



SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU
SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Jere Rintamäki

Liimapuupilari-palkkirakenteisen seinärakenteen lasijäkistys

Opinnäytetyö

Kevät 2023

Insinööri (AMK), Rakennustekniikka



SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU

Opinnäytetyön tiivistelmä

Tutkinto-ohjelma: Insinööri (AMK), Rakennustekniikka

Suuntautumisvaihtoehto: Talonrakennustekniikka

Tekijä: Jere Rintamäki

Työn nimi: Liimapuupilari-palkkirakenteisen seinärakenteen lasijäykistys

Ohjaaja: Martti Perälä

Vuosi: 2023

Sivumäärä: 46

Liitteiden lukumäärä: 3

Tämän opinnäytetyön tilaajana toimi Honkatalot (Oy Primapoli Ltd). Opinnäytetyön tavoitteena oli tutkia liimapuupilari-palkkirakenteisen seinärakenteen jäykistämistä lasirakennetta käyttäen ja selvittää laskennallisesti sekä laboratoriotestauksilla, onko teknisesti mahdollista hyödyntää lasirakennetta vastaanottamaan rakennukseen kohdistuvia vaakavoimia. Suuret lasiset ulkoseinät, jotka koostuvat pelkästään liimapuupilareihin ja -palkkeihin kiinnitetyistä ikkunoista, aiheuttavat haasteita seinän jäykistämisen suhteen. Suuret jäykistyskuormat isoilla lasisilla seinillä vaativat usein teräksisten pilarien käyttöä, ja opinnäytetyön taustalla vaikutti tarve pystyä vähentämään teräksisiä rakenteita osana rakennuksen jäykistystä.

Opinnäytetyö aloitettiin tutkimalla tavallisimmin käytössä olevia jäykistysmenetelmiä sekä toimeksi antavan yrityksen omia jäykistysratkaisuja liimapuupilari-palkkirakenteisella seinällä. Yhdessä toimeksi antavan yrityksen kanssa päätettiin rakentaa laboratoriotestausta varten kolme eri kokoista jäykistyselementtiä. Jäykistyselementit mitoitettiin ja mallinnettiin yhteistyössä lasialan ammattilaisten kanssa. Jäykistyselementtien liimapuukehärakenteet valmistettiin Honkatalojen tehtaalla Ritolassa, ja lasirakenne valmistettiin ja liimattiin kiinni kehärakenteeseen Finnglass Oy:n tehtaalla Alavudella. Jäykistyselementtien jäykistyskapasiteetit testattiin Eurofins Expert Services Oy:n testauslaboratoriossa Espoossa. Opinnäytetyössä esitetään jäykistyselementtien eri valmistusvaiheet, laboratoriotestaus ja tulokset. Salausyistä tarkkoja kuormitus- ja kestävyysarvoja ei tuoda työssä ilmi.

Opinnäytetyön tuloksena saatiin kattava testausraportti jäykistyskehien kuormituskestävyydestä. Tulos oli toivottu ja suunnitelman mukainen, ja laboratoriotestaukset osoittivat lasin hyödyntämiselle rakennuksen jäykistyksessä olevan potentiaalia. Tuotekehitys lasijäykistykseen parissa jatkuu työn toimeksi antavassa yrityksessä. Opinnäytetyöstä saadut tulokset ja päätelmät tukevat tuotekehitystä kokonaisvaltaisesti.

¹ Asiasanat: lasirakenteet, kantavat rakenteet, seinät, jäykkyys, lujuuskokeet

SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Thesis abstract

Degree programme: Construction Engineering

Specialisation: Building Construction

Author: Jere Rintamäki

Title of thesis: Glass rigidization of a glulam pillar-beam wall structure

Supervisor: Martti Perälä

Year: 2023

Number of pages: 46

Number of appendices: 3

The thesis was commissioned by Honkatalot (Oy Primapoli Ltd), internationally known as Polar Life Haus. The objective of the thesis was to research the possibility of using glass to rigidize a glulam pillar-beam structure and, using calculations and laboratory tests, to find if it was possible to use a glass structure to receive the horizontal forces subjected to a building. Walls made entirely of large windows attached to glulam pillars and beams pose challenges to the rigidization of the wall. High rigidity loads subjected to the walls often lead to the use of steel pillars. An underlying need for the study was to reduce the use of steel structures as a part of the rigidization of the building.

The work started by researching the common methods of rigidizations and the rigidization methods of the client. Together with the client it was decided to build three rigidization elements in different sizes for laboratory testing. The rigidization elements were calculated and modelled together with professionals of the glass industry. The glulam structures of the elements were made at the factory of Honkatalot, the glass structure was manufactured and glued to the glulam structure at Finnglass Oy's factory. The rigidity capacities of the rigidization elements were tested in the testing laboratory of Eurofins Expert Services Oy in Espoo Finland. The different stages of manufacturing, laboratory testing and the test results of the rigidization elements are presented in the thesis. For reasons of confidentiality the exact values of the loads used, and structural strengths achieved are not presented in the thesis.

A comprehensible test report showing the structural strengths of the rigidization elements was achieved as a result of the thesis. The test results were as desired and in line with the calculations. The laboratory tests showed that there was potential in using glass as a method of rigidizing a building. The research and development in using glass as a rigidizing structure continues in the company. The results and conclusions of the thesis support the company's product development comprehensively.

¹ Keywords: glass constructions, load-bearing structures, walls of buildings, rigidity, strength tests

SISÄLTÖ

Opinnäytetyön tiivistelmä	2
Thesis abstract	3
SISÄLTÖ	4
Kuva-, kuvio- ja taulukkoluetelo	6
Käytetyt termit ja lyhenteet.....	8
1 JOHDANTO	9
1.1 Opinnäytetyön tausta	9
1.2 Opinnäytetyön tavoitteet.....	10
1.3 Opinnäytetyön tilaaja.....	10
1.4 Opinnäytetyön tutkimuskysymykset	11
1.5 Opinnäytetyön rajaukset.....	11
2 LIIMAPUUPILARI- JA LIIMAPUUPALKKIRAKENTEISEN SEINÄRAKENTEEN JÄYKISTYSMENETELMÄT	12
2.1 Pilari-palkkirakenteisen seinärakenteen jäykistyksen periaatteet.....	12
2.2 Diagonaalijäykistys.....	12
2.3 Mastopilarijäykistys	13
2.4 Kehäjäykistys	14
2.5 Levyjäykistys	15
3 LASI RAKENNUSMATERIAALINA.....	16
3.1 Lasin ominaisuudet	16
3.2 Lasin lujuus	16
3.3 Erilaiset lasityypit.....	17
3.4 Lasin hyödyntäminen rakentamisessa	17
4 JÄYKISTYSELEMENTTIEN SUUNNITTELU	18
4.1 Jäykistyselementin toimintaperiaate.....	18
4.2 Kuormitukset	20
4.3 Liimasauma.....	20
4.4 Määräykset.....	20
5 JÄYKISTYSELEMENTTIEN MITOITTAMINEN	21
5.1 Lasi- ja alumiinirakenteen sekä liimasauman mitoittaminen.....	21

5.2	Mekaanisten liitinten mitoittaminen.....	23
5.3	Liimapuurakenteiden mitoitus.....	23
6	JÄYKISTYSELEMENTTIEN VALMISTUS	24
6.1	Jäykistyselementtien osien tilaaminen	24
6.2	Jäykistyselementtien kehärakenteiden valmistus	24
6.3	Lasirakenteiden liimaus kehärakenteisiin	26
6.4	Jäykistyselementtien toimitus	33
6.5	Laadunvarmistus	36
7	MALLIKEHIEN TESTAUS	37
7.1	Yleistä	37
7.2	Testausjärjestelyt	37
7.3	Koetulokset	41
8	YHTEENVETO, TULOKSET JA POHDINTA	44
	LÄHTEET	45
	LIITTEET	46

Kuva-, kuvio- ja taulukkoluetelo

Kuva 1. Alumiinilatat.	25
Kuva 2. Alumiinilatat ruuvattuna LP-palkkiin.	25
Kuva 3. Liimapuupalkkikehä.	26
Kuva 4. Lasit liimauspöydillä.	27
Kuva 5. Liimanauhan asennus.	28
Kuva 6. Lapaliitoksen pulttaus.	28
Kuva 7. Kehärakenne valmiina nostettavaksi.	29
Kuva 8. Liimaustesti.	30
Kuva 9. Kehärakenne valmiina nostettavaksi lasin päälle.	30
Kuva 10. Pneumaattinen rakenneliimapistooli.	31
Kuva 11. Lasin liimaus kehärakenteeseen.	32
Kuva 12. Lasin liimaus kehärakenteeseen.	32
Kuva 13. Jäykistys-elementit kuljetuspukilla.	33
Kuva 14. Jäykistys-elementti kuljetuspukilla.	34
Kuva 15. Muovitettu kuljetuspukki 1.	35
Kuva 16. Muovitettu kuljetuspukki 2.	35
Kuva 17. Yleiskuva testausjärjestelyistä, koekappale HT-2.	39
Kuva 18. Kuormitus- ja mittausjärjestelyt, koekappale HT-3.	40
Kuva 19. Murtokuormitettu koekappale HT-1.	41
Kuva 20. Leikkaantunut liimasauma koekappale HT-1:n pilareissa.	42

Kuva 21. Murtokuormitettu koekappale HT-2.....	42
Kuva 22. Leikkaantunut liimasauma ja halkeamia koekappale HT-2:n liimapuupilarissa.....	43
Kuva 23. Murtokuormitettu koekappale HT-3.....	43
Kuvio 1. Diagonaalijäykistys.	13
Kuvio 2. Mastopilarijäykistys.	14
Kuvio 3. Teräsrakenteinen kehäjäykiste.	15
Kuvio 4. Jäykistyselementti.....	19
Kuvio 5. Leikkausdetalji.	19
Kuvio 6. Kapeimman jäykistyselementin mitoitusmalli.	22
Kuvio 7. Testausjärjestelyt, mitat esitettynä millimetreissä koekappaleille HT-1, HT-2 ja HT-3.....	38

Käytetyt termit ja lyhenteet

LP-pilari	Liimapuupilari
Kondensoituminen	Kaasumaisen aineen muutos nesteeksi
Nurjahdus	Puristetun sauvarakenteen stabiiliuden menetys
kN	Kuorman yksikkö, kilonewton
Lommahdus	Levyrakenteen stabiiliusilmiö
Murtokuorma	Kuorman suuruus, jolla kappale murtuu tai hajoaa

1 JOHDANTO

1.1 Opinnäytetyön tausta

Yleisesti rakennuksen seinien jäykistys on toteutettu levyjäykistysenä, jolloin seiniin kohdistuvat vaakakuormat on siirretty levymäisen jäykän rakenteen, esimerkiksi kipsi- tai puulevyn avulla pystytolppien kautta perustuksille (Suomen Rakennusinsinöörien liitto (RIL) & Kortemaa, 2007, s. 20). Vanerit, OSB-levyt ja kuitulevyt ovat jäykkyytensä ja lujuutensa vuoksi tavallisimmin käytetyt levymateriaalit rakennuksen levyjäykistyksessä. Pientaloissa käytetään myös kipsilevyjä.

Kohteissa, joiden seinät koostuvat isoista lasiaukoista ja pilari-palkkirakenteesta ja joihin kohdistuu suuria vaakakuormia, joudutaan käyttämään teräksisiä jäykisteitä. Näitä jäykisteitä ovat muun muassa X-, T- ja L-malliset teräksiset jäykistesauvat, jotka sijoitetaan LP-pilarien ja LP-palkkien liitokseen. Toisena vaihtoehtona ovat teräksiset alapäästään momenttijäykät mastopilarit, jotka korvaavat LP-pilarit. Kohteissa, joissa on erittäin suuria vaakakuormia, joudutaan seinän pilari-palkkirakenne toteuttamaan kokonaan teräksestä. Tämä ei ole tarkoituksenmukaista, kun yrityksen brändi on olla ekologisen puurakentamisen edelläkävijä.

Projektipäällikkö Isomäen (2022) mukaan tarve päästä eroon teräsrakenteista on alun perin tullut asiakkaalta, jonka kohteessa oli isoja ulkoseiniä, jotka koostuivat pelkästään lasista ja LP-pilareista. Kohdetta ei kuitenkaan olisi pystynyt toteuttamaan LP-pilareilla vaan pilareiksi olisi tarvittu teräksiset momenttijäykät mastopilarit. Asiakas ei halunnut terästä, mutta sillä hetkellä suurten jäykistyskuormien käsittelyyn ei ollut muita menetelmiä kuin teräksen käyttö. Kohde jäi toteuttamatta, mutta idea vaihtoehtoisesta jäykistysmenetelmästä syntyi.

Projektipäällikkö Isomäki (2022a) huomauttaa liimapuun rakennusfysikaalisista ominaisuuksista teräkseen verrattaessa. Teräsrakenne muodostaa huomattavan kylmäsilan, jos rakenne sijoitetaan kylmän ja lämpimän tilan välille. Tällaisessa tilanteessa kylmään teräsrakenteeseen kondensoituu kosteutta lämpöisen tilan ilmasta. Tästä johtuen teräsrakenne tulee sijoittaa kokonaisuudessaan rakennusosan kylmälle tai lämpöiselle puolelle. Liimapuun rakennefysikaaliset ominaisuudet ovat tässä tilanteessa huomattavasti paremmat.

Projektipääällikkö Isomäki (2022a) korostaa liimapuun ekologisuutta, kotimaisuutta ja visuaalisuutta. Liimapuu on täysin kotimainen tuote, joka voidaan tuottaa ekologisesti vihreitä arvoja noudattaen. Iso osa asiakkaista arvostaa rakennusten matalaa hiilijalanjälkeä. Lisäksi liimapuu on täysin yrityksen oma tuote, toisin kuin terästuotteet.

1.2 Opinnäytetyön tavoitteet

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli tutkia vaihtoehtoisia ratkaisua liimapuupilareista ja -palkeista rakennetun seinärakenteen jäykistämiseen. Teräksisten mastopilarien, teräsrakenteisten kehien tai teräksisten X-, T- ja L- jäykistesauvojen sijaan voitaisiin käyttää liimapuusta ja lasista muodostettuja jäykistyslementtejä. Tavoitteena oli selvittää laskennallisesti ja laboratoriossa testaamalla lasirakenteiden soveltuvuutta kuormia vastaanottavana rakenteena ja mahdollistaa rakennesuunnittelijoille uusi ja erilainen jäykistysratkaisu, jota käyttämällä päästään eroon teräksisistä jäykisteistä.

Laboratoriotestausta varten rakennettiin jäykistyslementtejä kolmea eri kokoa. Jäykistyslementtien valoaukkojen mitat olivat 3000 x 2700, 2500 x 2500 sekä 1200 x 2700, joista ensimmäinen mitta on leveys, jälkimmäinen on korkeus, missä mitat ovat millimetreinä. Opinnäytetyössä jäykistyslementit mitoitettiin vastaanottamaan tavanomaisen 1-kerroksiseen pientaloon kohdistuvat jäykistyskuormat. Salaussyistä työssä ei esitetä tarkkoja kuormitus- ja kestävyysarvoja.

1.3 Opinnäytetyön tilaaja

Opinnäytetyön tilaajana toimi Honkatalot, viralliselta nimeltään Oy Primapoli Ltd. Honkatalojen tehdas ja pääkonttori sijaitsee Töysässä, Alavudella. Honkatalojen perheyriksen historia sai alkunsa vuonna 1907, kun yrityksessä aloitettiin sahateollisuuden toiminnat (Honkatalot, i.a.-b). Vuonna 1965 aloitettiin hirsitalojen tuotanto sekä kotimaahan, että vientimarkkinoille. Vuonna 1990 Honkatalojen hallinnassa oli koko tuotantoketju tukeista valmiiksi taloiksi. Vuosien varrella perheyriks kasvoi ja tuotantoon saatiin tehokkaampia työstökoneita sekä keskityttiin entistä enemmän tuotekehitykseen. Vuonna 2020 Honkatalot ja yrityksen vientibrändi Polar Life Haus tekivät läpimurron kansainvälisille design-sivustoille ja -julkaisuihin.

Honkatalojen tavoitteena on olla alan johtava yritys teknisessä osaamisessa ja toteutuksessa. Honkatalot onkin historiansa aikana tehnyt ensimmäisenä monia alalle syntyneitä teknisiä innovaatioita, joiden avulla hirsi- ja puurakentamista on viety uudelle tasolle (Honkatalot, i.a.-a). Honkatalojen keskiössä on asujan parempi ja pidempi elämä sekä ympäristöystävällinen rakentamistapa ja tuotantomenetelmät. Ylivoimaisesti ekologisin tapa rakentaa on hyödyntää mahdollisimman paljon puuta. Hirsitalo kestää jopa satoja vuosia, ja pitkän elinkaarensa aikana se varastoi suuret määrät hiiltä. Hirsitalon varastoima hiilisisältö on jopa kymmenkertainen valmistusvaiheen kasvihuonepäästöihin nähden.

1.4 Opinnäytetyön tutkimuskysymykset

Opinnäytetyön tutkimuskysymyksiksi muodostuivat:

- Miten määritellään lasirakenteen toiminta ja jäykistyskapasiteetti?
- Miten määritellään liimasauman toiminta ja kuormituskapasiteetti?
- Miten määritellään mekaanisten kiinnikkeiden toiminta ja kuormituskapasiteetti?
- Miten määritellään jäykistyslementin eri rakenneosien yhteistoiminta?

1.5 Opinnäytetyön rajaukset

Opinnäytetyöstä rajattiin pois äänieristävyys- ja paloluokitukset. Työssä ei oteta kantaa jäykistyslementtien käyttöönottoon tai vertailla jäykistysjärjestelmän kustannuksia jo olemassa oleviin ratkaisuihin. Työssä keskitytään selvittämään jäykistyslementtien jäykistyskapasiteetteja sekä mahdollisuutta hyödyntää jäykistyslementtejä osana rakennuksen jäykistystä.

2 LIIMAPUUPILARI- JA LIIMAPUUPALKKIRAKENTEISEN SEINÄRAKENTEEN JÄYKISTYSMENETELMÄT

2.1 Pilari-palkkirakenteisen seinärakenteen jäykistyksen periaatteet

Liimapuupilari-palkkirakenteinen seinä koostuu massiivisista LP-pilareista ja LP-palkeista (Puuinfo, 2020). Pilari-palkkirakenteinen seinä mahdollistaa suurten ja yhtenäisten tilojen toteuttamisen. Tavallisesti pilari-palkkirakenteista seinärakennetta käytetään myös osana rakennuksen kokonaisjäykistystä, jolloin pilari-palkkirakenne jäykistetään esimerkiksi diagonaalii- tai mastojäykisteillä. Pilarit ja palkit suunnitellaan välittämään kuormat perustuksille.

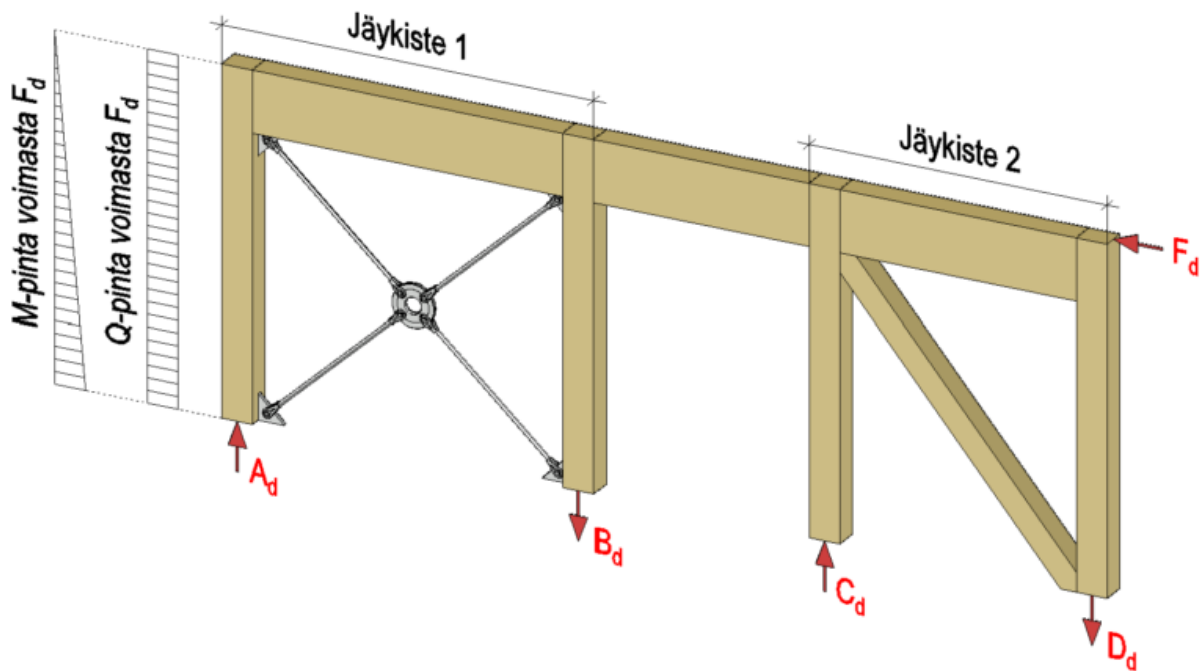
Rakennus tulee jäykistää vaakakuormituksia vastaan (Puuinfo, 2020). Suomessa pääasiallinen vaakakuorma on tuulikuorma. Rakennuksen korkeuden kasvaessa myös rakennuksen jäykistys muodostuu haasteellisemmaksi. Rakennuksen korkeuden kasvaessa kohdistuu tuulikuorma isommalle alalle, jonka seurauksena rakenteiden tulee pystyä vastaanottamaan yhä suurempia tuulikuormia. Puurakenteisen pilari-palkkiseinärakenteen suunnitteluhaasteeksi voi muodostua rakenteen ankkurointi perustuksiin. Tämä johtuu puurakenteen alhaisesta omapainosta, joka ei yksinään riitä kumoamaan ankkurointivoimia (vetovoimia).

Seinärakenteita voidaan jäykistää useilla erilaisilla tavoilla, ja jotkut niistä soveltuvat tiettyihin tilanteisiin paremmin kuin toiset. Esimerkiksi mastopilarijäykistyksessä haasteeksi muodostuu pilarin yläpään vaakasiirtymän suuruus (Puuinfo, 2020).

2.2 Diagonaalijäykistys

Diagonaalijäykistyksessä hyödynnetään vinoja sauvamaisia rakenteita, jotka mitoitetaan vetorasitukselle tai puristusrasitukselle (RIL & Korttesmaa, 2007, s. 20). Vetorasitukseen on järkevä käyttää terästä ja puristusrasitukseen puuta. Tavallisesti vedetyt terästangot sijoitetaan ristikkäin, jolloin toinen toimii vedettynä tietyn suuntaiselle vaakakuormalle ja toinen vastakaissuuntaiselle kuormalle. Terästankojen päihin sijoitetaan kierteet ja mutterit, jotta terästangot saadaan asennettua oikealle kireydelle. Puuhun kiinnittäessä kiinnitykseen tarvitaan aluslevyrakenne, jotta terästangon pistemäinen kuorma saadaan siirrettyä leveämmälle alueelle.

Kuviossa 1 diagonaalijäykiste vastaanottaa leikkausvoiman (Q), jonka rungon yläpinnassa aiheuttava kuorma F_d aiheuttaa (Puuinfo, 2020). Vaakavoima F_d aiheuttaa momentin (M), joka vastaanotetaan jäykisteen päissä olevilla pilareilla. Mikäli rakenteen omapaino ei riitä kumoamaan kuormasta F_d aiheutuvia pystysuuntaisia tukireaktioita (A_d , B_d , C_d ja D_d), tulee jäykistävä rakenne ankkuroida alapuoliseen rakenteeseen.

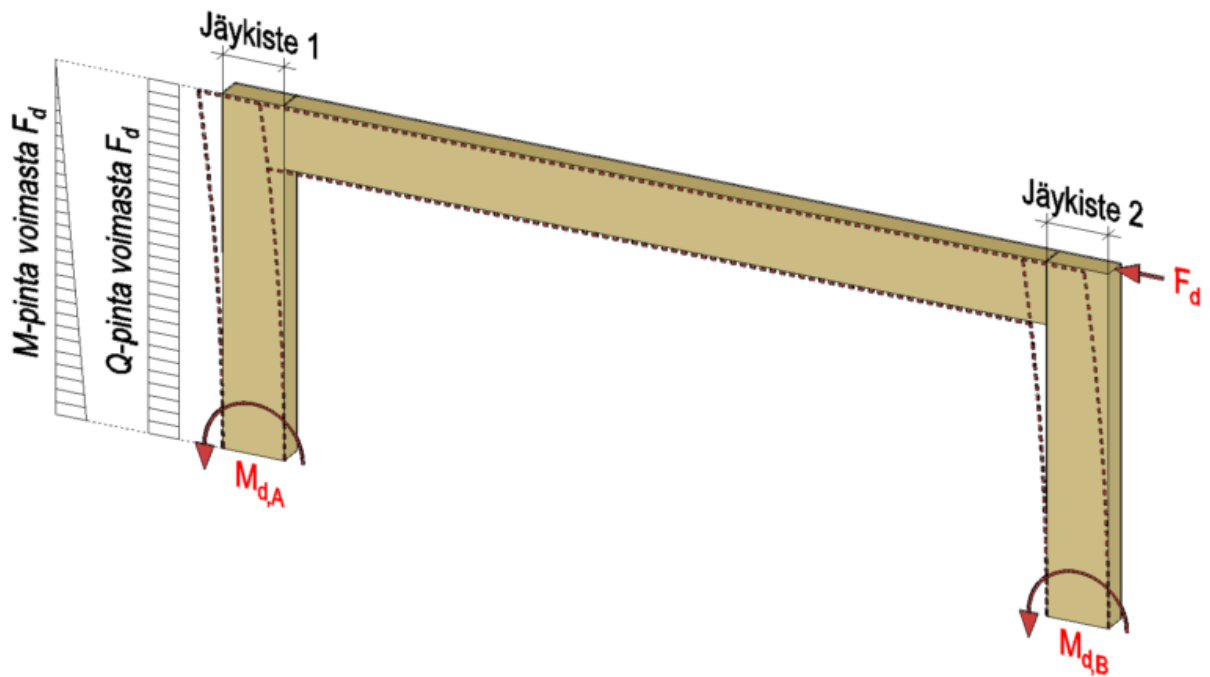


Kuvio 1. Diagonaalijäykistys (Puuinfo, 2020).

2.3 Mastopilarijäykistys

Perustuksiin momenttijäykästi liitetty pilarirakenne voidaan toteuttaa teräspilareilla, jolloin saadaan arkkitehtuurin vaatimusten mukaisesti suhteellisen pienellä poikkileikkauksella vaadittava jäykkyyskapasiteetti. Vaihtoehtoisesti voidaan käyttää liimapuupilarilla momenttijäykkää liimaruuviliitosta, jossa pilari kiinnitetään teräksiseen pilarikenkään liimaruuveilla.

Mastopilarijäykistykseen toimintaperiaate eroaa diagonaalijäykistyksestä siten, että diagonaalijäykisteiden sijaan kuormat vastaanotetaan pilareilla, jotka on kiinnitetty momenttijäykällä liitoksella alapuoliseen rakenteeseen (Puuinfo, 2020). Mastopilarijäykistyksessä pilarin alapäähän muodostuu momenttia ($M_{d,A}$ ja $M_{d,B}$), kun liitos vastaanottaa leikkausvoimaa ja normaalivoimaa (kuvio 2). Mastopilarijäykistyksessä yläpään vaakasiirtymä kasvaa helposti liian suureksi, jolloin varsinkin liimapuupilareita joudutaan kasvattamaan hyvin järeän kokoisiksi. Tätä voidaan pitää mastojäykistykseen huonona puolena.

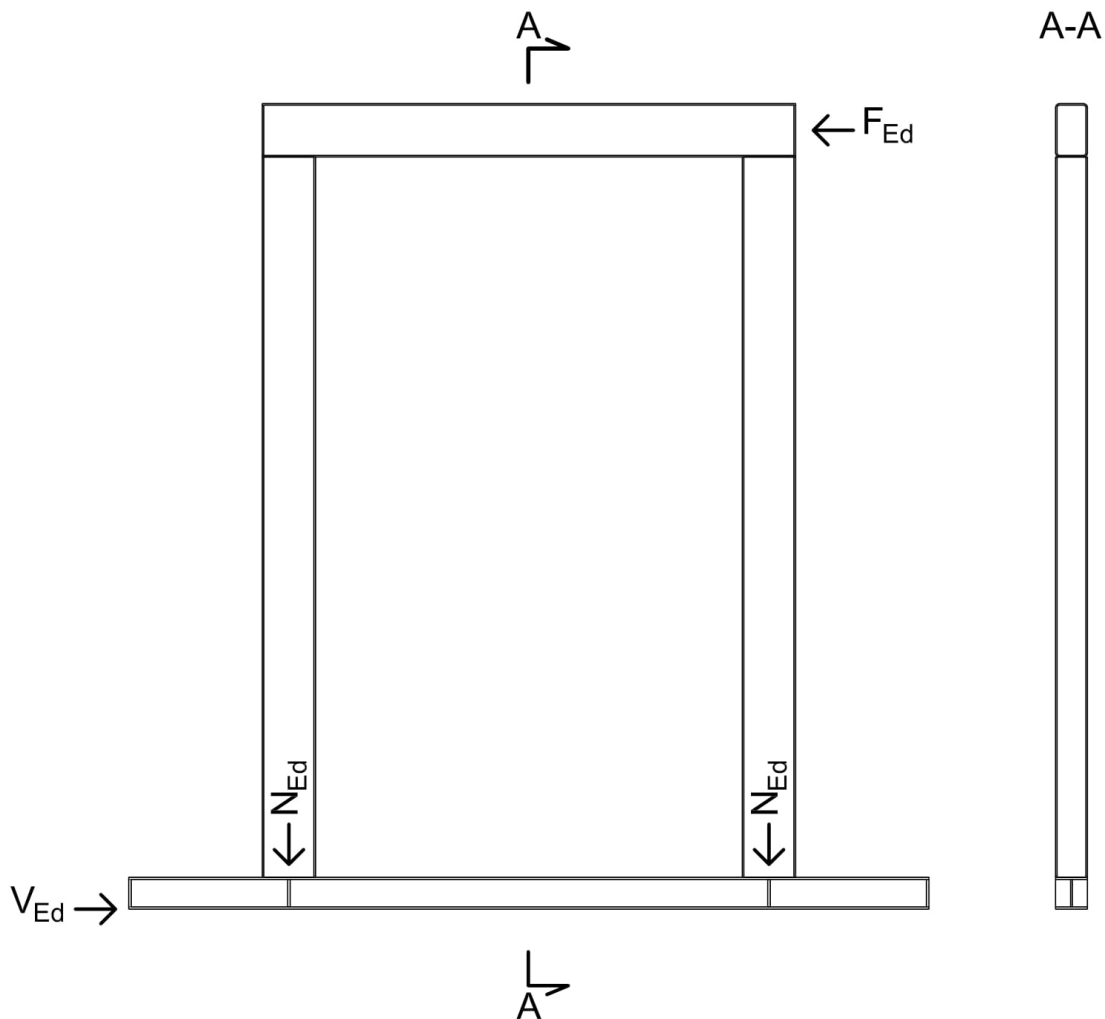


Kuvio 2. Mastopilarijäykistys (Puuinfo Oy, 2020).

2.4 Kehäjäykistys

Kehäjäykistyksessä jäykistysjärjestelmä koostuu pilari-palkki-pilari-kehistä momenttijäykillä nurkkaliitoksilla (kuvio 3). Teräksinen keharakenne soveltuu tapauksiin, joissa mastopilarijäykistysjärjestelmän jäykistyskapasiteetti ei riitä ja kehan yläpaarre saadaan tarvittaessa piiloon yläpuolisiin rakenteisiin (RIL & Korttesmaa, 2007, s. 19–20). Yksittäisen alapäästään momenttijäykän teräspilarin jäykistyskapasiteetti on n. 20 % verrattuna nurkkaliitoksiltaan momenttijäykään teräskehään (Suomen Standardisoimisliitto (SFS), 2005, s. 57).

Kehäjäykistystä voidaan käyttää myös liimapuurakenteisissa pilari-palkki-pilari-kehissä. Tällaisessa tapauksessa liimapuusta valmistetun pilari-palkki-pilari-kehan nurkkaliitokset saadaan momenttijäykäksi teräksisillä X-, T- ja L- jäykisteillä, jotka kiinnitetään mekaanisilla liittimillä pilareihin ja palkkeihin. Nämä teräksiset jäykisteet vastaanottavat pilari-palkkiliitokseen kohdistuvat kuormat ja tekevät muutoin nivelellisestä liitoksesta momenttijäykän.



Kuvio 3. Teräsrakenteinen kehäjäkiste (Honkatalot, sisäinen tietolähde, 2020).

2.5 Levyjäykistys

Levyjäykistys muodostuu tavanomaisesti puisista pystytolpista ja juoksuista sekä puulevyistä tai kartonkipintaisista kipsilevyistä (RIL & Korttesmaa, 2007, s. 20). Levykenttä siirtää siihen kohdistuvat leikkausvoimat levyn reunoihin sijoitettujen liittimien (naulat tai ruuvit) avulla pystytolpille, jotka siirtävät kuormat perustuksille. Nousun estämiseksi pystyosat ankkuroidaan perustuksiin. Yleisimmin käytetään kartonkipintaisia kipsilevyjä, mutta jos tarvitaan suurempaa jäykistyskapasiteettia, voidaan käyttää puisia levyjä, joilla on paremmat lujuus- ja jäykkysominaisuudet.

Levyjäykistys voidaan toteuttaa myös muilla levymäisillä osilla, esimerkiksi elementeillä, joiden jäykistysominaisuudet on määritetty (RIL & Korttesmaa, 2007, s. 20). Tällainen elementti on esimerkiksi opinnäytetyössä tutkittu liimapuu ja lasirakenteinen jäykistyslementti.

3 LASI RAKENNUSMATERIAALINA

3.1 Lasin ominaisuudet

Tavallisen ikkunalasin raaka-aineena toimivat hiekka, sooda, dolomiitti sekä kalkki. Lasisulan lisätään hieman rautaa, magnesiumia sekä lasimurskaa ja seosaineita lasisulan homogenoimiseksi (Pilkington Lahden Lasitehdas, 2021, s. 102). Lasin homogeenisesti järjestyttömän molekyyliarakenteen ansiosta aurinkoenergia ja valo läpäisee lasin. Tämän ansiosta lasi on ainutlaatuinen suhteessa muihin materiaaleihin. Lasi on lisäksi taloudellinen, ympäristöystävällinen, lähes ikuinen ja mukautuva materiaali, joka vaatii hyvin vähän huoltoa.

3.2 Lasin lujuus

Käytännön lujuus tasolasilla on alle 1 % teoreettisesta (Pilkington Lahden Lasitehdas, 2021, s. 103). Tämä johtuu lasipinnan sisältämistä kuormitustilassa rikkoutumislähtöjä aiheuttavista mikrohalkeamista. Halkeamien esiintyminen on luonteeltaan tilastollista, lasista toiseen vaihtelevaa. Lasin kestävyys määritelläänkin kokemusperäisesti ja tilastollisten analyysien avulla jokaiselle kuormitustavalle ja lasityypille erikseen.

Lasi taipuu kuormitettuna täysin elastisesti, eli kuormituksen poistuttua lasi palautuu takaisin alkuperäiseen muotoonsa (Pilkington Lahden Lasitehdas Oy, 2021, s. 103). Lasia ylikuormittaessa tapahtuu vetojännityksen aiheuttama rikkoutuminen. Lasi kestää paremmin tasaista kuin pistemäistä kuormaa, sekä huomattavasti paremmin lyhytaikaista kuormaa, kuten tuulenpuuskaa, kuin pitkäaikaista kuormaa, esimerkiksi lumikuormaa.

Asiantuntijahaastattelussa Saukko (2022) kertoi lasin lujuudesta ja esimerkiksi siitä, kuinka lasin itserikkoutumisriskiä voidaan pienentää. Karkaistulla lasilla on aina jonkin asteinen itserikkoutumisriski, joka johtuu karkaistussa lasissa esiintyvistä nikkelisulfidikiteistä. Tietyissä olosuhteissa, joihin vaikuttavat muun muassa lämpötila ja aika, voi karkaistu lasi rikkoutua spontaanisti. Karkaistulle lasille on mahdollista tehdä Heat Soak -käsittely, jossa karkaistun lasin lämpötila nostetaan tasaisesti tiettyyn lämpötilaan, minkä johdosta nikkelisulfidi kiteiden aiheuttamat jännitykset pienenevät ja täten itserikkoutumisen riski pienenee.

Saukko (2022) korosti myös lasin kiiltoreunahionnan vaikuttavan suuresti lasin lujuteen. Kiiltoreunahionnassa lasin leikkuureuna hiotaan tasaiseksi ja lasin reunojen terävyys poistetaan noin 1–2 mm:n leveillä viisteillä. Tällä tavalla tehtäessä poistetaan lasin reunoilta epätasaisuudet ja terävät särmät, jotka voivat aiheuttaa lasiin jännityspiikin ja täten lasin rikkoutumisen.

3.3 Erilaiset lasityypit

Niin kutsuttu float-lasi on perusta kaikille jatkojalostetuille lasituotteille, joiden ominaisuuksia voivat olla esimerkiksi melunvaimennus, palonsuojaus, auringonsuojaus, lämmöneristys, turva- ja suojaominaisuudet, itsepuhdistuvuus ja koristeellisuus (Pilkington Lahden Lasitehdas Oy, 2021, s. 13). Floatlasin valmistus tapahtuu jatkuvana prosessina, jossa sula lasimassa virtaa sulatusuunista sulan tinan päälle, jolloin lasisulasta muodostuu sulan tinan päälle pitkä tasomainen lasilevy. Lasilevy jäähdytetään ja leikataan haluttuihin mittoihin. Float-lasia voidaan jatkojalostaessa taivuttaa, karkaista, laminoida, silkkipainaa, koristemaalata tai hopeoida. Hopeoinnilla lasiin saadaan peilipinta.

3.4 Lasin hyödyntäminen rakentamisessa

Lasin hyödyntäminen rakentamisessa alkoi Suomessa 1700- ja 1800-luvuilla, kun lasi-ikkunat alkoivat yleistyä (Ahtokari, 1981, s. 22–24). 1900-luvun aikana lasirakenteiden valmistus helpottui teollistumisen myötä ja lasirakenteita pystyttiin valmistamaan yhä suurempikokoisina. 1960-luvulla pientalojen arkkitehtuurissa alettiin hyödyntämään koko huonekorkeuden korkeisia ikkunoita. 2000-lukua lähestyttäessä teknologia ja tietotaito karttuivat ja lasia pystyttiin hyödyntämään yhä monipuolisemmin. Lasirakenteista saatiin yhä energiatehokkaampia ja kestävimpiä. Lasin käyttö pientalorakentamisessa onkin viime vuosikymmenien aikana lisääntynyt merkittävästi, ja rakennusten lasipinnat ovat kasvaneet ja sitä myötä myös yksittäisten tasolasien pinta-ala. Nykypäivän arkkitehtuurissa suositaankin laajoja yhtenäisiä lasipinta-aloja, niin julkis- kuin pientalorakentamisessakin.

4 JÄYKISTYSELEMENTTIEN SUUNNITTELU

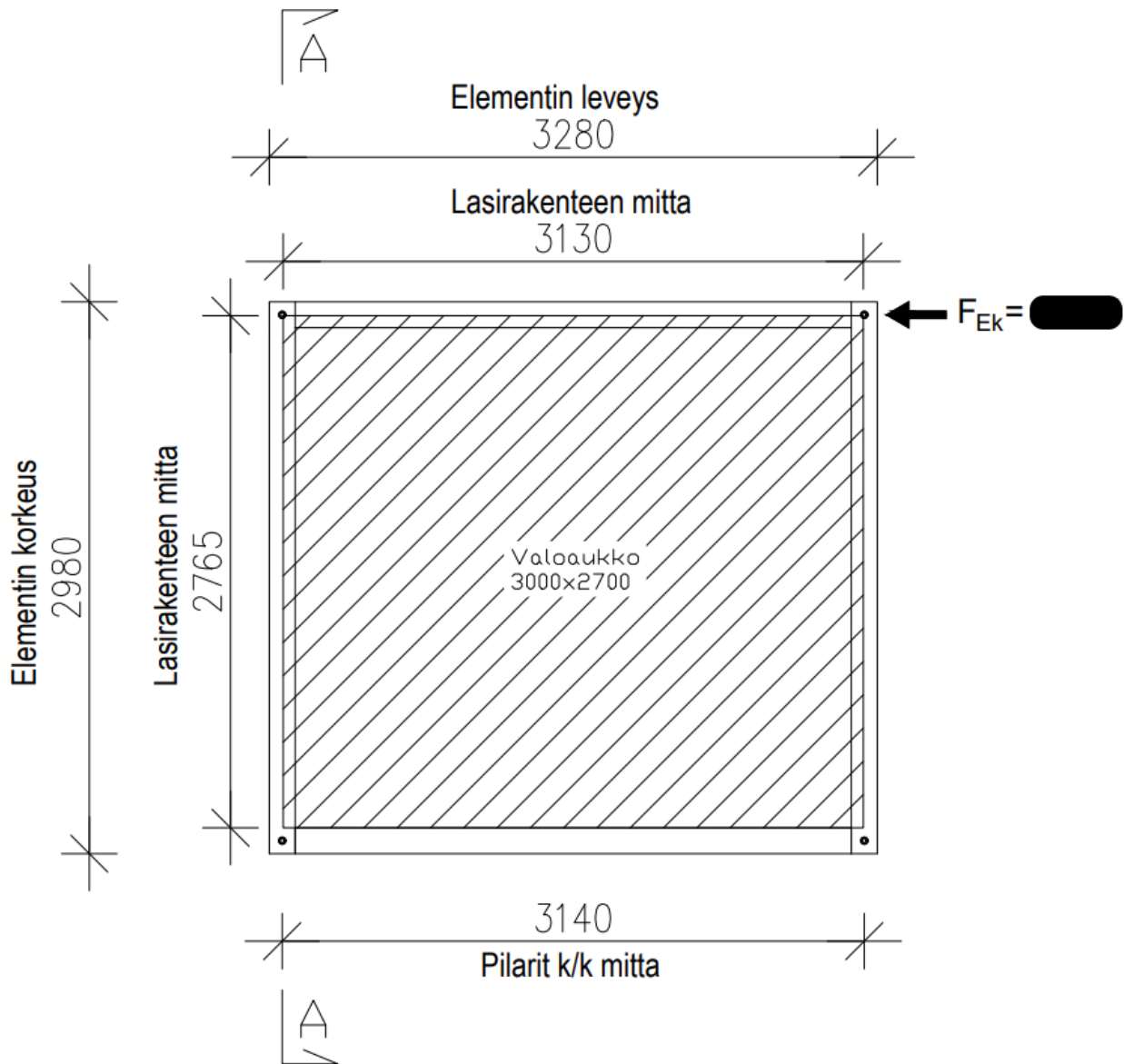
4.1 Jäykistyselementin toimintaperiaate

Lasijäykistyselementtien suunnittelun tukena oli toimeksi antavan yrityksen tekemä patenttihakemus vuodelta 2021. Tässä patenttihakemuksessa projektipäällikkö Isomäki on periaate- tasolla miettinyt liimapuupilari-palkkirakenteisen seinärakenteen lasijäykistyksen toimintata- paa ja lasirakenteen liittymistä liimapuurakenteisiin. Patenttihakemus kokonaisuudessaan on esitettyä liitteessä 1.

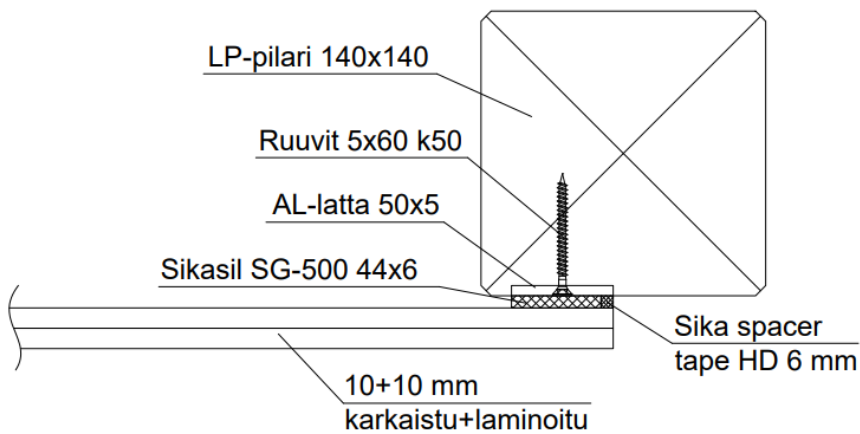
Jäykistyselementti koostuu liimapuupilareista ja -palkeista rakennetusta kehästä. Liimapuihin tehtyihin työstöihin upotetaan alumiiniset kaistat mekaanisin kiinnikkein (ruuvit). Alumiiniin liitetään liimaamalla lasielementti, joka koostuu 10 mm + 10 mm karkaistusta lasista, jotka laminoidaan yhteen käyttäen 1,52 mm PNB-laminointikalvoa. Lasi vastaanottaa tuulikuor- masta johtuvat vaakavoimat ja siirtää ne liimasauman kautta alumiinilatalle. Alumiinilatta siir- tää voimat ruuviliittimien kautta kehärakenteelle, ja lopuksi vaakavoimat siirtyvät kehäraken- teen kautta perustuksille.

Asiantuntijahaastattelussa Saukko (2022) kehotti valmistamaan kuormia vastaanottavan lasi- rakenteen kahdesta toisiinsa laminoidusta karkaistusta lasista. Tarpeeksi suuri kapasiteetti olisi mahdollista saavuttaa tarpeeksi paksulla yhdellä karkaistulla lasilla, mutta karkaistussa lasissa on aina Heat Soak -käsittelynsä jälkeen itserikkoutumisriski. Kun laminoidaan kaksi karkaistua lasia yhteen, ei rakenne menetä stabiiliuttaan, vaikka toinen karkaisuista lasista rikkoutuisikin.

Kuviossa 4 on esitettyä jäykistyselementeistä isoin. Rasteroitu alue kuvastaa lasirakennetta, joka on liimattuna liimapuupalkkikehään. Kuviossa 4 esitetty nuoli F_{EK} kuvaa kuorman vaiku- tuspistettä ja kuorman suuruutta, ja kuormitus kohdistuu liimapuupalkkirakenteen yläreunaan. Kuviossa esitetyn kuormituksen suuruus on piilotettu salaussyistä. Kuviossa 5 on esitettyä leikkausdetalji lasirakenteen liittymisestä liimapuupalkkikehään.



Kuvio 4. Jäykistyslementti.



Kuvio 5. Leikkausdetalji.

4.2 Kuormitukset

Jäykistyselementit suunniteltiin vastaanottamaan tavanomaisen yksikerroksisen omakotitalon tuulikuorma. Tuulikuormasta johtuva vaakavoima kohdistuu pistemäisesti jäykistys-elementin yläreunaan. Testielementeille kohdistuvien kuormien suuruudet valittiin yhdessä toimeksi antavan yrityksen rakennesuunnittelijoiden kanssa. Kuormien tarkkoja suuruuksia ei salaussyistä tuoda opinnäytetyössä esille.

4.3 Liimasauma

Yhdessä lasialan asiantuntijoiden kanssa valitsimme käytettäväksi liimaksi Sikasil® SG-500:n kaksikomponenttisen silikonipohjaisen SG Structural Glazing -liimamassan, jota käytetään erityisesti lasin rakenteellisissa liimauksissa. Toisin kuin yksikomponenttiset liimamassat, jotka kovettuvat ilmankosteuden vaikutuksesta, kaksikomponenttinen liimamassa alkaa kovettumaan välittömästi komponenttien sekoittumisen jälkeen. kaksikomponenttisen liimamassan kuivumisaika on huomattavasti lyhyempi kuin yksikomponenttisen liimamassan.

Sikasil® SG-500 on 2-komponenttinen neutraalisti kuivuva, korkeamoduulinen rakenteellinen silikonimassa (Oy Sika Finland Ab, 2022). Tuotteen pääasiallinen käyttötarkoitus on SG - Structural Glazing -liimaukset. Tuote soveltuu erityisen hyvin SG-liimausten lisäksi teollisen valmistuksen käyttökohteisiin. Tuotteella on erinomainen UV- ja säänkesto.

4.4 Määräykset

Rakenteiden suunnittelua ohjaavat erilaiset määräykset ja ohjeet. Eri rakennusmateriaalien kestävyksiä yms. arvoja ja mitoitusohjeita löytyy rakennusalaan ohjaavista standardeista. Jäykistys-elementin lasirakenteen suunnittelussa käytettiin eurokoodien 1990 ja 1991 osia sekä lisäksi mitoitusstandardeja SFS-EN 16612 ja SFS-EN 16613. Alumiinirakenteen mitoituksessa käytettiin standardia SFS-EN 1999-1-1 + A1. Ruuvien leikkauskestävyyden mitoituksessa käytettiin standardia SFS-EN 1993-1-3 + AC. Puurakenteiden suunnittelussa käytettiin puurakenteiden suunnitteluohjetta Eurokoodi 5.

5 JÄYKISTYSELEMENTTIEN MITOITTAMINEN

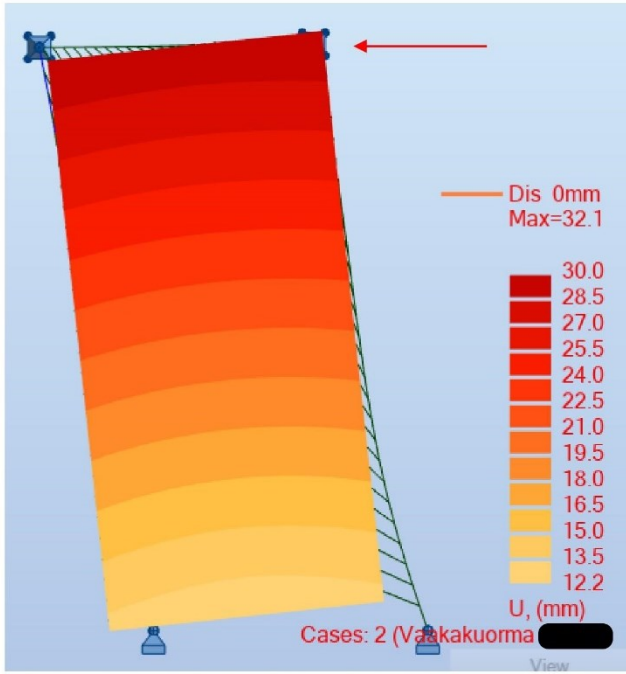
5.1 Lasi- ja alumiinirakenteen sekä liimasauman mitoittaminen

Jäykistyselementtien mitoittamiseen pyydettiin avuksi DI Paavo Hassista insinööritoimisto Pontek Oy:ltä. Hassisen laaja kokemus ja osaaminen lasirakenteista mahdollisti tarkan mallintamisen jäykistyselementtien eri osille. Jäykistyselementtien mitoittamisen vaikeimmaksi osuudeksi muodostui lasirakenteen mitoittaminen, ja erityisesti lasirakenteen lommahtamisen mallintaminen muodostui haasteelliseksi. Lasirakenteen mitoittamista hankaloitti myös se, että lasirakenteiden mitoitusta käsittelevä eurooppalainen standardi on vasta valmisteilla. Liimaksi valikoitui Sikasil® SG-500 sen hyvien mekaanisten ominaisuuksien vuoksi.

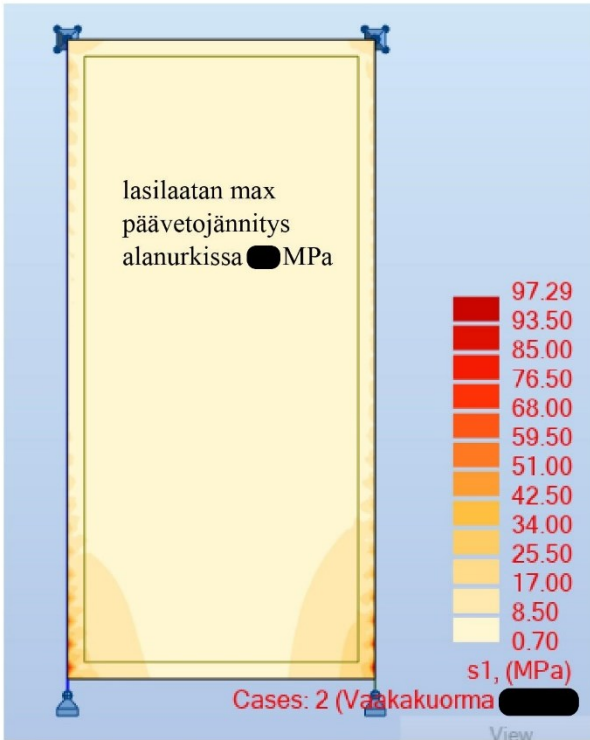
Alumiinilatat luonnonvärianodisoitiin, sillä aiempien kokemusten ja testausten perusteella luonnonvärianodisointi takaa parhaimman tartuntapinnan liimasauman kiinnittymiselle. Liimapurakenteisiin ruuvattavat alumiinilatat katkaistiin maksimissaan 1200 mm:n pituisiksi. Alumiinilattojen päiden välille suunniteltiin jätettävän muutaman millimetrin väli, jolloin alumiinin lämpötilamuutoksista johtuva pituussuuntainen liike ei aiheuta liimasaumaan ylimääräisiä jännityksiä.

Kuviossa 5 on esitetty Hassisen mallinnus kapeimman jäykistyselementin käyttäytymisestä kuormitustilanteessa. Mallinnuksessa on esitetty lasilevyn siirtymä kuormitustilanteessa: jäykistyselementin yläreuna siirtyy kuormituksen suunnassa 32,1 mm ja alareuna 12,2 mm. Kuormituksesta johtuva päävetojännitys kohdistuu lasirakenteen liimasauman alanurkkiin. Mallinnuksessa esitetään myös lasirakenteen lommahdusmuoto. Mallinnuksessa käytetyt kuormitustiedot peitettiin salaussyistä. Jokaisesta kolmesta jäykistyselementistä tehtiin mallinnukset, joita verrattiin laboratoriotestauksessa saatuihin tuloksiin.

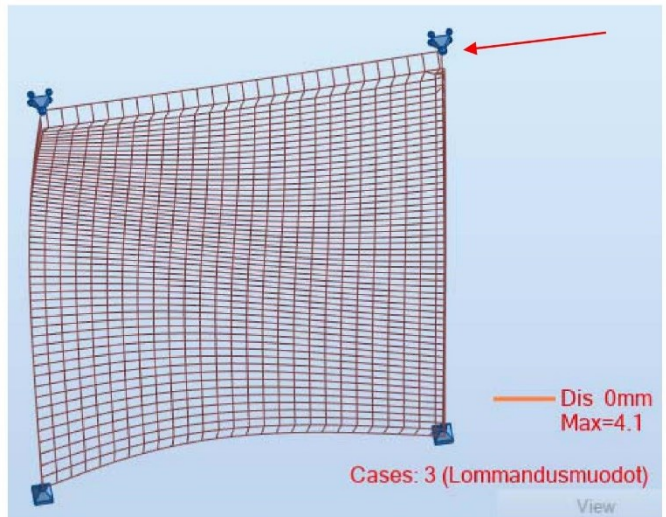
Laselementtiin perustuva jäykistyslementti, Koekappale I, 1480 x 2980 mm, lasilaatta 10+10 mm, puurakenteinen kehä 140x140 C14, Laskentamalli (Robot), 17.1.2023 ph



koekappaleen siirtymät, vaakakuorma
F = [redacted]



lasilaatan (10+10 mm, pvb 1.54 mm) ensimmäinen leikkauslommahdusmuoto, Fcr = [redacted]



Kuvio 6. Kapeimman jäykistyslementin mitoitusmalli (Hassinen, henkilökohtainen tiedonanto, 2023).

5.2 Mekaanisten liitinten mitoittaminen

Alumiinilatan kiinnittämiseen liimapuukehään käytettiin puikkomaisia mekaanisia liittimiä eli ruuveja. Ruuvien materiaaliksi valikoitui haponkestävä ruostumaton teräs, sillä näin estetään ruuviliittimen ja alumiinin välinen kemiallinen reaktio. Ruuvien mitoituksessa oletettiin vaakuorman kohdistuvan kokonaisuudessaan elementin yläpään alumiinilatan ruuveille. Tällä tavalla saatiin ruuvien kestävyydelle varmuus. Elementtiä kuormittaessa ruuvit kestäisivät vaikka liimasauma tai lasi pettäisi. Liitteessä 2 on esitettyä yksinkertaistettu laskelma alumiiniprofiilin ja ruuvien leikkauskestävyydestä.

5.3 Liimapuurakenteiden mitoitus

Liimapuurakenteina käytettiin poikkileikkauksen 140x140 millimetriä liimapuupilareita ja -palkkeja. Kyseinen dimensio on Honkatalojen tuotannossa yleisin liimapuupilari-palkkirakenteisissa ulkoseinärakenteissa. Liimapuurakenteet mitoitettiin Hassisen toimesta jäykistys-elementin mallinnuksen yhteydessä. Kuviossa 6 esitetyssä lommahdusmuodossa voi havaita lasirakenteen lommahtavan vaakatasossa alareunastaan sekä pystysuunnassa kuormitusta vastakkaisella reunalla. Tällä reunalla oleva liimapuupilari vastustaa lommahdusta. Lasirakenteen lommahduskestävyyteen vaikuttavat oleellisesti liimapuupilarin poikkileikkauksen mitat.

Mallinnuksessa havaittiin liimasauman leikkausmurtoon vaadittavan kuormituksen olevan merkittävästi pienempi kuin lasirakenteelle lasketun lommahduskestävyyden arvo. Täten liimapuurakenteiden poikkileikkauksen arvoina voitiin turvallisesti käyttää tuotannossa yleisimmin käytettyä dimensiota. Liimapuurakenteiden mitoitusta tarkastellessa on huomioitava se, että liimapuukehälle ei kohdistu pystysuuntaisia voimia. Tuotekehityksen edetessä tulee tutkia myös tilannetta, jossa liimapuupilari-palkkirakenteelle kohdistuvat myös rakennuksen katolta siirtyvät kuormat.

6 JÄYKISTYSELEMENTTIEN VALMISTUS

6.1 Jäykistyselementtien osien tilaaminen

Jäykistyselementtien liimapuurakenteet valmistettiin Honkatalojen tehtaalla. Alumiinilatat kilpailutettiin, ja alumiinilattojen toimittajaksi valikoitui teräs- ja metallituotteisiin erikoistuva Temeko Oy Hämeenlinnasta. Ruuviliittimet tilattiin Kiinnike-Kolmio Oy:lta. Alumiinilatat anodisoitiin toimeksi antavan yrityksen yhteistyökumppanin Mäkelä Alu Oy:n tehtaalla Alajärvellä. Jäykistyselementtien lasirakenteet valmistettiin Alavudella toimivassa lasialan yrityksessä Finnglass Oy:ssä. Myös Finnglass on tiiviissä yhteistyössä toimeksiantavan yrityksen kanssa.

6.2 Jäykistyselementtien kehärakenteiden valmistus

Jäykistyselementtien liimapuukehän liimapuupilarit ja -palkit valmistettiin Honkatalojen tehtaalla, ja liimapuiden työstöt, loveukset ja reiät tehtiin CNC-työstökoneella. Liimapuurakenteisiin työstettyihin uriin kiinnitettiin 50x5 mm:n profiililla olevat alumiinilatat 5x60 mm:n haponkestäviä ruostumattomasta teräksestä valmistettuja yleisruuveja käyttäen. Alumiinilatat katkaistiin oikeisiin pituuksiin ja ruuvien reiät porattiin Metallityö Valtsu Oy:lla (kuva 1). Kun alumiinilatat ja liimapuupalkit olivat valmiina, ruuvattiin alumiinilatat kiinni liimapuurakenteisiin ja liimapuurakenteet koesovitettiin toisiinsa (kuva 2). Liimapuupalkkikehän palkit kiinnitettiin toisiinsa lapaliitoksella käyttäen M20-pultteja (kuva 3).



Kuva 1. Alumiinilatat.



Kuva 2. Alumiinilatat ruuvattuna LP-palkkiin.



Kuva 3. Liimapuupalkkikehä.

6.3 Lasirakenteiden liimaus kehärakenteisiin

Lasirakenteiden liimaus suoritettiin Alavudella Finnglass Oy:n tuotantotiloissa. Liimauksessa opinnäytetyön tekijällä oli apuna Oy Sika Finland Ab:n edustaja, joka toimitti liimaukseen vaadittavat työkalut ja liimat. Liimausta edeltävät valmistelut aloitettiin asettamalla liimattavat lasit liimauspöydille. Laseja oli yhteensä kolme kappaletta, ja kuvassa 4 etualalla on laseista keskikokoisin. Liimauspöydissä on paineilmajärjestelmä, joka päälle kytkettäessä puhalttaa ilmaa pöydässä olevista pienistä rei'istä. Tämä mahdollistaa raskaan lasilevyn siirtelyn pöydällä.



Kuva 4. Lasit liimaspöydillä.

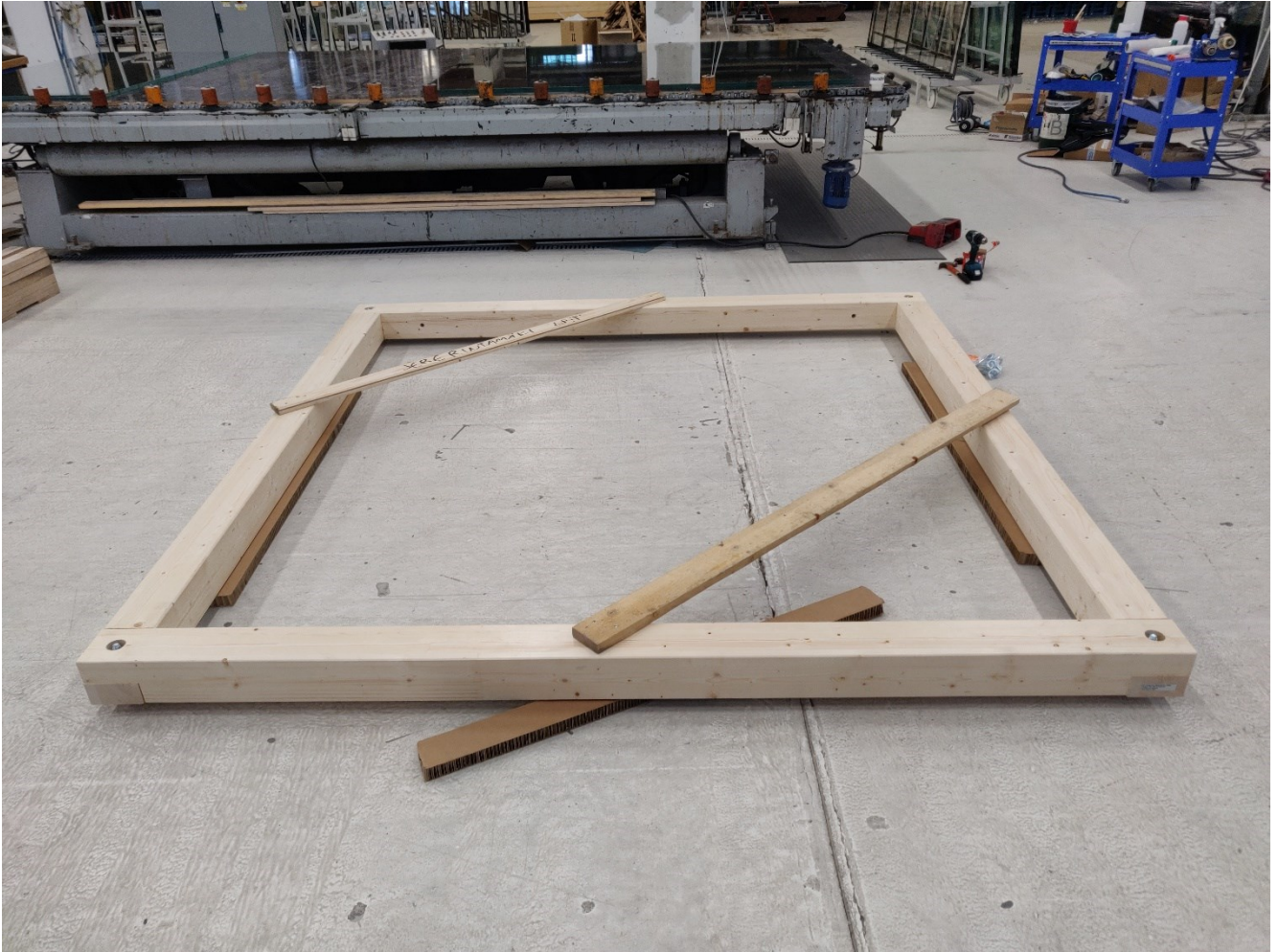
Liimapurakenteiden alumiinilatat puhdistettiin liasta ja rasvasta, minkä jälkeen alumiinilattoihin asennettiin Sika® Spacer Tape HD -liimanauha (kuva 5). Nauhan molemmilla puolilla on liimapinta, jonka avulla nauha kiinnitettiin alumiinilattoihin. Tämän jälkeen liimapuupalkkikehät kasattiin ja liitettiin toisiinsa pulttaamalla (kuva 6). Liimapalkkikehät asetettiin ristimitaan ja kehiin ruuvattiin väliaikainen vinolautoitus, joka varmisti kehän pysymisen ristimitassaan, kun kehät asetettiin lasirakenteiden päälle (kuva 7).



Kuva 5. Liimanauhan asennus.



Kuva 6. Lapaliitoksen pulttaus.



Kuva 7. Kehärakenne valmiina nostettavaksi.

Ennen kehräakenteen siirtämistä liimattavan lasin päälle varmistettiin liiman ulottuvuus koko liimasauman leveydelle tekemällä yksinkertainen testi, jossa ylimääräinen lasilevyn pala kiinnitettiin ylimääräiseen alumiinilattaan käyttäen samaa liimanauhaa kuin testielementeissäkin. Testissä todettiin liiman ulottuvan liimanauhaan asti, ja tällä tavalla liimasauma saadaan levitettyä koko alumiinilatan alueelle (kuva 8). Liimauspöydällä olevan lasin reuna-alueet puhdistettiin huolellisesti ennen liimapuupalkkikehän nostamista lasin päälle. Alumiinilatoissa kiinni olevista liimanauhoista poistettiin suojamuovi ja kehräakente laskettiin tarkasti lasin päälle, sillä liimanauhan tuli asettua lasin ulkoreunan kohdalle. Kuvassa 9 kehräakente on valmiina siirrettäväksi lasilaatan päälle.

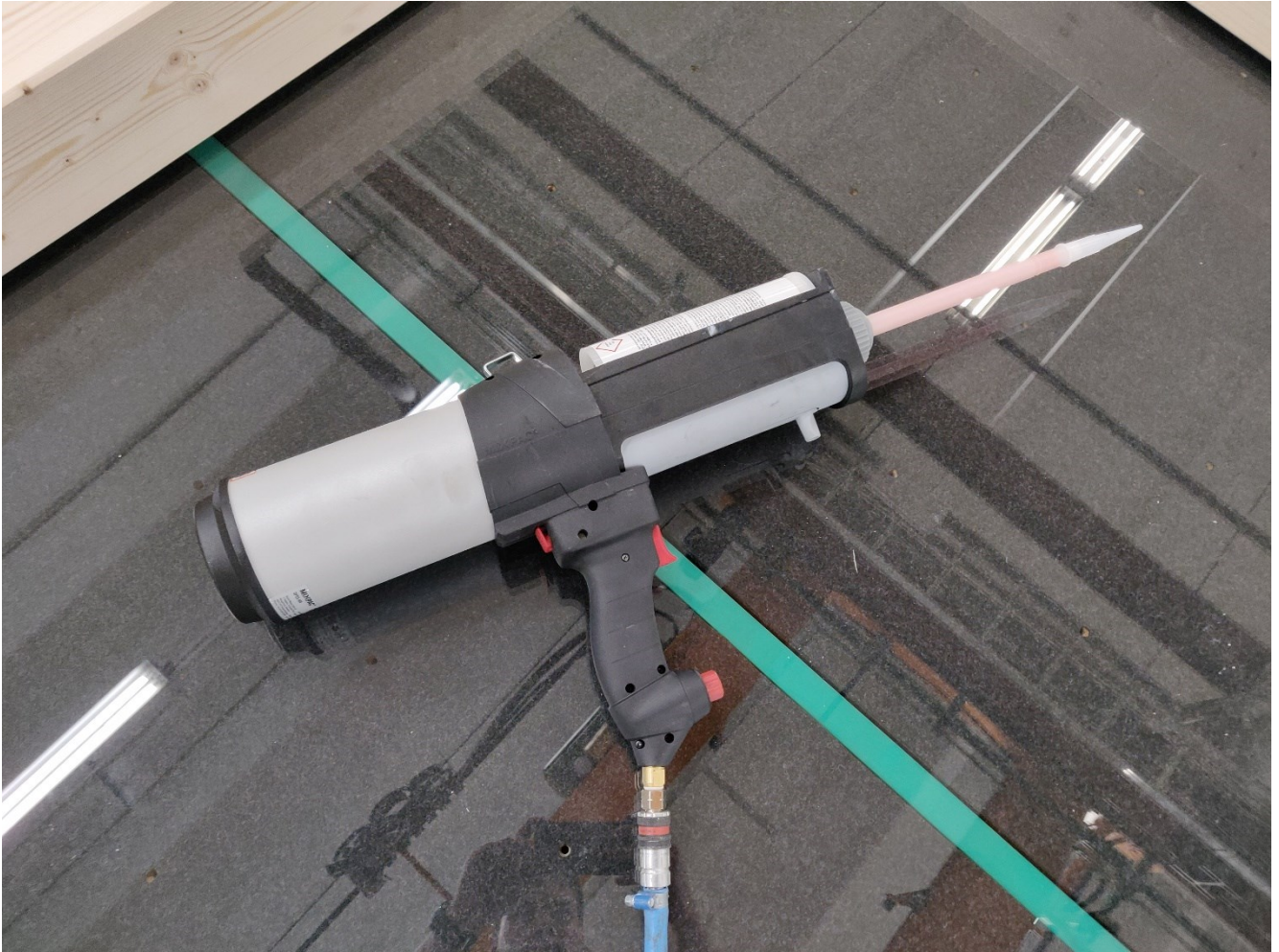


Kuva 8. Liimaustesti.



Kuva 9. Kehärakenne valmiina nostettavaksi lasin päälle.

Kun kehärakenne saatiin asetettua lasin päälle, voitiin liimaaminen aloittaa. Liimauksessa käytettiin pneumaattista rakenneliimapistoolia, joka soveltuu 490 ml:n rinnakkaispatruunoille (kuva 10).



Kuva 10. Pneumaattinen rakenneliimapistooli.

Rakenneliimapistoolin kaksi mäntää työntää liimapatruunassa olevan liimamassan kaksi eri komponenttia sekoitusputkeen, jossa liimapatruunan A- ja B-komponentti sekoittuvat keskenään. Liimaaminen oli varsin hidas työvaihe, ja 490 ml:n patruuna kului loppuun nopeasti (kuva 11). Liiman annettiin pursota saumasta, jotta varmistettiin liiman täyttäneen sille varattun tilan (kuva 12).



Kuva 11. Lasin liimaus kehärakenteeseen.



Kuva 12. Lasin liimaus kehärakenteeseen.

6.4 Jäykistyslementtien toimitus

Jäykistekehät nostettiin seitsemän vuorokauden kuivumisajan jälkeen kuljetuspukeille, minkä jälkeen jäykistyslementit muovitettiin huolellisesti. Jäykistyslementit kuljetettiin testausta edeltävänä viikkona Eurofins Expert Services Oy:n testauslaboratorioon Espooseen. Jäykistyslementtien kuljettamiseen käytettiin kahta kuljetuspukkia: ensimmäiselle pukille asetettiin kaksi isointa elementtiä, ja toiselle pukille asetettiin pienin elementti vaakatasoon. Kuvissa 13 ja 14 jäykistyslementit ovat kuljetuspukeilla, kuvissa 15 ja 16 kuljetuspukit muovitettuina.



Kuva 13. Jäykistyslementit kuljetuspukilla.



Kuva 14. Jäykistyslementti kuljetuspukilla.



Kuva 15. Muovitettu kuljetuspukki 1.



Kuva 16. Muovitettu kuljetuspukki 2.

6.5 Laadunvarmistus

Honkatalojen valmistama liimapuu on ensiluokkaista lujuusluokan GL32h omaavaa liimapuuta. Jäykistekehien kehärakenteiden liimapuut olivat optimikosteudessa koko valmistus- ja testausprosessin ajan. Jäykistyskehien materiaalien välivarastoinnit toteutettiin aina tasalämpöisessä ja kuivassa teollisuushallissa.

Jäykistyslementtien karkaistut lasirakenteet valmistettiin korkeita laatustandardeja noudattaen ja markkinoiden johtavien toimittajien koneita käyttäen. Jännitysten poistamiseksi ja itserikkoutumisen riskin vähentämiseksi lasilevyjen reunat kiiltoreunahiottiin.

Liimauksen laadunvarmistamiseksi lasien liimaus toteutettiin tasaisessa lämpötilassa puhtaassa ja pölyttömässä teollisuushallissa. Liimauksessa apuna olleen Oy Sika Finland Ab:n edustajan ammattitaidon myötä liimaus suoritettiin teknisesti oikein ja liimamassan käyttöohjeen mukaisesti. Liimauksen jälkeen jäykistyslementit olivat seitsemän vuorokautta tasaisessa noin 22 °C:n lämpötilassa, jolla varmistettiin liimasauman läpikuivuminen.

7 MALLIKEHIEN TESTAUS

7.1 Yleistä

Toimeksiannossa testattiin kolme erikokoista liimapuupalkkikehällistä lasielementtiä, jotka oli valmistanut Honkatalot (Oy Primapoli Ltd) (Kevarinmäki, 2023, s. 1). Testit suoritettiin puurakenteisten jäykistysseinien testauskehässä standardin EN 594:n mukaisesti. Testattavien koekappaleiden rakenne ja mittatiedot ovat nähtävillä liitteessä 3.

Jäykistys-elementit toimitettiin Eurofinsin testauslaboratorioon 10.2.2023 (Kevarinmäki, 2023, s. 1). Ennen testausta elementtejä säilytettiin Eurofinsin testauslaboratoriossa, missä suhteellinen kosteus oli 25 ja 35 %:n välillä ja lämpötila oli 21 ± 1 °C.

Jäykistys-elementtien testaukset suoritettiin 14. ja 15. helmikuuta 2023 Eurofins Expert Services Oy:n rakenteiden testaushallissa Espoossa (Kevarinmäki, 2023, s. 1). Testaajana toimi testauspäällikkö Antti Sivonen. Testauspäivinä laboratorion suhteellinen kosteus oli 28 ± 3 % ja lämpötila $21,5\pm 0,5$ °C.

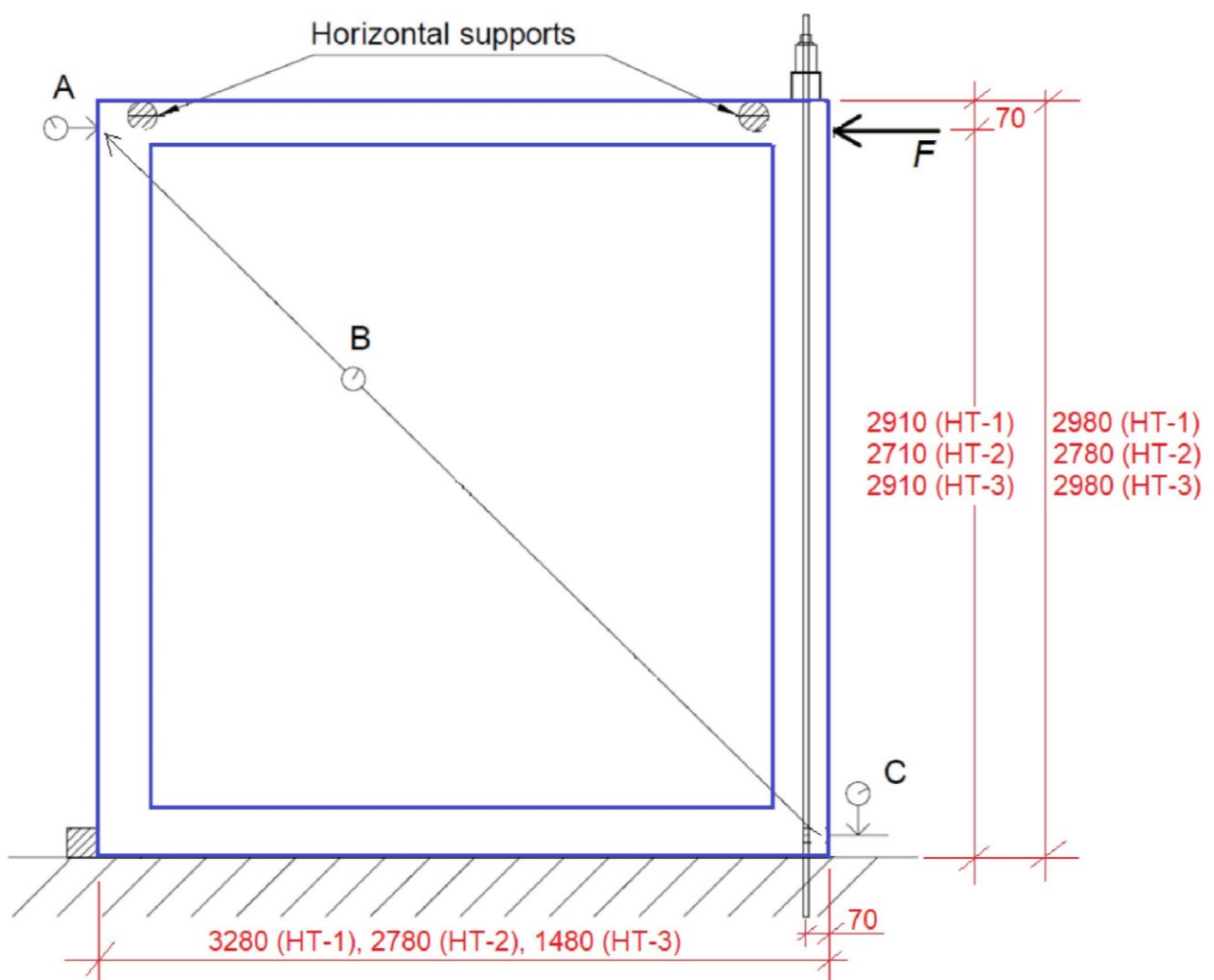
7.2 Testausjärjestelyt

Jäykistys-elementtien testausjärjestelyt on esitetty kuviossa 7 sekä kuvissa 17 ja 18. Testattavat elementit asetettiin teräksisen palkin päälle, jonka kuormituksen suuntainen liike oli estetty (Kevarinmäki, 2023, s. 1). Elementit kuormitettiin vaakatasossa kehärakenteen ylimmän palkin keskilinjalta hydraulisella tunkilla. Kuorman suuruus mitattiin 100 kN:n voima-anturilla, jonka mittatarkkuus on 1 % mitatusta voimasta. Teräksinen neliörakenneputki kiinnitettiin teräksiseen palkkiin, jolla estettiin elementin kehärakenteen alareunan liike kuormituksen suunnassa. Elementin kehärakenteen pystysuuntainen liike tunkin puoleisella sivulla estettiin teräksiseen palkkiin ankkuroiduilla vetotangoilla molemmiin puolin elementtiä. Kalibroituja 100 kN:n voima-antureita käytettiin mittaamaan vetotankoihin kohdistuvaa voimaa. Elementin vaakasuuntainen liike kohtisuoraan seinätasoon nähden estettiin tuilla, jotka eivät rajoita kuormituksen suuntaista liikettä.

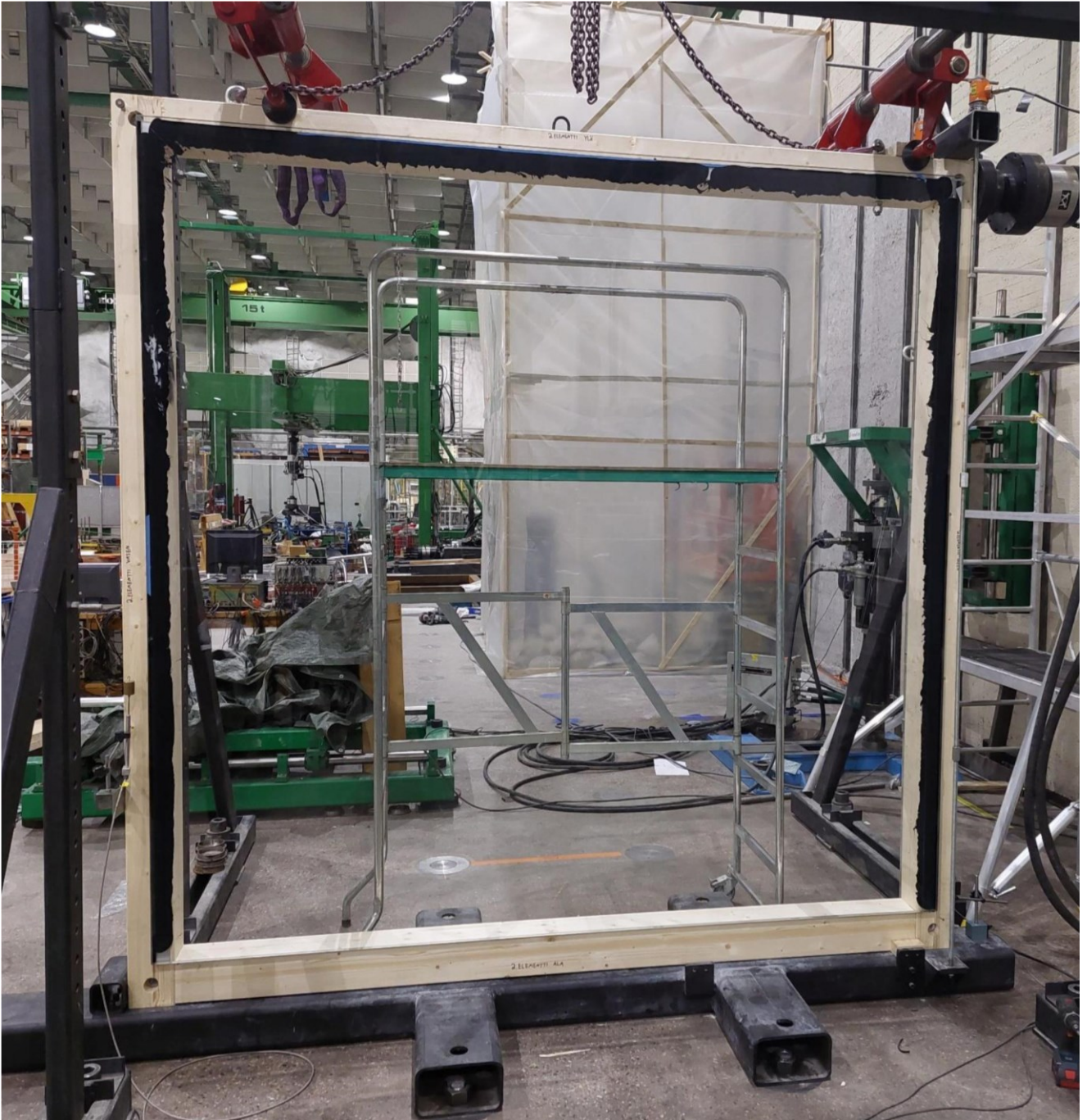
Elementin muodonmuutokset mitattiin induktiivisilla HBM-siirtymäantureilla kolmesta eri kohdasta (A, B, C) esitettynä kuviossa 7 (Kevarinmäki, 2023, s. 1–2). Yläreunan vaakatason

suuntainen siirtymä (anturi A) mitattiin HBM:n siirtymäanturilla WA200, jolla voidaan todeta enintään 200 mm:n liike. Elementin diagonaalinen siirtymä (anturi B) mitattiin HBM:n siirtymäanturilla WA100, jolla voidaan todeta enintään 100 mm:n liike. Kuormituksen puoleinen pysytysuuntainen siirtymä (anturi C) mitattiin HBM:n siirtymäanturilla W10, jolla voidaan todeta ± 10 mm:n liike.

Kuormitus suoritettiin standardin EN 594 mukaisesti (Kevarinmäki, 2023, s. 2). Kuormitusnopeus oli 10 mm/min. Kaikki mittaustulokset kirjattiin 1 sekunnin välein.



Kuvio 7. Testausjärjestelyt, mitat esitettynä millimetreissä koekappaleille HT-1, HT-2 ja HT-3 (Kevarinmäki, 2023, s. 2).



Kuva 17. Yleiskuva testausjärjestelystä, koekappale HT-2 (Kevarinmäki, 2023, s. 3).



Kuva 18. Kuormitus- ja mittausjärjestelyt, koekappale HT-3 (Kevarinmäki, 2023, s. 4).

7.3 Koetulokset

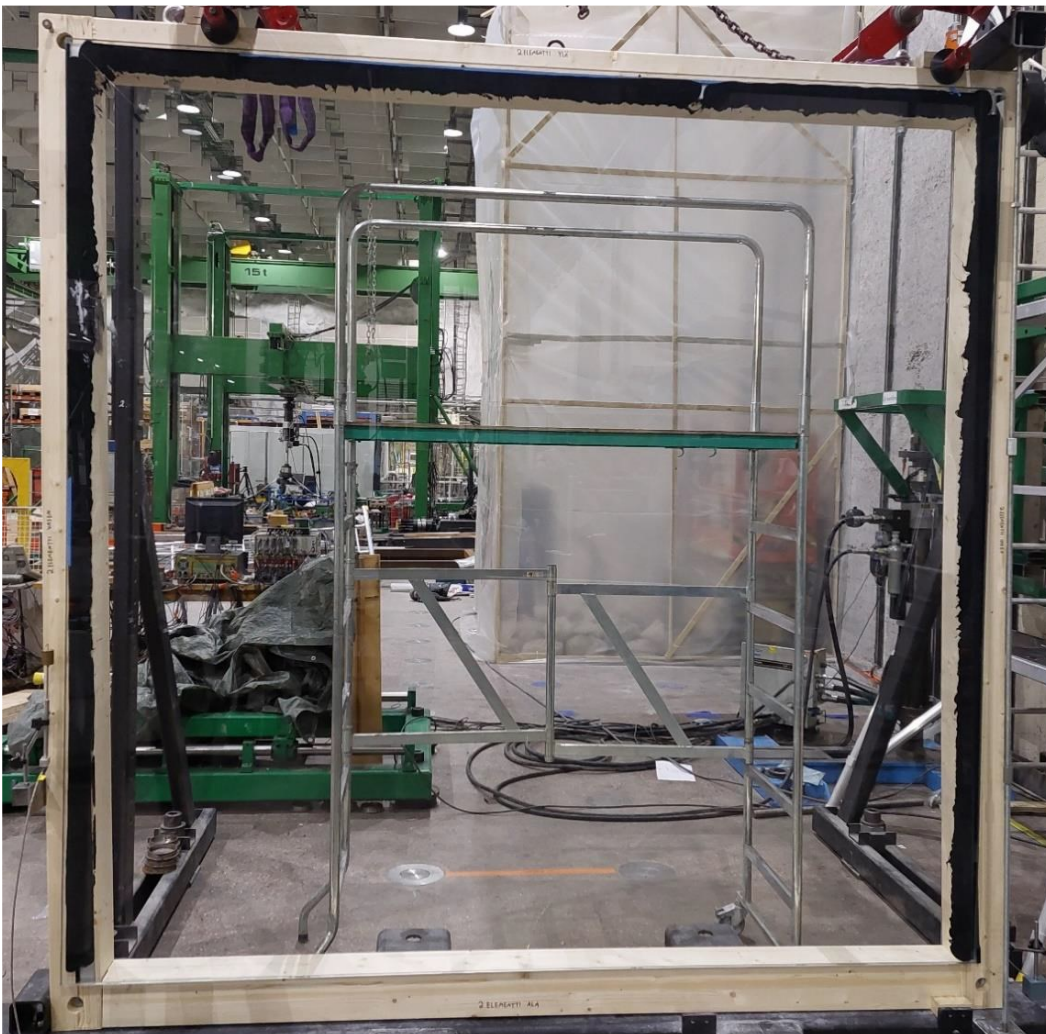
Kaikkien testattujen jäykistyselementtien murtotavaksi muodostui liimasauman leikkaantuminen lasin ja alumiinilatan välissä (kuvat 19–23) (Kevarinmäki, 2023, s. 5). Myös pientä vaakasuuntaista liikettä oli havaittavissa alumiinilatan ruuvien ja liimapuupilarin välissä. Koekappale HT-2:n kuormituksen puoleisessa liimapuupilarissa oli havaittavissa liimapuupilarin reunan halkeamista ruuviliittimien linjalla (kuva 22). Koetulosten numeerisia arvoja ei salaussyistä tuoda esille.



Kuva 19. Murtokuormitettu koekappale HT-1 (Kevarinmäki, 2023, s. 8).



Kuva 20. Leikkaantunut liimasauma koekappale HT-1:n pilareissa (Kevarinmäki, 2023, s. 8).



Kuva 21. Murtokuormitettu koekappale HT-2 (Kevarinmäki, 2023, s. 9).



Kuva 22. Leikkaantunut liimasauma ja halkeamia koekappale HT-2:n liimapuupilarissa (Kevarinmäki, 2023, s. 9).



Kuva 23. Murtokuormitettu koekappale HT-3 (Kevarinmäki, 2023, s. 10).

8 YHTEENVETO, TULOKSET JA POHDINTA

Koetuloksia tarkastellessa todettiin todellisen kestävyuden olevan noin 80 % mallinnuksesta saadusta arvosta. Todellisen kestävyuden pienempää arvoa voidaan selittää osittain sillä, että liimapuupilari alkoi haljeta ruuvilinjan suuntaisesti ja mahdollisesti suuremman siirtymän, kun kuormittava voima läheni murtokuorman suuruutta. Käyttörajatilamitoituksen mukainen jäykistyselementin yläpään maksimisiirtymä saavutettiin, kun kuormittavan voiman suuruus oli 37 % murtokuormasta. Testeissä havaittiin ruuviliittimien olevan liian lähellä liimapuupilarin reunaa. Kun rasittava voima lähestyi murtokuorman suuruutta, liimapuu halkesi ja aiheutti alumiinilatassa kohtisuorassa linjassa siirtymää.

Lasijäykistykseen tutkiminen jatkuu toimeksi antavassa yrityksessä, ja myös opinnäytetyön tekijä jatkaa tuotekehityksen parissa. Opinnäytetyössä tutkittavien jäykistyselementtien rajoittavaksi tekijäksi muodostui liimasauman liiallinen joustaminen. Jäykistyselementtien siirtymiä tullaan pienentämään vaihtoehtoisilla jäykemmällä menetelmällä kiinnittää lasielementtejä liimapuupilari-palkkirakenteisiin, sekä liimapuun halkeilun mitoittamiseen tullaan kiinnittämään suurempaa huomiota. Tuotekehityksen edetessä tullaan myös huomioimaan liimapuupilari-palkkirakenteelle kohdistuvat muut kuormitukset. Näitä kuormia ovat esimerkiksi kattorakenteen omapaino sekä katolla vaikuttava lumikuorma.

Opinnäytetyö kokonaisuudessaan oli työn tekijälle haasteellinen ja ammattitaitoa lisäävä kokemus. Toivotun lopputuloksen saavuttamiseksi tärkeitä tekijöitä olivat oma-aloitteisuus ja sujuva yhteistyö useiden eri toimijoiden kanssa. Opinnäytetyö antaa Honkataloille hyvän pohjan tuotekehityksen jatkamiselle. Työllä saavutettiin toivottu lopputulos, ja kaikkiin työn tutkimuskysymyksiin saatiin vastaukset. Lasin hyödyntämisessä osana seinärakenteen jäykistystä on selvästi potentiaalia, ja tuotekehityksen edetessä Honkatalot pääsee yhä tehokkaammin käyttämään uusiutuvia luonnonvaroja ja vähentämään teräksisiä rakenteita rakennuksen jäykistämisessä. Teräksisten pilarien korvaaminen liimapuupilareilla ja jäykistyskapasiteetin saavuttaminen teräksen sijaan lasilla pienentää rakennuksen hiilijalanjälkeä ja tukee Honkatalojen luonnonmukaisia arvoja.

LÄHTEET

- Ahtokari, R. (1981). *Suomen lasiteollisuus 1681–1981*. Helsingin liikekirjapaino.
- Honkatalot. (i.a.-a). *Missio*. <https://www.honkatalot.fi/missio/>
- Honkatalot. (i.a.-b). *Tarinamme*. <https://www.honkatalot.fi/yritys/>
- Isomäki, H. (Projektipäällikkö, Oy Primapoli Ltd). (5.5.2022a). *Pilari-palkkirakenteen lasijäkistytksen tausta* [asiantuntijahaastattelu].
- Isomäki, H. (2022b). *Wooden pillar-beam structure equipped with glass elements, and method for forming wooden pillar-beam structure equipped with glass elements* (EP 3960950 A1). European patent office. <https://data.epo.org/publication-server/document?iDocId=6765303&iFormat=0>
- Kevarinmäki, A. (2023). *Test Report no EUFI29-23000130-T1*. Eurofins Expert Services.
- Pilkington Lahden Lasitehdas. (2021). *Lasifakta 2021: Käytännöllinen apu rakennuslasien valintaan* (update 1). https://www.pilkington.com/-/media/pilkington/site-content/finland/architects/1991_glasfakta2022_web_fi.pdf
- Puuinfo. (10.7.2020). *Rakenteet: Pilari-palkkirakenteet*. <https://puuinfo.fi/rakenteet/pilari-palkkirakenteet/>
- Saukko, T. (Omistaja ja toimitusjohtaja, Finnglass Oy). (31.3.2022). *Pilari-palkkirakenteen lasijäkistys* [asiantuntijahaastattelu].
- Sika Finland. (2022). *Tuotetietoesite: Sikasil® SG-500* (Versio 07.01 (05 - 2022), fi_FI 012703130009001000). <https://fin.sika.com/content/dam/dms/fi01/u/sikasil-sg-500.pdf>
- Suomen rakennusinsinöörin liitto (RIL) & Korttesmaa, M. (2007). *Puurakenteiden jäykistytksen ja halkeilun hallinta: Suunnittelu- ja valmistusohjeet*. Suomen rakennusinsinöörin liitto.
- Suomen Standardisoimisliitto (SFS). (2005). *Eurocode 3. Teräsrakenteiden suunnittelu. Osa 1–1: Yleiset säännöt ja rakennuksia koskevat säännöt* (SFS-EN 1993-1-1).

LIITTEET

Liite 1. Liimapuupilari-palkkirakenteen lasijäykistysmenetelmän patenttihakemus.

Liite 2. Alumiinilatan ruuvien mitoitus.

Liite 3. Koekappaleiden rakenne ja mittatiedot.

Liite 1. Patentihakemus (Isomäki, 2022b).

(11) **EP 3 960 950 A1**(12) **EUROPEAN PATENT APPLICATION**(43) Date of publication:
02.03.2022 Bulletin 2022/09(51) International Patent Classification (IPC):
E04B 2/90 (2006.01) E06B 3/54 (2006.01)(21) Application number: **21194256.0**(52) Cooperative Patent Classification (CPC):
E04B 2/90; E06B 3/5427(22) Date of filing: **01.09.2021**

(84) Designated Contracting States:
AL AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC MK MT NL NO PL PT RO RS SE SI SK SM TR
Designated Extension States:
BA ME
Designated Validation States:
KH MA MD TN

(71) Applicant: **Oy Primapoli Ltd**
63640 Ritola (FI)(72) Inventor: **ISOMÄKI, Harri**
63920 Inha (FI)(74) Representative: **Kespat Oy**
Vasarakatu 1
40320 Jyväskylä (FI)(30) Priority: **01.09.2020 FI 20205851**(54) **WOODEN PILLAR-BEAM STRUCTURE EQUIPPED WITH GLASS ELEMENTS, AND METHOD FOR FORMING WOODEN PILLAR-BEAM STRUCTURE EQUIPPED WITH GLASS ELEMENTS**

(57) The invention relates to a wooden pillar-beam structure equipped with glass elements. The pillar-beam structure comprises essentially vertical wooden pillars (10) belonging to a load-bearing structure (13) of a building (29) as well as glass elements (11). In the pillar-beam structure, a glass element (11) is supported to a wooden pillar (10). The glass element (11) is attached by means of an adhesive connection (16). The invention also relates to a method for forming a wooden pillar-beam structure equipped with glass elements.

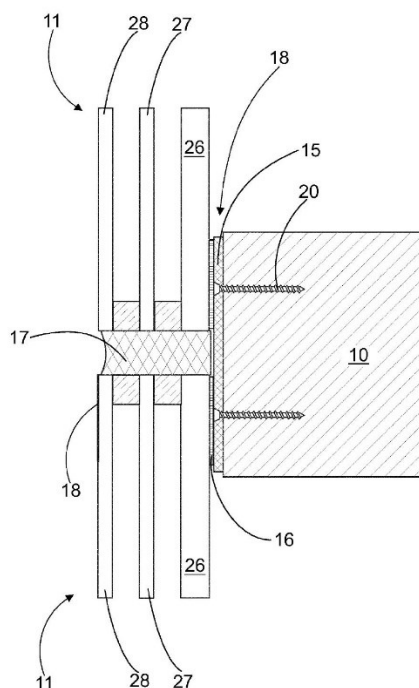


Fig. 2

EP 3 960 950 A1

Description

[0001] The invention relates to a wooden pillar-beam structure equipped with glass elements, which comprises essentially vertical wooden pillars belonging to a load-bearing structure of a building as well as glass elements, wherein a glass element is supported to a wooden pillar in the pillar-beam structure. The invention also relates to a method for forming a wooden pillar-beam structure equipped with glass elements.

[0002] A wooden pillar-beam structure is used as part of a building, in particular a log building or a building constructed with wooden beams, for example, in order to form a glass facade. A pillar-beam structure can also form part of a building or structure made of another material. Essentially vertical wooden pillars support a roof structure of the building and, when necessary, crossbeams are used. Glass elements are installed in the openings of the resulting lattice structure, whereby a bright yet thermally insulating wall is formed. A single glass element can be several square metres in size.

[0003] As the size and the number of glass elements increase, it becomes necessary to use steel beams, at least in part, in order to provide the lattice structure with an adequate stiffness. A steel beam is arranged, for instance, as a support column to which the lattice structure is attached. This entails higher costs while the basic idea of building with wood is at least partially watered down. It also becomes necessary to use a special attachment profile, which is first attached to a wooden pillar and to which the glass elements are attached by means of hooks. One such known structure comprising wooden pillars is disclosed in the publication WO2019/112450A1. Here too, a special profile, with which separate fasteners interlock, is attached to a wooden pillar. In practice, supporting glass elements by means of fasteners is local and insecure. Attachment profiles also require a supporting attachment abutment, which often leads to the use of steel beams instead of wooden pillars.

[0004] The object of the invention is to provide a novel wooden pillar-beam structure equipped with glass elements which is more robust than before and with which it is possible to realize a more extensive glazing than in the past in a pillar-beam structure without steel beams or other steel structures. The characteristic features of the pillar-beam structure according to the invention are indicated in the attached claim 1. A further object of the invention is to provide a novel method for manufacturing a wooden pillar-beam structure equipped with glass elements which is simpler than in the past and by means of which the resulting pillar-beam structure exhibits a greater stiffness than before. The characteristic features of the method according to the invention are indicated in the attached claim 12. In the pillar-beam structure according to the invention, the glass elements are attached in a new and surprising manner. Installation is simple and the pillar-beam structure can be rendered stiff and compact easily. Moreover, steel structures are not necessary

while cold bridges are simultaneously prevented. At least part of the pillar-beam structure can be prefabricated in factory conditions, which expedites installation and ensures a good quality. Moreover, the stiffness of the pillar-beam structure can be further increased without auxiliary structures remaining in view.

[0005] The invention is described in the following in detail with reference to the attached drawings showing embodiments of the invention, wherein

Figure 1 shows schematically a pillar-beam structure according to the invention,
 Figure 2 shows a cross-section of a pillar-beam structure according to the invention,
 Figure 3 shows a cross-section of a variant of a pillar-beam structure according to the invention during an instalment step,
 Figure 4a shows schematically a further embodiment of a pillar-beam structure according to the invention,
 Figure 4b shows an example pillar attachment,
 Figure 4c shows a further example pillar attachment,
 Figure 5a shows a step of attaching a pillar,
 Figure 5b shows a completed pillar attachment.

[0006] Figure 1 shows schematically the structure and formation of a wooden pillar-beam structure according to the invention. The invention relates more specifically to a wooden pillar-beam structure equipped with glass elements and a method for manufacturing the same. Generally speaking, a pillar-beam structure comprises essentially vertical wooden pillars 10 belonging to a load-bearing structure 13 of a building and glass elements 11. A glass element 11 is supported to a wooden pillar 10 in the pillar-beam structure. Wooden pillars can be used in timber and log buildings as well as in other buildings and structures. Figure 1 shows six wooden pillars 10 supported in a vertical position, which here form part of a load-bearing structure 13 supporting a roof 12. In other words, the wooden pillars bear vertical loads. The wooden pillars are preferably glulam pillars, although solid wood pillars can also be used. The wooden pillars can be supported by means of crossbeams 14, whereby a lattice structure is formed. Despite notches in the logs and various fasteners, the intersecting points in a wooden lattice structure are active joints. While the wooden pillars are able to withstand vertical loads, the lattice structure moves laterally due to the action of, for example, a wind load. A lateral load i.e. horizontal load in the direction of the wall is shown by the arrow F in Figures 1 and 4a. Attaching the glass elements is challenging due to deformations so that metal beams have been used in the past in order to provide the lattice structure with an adequate stiffness. Large glass surface areas are, however, part of contemporary building technology so that consumers want to have them. For instance, an entire face of a building can be glazed, as shown in Figures 1 and 4a. Loads nevertheless demand metal structures in the known art, which

can become considerable compared to wooden structures. Moreover, joining metal and wood together requires special solutions that increase costs as well as the amount of time necessary for the erection of the building.

[0007] Figure 2 shows a completed pillar-beam structure according to the invention in cross-section at the site of a wooden pillar 10. In the invention, the glass element is arranged as a stiffener by means of which the lattice structure formed from the wooden pillars and the crossbeams is rendered stiff without metal beams. More specifically, the glass element 11 is attached by adhesive bonding in order to stiffen the pillar-beam structure. This way, the adhesive receives, together with the glass element, the shear forces caused by a lateral load. In the structure according to the invention, stiffness is provided to the lattice structure by means of the adhesively bonded glass elements. The glass sheet adhesively bonded to the wooden pillars and possible crossbeams turns the structure into a plated structure that is stiff in the lateral direction.

[0008] In the embodiment of Figure 2, a metal strip 15 mechanically attached to the wooden pillar 10 is also used. A corresponding metal strip is also used, if necessary, for the crossbeams 14.

[0009] The adhesive bond between the glass and the metal is ensured by means of the metal strip. The attachment between the metal and the wood is similarly ensured by means of the mechanical fixation.

[0010] One advantageous adhesive is a reactive urethane adhesive, which works with both metal and glass. The open time of urethane adhesives can be adjusted. When it is hot-applied, the adhesive forms an initial bond while cooling before it reacts with moisture to reach its final strength. Urethane adhesives are highly resistant to temperature fluctuations and vibrations and do not release harmful organic compounds. The adhesive bond 16 is preferably a polyurethane adhesive. Another example of a suitable adhesive is a cold-applied polyurethane with the brand name *SikaTack*[®].

[0011] After installation, the space between the glass elements is filled, for example with an elastic mass 17. The elastic mass finishes the structure and prevents water and contaminants from entering between the glass elements. The edges of the glass element can have tinted or darkened areas 18 that cover the adhesive seams. In other words, the adhesive seams remain concealed when viewed from the outside. The darkened area additionally protects the adhesive layers from ultraviolet radiation. For example, the darkened area can be formed by screen printing or digital printing. The printed surface can also cover all or at least most of the area of the glass element. The transparency of the glass element can thus be customized at desired locations. At the same time, at least a part of the wooden pillars and crossbeams remains concealed, which enhances the sensation of a solid glass wall when viewed from the outside.

[0012] The glass element 11 is consequently attached

by means of an adhesive connection 16 in the invention.

The glass element thereby acts as a stiffener, which impedes a lateral movement of the lattice structure. In the shown embodiments, a counterpart 19 is attached to the wooden pillar 10 and the adhesive connection 16 is provided between the counterpart 19 and the glass element 11. The counterpart can be the aforementioned metal strip which is mechanically attached to the wooden pillar. This makes it possible to ensure the integrity of the adhesive connection when the surfaces are flat and the behaviour of the adhesive with different materials is known. In addition, a mechanical connection is provided between the wooden pillar 10 and the counterpart 19. The counterpart 19 is attached simply with wood screws 20. In the embodiment of Figure 2, the counterpart is a metal strip 15, which is preferably made of aluminium. Aluminium is a light and rustproof material that can be easily worked at a construction site. It is also possible to produce complex shapes where necessary by means of extrusion, although in most cases a flat strip of metal, preferably already perforated, is sufficient. This makes attachment easy and a sufficient number of screws should be available, as the perforations indicate the location and number of fasteners.

[0013] The metal strip can be readily attached to a smooth surface of a wooden pillar. The counterpart 19 can comprise designs for which the wooden pillar 10 comprises a matching groove 21 (Figure 3). Not only does the matching groove facilitate the attachment of the counterpart, the counterpart will also be in the right place thanks to the matching groove. The matching groove also accommodates a receiving point 22 belonging to the counterpart 19 for the installation support 23. The receiving point can be a nut attached to the counterpart or an internal Helicoil thread. While the glass elements are being attached by means of adhesive bonding, the installation supports 23 are temporarily attached by means of bolts 24, which are attached to nuts 25 in the counterpart 19. Once the adhesive connection has dried, the bolts and installation supports are removed and the gaps between the glass elements are filled with an elastic mass as shown in Figure 2.

[0014] In addition to the wooden pillars 10, the wooden pillar structure also includes horizontal crossbeams 14 to which the glass elements 11 are attached by means of an adhesive connection 16, analogously to the wooden pillars. Active joints are thereby eliminated from the lattice structure so that the final product is a stiff structure in which the glass elements act as stiffeners.

[0015] In the shown embodiments, a thermal glass element constituted by two or three glass sheets is used. More specifically, the glass element 11 comprises a plurality of glass sheets 26, 27 and 28 arranged in relation to one another, of which the glass sheet 26 to be employed in the adhesive connection is thicker than the others. The thickness of the glass sheet is thus determined by the dimensions of the structure, i.e. by the required stiffness and load-bearing capacity. The other glass

sheets can then be selected based on the required insulation. In the invention, the thicker glass sheet is 6 - 12 mm thick and the glass is tempered. Two thinner glass sheets can also be laminated into one thick glass sheet, the resulting glass element being then glued to the pillar-beam structure. On the other hand, a solid glass sheet of a sufficient thickness can also constitute a glass element, which is attached by means of adhesive bonding in accordance with the invention.

[0016] In the method according to the invention, glass elements 11 are supported to substantially vertical wooden pillars 10. In the invention, the glass elements 11 are supported to attachment by means of adhesive bonding. Adhesive bonding is a quick and easy way to attach glass elements. What is significant about the wooden pillars and glass elements, however, is the resulting stiff lattice structure, the lateral movement of which is negligible. The use of metal beams is simultaneously avoided, since the glass elements act as stiffeners. Moreover, the carbon footprint of a wooden structure over its life cycle is significantly lower than that of a metal lattice. A comparison of the climate impact of buildings in different countries has shown, for instance, that the carbon footprint of wooden buildings is well under half that of concrete buildings.

[0017] During bonding, more precisely during the hardening of the adhesive, the glass elements 11 are attached mechanically to the pillar-beam structure. Preferably, the described receiving points provided in the counterpart are used. This is shown in Figure 3. Once the adhesive has dried, the bolts 24 and the installation supports 23 are removed and the gaps between the glass elements are filled with an elastic mass 17.

[0018] A part of the pillar-beam structure can be prefabricated and subsequently attached to form part of the building 29. In this case, the part in question can be manufactured horizontally on a flat surface so that the dimensions and geometry of the final product are rendered precise. A running of the adhesive is simultaneously avoided and the adhesive dries indoors even in winter. Such a part is then transported to the construction site and joined to the building. Depending on the situation, the stiffened part is sufficient to stiffen the entire pillar-beam structure so that the remaining glass elements can be attached by a means other than bonding. The prefabricated part can be, for example, the size of the area designated by the dashed line in Figure 1. The part in question can still be transported together with other construction materials without special transport. Even if part of the structure is prefabricated, the rest of the glass elements can be attached by means of adhesive bonding at a construction site. Most of the glass elements, often all the glass elements, are supported in one way or another to a wooden pillar.

[0019] Figure 4a shows a variant of the pillar-beam structure according to the invention. In this case, more than half of the openings of the lattice structure are covered with glass elements 11. The glass elements are

practically joined to one another so that the facade appears to be a solid sheet of glass. The wooden pillars may be dimly visible through the glass elements (dashed lines). The structure otherwise corresponds to the embodiment of Figure 1, with the difference that one or more wooden pillars 10 are attached by means of a rotationally stiff attachment 30, which contributes to the bearing of lateral loads and thus significantly stiffens the lattice structure. In other words, a rotationally stiff attachment 30 is provided between one or more wooden pillars 10 and the foundation 31 of the building 29. The rotationally stiff wooden beam forms a support column, whereby metal beams are altogether avoided.

[0020] Figures 4b and 4c show two examples of an attachment of a wooden support column to a foundation 31 of a building 29, such as a cast or slab floor. The examples are essentially identical, as only the dimensioning is different. Figure 4b shows a 140*270 mm wooden pillar 10 in a plan view. In Figure 4c, the size of the wooden pillar 10 is 270*270 mm. The dimensions of the wooden pillars are thus identical as far as the attachment of the glass elements is concerned, merely the dimension of the wooden pillar towards the interior of the building increasing somewhat. The stiffness of the lattice structure can thereby be easily increased without modifying other dimensions. A steel base plate 32 is implemented here, wherein studs 33 welded to the latter are adhesively bonded to the bottom of the wooden pillar 10. Adhesive bonding can occur at a factory or at a construction site. Polyurethane adhesives are preferably used here as well. The foundation 31 accordingly has anchors arranged in a cast floor or threaded rods 34 soldered to bores. Anchors are cast in a concrete slab at a factory while threaded rods are soldered at the construction site. In practice, a sufficient number of holes are bored into the concrete slab at the site of installation of the support column and the threaded rods are soldered to these holes. The support column is then installed in an upright position so that the holes in the base plate are aligned with the threaded rods. Finally, nuts 35 are installed and tightened on the threaded rods, whereby the wooden pillar is attached at its bottom end with a moment connection so as to form a functional support column. It is alternatively possible to use a pillar shoe that can be attached to the foundation, to which the wooden pillar is attached by means of long longitudinal screws (not shown).

[0021] Figures 5a and 5b show an installation and attachment of a wooden pillar 10 with a moment connection. Threaded rods 34 are already soldered to the foundation 31 in this example. The base plate 32 has accordingly already been bonded to the wooden pillar at the factory. In Figure 5a, the wooden pillar 10 is lowered towards the threaded rods 34. In Figure 5b, the wooden pillar 10 is already attached in position with a moment connection.

[0022] By means of the stiffening provided by the glass elements, it is possible to replace diagonal stiffeners that would otherwise traverse one or more openings of the

lattice structure. The openings thus remain open so that the window area can be maximized while providing an unobstructed view. The stiffness of the lattice structure can be ensured by attaching one or more wooden pillars to the foundation by means of a moment connection. Alternatively, or additionally, it is possible to use one or more wooden pillars that do not belong to the lattice structure, which are attached to the foundation by means of a moment connection and which buttress the lattice structure. The lattice structure can thus be rendered slender or else be dimensioned so as to be lighter, as shear forces are borne by one or more support columns. In principle, the stiffness of the lattice structure is achieved by means of the bonded glass elements while the wooden pillars bear vertical loads. Other supports are used for particular reasons. For example, a support column also bears transverse loads of a wall.

[0023] The pillar-beam structure according to the invention is ideally suited for timber construction as well as in part for buildings made of other materials. A single glass element can be up to ten square metres in size. The main limiting factor is the mass of the glass element. A triple-glazed thermal glass element can weigh almost a hundred kilograms per square metre so that auxiliary tools are required for handling and installation. Once the adhesive has reached its final hardness, separate fasteners are not necessary. The final product is thus neat and tidy and devoid of protrusions or masking strips. The cross-sectional surface area of the wooden pillar can simultaneously be reduced, as movement is eliminated and in particular buckling is prevented. This permits the formation of slender structures with large openings.

Claims

1. Wooden pillar-beam structure equipped with glass elements, which comprises essentially vertical wooden pillars (10) belonging to a load-bearing structure (13) of a building (29) as well as glass elements (11), wherein a glass element (11) is supported to a wooden pillar (10) in the beam-pillar structure, **characterized in that** the glass element (11) is attached by means of an adhesive connection (16) in order to stiffen the pillar-beam structure.
2. Pillar-beam structure according to claim 1, **characterized in that** the adhesive connection (16) is provided between the glass element (11) and the wooden pillar (10).
3. Pillar-beam structure according to claim 1, **characterized in that** a counterpart (19) is attached to the wooden pillar (10) and the adhesive connection (16) is provided between the counterpart (19) and the glass element (11).
4. Pillar-beam structure according to claim 3, **characterized in that** a mechanical connection is provided between the wooden pillar (10) and the counterpart (19).

5. Pillar-beam structure according to claim 3 or 4, **characterized in that** the counterpart is a metal strip (15), which is preferably made of aluminium.

6. Pillar-beam structure according to any of claims 3 - 5, **characterized in that** the wooden beam (10) comprises a matching groove (21) for the counterpart (19).

7. Pillar-beam structure according to any of claims 3 - 6, **characterized in that** the counterpart (19) comprises a receiving point (22) for an installation support (23).

8. Pillar-beam structure according to any of claims 1 - 7, **characterized in that** a rotationally stiff attachment (30) is provided between one or more wooden pillars (10) and a foundation (31) of the building (29).

9. Pillar-beam structure according to any of claims 1 - 8, **characterized in that**, in addition to the wooden pillars (10), the pillar-beam structure further comprises horizontal crossbeams (14) to which the glass elements (11) are attached by means of an adhesive connection (16).

10. Pillar-beam structure according to claim 9, **characterized in that** a counterpart (19) is attached to the crossbeam (14) and an adhesive connection (16) is provided between the counterpart (19) and the glass element (11) while a mechanical connection is provided between the crossbeam (14) and the counterpart (19).

11. Pillar-beam structure according to any of claims 1 - 10, **characterized in that** the glass element (11) comprises a plurality of glass sheets (26, 27, 28) arranged in relation to one another, of which the glass sheet (26) to be employed in the adhesive connection (16) is thicker than the others.

12. Method for forming a wooden beam-pillar structure equipped with glass elements, in which method glass elements (11) are supported to essentially vertical wooden pillars (10) belonging to a load-bearing structure (13) of a building (29), **characterized in that** the glass elements (11) are supported to an attachment by means of adhesive bonding in order to stiffen the beam-pillar structure.

13. Method according to claim 12, **characterized in that** the glass elements (11) are mechanically attached to the pillar-beam structure during bonding.

14. Method according to claim 12 or 13, **characterized in that** a part of the pillar-beam structure is prefabricated and is attached to form part of the building (29).

5

15. Method according to claim 13, **characterized in that** the glass elements (11) are pre-attached to the prefabricated pillar-beam structure.

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

6

EP 3 960 950 A1

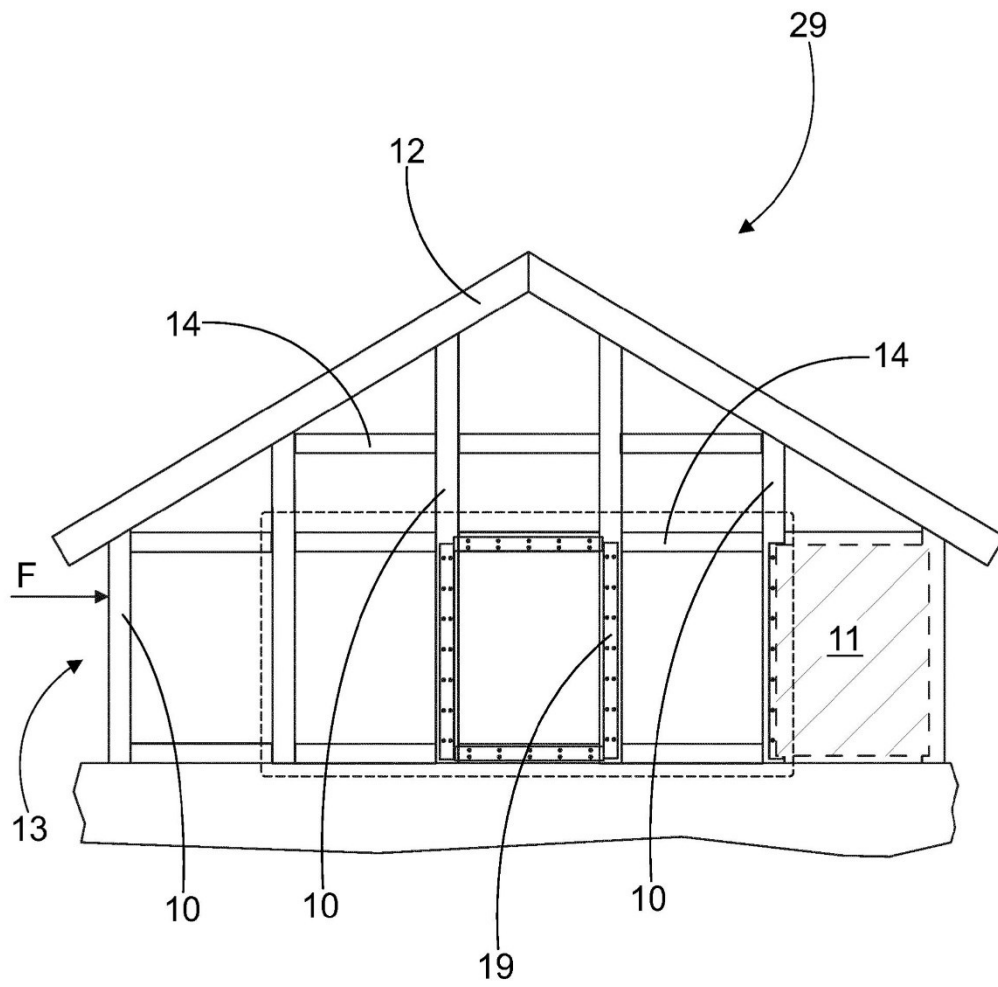


Fig. 1

EP 3 960 950 A1

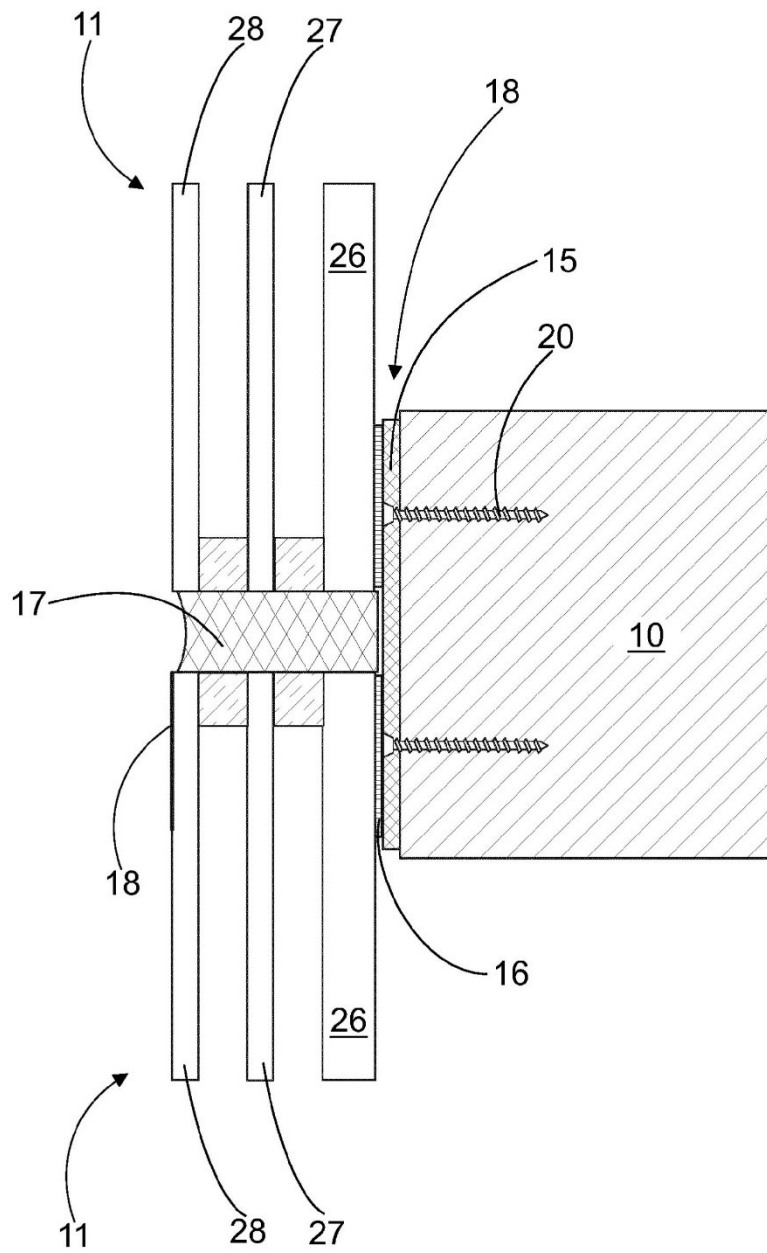


Fig. 2

EP 3 960 950 A1

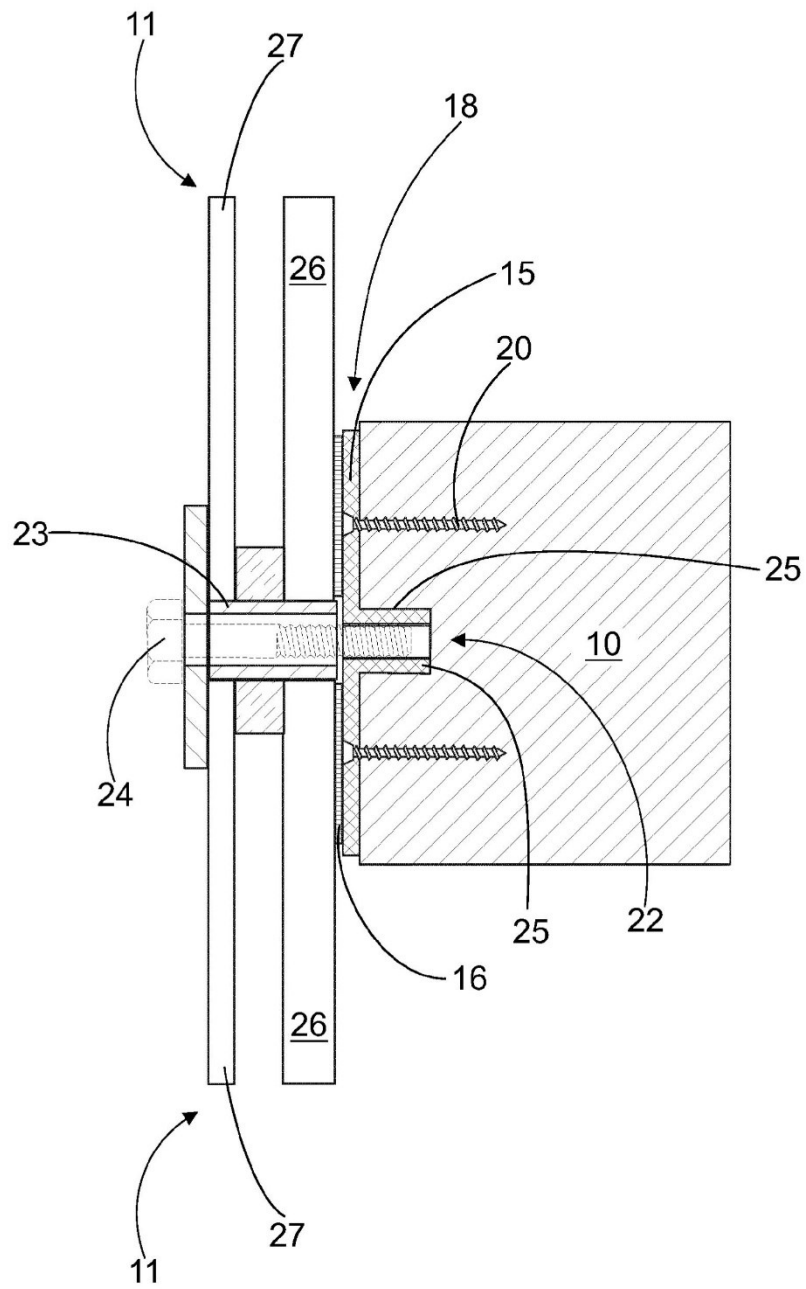


Fig. 3

EP 3 960 950 A1

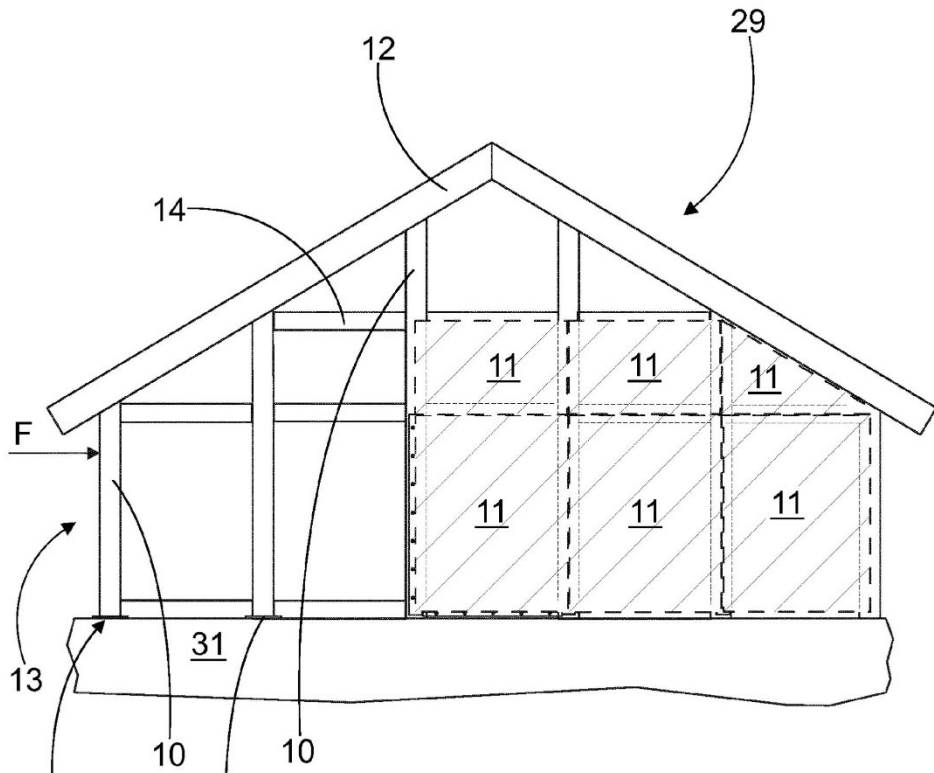


Fig. 4a

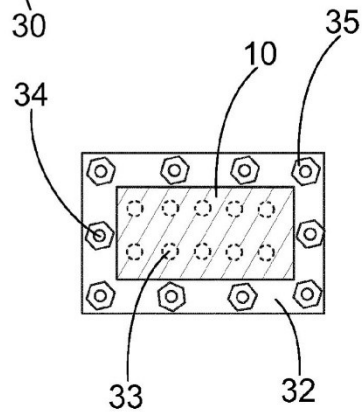


Fig. 4b

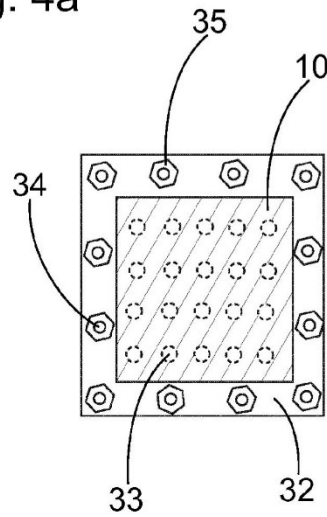


Fig. 4c

EP 3 960 950 A1

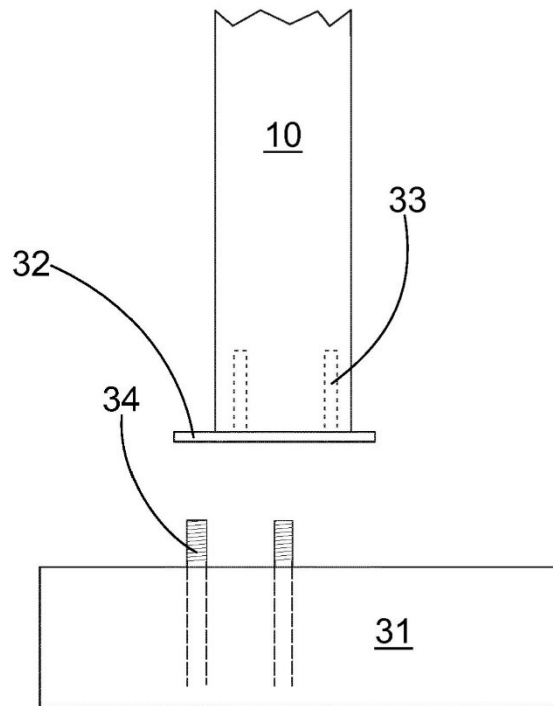


Fig. 5a

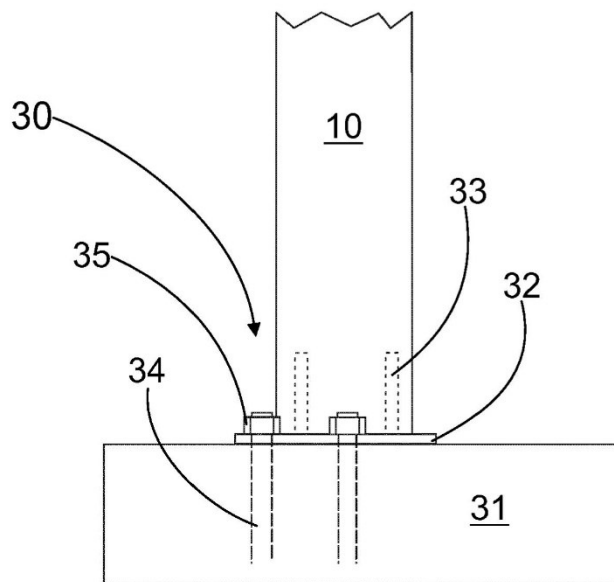


Fig. 5b

EP 3 960 950 A1



EUROPEAN SEARCH REPORT

Application Number
EP 21 19 4256

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT			
Category	Citation of document with indication, where appropriate, of relevant passages	Relevant to claim	CLASSIFICATION OF THE APPLICATION (IPC)
X	DE 20 2006 010480 U1 (OESTERREICHISCHE GES FUER HOLZ [AT]) 15 February 2007 (2007-02-15) * paragraphs [0004], [0043] - [0058]; figures 1-10 *	1-15	INV. E04B2/90 E06B3/54
			TECHNICAL FIELDS SEARCHED (IPC)
			E04B E06B
1 The present search report has been drawn up for all claims			
Place of search The Hague		Date of completion of the search 21 January 2022	Examiner Couprie, Brice
CATEGORY OF CITED DOCUMENTS		T : theory or principle underlying the invention E : earlier patent document, but published on, or after the filing date D : document cited in the application L : document cited for other reasons & : member of the same patent family, corresponding document	
X : particularly relevant if taken alone Y : particularly relevant if combined with another document of the same category A : technological background O : non-written disclosure P : intermediate document			

EPO FORM 1503 03.82 (P04-C01)

EP 3 960 950 A1

**ANNEX TO THE EUROPEAN SEARCH REPORT
ON EUROPEAN PATENT APPLICATION NO.**

EP 21 19 4256

5

This annex lists the patent family members relating to the patent documents cited in the above-mentioned European search report. The members are as contained in the European Patent Office EDP file on The European Patent Office is in no way liable for these particulars which are merely given for the purpose of information.

21-01-2022

10

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
DE 202006010480 U1	15-02-2007	AT 502470 A1	15-03-2007
		DE 202006010480 U1	15-02-2007

15

20

25

30

35

40

45

50

55

EPC FORM P0469

For more details about this annex : see Official Journal of the European Patent Office, No. 12/82

EP 3 960 950 A1**REFERENCES CITED IN THE DESCRIPTION**

This list of references cited by the applicant is for the reader's convenience only. It does not form part of the European patent document. Even though great care has been taken in compiling the references, errors or omissions cannot be excluded and the EPO disclaims all liability in this regard.

Patent documents cited in the description

- WO 2019112450 A1 [0003]

Liite 2. Alumiinilatan ruuvien mitoitus

Laselementti rakennuksen jäykistävänä elementtinä
Alumiiniprofilin kiinnitys liimapuurakenteeseen
Lähde: EN 1999-1-1:2007

28.1.2023 / JR

Alumiiniprofiili PL5x50, mekaaniset ominaisuudet EN 1999-1-1, taulukko 3.2b, EN-AW 6063 T6

$f_y := 160 \text{ MPa}$ $E_{al} := 70 \text{ GPa}$	$f_u := 195 \text{ MPa}$	alumiinin myötö- ja murtoraja alumiinin kimmokerroin
$t_{al} := 5 \text{ mm}$	$b_{al} := 60 \text{ mm}$	alumiiniprofilin paksuus ja leveys
$f_{ub} := 500 \text{ MPa}$	$d_i := 3.5 \text{ mm}$ $d_{eff} := 1.1 \cdot d_i = 3.85 \text{ mm}$ $A_{s,eff} := \pi \cdot \left(\frac{d_{eff}}{2}\right)^2 = 11.642 \text{ mm}^2$	yleisruuvit 5x60, ruostumaton teräs A4, vetolujuus ja ruuvien kierteisen osan sisähalkaisija, tehollinen halkaisija, tehollinen jännityspoikkipinta-ala
$d_0 := 5 \text{ mm}$	$kk_{ruuvi} := 50 \text{ mm}$	ruuville poratun reiän halkaisija ja kk-väli
	$F_{Ed} := 20 \text{ kN}$	vaakuorman mitoitusarvo
$\gamma_{M1} := 1.1$	$\gamma_{M2} := 1.25$	ainesosavarmuuskertoimet

Ruuvien leikkauskestävyys, EN 1993-1-3:2006

$k_{mod} := 1.1$	$\gamma_M := 1.25$	liitospuun aikavaikutuskerroin, liitospuun materiaaliosavarmuusluku
$\rho_k := 430 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$	$k_\rho := \sqrt{\frac{\rho_k}{350 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}}} = 1.108$	puutavaran ominaistiheys, liitospuun tiheysvaikutuskerroin
$k_s := 1.5$	$R_k = 120 \cdot d_{eff}^{1.7}$ $R_k := 1187 \text{ N}$	teräsvaikutuskerroin, ruuvien varren ominaisleikkauskestävyys
$F_{v1,Rd} := \frac{k_{mod}}{\gamma_M} \cdot k_\rho \cdot k_s \cdot R_k = 1736.7 \text{ N}$		ruuvien varren leikkauskestävyyden mitoitussarvo
$e_1 := 20 \text{ mm}$	$e_2 := 15 \text{ mm}$	
$\alpha_d := \frac{e_1}{3 \cdot d_0} = 1.333$	$\alpha_b := \min\left(\alpha_d, \frac{f_{ub}}{f_u}, 1\right) = 1$	
$k_1 := \min\left(2.8 \cdot \frac{e_2}{d_0}, 2.5\right) = 2.5$	$k_2 := 0.9$	
$F_{b,Rd} := \frac{k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d_i \cdot t_{al}}{\gamma_{M2}} = 6825 \text{ N}$		Ruuvien reunapuristuskestävyys, alumiiniprofilin suhteen

$$F_{v.Rd} := \min(F_{v1.Rd}, F_{b.Rd}) = 1736.7 \text{ N} \quad \text{Ruuvien leikkauskestävyyden mitoitusarvo}$$

Ruuvien määrä al-profiilissa kapeimman testielementin tapauksessa, profiilin kokonaispituus 1200 mm

$$L_{ruuvivälpituus} := 1050 \text{ mm} \quad n_{ruuvi} := \frac{L_{ruuvivälpituus}}{kk_{ruuvi}} + 1 = 22$$

Liitoksen leikkauskestävyys, olettaen leikkausvoiman jakautuvan tasaisesti kaikille ruuveille. Todellisuudessa al-profiilin päissä olevat ruuvit kantavat suuremman kuorman, leikkausvoiman jakautuminen riippuu myös lasilaatan ja al-profiilin välisen liimasauman kimmoisista ominaisuuksista.

$$F_{al.Rd} := n_{ruuvi} \cdot F_{v.Rd} = 38.21 \text{ kN}$$

Käyttöaste

$$\frac{F_{Ed}}{F_{al.Rd}} = 52\%$$

Ruuvien leikkauskestävyys on suurempi, kuin liitokseen kohdistuvan leikkauskuorman mitoitusarvo F_{Ed} .

Liite 3. Koekappaleiden rakenne ja mittatiedot (Kevarinmäki, 2023).

