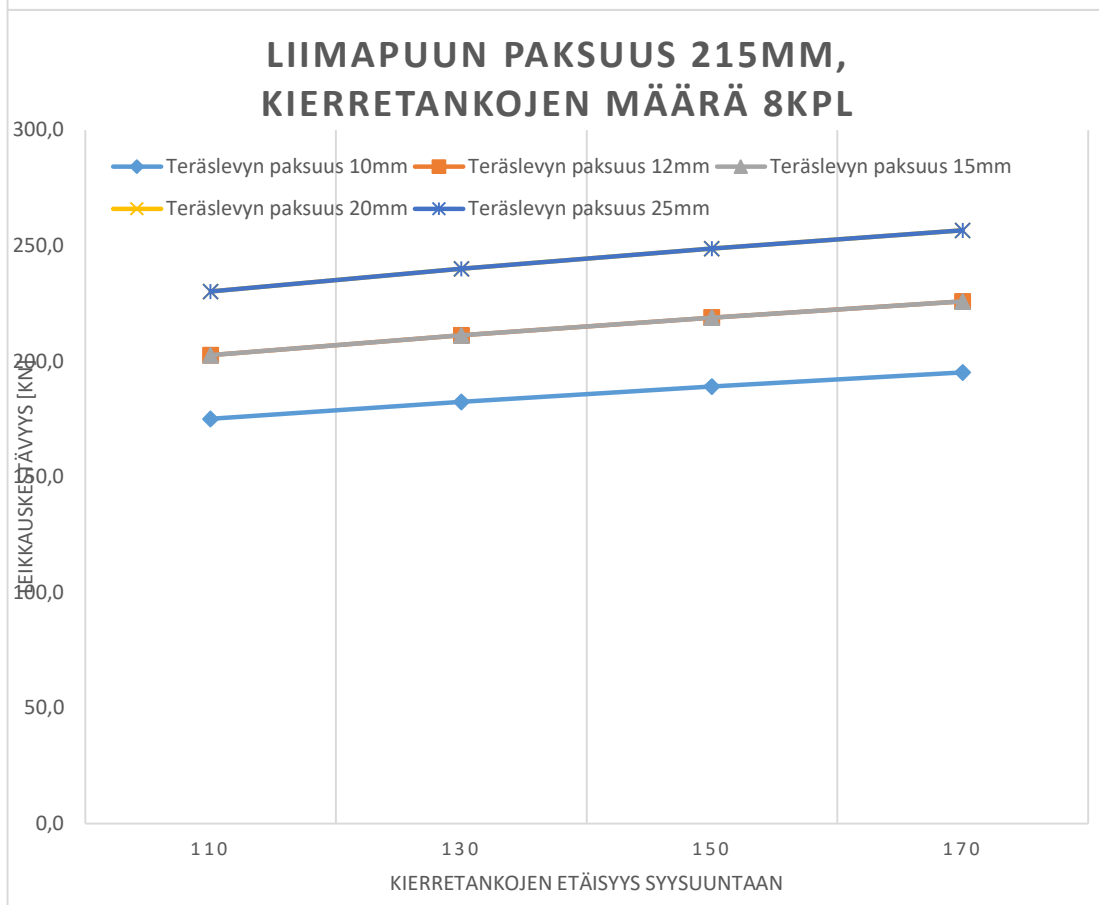
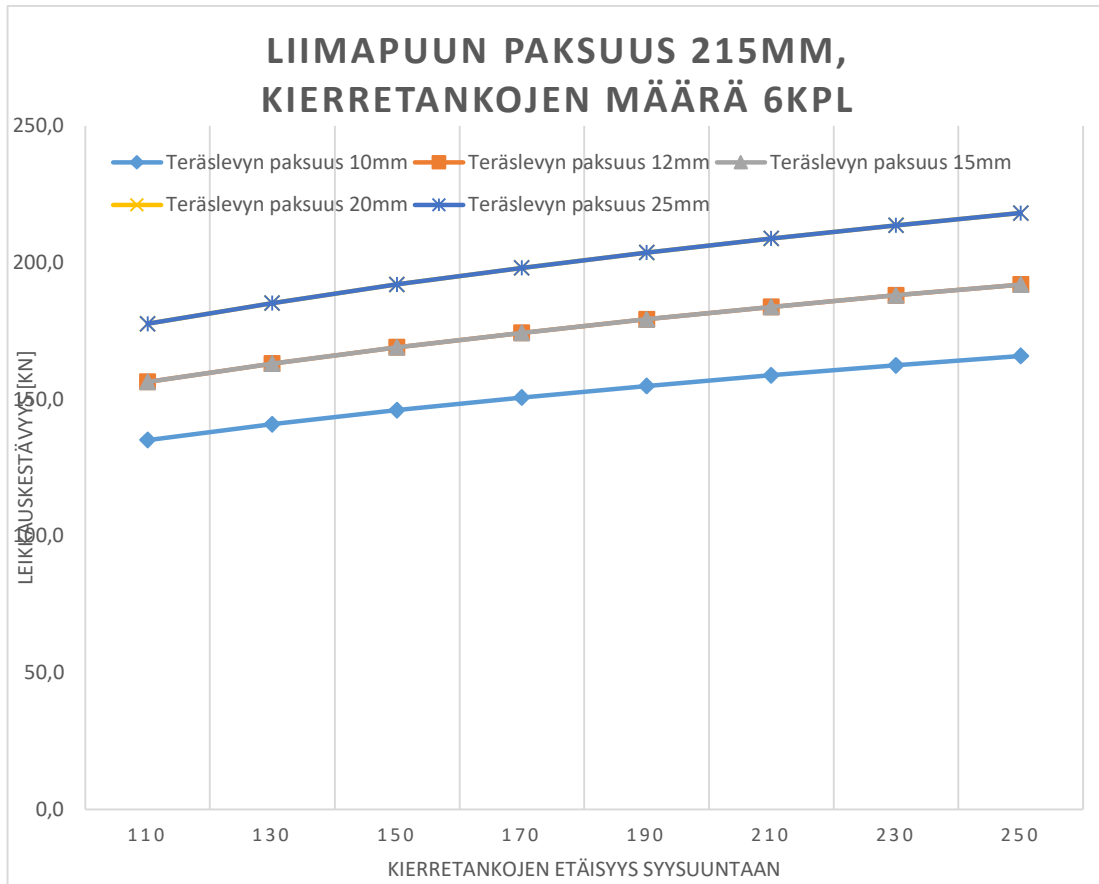


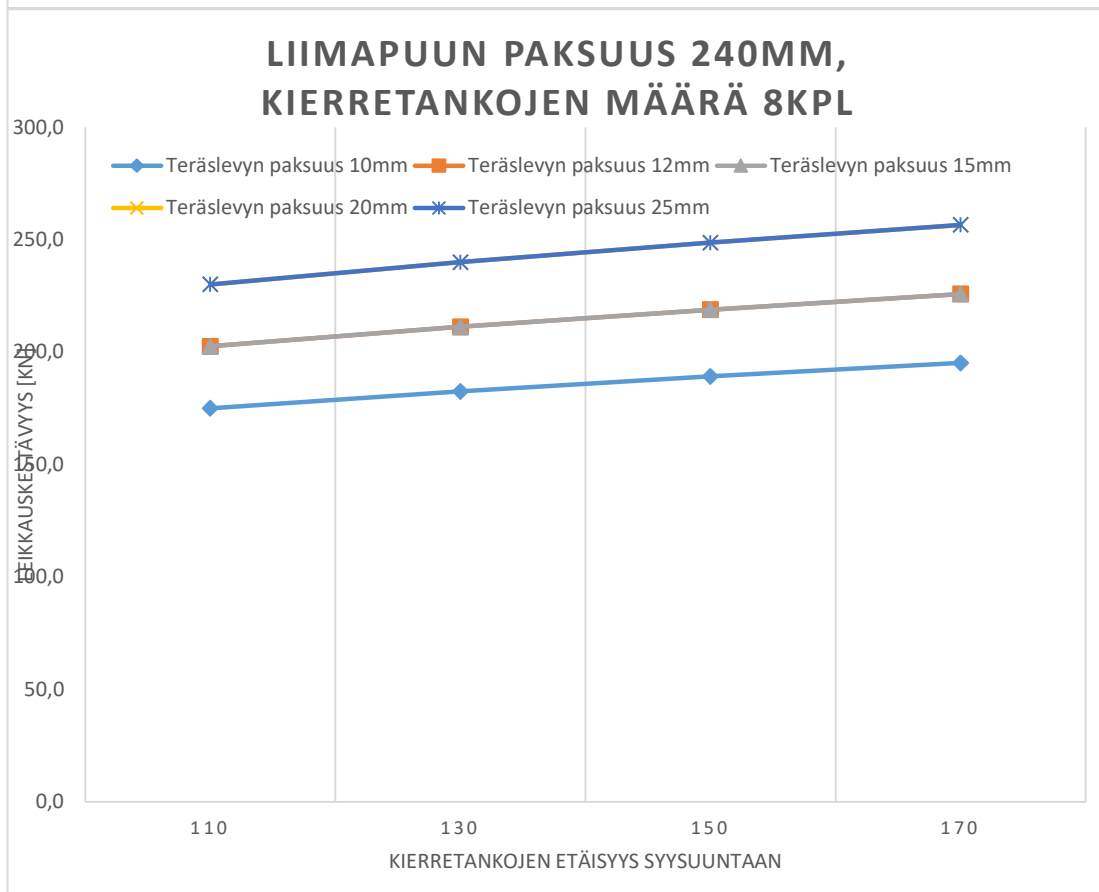
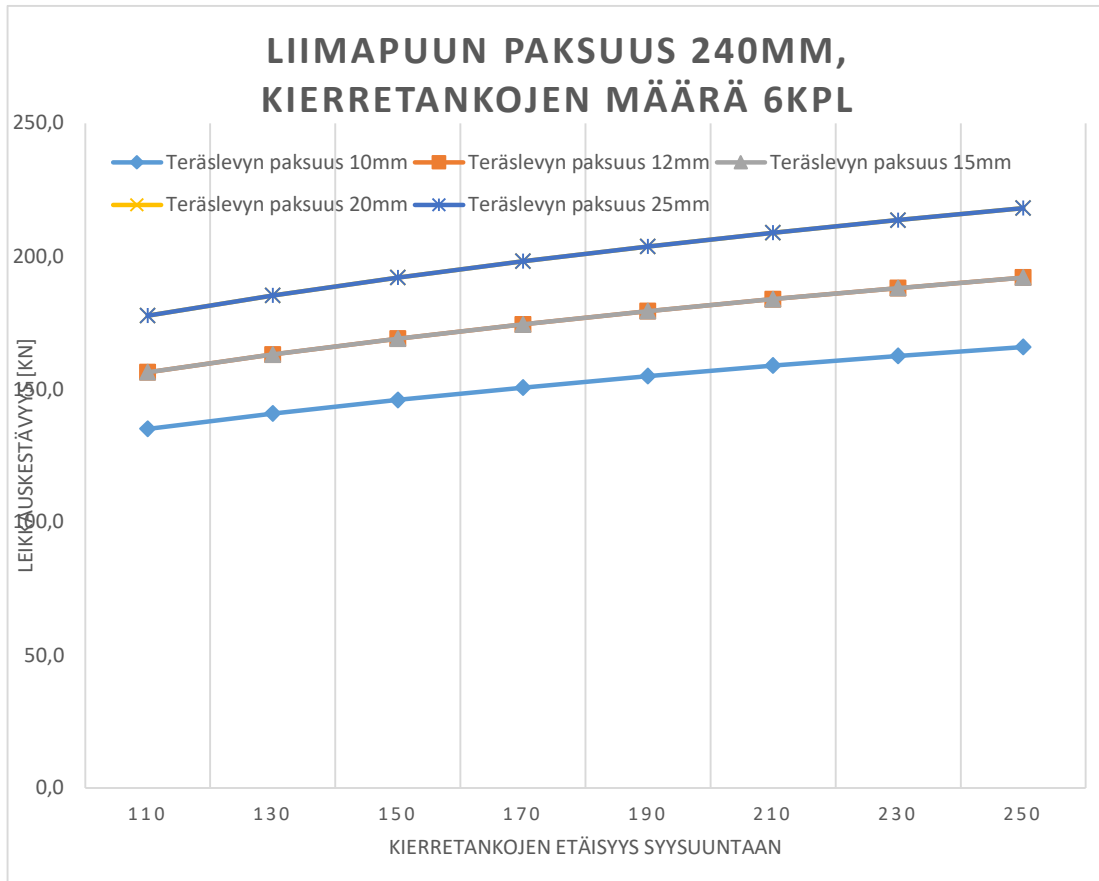
LIIMAPUUN PAKSUUS 140MM, KIERRETANKOJEN MÄÄRÄ 8KPL

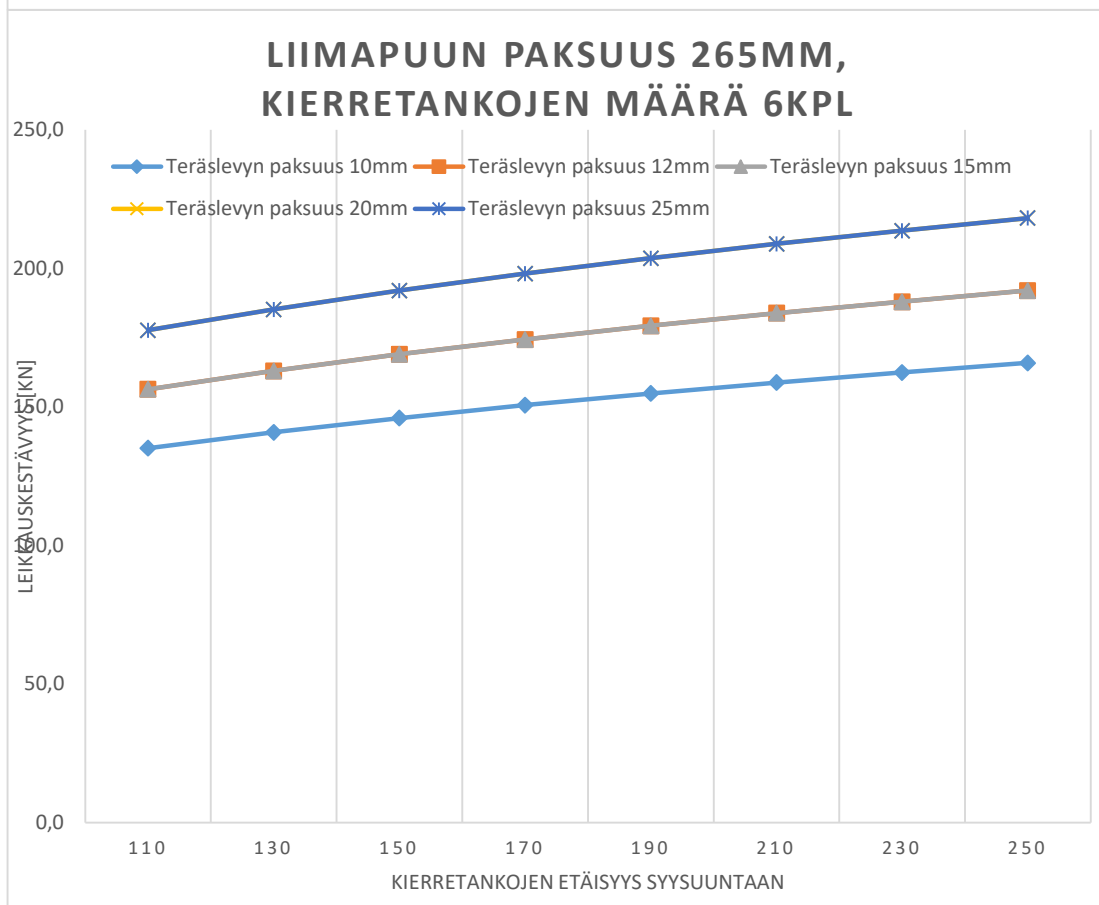
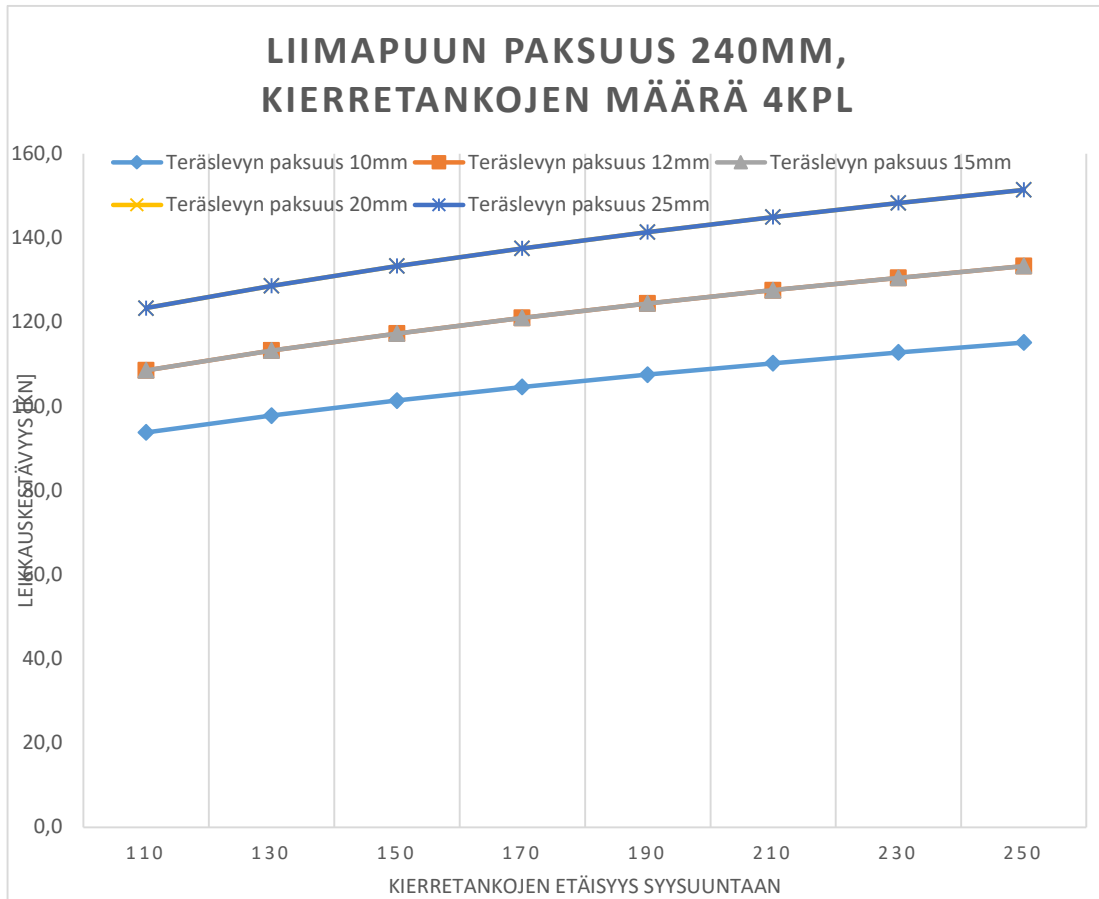


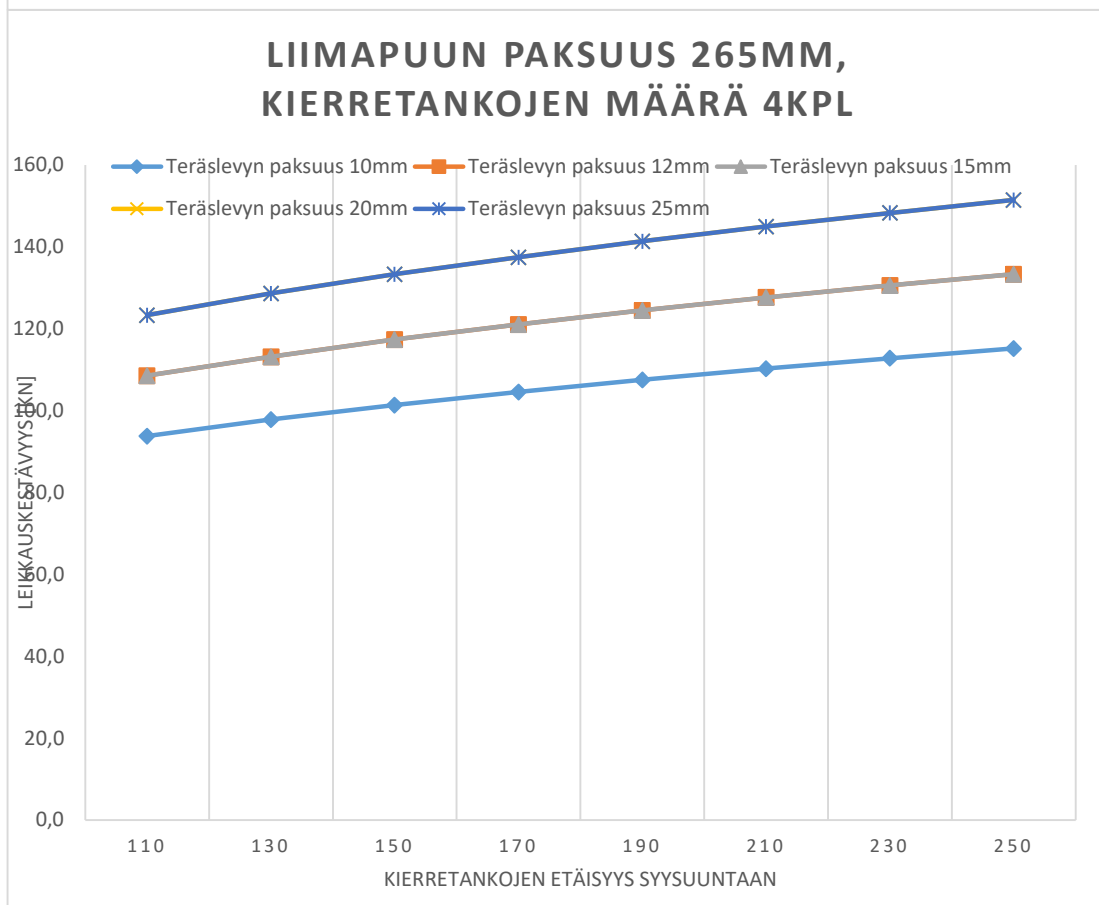
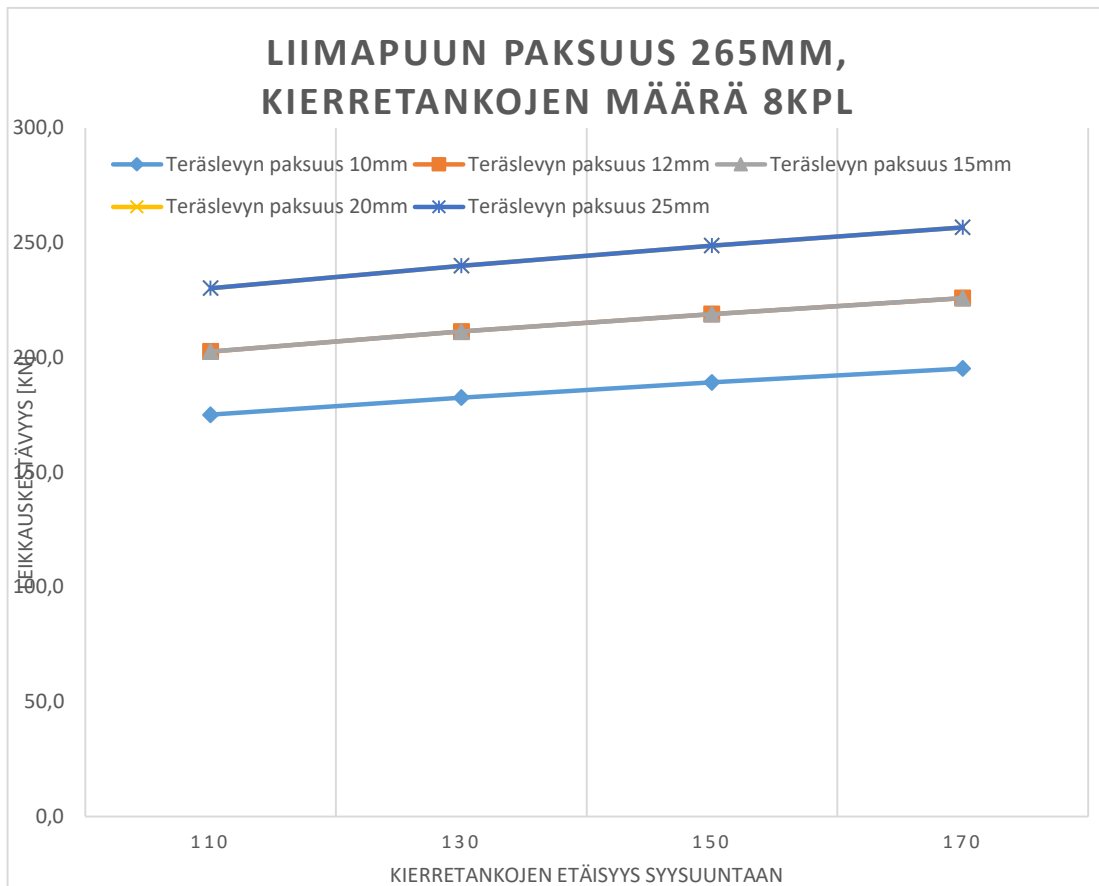




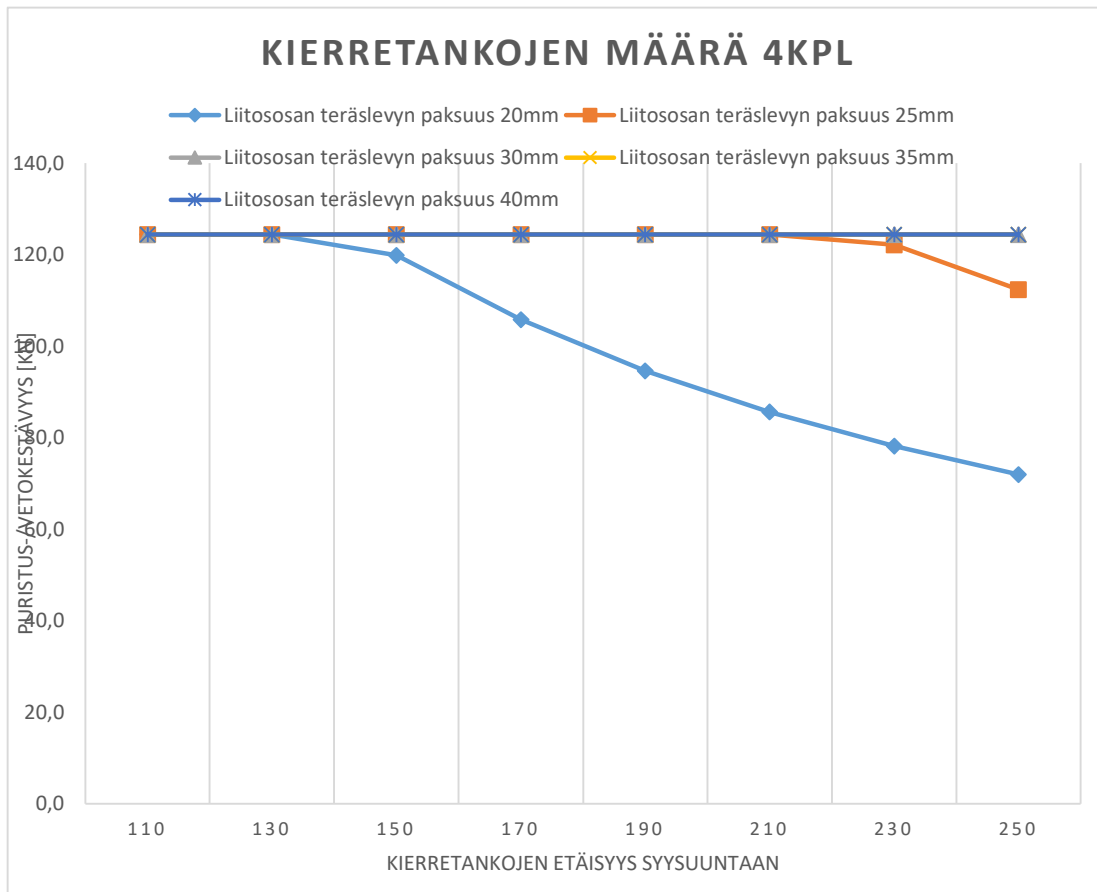




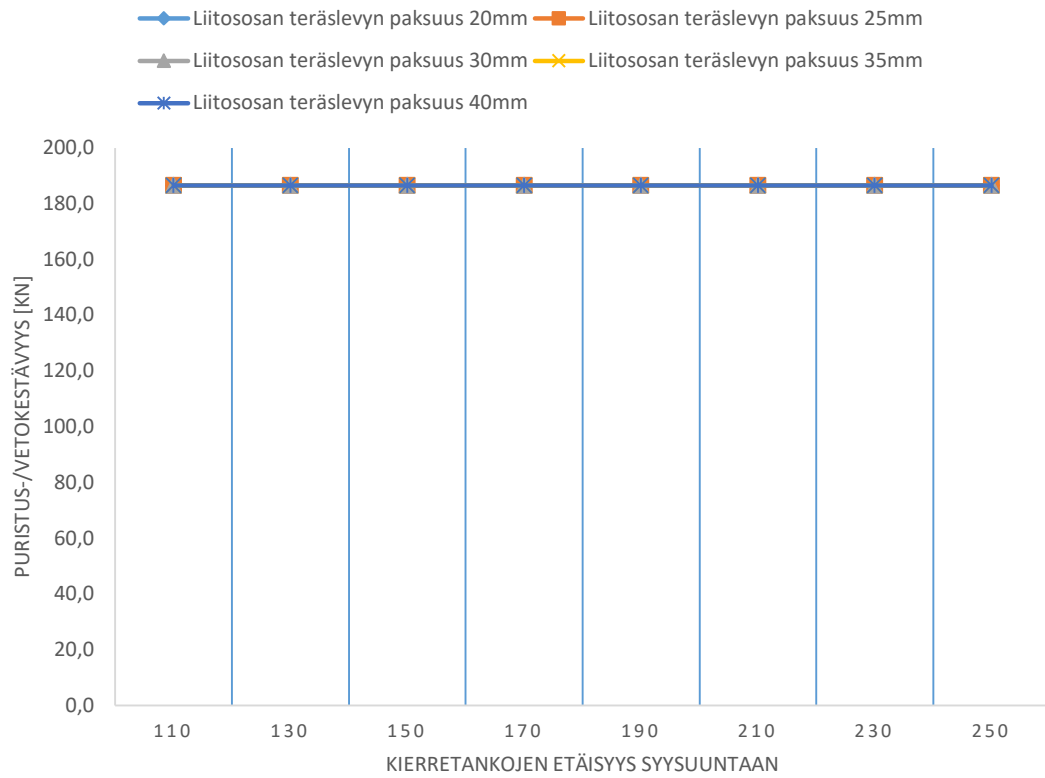




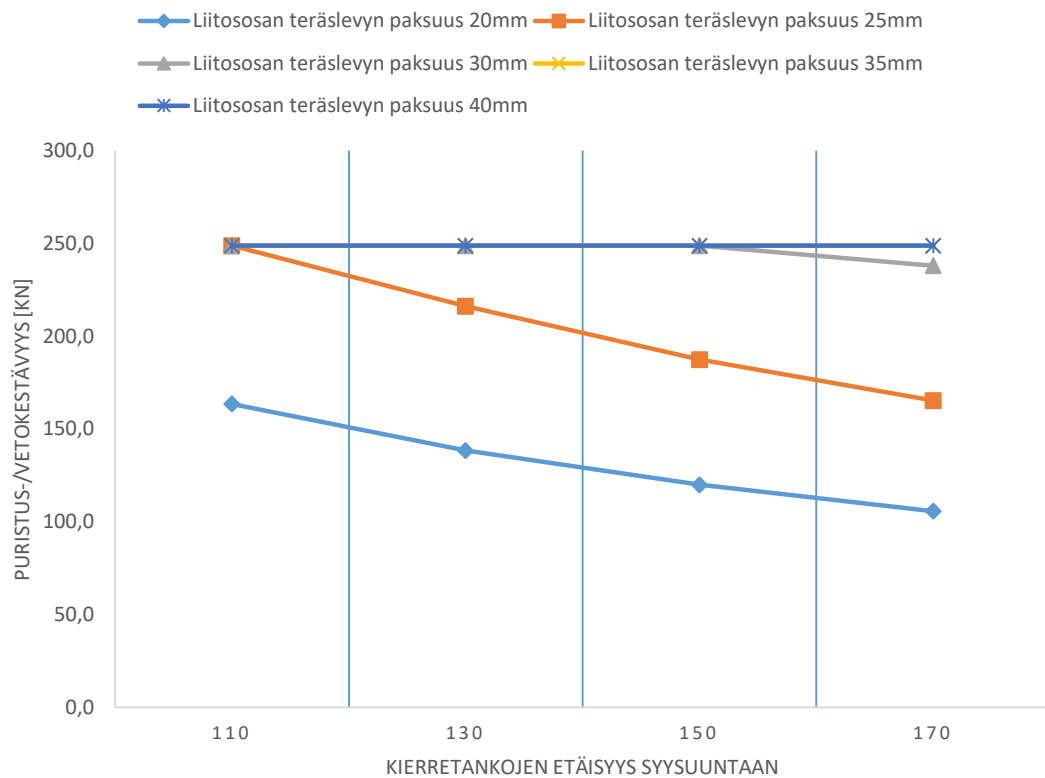
Liite 4. Liitosten puristus- ja vetokestävyys kuvaajat



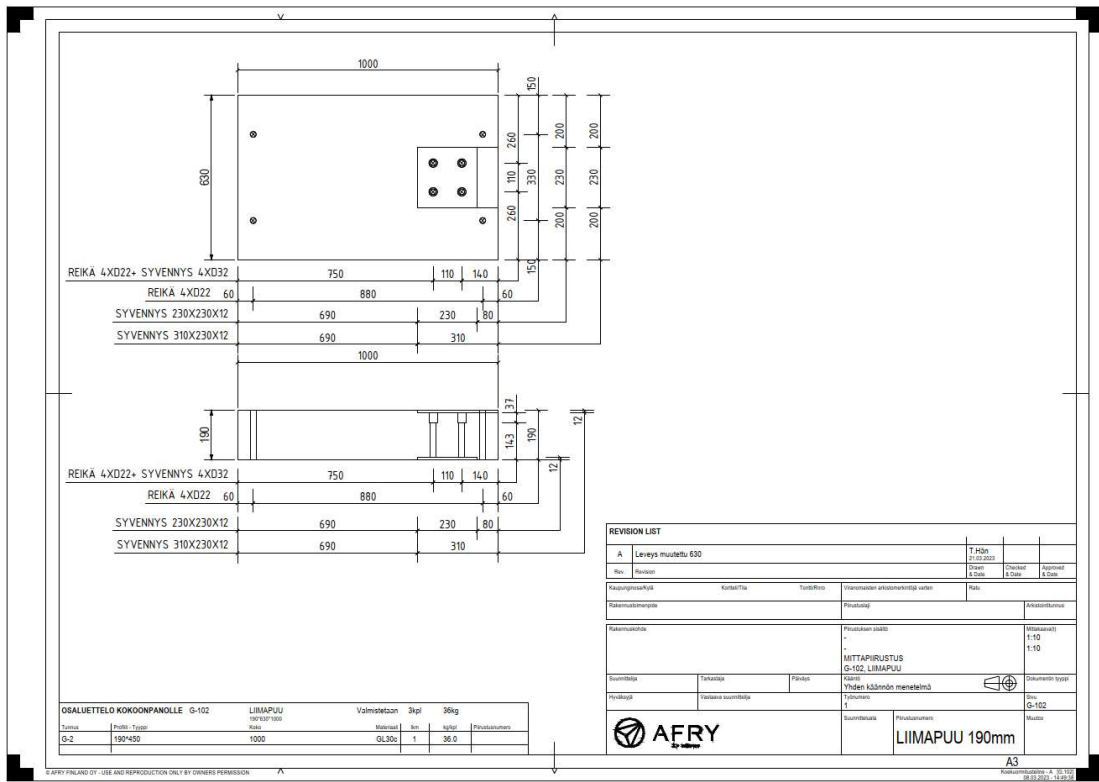
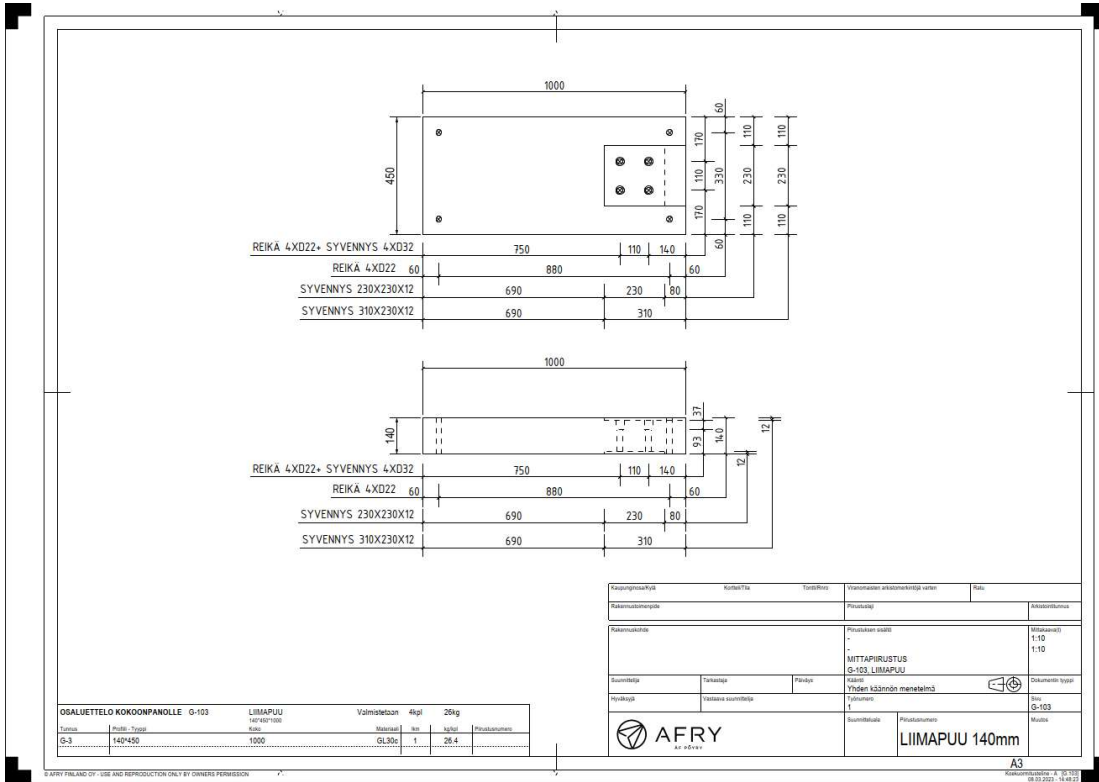
KIERRETANKOJEN MÄÄRÄ 6KPL



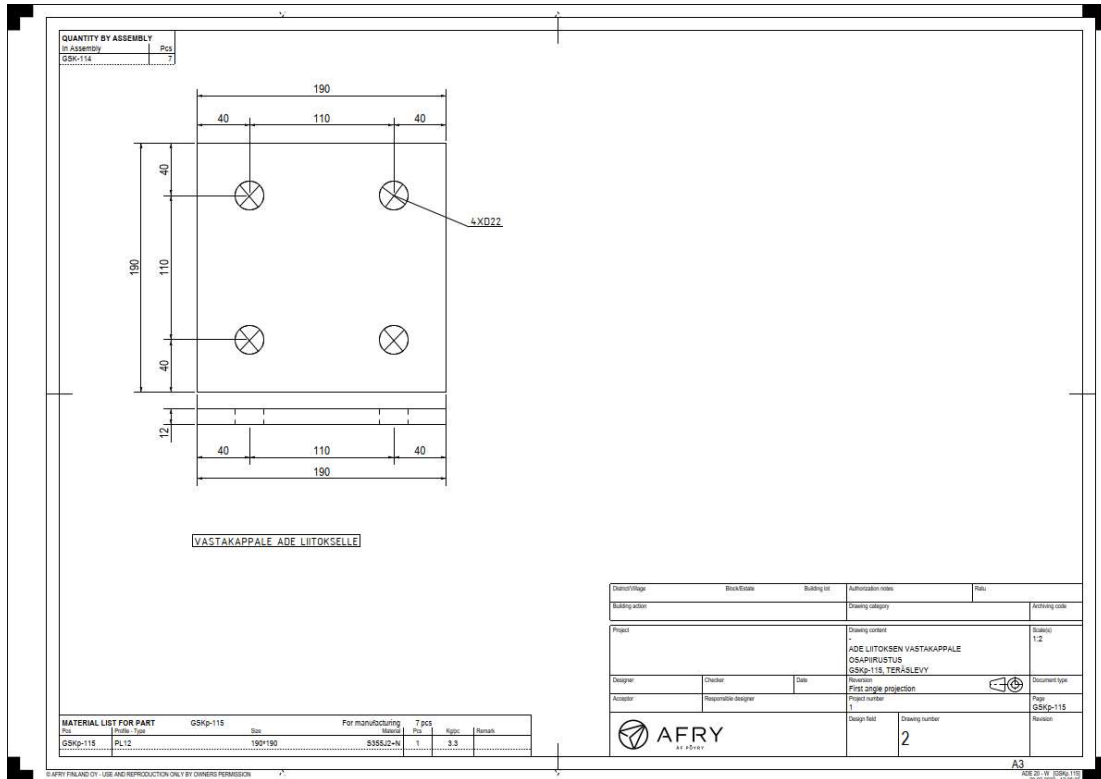
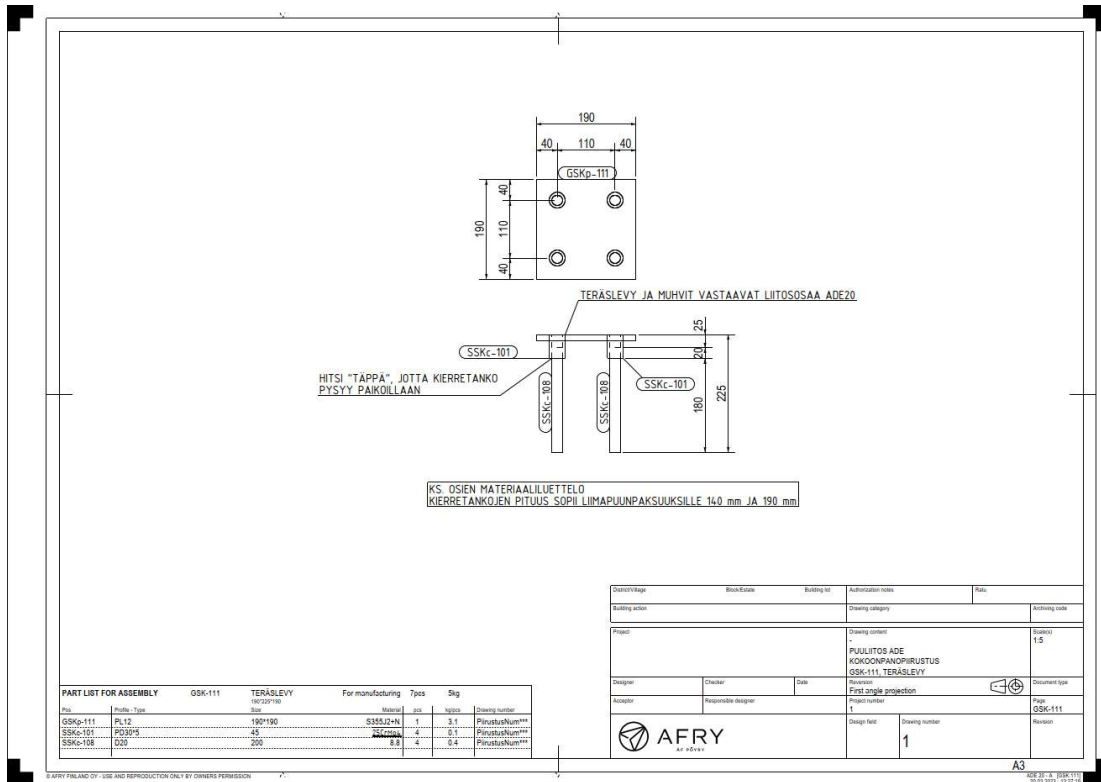
KIERRETANKOJEN MÄÄRÄ 8KPL

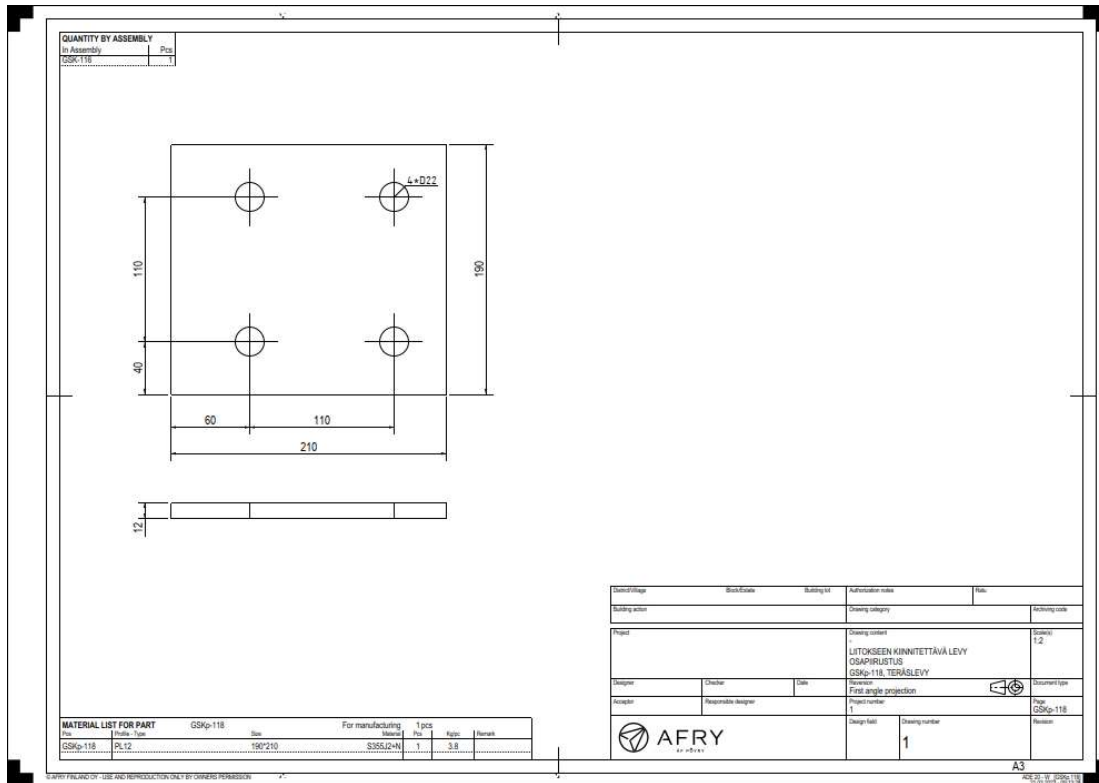


Liite 5. Liimapuun valmistuspiirustukset

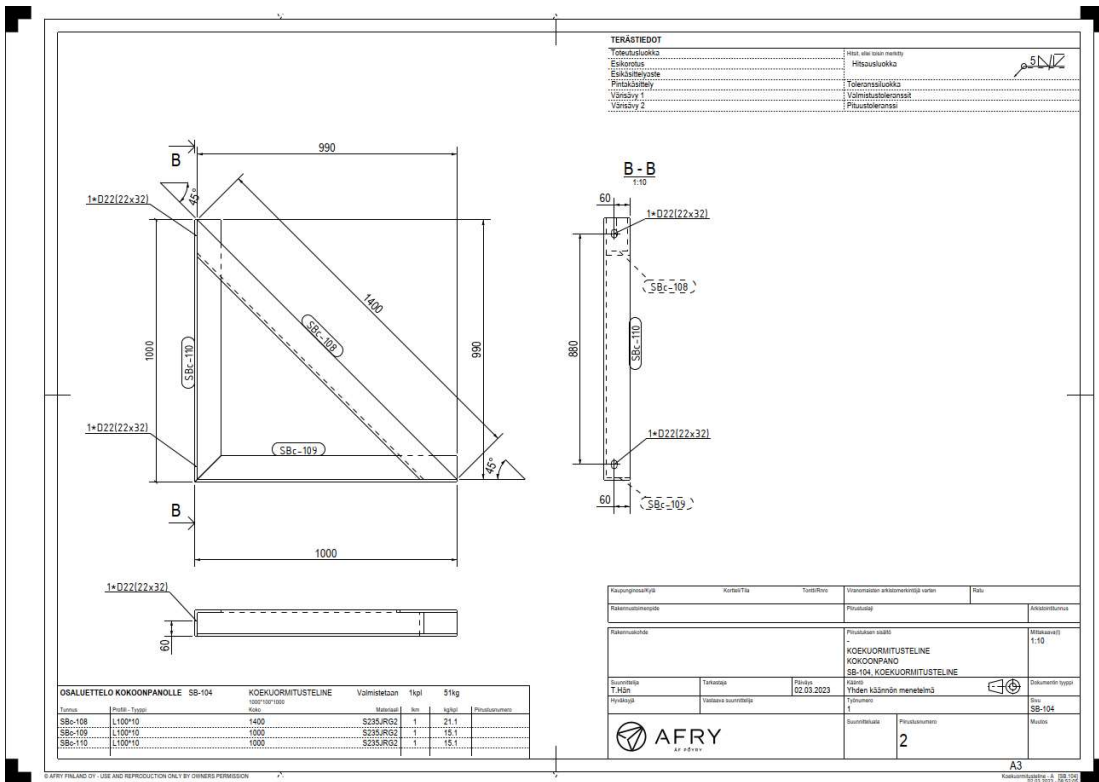
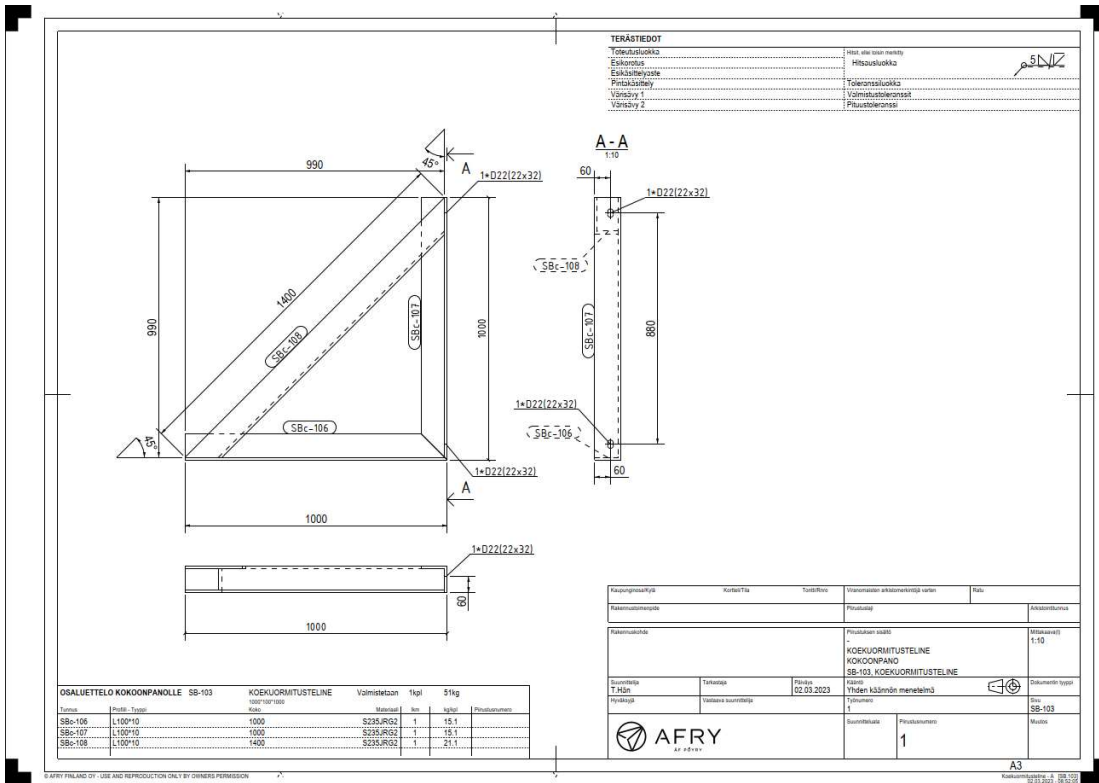


Liite 6. Puuliitos ADE20 valmistuspiirustukset ja osaluettelo

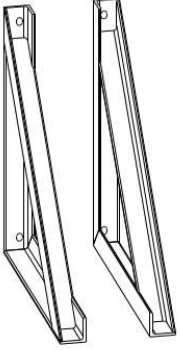




		OSALUETTELO										-		
Rakennuskohde:		Työnumero:								Lestija: T.Hän		Luettelon numero: -		
Rakennuskohteen osite:		Lisä tehty: 20.09.2023										Muutos, päivitys: -		
Osa nro	Nimi	Profiili	Materiaali	Lkm	Pituus [mm]	Leveys [mm]	Paksuus [mm]	Paino [kg]	Pituus yht.	Paino yht.	Pilivastus	Päivitys	Muutos, päivitys	Vaihe
GSKp-111	TERÄSLEVY	PL12*190	S355J2-N	7	190	190	12	3,1	1330	22,0				
GSKp-115	TERÄSLEVY	PL12*190	S355J2-N	7	190	190	12	3,3	1330	22,8				
SSKc-101	MUHVI	PD30*5	25CrMo4	28	45			0,1	1260	3,7				
SSKc-108	KIERRETANKKO	M20	8.8	28	200			0,4	5600	12,4				
SSKc-110	ALUSLEVY	M20	ZnK	28				0,0	84	0,5				
SSKc-111	MUTTERI	M20	8.8	28				0,1	448	2,7				



OSALUETTELO					
Tunnus	Qta	Kpl	kg/kpl	Rev	Pvm
SBc-106	1	15			X
SBc-107	1	15			X
SBc-108	2	21			X
SBc-109	1	15			X
SBc-110	1	15			X

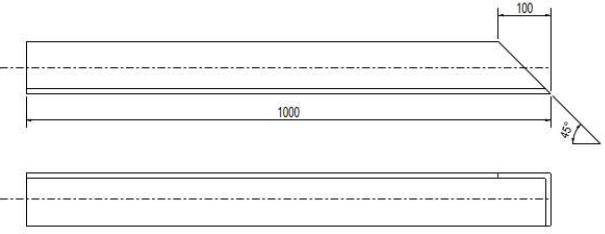


Maaprosessikutsu	Kuulutus	Sisällys	Yhteenvetäjä/arkkitehti/valmistaja	Nimi
Tekijä/valmistaja	Piirustus			Arkkitehtinumero
Referenssit	Piirustuksen sisältö KOEKUORMITUSTELINE OSAPIIRUSTUS			Mittakaava 1:10
Standardit T:nä	Tekijä	Päiväys 02.05.2023	Konstruktööri	Ohjeiden tyyppi
Hyväksyjä	Valmistaja nimitys	Yhteenvetäjä	Yhteenvetäjä	Osio
AFRY		Arkkitehti	Piirustuksen 3	Muuta

© AFRY FINLAND OY - USE AND REPRODUCTION ONLY BY OWNERS PERMISSION

A3
Kokoonpanonopeus: 02.05.2023 08:52:55

MÄÄRÄ KOKOONPANOTTAVAN	
Kokoonpanonopeus	Kpl
SB-103	1

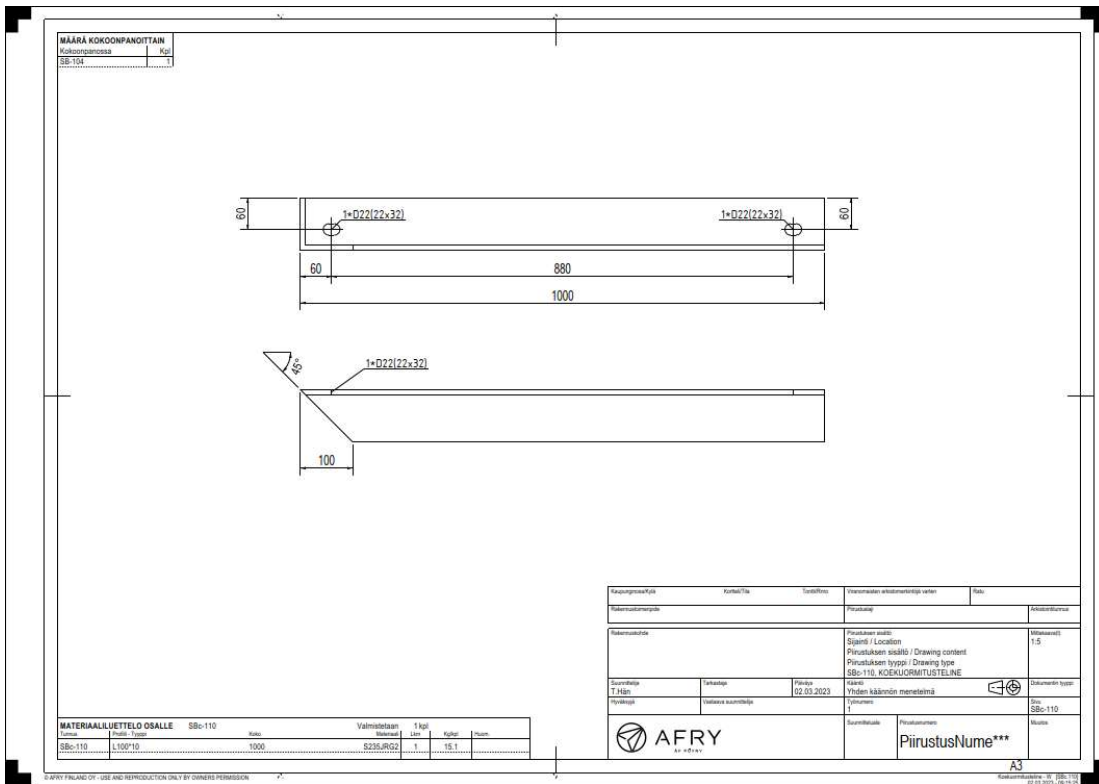
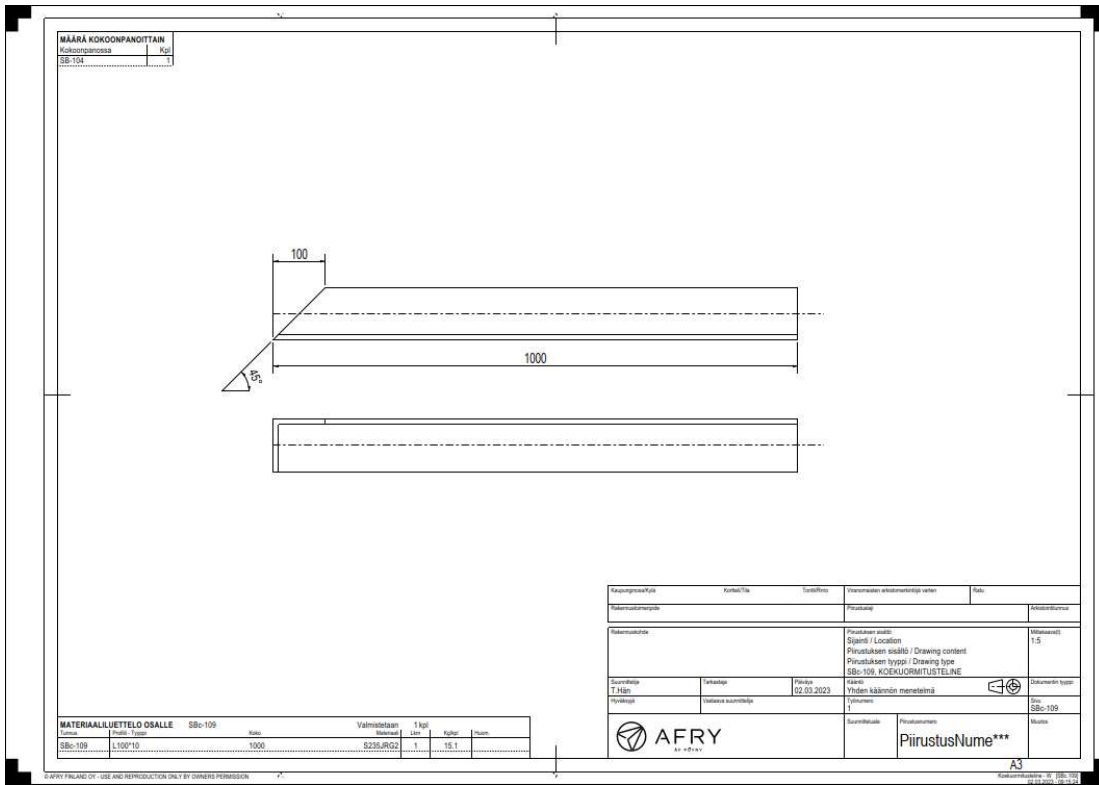


Maaprosessikutsu	Kuulutus	Sisällys	Yhteenvetäjä/arkkitehti/valmistaja	Nimi
Tekijä/valmistaja	Piirustus			Arkkitehtinumero
Referenssit	Piirustuksen sisältö Sisältö / Location Piirustuksen sisältö / Drawing content Piirustuksen tyyppi / Drawing type SBc-106 KOEKUORMITUSTELINE			Mittakaava 1:5
Standardit T:nä	Tekijä	Päiväys 02.05.2023	Konstruktööri	Ohjeiden tyyppi
Hyväksyjä	Valmistaja nimitys	Yhteenvetäjä	Yhteenvetäjä	Osio
AFRY		Arkkitehti	Piirustuksen PirustusNume***	Muuta

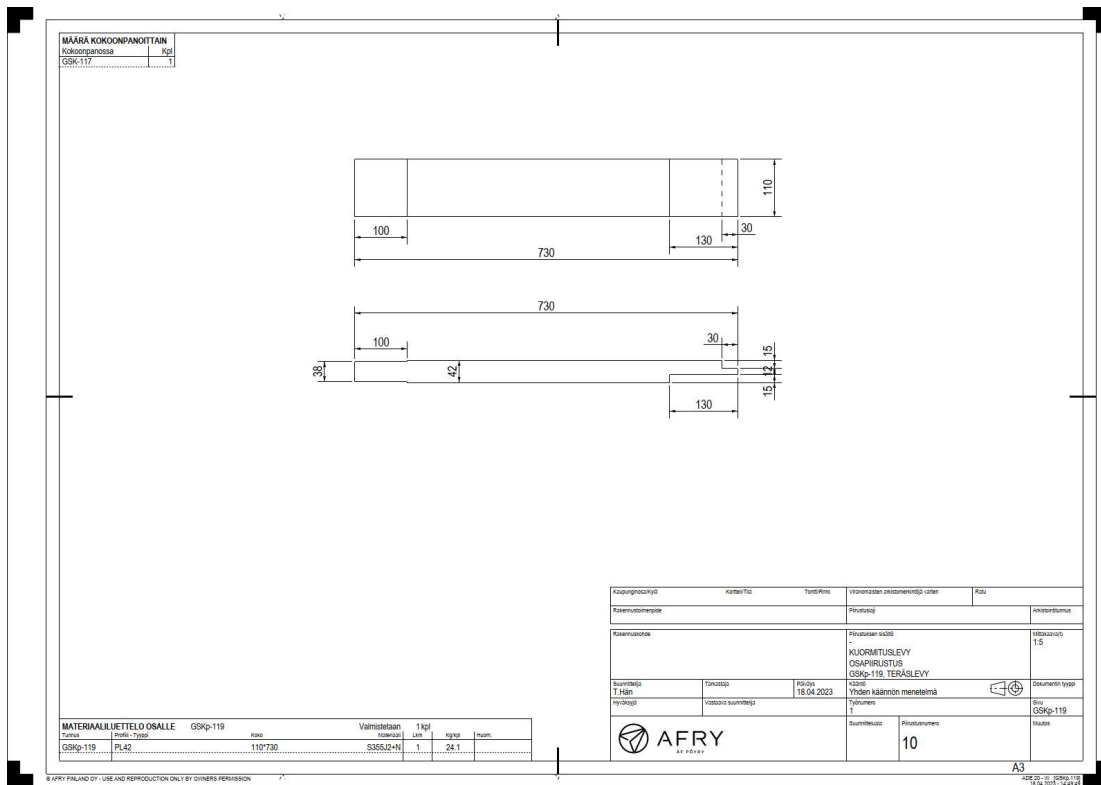
MATERIAALILUETTELO OSALLE SBc-106					
Tunnus	Materiaali	Yhteys	Valmistaja	1 kpl	Paino
			Materiaali	Lin	Kpl
SBc-106	L100F15	1000	S235JR22	1	15.1

© AFRY FINLAND OY - USE AND REPRODUCTION ONLY BY OWNERS PERMISSION

A3
Kokoonpanonopeus: 02.05.2023 08:52:55



Liite 8. Kuormitustaltan valmistuspiirustukset



MAARA KOKOONPANOITTAIN	
Kokoonpanossa	kpl
GSKp-119	1

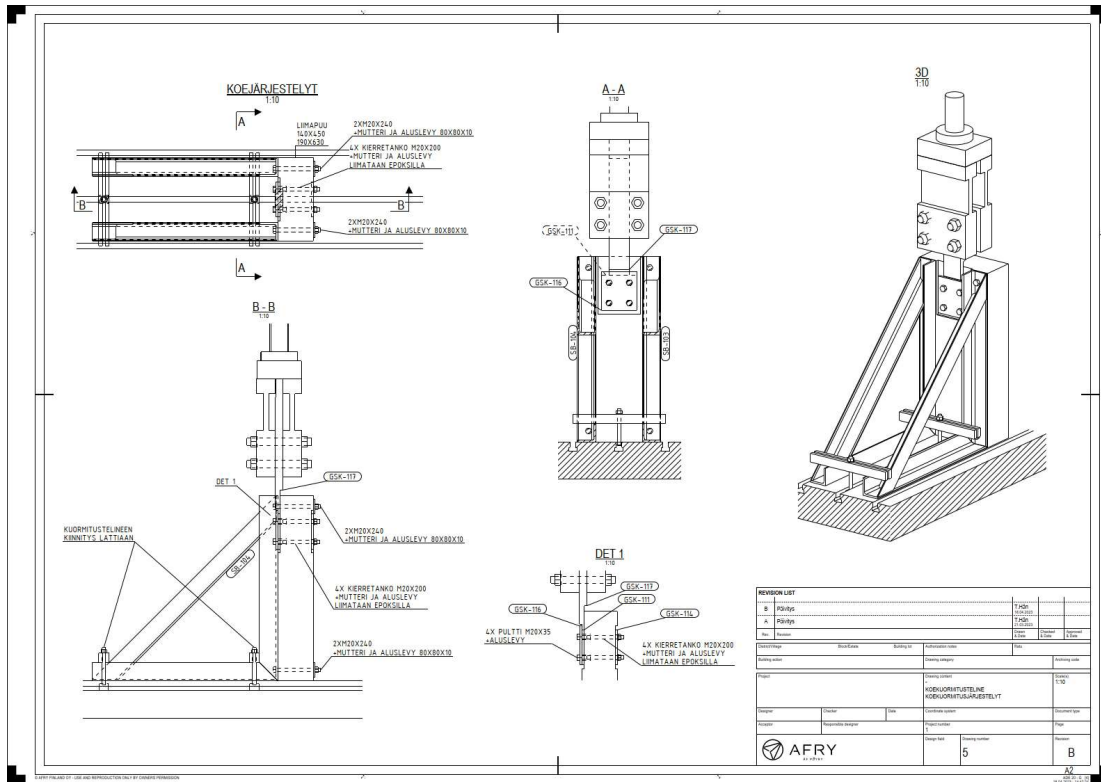
MATERIAALILUETTELO OSALLE		GSKp-119	Valmistetaan	1 kpl		
Tilaus	Plakki-Typpi	Koko	Osasto	1	kg	huom.
GSKp-119	PL42	110*730	S355J2+N	1	24.1	

Käsitteilyohje	Kohde	Työskäytä	Minimipöytänopeus (m/s)	Käsi
Käsitteilyohje				
Käsitteilyohje				
Summitus T Häm	Tuotus	Päivä	18.04.2023	Yhden käännön menetelmä
Yhteydet	Osasto	1		
	Summitus	10		



A3
ASE 21 - GSKp-119
 110x730x15

Liite 9. Koekuormitusjärjestelyt



Liite 10. Epoksiliiman tuotetiedot



TUOTETIETOESITE

Sikadur®-52 Injection Normal

MATALA VISKOOSINEN EPOKSI-INJEKTIOHARTSI - NORMAALI AVOINAIKA

TUOTEKUVAUS

Sikadur®-52 Injection Normal on 2-komponenttinen, epoksi, matala viskoosinen, normaalin avoimen ajan, injektiohartsi, joka on erityisesti suunniteltu halkeamien injektointeihin joko paineella- tai painovoimamallalla.

KÄYTTÖ

- Sikadur®-52 Injection Normal saa käyttää vain kokeneet ammattilaiset.
- Halkeaminen injektointiin
 - Sikadur®-52 Injection Normal käytetään täyttämään ja tiivistämään koloja ja halkeamia eri rakenteissa, kuten sillat ja muut yhdyskuntarakentamiseen liittyvät rakennukset, teollisuus- ja asuinrakennukset, kuten esimerkiksi pylväät, palkit, perustukset, seinät, lattiat ja vesirakenteet
 - Sitoo rakenteellisesti osia yhteen
 - Veden tunkeutumisen ja korroosiota edistävien aineiden tunkeutumisen estäminen

LUONTEENOMAISTA / EDUT

- Injektointi +5 °C - +30 °C välillä.
- Hyvä tartunta betonille, laastille, kivelle, teräkselle ja puulle.
- Sopii sekä kuiviin että kosteisiin olosuhteisiin
- Maksimi halkeaman leveys 5,0 mm
- Hyvät mekaaniset ominaisuudet
- Kaksi laatuluokkaa eri ilmastollisille olosuhteille (normaali ja pitkä levitysaika)
- Korkea mekaaninen ja tarttuvuus
- Kova mutta ei hauras
- Matala viskoosinen
- Injektoitavissa yksikomponenttisilla pumpuilla

HYVÄKSYNNÄT / STANDARDIT

- CE Marking and Declaration of Performance to EN 1504-5 - Concrete injection
- Fire Testing DIN EN 13501-1, Sikadur®-52 Injection Normal, MPA Braunschweig, Test report No. K-3604/805/13-MPA BS

TUOTETIETO

Pakkaus	Komp. A+B	1 kg esiannostellut pakkaukset
		Laatikossa 10 kpl yhden kilon pakkausta
	Irtotavara	Pyydettäessä
	Tarkista paikallisesta hinnastosta saatavuus.	
Väri	Komp. A	Läpinäkyvä
	Komp. B	Rusehtava
	Komp. A+B sekoitettuna	Kellertävän ruskeahko
Käyttökä	24 kk valmistuksesta.	
Varastointiolosuhteet	Varastoitava vahingoittumattomissa alkuperäisissä pakkauksissa kuivissa olosuhteissa ja suoralta auringonvalolta suojattuna +5 °C - +35 °C lämpötilassa. Katso pakkaus.	

Tuotetieto
 Sikadur®-52 Injection Normal
 Toukokuu 2020, Versio 01.01
 020707030010000004

Tihey	Komp. A	1,121 kg/l	(EN ISO 2811-1)
	Komp. B	1,006 kg/l	
	Komp. A+B sekoitettuna	1,1 kg/l	
Kaikki arvot +22 °C			

Viskositeetti	Lämpötila	Komp. A+B sekoitettuna	(EN ISO 3219)
	+10 °C	~1200 mPa·s	
	+20 °C	~430 mPa·s	
	+30 °C	~220 mPa·s	

TEKNINEN TIETO

Puristuslujuus	Aika	+5 °C	+23 °C	+30 °C	(ASTM D695-96)
	1 vrk	-	32 N/mm ²	43 N/mm ²	
	3 vrk	11 N/mm ²	52 N/mm ²	51 N/mm ²	
	7 vrk	53 N/mm ²	55 N/mm ²	55 N/mm ²	

Kimmokerroin puristuksessa	Aika	+5 °C	+23 °C	+30 °C	(ASTM D695-96)
	1 vrk	-	700 N/mm ²	650 N/mm ²	
	3 vrk	650 N/mm ²	1100 N/mm ²	1000 N/mm ²	
	7 vrk	1500 N/mm ²	1250 N/mm ²	1000 N/mm ²	

Taivutuslujuus	Aika	+5 °C	+23 °C	+30 °C	(DIN 53452)
	1 vrk	-	36 N/mm ²	51 N/mm ²	
	3 vrk	11 N/mm ²	59 N/mm ²	60 N/mm ²	
	7 vrk	38 N/mm ²	63 N/mm ²	67 N/mm ²	

Taivutuskimmokerroin	Aika	+5 °C	+23 °C	+30 °C	(DIN 53452)
	1 vrk	-	850 N/mm ²	1450 N/mm ²	
	3 vrk	700 N/mm ²	1400 N/mm ²	1600 N/mm ²	
	7 vrk	1500 N/mm ²	1600 N/mm ²	1750 N/mm ²	

Vetomurtolujuus	Aika	+5 °C	+23 °C	+30 °C	(ISO 527)
	1 vrk	-	23 N/mm ²	26 N/mm ²	
	3 vrk	5 N/mm ²	35 N/mm ²	39 N/mm ²	
	7 vrk	30 N/mm ²	37 N/mm ²	37 N/mm ²	

Vetokimmomoduuli	Aika	+5 °C	+23 °C	+30 °C	(ISO 527)
	1 vrk	-	1250 N/mm ²	1400 N/mm ²	
	3 vrk	550 N/mm ²	1800 N/mm ²	1900 N/mm ²	
	7 vrk	1800 N/mm ²	1800 N/mm ²	1800 N/mm ²	

Murtovenymä	Aika	+5 °C	+23 °C	+30 °C	(ISO 527)
	1 vrk	-	21 %	16 %	
	3 vrk	57 %	16 %	9 %	
	7 vrk	22 %	8 %	7 %	

Vetotartuntalujuus	Betoni: > 4 N/mm ² (betonin murtuminen) (7 vrk jälkeen + 23 °C)	(DafStb-Richtlinie, Osa 3 mukaan)
---------------------------	--	-----------------------------------

Lämpölaajenimiskerroin	~8,9×10 ⁻⁵ 1/K (lineaarinen laajennus välillä -20 °C - +40 °C)	(EN ISO 1770)
-------------------------------	--	---------------

TIETOA TYÖSTÖSTÄ

Sekoitusuhde	Komp. A : Komp. B = 2 : 1 paino-osina
Menekki	

Tuotetieto
Sikadur®-52 Injection Normal
Toukokuu 2020, Versio 01.01
020707030010000004

BUILDING TRUST



Riittoisuus	1 kg injektiohartsia: ~0,93 L	
Alustan lämpötila	+5 °C min. / +30 °C maks.	
Alustan kosteuspiitoisuus	Kuiva tai kostea (SSD – kyllästetty mutta pintakuiva: ei seisovaa vettä)	
Astia-aika	Lämpötila	1 kg
	+5 °C	~120 min.
	+10 °C	~80 min.
	+23 °C	~25 min.
	+30 °C	~10 min.

Käyttöaika alkaa, kun komponentit A + B sekoitetaan. Se on lyhyempi korkeissa lämpötiloissa ja pidempi alhaisissa lämpötiloissa. Mitä suurempi määrä sekoitetaan, sitä lyhyempi käyttöikä. Pidemmän työstettävyyden saavuttamiseksi korkeissa lämpötiloissa sekoitettu injektointihartsia voidaan jakaa pienempiin määriin. Toinen menetelmä on jäähdyttää komponentit A + B ennen sekoittamista (ei alle +5 °C).

TYÖSTÖ OHJEET

ALUSTAN LAATU

Alustaa pitkin menevä halkeamien tiivistysaineen, esim. Sikadur®-31 CF Rapid, on oltava kiinteä, puhdas, kuiva tai mattakostea. Vapaa seisovasta vedestä, jäästä, liasta, öljystä, rasvasta, pinnoitteista, sementtiliimasta, alustan hikoilusta, vanhoista pintakäsittelyaineista, irtohiukkasista ja muista tartuntaa heikentävistä aineosista, jotka voivat vaikuttaa tartuntaan. Halkeamien on oltava puhtaita.

ALUSTAN VALMISTELU

Kun injektioportit on asetettu paikalleen, sulje halkeama tiivisteellä, anna kovettua ja tämän jälkeen täytä halkeamat hartsilla, kunnes hartsi tulee seuraavasta portista vapaasti ulos.

SEKOITUS

Sekoita koko B-komponenttimäärä A-komponentin kanssa. Sekoita sähköisellä sekoittimella alhaisella nopeudella (enintään 250 r/min) vähintään kolmen minuutin ajan. Vältä ylisekoittamista, jotta minimoidaan ilmahuokosten muodostumista. Sekoita ainoastaan täysiä yksiköitä.

TYÖSTÖ MENETELMÄT / VÄLINEET

Tarvittaessa on viitattava muihin asiakirjoihin, kuten asiaankuuluvaan menetelmäkäsittelyyn, käyttöohjeeseen ja asennus- tai työohjeisiin.

Alustavat kokeet on suoritettava halkeaman injektioon kokeneen pätevän työntekijän avulla injektioilaitteita ja sopivia injektioaineita käyttämällä.

TYÖVÄLINEIDEN PUHDISTUS

Puhdista kaikki työkalut ja työstövälineet Sika® Colma Cleaner – puhdistusaineella välittömästi käytön jälkeen. Kovettunut materiaali voidaan poistaa ainoastaan mekaanisesti.

RAJOITUKSET

- Ei saa injektoida märkiä tai kyllästettyjä halkeamia.
- Älä lisää tuotteeseen liuotinta.
- Älä injektoida halkeamia hydrostaattisen paineen alaisena.
- Älä injektoida halkeamia jotka ovat >5,0 mm.
- Korkeammissa lämpötiloissa käyttöikä lyhenee
- Matalammissa lämpötiloissa käyttöikä pidentyy, mutta tuotteesta on vaikea injektoida ja kestää kauemmin kovettua.
- Ennakkokokeet tulisi suorittaa hartsin sopivuuden, injektointi porttien, injektioilaitteiden ja paineiden määrittämiseksi.

PERUSTIEDOT

Kaikki tekniset tiedot tässä tuotetietoesitteessä perustuvat laboratoriotesteihin. Käytännössä saadut mitausarvot voivat vaihdella sellaisista olosuhteista johtuen, jotka eivät ole Sikan kontrolloitavissa.

PAIKALLISET MÄÄRÄYKSET

Pyydämme ottamaan huomioon, että paikalliset määräykset eri maissa voivat vaikuttaa tuotteen käyttöön. Tarkista tarkat käyttöohjeet ja -kohteet paikallisesta tuotetietoesitteestä.

YMPÄRISTÖ, TERVEYS JA TURVALLISUUS

Saadakseen tietoa ja neuvoja kemiallisten tuotteiden turvallisesta käsittelystä, varastoinnista ja hävittämisestä käyttäjän tulee tarkistaa viimeisin käyttöturvallisuuksiedote, jossa on tietoa fyysisistä, ekologisista, toksikologisista ja muista turvallisuuteen liittyvistä asioista.

OIKEUDELLINEN HUOMAUTUS

Kaikki tiedot, ja erityisesti kaikki suositukset liittyen Sika-tuotteiden työstämiseen ja loppukäyttöön, on annettu hyvässä uskossa perustuen Sikan tämänhetki-

Tuotetietoesite
Sikadur®-52 Injection Normal
Toukokuu 2020, Versio 01.01
020707030010000004

seen tietämykseen ja kokemukseen tuotteistamme, kun niiden huolellinen varastointi, käsittely ja käyttö tapahtuu normaaliolosuhteissa Sikan suositusten mukaisesti. Käytännössä erot materiaaleissa, käsiteltävissä alustoissa ja todellisissa työskentelyolosuhteissa ovat sellaiset, että mitään varsinaista takuuta tuotteen myyntiä tai sopivuutta tiettyyn käyttötarkoitukseen koskien tai mitään muutakaan oikeudellista vastuuta ei ole johdettavissa näistä ohjeista, mistään kirjallisista suosituksista tai annetuista neuvoista. Käyttäjän tulee testien avulla varmistua tuotteen sopivuudesta aiotuun käyttökohteeseen ja -tarkoitukseen. Sika varaa itselleen oikeuden muuttaa tuotteen ominaisuuksia. Kolmansien osapuolten oikeudet on huomioitava. Kaikissa tilauksissa ja toimituksissa noudatetaan Sikan voimassaolevia yleisiä myynti- ja toimitusehtoja. Käyttäjän on aina tukeuduttava ko. tuotteen viimeisimpään voimassaolevaan paikalliseen tuotetietoesitteeseen, jonka toimitamme pyydettyä.

Oy Sika Finland Ab
Koskelontie 23 C
PL 49
02921 Espoo
Puh. + 358 9 511 431
Fax. + 358 9 511 43 300
www.sika.fi



Tuotetietoesite
Sikadur®-S2 Injection Normal
Toukokuu 2020, Versio 01.01
020707030010000004

4 / 4

Sikadur-S2InjectionNormal-FI-FI-(05-2020)-1-1.pdf



Liite 11. Puuliitos ADE20 leikkauskestävyyden ominaisarvo 140 mm paksussa liimapuussa

ADE20-PUULIITOKSEN LEIKKAUSKESTÄVYYS (LIIMAPUUN PAKSUUS 140 mm)

VEDETYN TERÄSLEVYN ALLA OLEVAN LIIMAPUUN PURISTUSKESTÄVYYS

$$f_{c,90,k} := 2.5 \frac{N}{mm^2} = 2.5 \frac{N}{mm^2}$$

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

$$d := 20 \text{ mm}$$

$$D := \min(12 \cdot t, 4 \cdot d) = 80 \text{ mm}$$

$$A_1 := \frac{\pi \cdot (80 \text{ mm})^2}{4} = 5026.548 \text{ mm}^2$$

$$A_2 := \frac{\pi \cdot (20 \text{ mm})^2}{4} = 314.159 \text{ mm}^2$$

$$A := A_1 - A_2 = 4712.389 \text{ mm}^2$$

$$F_{Rk} := 3 \cdot f_{c,90,k} \cdot A = 35.343 \text{ kN}$$

TERÄSLEVYN TAIVUTUSKESTÄVYYS

$$b := 5 \text{ mm}$$

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

$$W := \frac{b \cdot h^2}{6} = 120 \text{ mm}^3$$

$$f_y := 355 \frac{N}{mm^2}$$

$$M_{e,Rk} := W \cdot f_y = 0.043 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$z := \frac{80 \text{ mm}}{2} - \frac{20 \text{ mm}}{2} = 0.03 \text{ m}$$

$$\sigma_{sol} := \frac{M_{e,Rk} \cdot 2}{z^2 \cdot 5 \text{ mm}} = 18.933 \frac{N}{mm^2}$$

$$F_{M,Rk} := \sigma_{sol} \cdot A = 89.221 \text{ kN}$$

KIERRETANGON VETOKESTÄVYYS

$$f_{yt} := 640 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$A := 245 \text{ mm}^2$$

$$F_{t,Rk} := f_{yt} \cdot A = 86.975 \text{ kN}$$

PUIKKOLIITOSTEORIA

$$\rho_k := 390$$

$$a := 0$$

$$d := 20$$

$$f_{h,0,k} := \frac{0.082 \cdot (1 - 0.01 \cdot d) \cdot \rho_k}{(1.35 + 0.015 \cdot d) \cdot \sin(a)^2 + \cos(a)^2} = 25.584$$

$$f_{u,k} := 800$$

$$M_{y,Rk} := 0.3 \cdot f_{u,k} \cdot d^{2.0} = 579280.928$$

$$F_{ax,Rk} := \min(F_{Rk}, F_{M,Rk}, F_{t,Rk}) = 35.343 \text{ kN}$$

$$F_{ax,Rk} := F_{ax,Rk} \cdot \frac{1}{\text{N}} = 3.534 \cdot 10^4$$

$$t_1 := 140 - 12 - 12 = 116$$

KÄYTETTÄESSÄ OHUITA TERÄSLEVYJÄ YKSILEIKKEISEN LIITOKSEN SIVUKAPPALEINA:

$$F_{v,Rk,1} := 0.4 \cdot f_{h,0,k} \cdot t_1 \cdot d = 2.374 \cdot 10^4$$

$$F_{v,Rk,2} := 1.15 \cdot \sqrt{2 \cdot M_{y,Rk} \cdot f_{h,0,k} \cdot d} + \frac{F_{ax,Rk}}{4} = 3.684 \cdot 10^4$$

$$F_{v,Rk,3} := \min(F_{v,Rk,1}, F_{v,Rk,2}) \cdot 10^{-3} \text{ kN} = 23.742 \text{ kN}$$

KÄYTETTÄESSÄ PAKSUJA TERÄSLEVYJÄ YKSILEIKKEISEN LIITOKSEN SIIVUKAPPALEINA:

$$F_{v,Rk.4} := f_{h.0,k} \cdot t_1 \cdot d = 5.935 \cdot 10^4$$

$$F_{v,Rk.5} := f_{h.0,k} \cdot t_1 \cdot d \cdot \left(\sqrt{2 + \frac{4 \cdot M_{y,Rk}}{f_{h.0,k} \cdot d \cdot t_1^2}} - 1 \right) + \frac{F_{ax,Rk}}{4} = 4.021 \cdot 10^4$$

$$F_{v,Rk.6} := 2.3 \cdot \sqrt{M_{y,Rk} \cdot f_{h.0,k} \cdot d} + \frac{F_{ax,Rk}}{4} = 4.843 \cdot 10^4$$

$$F_{v,Rk.6} := \min(F_{v,Rk.4}, F_{v,Rk.5}, F_{v,Rk.6}) \cdot 10^{-3} \text{ kN} = 40.209 \text{ kN}$$

$$F_{v,Rk} := \frac{F_{v,Rk.6} + F_{v,Rk.3}}{2} = 31.976 \text{ kN}$$

$$n := 2$$

$$a_1 := 110$$

$$n_{ef.1} := n^{0.9} \cdot \sqrt{\frac{a_1}{13 \cdot d}} = 1.505$$

$$n_{ef} := \min(n, n_{ef.1}) = 1.505$$

$$n_{ef.TOT} := n_{ef} \cdot 2 = 3.01$$

$$F_{v,Rk.TOT} := n_{ef.TOT} \cdot F_{v,Rk} = 96.245 \text{ kN}$$

Liite 12. Puuliitos ADE20 leikkauskestävyyden ominaisarvo 190 mm paksussa liimapuussa

ADE20-PUULIITOKSEN LEIKKAUSKESTÄVYYS (LIIMAPUUN PAKSUUS 190 mm)

VEDETYN TERÄSLEVYN ALLA OLEVAN LIIMAPUUN PURISTUSKESTÄVYYS

$$f_{c,90,k} := 2.5 \frac{N}{\text{mm}^2} = 2.5 \frac{N}{\text{mm}^2}$$

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

$$d := 20 \text{ mm}$$

$$D := \min(12 \cdot t, 4 \cdot d) = 80 \text{ mm}$$

$$A_1 := \frac{\pi \cdot (80 \text{ mm})^2}{4} = 5026.548 \text{ mm}^2$$

$$A_2 := \frac{\pi \cdot (20 \text{ mm})^2}{4} = 314.159 \text{ mm}^2$$

$$A := A_1 - A_2 = 4712.389 \text{ mm}^2$$

$$F_{Rk} := 3 \cdot f_{c,90,k} \cdot A = 35.343 \text{ kN}$$

TERÄSLEVYN TAIVUTUSKESTÄVYYS

$$b := 5 \text{ mm}$$

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

$$W := \frac{b \cdot h^2}{6} = 120 \text{ mm}^3$$

$$f_y := 355 \frac{N}{\text{mm}^2}$$

$$M_{c,Rk} := W \cdot f_y = 0.043 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$z := \frac{80 \text{ mm}}{2} - \frac{20 \text{ mm}}{2} = 0.03 \text{ m}$$

$$\sigma_{\text{sal}} := \frac{M_{c,Rk} \cdot 2}{z^2 \cdot 5 \text{ mm}} = 18.933 \frac{N}{\text{mm}^2}$$

$$F_{M,Rk} := \sigma_{\text{sal}} \cdot A = 89.221 \text{ kN}$$

KIERRETANGON VETOKESTÄVYYS

$$f_{yt} := 640 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$A := 245 \text{ mm}^2$$

$$F_{t.Rk} := f_{yt} \cdot A = 86.975 \text{ kN}$$

PUIKKOLIITOSTEORIA

$$\rho_k := 390$$

$$a := 0$$

$$d := 20$$

$$f_{h.0.k} := \frac{0.082 \cdot (1 - 0.01 \cdot d) \cdot \rho_k}{(1.35 + 0.015 \cdot d) \cdot \sin(a)^2 + \cos(a)^2} = 25.584$$

$$f_{u.k} := 800$$

$$M_{y.Rk} := 0.3 \cdot f_{u.k} \cdot d^{2.0} = 579280.928$$

$$F_{ax.Rk} := \min(F_{Rk}, F_{M.Rk}, F_{t.Rk}) = 35.343 \text{ kN}$$

$$F_{ax.Rk} := F_{ax.Rk} \cdot \frac{1}{\text{N}} = 3.534 \cdot 10^4$$

$$t_1 := 190 - 12 - 12 = 166$$

KÄYTETTÄESSÄ OHUITA TERÄSLEVYJÄ YKSILEIKKEISEN LIITOKSEN SIVUKAPPALEINA:

$$F_{v.Rk.1} := 0.4 \cdot f_{h.0.k} \cdot t_1 \cdot d = 3.398 \cdot 10^4$$

$$F_{v.Rk.2} := 1.15 \cdot \sqrt{2 \cdot M_{y.Rk} \cdot f_{h.0.k} \cdot d} + \frac{F_{ax.Rk}}{4} = 3.684 \cdot 10^4$$

$$F_{v.Rk.3} := \min(F_{v.Rk.1}, F_{v.Rk.2}) \cdot 10^{-3} \text{ kN} = 33.976 \text{ kN}$$

KÄYTETTÄESSÄ PAKSUJA TERÄSLEVYJÄ YKSILEIKKEISEN LIITOKSEN SIVUKAPPALEINA:

$$F_{v.Rk.4} := f_{h.0.k} \cdot t_1 \cdot d = 8.494 \cdot 10^4$$

$$F_{v.Rk.5} := f_{h.0.k} \cdot t_1 \cdot d \cdot \left(\sqrt{2 + \frac{4 \cdot M_{y.Rk}}{f_{h.0.k} \cdot d \cdot t_1^2}} - 1 \right) + \frac{F_{ax.Rk}}{4} = 4.886 \cdot 10^4$$

$$F_{v.Rk.6} := 2.3 \cdot \sqrt{M_{y.Rk} \cdot f_{h.0.k} \cdot d} + \frac{F_{ax.Rk}}{4} = 4.843 \cdot 10^4$$

$$F_{v.Rk.6} := \min(F_{v.Rk.4}, F_{v.Rk.5}, F_{v.Rk.6}) \cdot 10^{-3} \text{ kN} = 48.434 \text{ kN}$$

$$F_{v.Rk} := \frac{F_{v.Rk.6} + F_{v.Rk.3}}{2} = 41.205 \text{ kN}$$

$$n := 2$$

$$a_1 := 110$$

$$n_{ef.1} := n^{0.9} \cdot \sqrt[4]{\frac{a_1}{13 \cdot d}} = 1.505$$

$$n_{ef} := \min(n, n_{ef.1}) = 1.505$$

$$n_{ef.TOT} := n_{ef} \cdot 2 = 3.01$$

$$F_{v.Rk.TOT} := n_{ef.TOT} \cdot F_{v.Rk} = 124.024 \text{ kN}$$