



ELEMENTTIJAON SUUNNITTELU KORJAUSKOHTEESEEN LASER- KEILAUSAINEISTON AVULLA

Janne Luhtamäki

Opinnäytetyö
Toukokuu 2014
Rakennustekniikka
Talorakennustekniikka

TAMPEREEN AMMATTIKORKEAKOULU
Tampere University of Applied Sciences

TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Rakennustekniikan koulutusohjelma
Talonrakennustekniikan suuntautumisvaihtoehto

JANNE LUHTAMÄKI:

Elementtijakon suunnittelu korjauskohteeseen laserkeilausaineiston avulla

Opinnäytetyö 48 sivua, joista liitteitä 7 sivua
Toukokuu 2014

Tässä opinnäytetyössä suunniteltiin elementtijako kehitteillä olevalla tuotteelle korjauskohteeseen laserkeilausaineiston avulla sekä tutkittiin laserkeilaimen soveltuvuutta verhoukorkorjaukseen. Työ on osa neljän opiskelijan projektia, jossa kehitetään ja tutkitaan Tampereen Ammattikorkeakoulun opiskelijan Jukka-Pekka Katajan suunnittelemaa kevyt puuvuori -elementtiä. Kehitteillä oleva elementti on suunniteltu tämän hetken lähiökerrostalon korjaustarpeeseen. Kevyt puuvuori -elementti on kevyt, puuverhottu ja suoraan olemassa olevan julkisivun päälle asennettava elementti, joka on vaihtoehto korjauskohteen perinteiselle lämpörappaukselle.

Julkisivujen mittalaitteeksi valittiin laserkeilain, ja työssä käsiteltiin sen ominaisuuksia sekä sen tuottamaa aineistoa eli pistepilveä. Käsiteltävä aineisto työhön saatiin jyväsnyläläiseltä suunnittelutoimistolta Prosolve Oy:ltä. Työssä käsiteltiin vain yhtä kohdetta, koska aineiston saatavuus lähiökerrostalojen julkisivuista on hyvin rajallista. Tutkimuskohteessa käytiin tekemässä myös tarkemmittauksia paikan päällä käsikäyttöisillä mittalaitteilla. Pistepilven mittojen ja tarkemmittausten tuloksien vertailu osoittautui erittäin hyödylliseksi tutkimuksen kannalta, ja mittapoikkeamat jäivät suhteellisen pieniksi.

Elementtijakoa pistepilven päälle lähdettiin suunnittelemaan Autodeskin AutoCAD 2013 -suunnitteluohjelmalla. Ääriviivojen haun ja rautalankamallin kautta kohteeseen pystyttiin luomaan uusi moduulijako, jonka pohjalta kohteeseen suunniteltiin elementtijako. Kohteen julkisivuista tehtiin kuvat sekä paneeliverhouksella että ilman verhousta, jossa nähdään elementtien ristiinkoolaukset sekä lämmöneristeet.

Yhteenvedon voidaan todeta, että laserkeilaus on toimiva mittaustapa korjauskohteen julkisivujen mittauksessa. Julkisivuista saadaan tarkat mittatiedot, joiden pohjalta on hyvä lähteä suunnittelemaan elementtijakoa tai muita tarvittavia toimenpiteitä.

Asiasanat: elementtijako, kevyt puuvuori -elementti, , laserkeilain, pistepilvi

ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tampere University of Applied Sciences
Degree Programme in Civil Engineering
Building Construction

JANNE LUHTAMÄKI

The element division designing to a renovation project by using data from a laser scanner.

Bachelor's thesis 48 pages, appendices 7 pages
May 2014

In this thesis, the element division was designed for a renovation project by using data from a laser scanner. The laser scanner's suitability for the renovation of the facade was also studied. The project consisted of four students developing and studying a prefabricated light wooden surface element named "kevyt puuvuori-elementti" which was designed by a student from Tampere University of Applied Sciences; Jukka-Pekka Kataja. The product is developed for suburban apartment buildings for current environmental sustainability. The prefabricated unit is made up of a light weight, wooden surfaced facade element, which is installed straight on the surface of the old façade. This system has been created as an alternative option for traditional insulation plaster which is currently used in most of the renovation projects.

As part of the project, the features of the point cloud data which was produced by the laser scanner was studied as was the laser scanner itself. The point cloud data was obtained from the design office from Prosolve Ltd., Jyväskylä which deals with one object of study, because of the availability of laser scanned data from suburban apartment building, facades is very limited. The facades were measured by the laser scanner as well as some of the dimensions made on site with hand-held measuring devices. Through comparing point cloud dimensions versus on-site dimensions, the evaluation of the results between the two proved to be very useful in the study as dimensional tolerances were relatively minor.

Element division on the point cloud was designed with the Autodesk AutoCAD 2013 design software. With outline search and a wireframe model of the object made it was possible to design a new grid, which was the base for the new element division. For the facades, the images were made both with panel cladding and without, which can be seen as elements crossed frame and thermal insulation.

In summary, it can be stated that the laser scanner is an effective way of measuring the dimensions of the facades. You can get facades for exact dimensions, which is a solid foundation to start planning the element division or other appropriate measures.

Key words: light wooden core element, element division, laser scanner, point cloud

SISÄLLYS

1	TYÖN TAVOITTEET JA RAJAUS.....	6
2	JOHDANTO.....	7
3	KEVYT PUUVUORI -ELEMENTTI.....	9
	3.1 Tuotteen taustat.....	9
	3.2 Rakenne	10
	3.3 Kevyen verhouselementin hyödyt julkisivujen korjauksessa	12
	3.4 Toleranssit.....	13
	3.4.1 Mittauksessa.....	13
	3.4.2 Elementtien valmistuksessa	13
	3.4.3 Asennusvaiheessa.....	14
	3.5 Elementtien kiinnitys	15
	3.6 Paloturvallisuus.....	16
4	MITTAUS	18
	4.1 Mittausvaihtoehdot	18
	4.1.1 Takymetri	18
	4.1.2 Laserkeilain.....	18
	4.2 Laserkeilain tyypit	19
	4.3 Tutkimuskohteen mittauskalusto	20
	4.4 Laserkeilauksen edut.....	21
	4.5 Laserkeilauksen haasteet.....	21
	4.6 Laserkeilaus korjaushankkeen julkisivumittauksessa.....	22
	4.7 Laserkeilausprojektin vaiheet	22
5	TUTKIMUSKOHDE	24
	5.1 Tutkimuskohde	24
	5.2 Kohteen mittauksen suorittanut yritys	25
	5.3 Kohteen laserkeilaus	25
	5.4 Kohteen tarkemittaukset paikan päällä	25
	5.4.1 Mittausvälineet.....	26
6	MITTAUSTULOSTEN TARKASTELU	27
	6.1 Pistepilvi	27
	6.2 Pistepilven tarkastelu ja käsittely.....	28
	6.3 Pistepilven mittojen ja tarkemittausten vertailu.....	28
7	TULOSTEN MALLINTAMINEN	30
	7.1 Mallinnusohjelman esittely	30
	7.2 Pistepilven tuonti mallinnusohjelmaan ja rautalankamallin luonti.....	30
	7.3 Moduuliverkko.....	32
	7.4 Elementtijaon luonti.....	33
	7.5 Puuverhous.....	34
	7.6 Eri verhousvaihtoehdot	34
	7.7 Kevyt puuvuori -elementin toleranssit.....	35
8	YHTEENVETO	38
	LÄHTEET	40
	LIITTEET	42
	8.1 Liite 1. Päädyn elementtijako, panelointi	42
	8.2 Liite 2. Päädyn elementtijako, koolaus	43
	8.3 Liite 3. Piipullisen päädyn elementtijako, panelointi	44
	8.4 Liite 4. Piipullisen päädyn elementtijako, koolaus	45
	8.5 Liite 5. Pitkän sivun elementtijako, panelointi	46
	8.6 Liite 6. Pitkän sivun elementtijako, koolaus.....	47

8.7 Liite 7. Esimerkkielementin elementtikaavio, panelointi ja koolaus.....	48
---	----

1 TYÖN TAVOITTEET JA RAJAUS

Opinnäytetyön tavoitteena on suunnitella elementtijako korjausrakentamiseen tarkoitettulle kevyelle puuvuori-elementille esimerkkikohteeseen laserkeilainaineiston avulla. Työssä tutkitaan kehitteillä olevan tuotteen, kevyt puuvuori -elementin mittatarkkuuksia ja tehdään tuotteelle mittatoleranssitaulukko.

Työssä tehdään toimintamalli kohteen mittauksesta elementtien asennuksen alkuun asti eli malli siitä, kuinka toimitaan siihen saakka, kunnes elementtejä aletaan asentaa. Työn painopiste on karsitun ja yhdistetyn laserkeilausaineiston käsittely, toleranssien käsittely ja elementtijaon mallintaminen julkisivuun sekä laserkeilaimen soveltuvuuden tarkastelu verhoukoryjauksessa.

Tutkimuskohde ja mitattu laserkeilausaineisto opinnäytetyöhön saatiin jyvaskyläläiseltä suunnittelutoimistolta Prosolve Oy:ltä. Laserkeilausaineistoa kerrostalojen julkisivuista on saatavilla hyvin rajallisesti. Opinnäytetyöhön soveltuvia kohteita on laserkeilattu suhteellisen vähän ja kaikkien kohteiden aineistoja ei saatu luovuttaa ulkopuolisen käyttöön. Työssä keskitytään vain yhden tutkimuskohteen käsittelyyn.

2 JOHDANTO

Suomeen rakennettiin 1970-luvulla ja sen jälkeen paljon lähiöitä, joiden talot ovat rapautumassa ja korjauksen tarpeessa. Etenkin lähiötaloissa korroosio on aiheuttanut julkisivurakenteiden rapautumista ja useat julkisivut ovat päivityksen tarpeessa.

Lähiösaneerauksen yhteydessä puhutaan usein myös laadullisesta korjaustarpeesta. Lähiöitä halutaan elävöittää ja muuttaa ihmisläheisemmäksi, jotta niiden houkuttelevuus asumismuotona kasvaisi. Puu materiaalina sopii julkisivukorjauksiin hyvin sekä ulkonaöllisesti että teknis-taloudellisesti, joten edullisena ja arkkitehtonisesti monipuolisena ratkaisuna puuvuorielementti sopisi lähiömiljööseen hyvin. (Lahtela 2005)

Puukerrostalot ovat hiljalleen nouseva trendi Suomessa ja puu materiaalina on suomalaisille luonnollinen valinta sen suuren määrän ja helpon saatavuuden vuoksi. Tarkoituksena on tehdä betonirunkoisista lähiökerrostaloista puuvuorisia ja välttää vanhan rapautuneen julkisivun kunnostus. Puupanelointi on monipuolinen, kevyt verhous ja se mahdollistaa useita erilaisia arkkitehtonisia suunnitteluratkaisuja. Julkisivuverhouksen materiaali on haluttaessa vaihdettavissa esimerkiksi kevyeen julkisivulevyyn.

Julkisivun mittausmenetelmäksi valittiin laserkeilausmittaus. Laserkeilaus on suhteellisen uusi, mutta yleistymässä oleva mittausmenetelmä rakennusalalla ja etenkin rakennusten tietomallinnuksessa. Laserkeilauksella pystytään keräämään tietoa ympäröivästä maailmasta tarkasti ja nopeasti koskematta kohteeseen. Mittalaitteen nollapisteestä lähtevän lasersäteen avulla mitataan kohteen etäisyys sekä lähtökulmat vaaka- ja pystysuunnassa mittalaitteesta. Laserkeilain tuottaa ympäristöstään kolmiulotteisen pistepilven, jossa jokaisella pisteellä on oma koordinaattinsa ja intensiteettiä arvonsa. Halutusta kohteesta saadaan mittatarkkoja pisteitä halutulla tiheydellä.

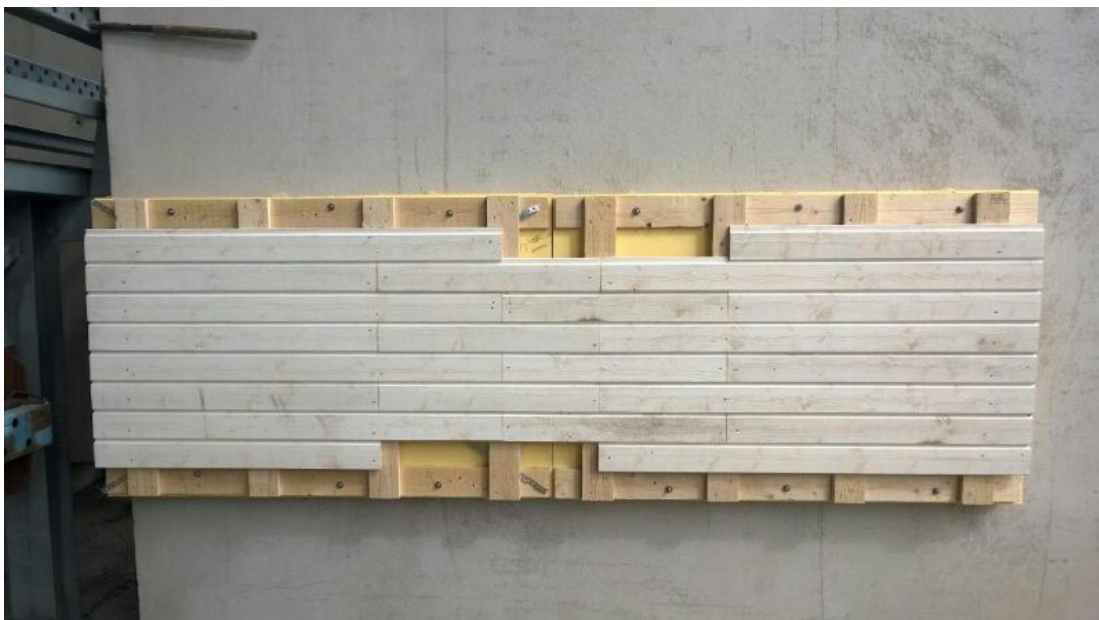
Laserkeilausmittauksen hyödyntäminen korjausrakentamisessa on käytännöllistä etenkin, jos kohteesta tarvitaan tarkkoja mittoja. Vanhat rakennukset ja niiden rakenteet eivät usein ole täysin suoria ja ne eivät välttämättä täsmää piirustusten kanssa. Vanhojen rakennusten piirustukset voivat olla usein epäselviä, kadoksissa tai uusia kuvia ei ole tehty mahdollisten muutostöiden yhteydessä. Tällöin laserkeilain on parhaimmillaan mitattaessa kohdetta ulkoa- ja/tai sisältäpäin. Julkisivujen korjauksessa elementtitekni-

kalla on tärkeä tietää julkisivujen aukkojen paikat, erilaiset kulmat ja mahdolliset epäta-saisuudet. Tarkoilla mittatiedoilla voidaan valmistaa mittatarkkoja elementtejä, joissa ikkuna- ja oviaukot ovat oikeilla kohdilla. Mittojen avulla luodaan elementtijako ole-massa olevan julkisivun päälle ja nähdään elementtien sijoittuvuus julkisivuun.

3 KEVYT PUUVUORI -ELEMENTTI

3.1 Tuotteen taustat

Kevyt puuvuori -elementti on Tampereen ammattikorkeakoulussa talonrakennustekniikkaa opiskelevan Jukka-Pekka Katajan kehitteillä oleva tuote. Idea tuotteesta kehittyi Katajalle hiljalleen opintojen ohella eri kurssien käsittelemien asioiden pohjalta. Lähiötalojen julkisivujen korjaamisen tarve on suuri ja kasvaa edelleen, ja Kataja halusi kehittää tuotteen juuri tämän hetken tarpeeseen. Ammattikorkeakoulun rakennusfyysiikan sovellusten kurssilla tuli idea rakentamisesta jo olemassa olevan julkisivun päälle, sillä näin vanhat rakenteet pysyvät kuivina ja suuria purkutöitä ei tarvitse tehdä.



KUVA 1. Kaksi kevyt puuvuori -elementtiä kiinnitettynä betonielementtiin (Kataja 2014)

Kuvassa 1 on esitetty kevyt puuvuori -elementti kiinnitettynä betonielementtiin kiinnikkeiden koekuormitusta varten Parma Oy:n tehtaalla.

Idea elementtitekniikasta oli jo alusta lähtien. Esivalmistetut elementit vähentävät työmaa-aikaa ja aiheuttavat vähemmän haittaa asukkaille. Elementit ovat kevyitä ja helppoja asentaa pienen ajoneuvonosturin ja henkilönostimen avulla, joten asennustyössä ei

myöskään tarvita kalliita erikoistyöntekijöitä, kuten julkisivun rappaustöissä. (Kataja 2014)

3.2 Rakenne

Kevyt puuvuori -elementti on rungoton puuvuorinen kevytelementti. Elementissä ei siis ole varsinaista kantavaa rakennetta vaan elementti jäykistetään vaaka-, sekä pystykoolauksella ja koolauksien väliin asennettavalla peltisellä vinojäykistysvanteella. Lisäksi osittain valmiiksi asennettu panelointi jäykistää rakennetta entisestään (kuva 2). Villat kiinnitetään sisältäpäin vaaka- tai pystykoolaukseen riippuen paneloinnin suunnasta ruuvilla ja tarpeeksi suurella eristekiinnikkeellä. Ruuvi ei saa lävistää villaa kiristettäessä, jotta villa pysyy riittävän tiukasti kiinni. Kiinnitys on kuitenkin kiinnitettävä riittävän tiukalle, jotta ruuvin kanta ei jää kantamaan julkisivun päälle ja aiheuta elementin ja vanhan ulkokuoren väliin ilmarakoa. Kovan villan päälle liimataan vielä 15–30 mm pehmeä villa, joka painuu julkisivua vasten ja poistaa mahdolliset ilmarat tehokkaammin.



KUVA 2. Kevyt puuvuori -elementti. Kiinnikkeiden koekuormitus.(Kataja 2014)

Kuvassa nähdään koe-elementin rakenne edestäpäin. Betonikuorta vasten on pehmeä mineraalivilla, jonka päällä on kova mineraalivilla. Villan päällä on ristiinkoolaus, jonka välissä kulkee peltinen vinojäykistysvanne ristiin. Koolauksen päällä vaakaneloiti.

Elementtien koot vaihtelevat kohteen mukaan. Elementtejä ei tarvitse valmistaa vanhan moduulijaon mukaan eikä vanhoja elementtejä tarvitse mukaila. Myös vanhojen ulko-kuorien lämpöliikkeit vähenevät uuden eristekerroksen alla. Elementtejä voidaan valmistaa aina pienistä kappaleista suuriin. Tarkoituksena on kuitenkin käyttää mahdollisimman paljon suurelementtejä kuljetuksen sallimissa rajoissa.



KUVA 3. Kevyt puuvuori -elementti. Rakennekuva, pystyleikkaus vaakapaneloinnilla.

Kuvan mukaisen elementin kokonaispaksuus on n. 180 mm. Mineraalivillan määrää voi tarvittaessa vähentää tai lisätä.

3.3 Kevyen verhouselementin hyödyt julkisivujen korjauksessa

Kehitteillä oleva korjausmenetelmä vähentää rakennusaikaa työmaalla huomattavasti. Suurin työ tehdään elementtitehtaalla, jossa elementit valmistetaan alusta loppuun ja valmiiksi asennettaviksi. Esivalmistusasteen nostamisen tarkoituksena on myös parantaa rakennustyön tuottavuutta ja laatua. (Kilpeläinen, Kivimäki & Ukonmaanaho 2001) Rakennusaikaa lyhentää myös elementin asentaminen suoraan olemassa olevan julkisivun päälle. Suuria purkutöitä, kuten ulkokuoren poistamista, ei tarvitse tehdä. Purkutöitä ovat muun muassa ikkunapeltien poistaminen ja rakennuksesta ulkonevien laitteiden, kuten valaisimien, poistaminen. Ikkunoiden vaihtaminen voidaan tehdä samanaikaisesti elementtiasennuksen kanssa, jos se on kohteessa tarpeellista.

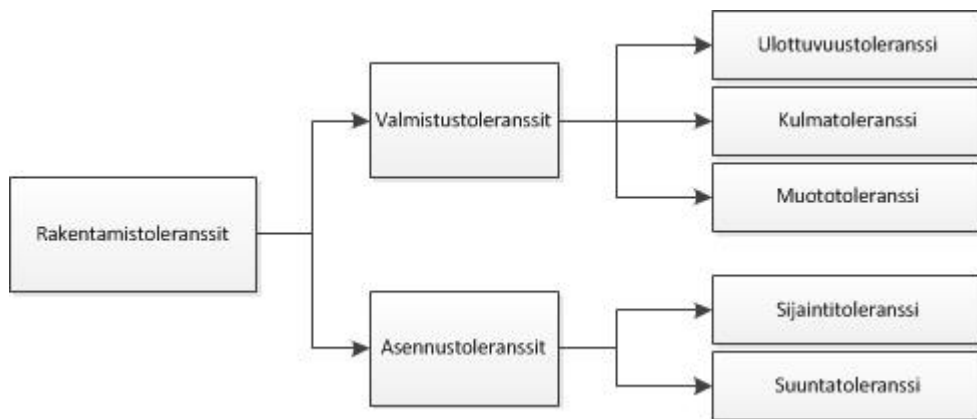
Rakennusajan lyhentyminen ja vähäiset purkutöitä aiheuttavat selkeästi vähemmän häiriötekijöitä asukkaille ja ympäröiville rakennuksille saneerauksen aikana. Elementtimenetelmä ei myöskään vaadi korjauskohteen huputtamista, mikä edistää asukkaiden viihtyvyyttä, laskee kustannuksia eikä lämpötila pääse nousemaan korkeaksi erityisesti, jos korjaus tehdään kesäaikaan.

Olemassa olevan julkisivun päälle asennettava elementti toimii rakennuksen lisälämmöneristyskerroksena. 100 mm kova mineraalivillalevy ja ohut pehmeä villakerros antaa jo suuren lisän rakennuksen lämmöneristävyyteen ja vähentää rakennuksen kokonaisenergian kulutusta.

Kevyt puuvuori -elementti antaa useita erilaisia vaihtoehtoja kohteen julkisivujen arkkitehtuurin päivittämiseen. Elementin julkisivuvaihtoehdot ovat joustavia. Paneloinnissa väri vaihtoehtot ovat rajattomat ja myös paneloinnin suuntaa on haluttaessa mahdollista vaihtaa pysty- tai vaakaneloinnista aina jopa eri kulmiin. Elementin materiaalit ovat vakiokokoista puutavaraa ja mineraalivillaa, joten materiaalit ovat edullisia ja helposti saatavilla. Julkisivun materiaalin on myös kokonaan vaihdettavissa vaihtoehtoisiin ratkaisuihin, kuten kevyihin julkisivulevyihin.

3.4 Toleranssit

Elementtien asentaminen jo olemassa olevan julkisivun päälle on haasteellista ovi- ja ikkuna-aukkojen sekä erilaisten kulmien osalta. Myös vanhojen rakenteiden suoruus ja epätasaisuus vaikuttaa toleransseihin. Rakentamistoleranssit muodostuvat pääosin kuvion 1 mukaan.



Kuvio 1. Rakentamistoleranssien muodostuminen (Betonikeskus ry 2011)

Kuvio on Betonikeskus ry:n *Betonielementtien toleranssit* -teoksesta, mutta samat lainalaisuudet pätevät myös kevyt puuvuori -elementille.

3.4.1 Mittauksessa

Tutkimuskohteen mittalaitteena käytetyssä *Faro Focus 3D* -laserkeilaimessa mittaustoleranssit ovat hyvin pienet. Valmistajan antamien tietojen mukaan mittaustarkkuus on pienempi kuin 2 mm 25 metrin etäisyydellä, (Geostar) joten mahdolliset mittauksessa tulevat virheet tapahtuvat luultavimmin laserkeilaimen antamien tulosten käsittelyn aikana.

3.4.2 Elementtien valmistuksessa

Kevyt puuvuori -elementti on rakenteeltaan joustava, koska varsinaista kantavaa runkoa ei ole. Nurkkalaudat, smyygilaudat ja elementtien saumapellit tai saumalaudat tuovat rakenteeseen joustavuutta ja lisäävät mittatoleransseja. Elementtien valmistustoleranssit

puuelementeissä on yleisesti +- 5 mm. Ikkuna- ja oviaukot tehdään oletetusti 20 mm suuremmiksi, jotta aukot osuvat paikoilleen ja asennusvaraa jää. (Parviainen 2014) Aukkojen viimeistelylaudat, listat ja smyygilaudat asennetaan paikan päällä sopivuuden varmistamiseksi.

TAULUKKO 1. Ulkoseinäelementtien valmistustarkkuudet (Kilpeläinen, Kivimäki & Ukonmaanaho 2001)

Ulottuvuus ja sijainti	Suurin sallittu poikkeama [mm]
leveys (=10 m)	+5
	-5
korkeus	+3
	-3
paksuus	+4
	-4

Taulukko 1 on *Avoim puurakennusjärjestelmä. Elementtirakenteet* Ulkoseinäelementtien valmistustarkkuudet –taulukko (2001). Kevyt puuvuori -elementin valmistuksessa voidaan soveltaa samoja toleranssiarvoja leveyden ja korkeuden osalta.

Olemassa olevan julkisivun pintaa vasten tulevaa pehmeää mineraalivillaa voidaan tarvittaessa asentaa epätasaisesti, mikäli vanha elementti on selkeästi kaareva. Tällaisessa tapauksessa esimerkiksi uuden elementin päätyihin voidaan laittaa paksumpi kerros pehmeää villaa, jotta elementti ei jää kantamaan keskeltä, jos vanha elementti on keskeltä ulospäin kaareva. Näin ollen elementtien päätyjen väliin ei myöskään jää ilmarakoa.

3.4.3 Asennusvaiheessa

Asennusvaiheessa suurimmat tarkkuustekijät ovat elementin sijainti ja suunta. Alla olevassa taulukossa on seinäelementille osoitettuja asennustarkkuuksia.

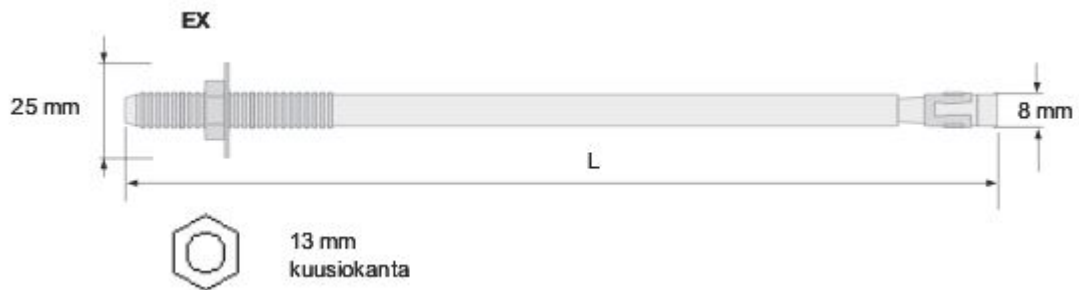
TAULUKKO 2. Seinäelementtien asennustarkkuudet sekä ala-, väli- ja yläpohjaelementtien asennustarkkuudet. (Kilpeläinen ym. 2001, 20)

Seinäelementtien asennustarkkuudet	
<i>Ulottuvuudet ja sijainti</i>	<i>Suurin sallittu poikkeama [mm]</i>
<i>Seinän sivusijainti perussuorasta</i>	+5 -5
<i>Vapaa väli (vastakkaiset seinät)</i>	+5 -5
<i>Seinän poikkeama pystysuorasta</i>	+3 -3
<i>Sauman leveys, poikkeama nimellimitasta</i>	+3 -3
<i>Ulkosauman hammastus, puuverhous</i>	3
<i>Elementtien yläreunan hammastus</i>	3
Ala-, väli-, ja yläpohjaelementtien asennustarkkuudet	
<i>Ulottuvuudet ja sijainti</i>	<i>Suurin sallittu poikkeama [mm]</i>
<i>Elementin sivusijainti perussuorasta</i>	+5 -5
<i>Sauman hammastus elementin yläpinnassa</i>	3

Taulukon 2 mukaisia asennustarkkuuksia voidaan suurilta osin soveltaa kevyt puuvuori-elementin asennuksessa. *Avoin puurakennusjärjestelmä. Elementtirakenteet* (2001) teoksessa käsitellään kuitenkin vain uudisrakentamisessa käytettäviä elementtejä, joten arvoja ei välttämättä voida suoraan hyödyntää korjauskohteen verhoukorkorjauksessa. Korjausrakentamisessa elementtien asennus on hyvin kohdekohtaista. Korjauskohteet ovat useimmiten vanhoja rakennuksia, joiden mitat ovat epätarkkoja ja rakenteet voivat olla epäsuoria. Luvussa 7.8 on määritelty omat toleranssiarvot kevyt puuvuori-elementille.

3.5 Elementtien kiinnitys

Elementti kiinnitetään valmistajan ohjeiden mukaan ankkurointikiinnikkeellä vaaka- tai pystykoolauksesta vanhaan julkisivukuoreen. Kiinnitykseen käytetään syvyysuunnassa säädettävää julkisivuankkuria (kuva 4). Säädettävällä kiinnitysankkurilla pystytään säätämään ja hallitsemaan mineraalivillan painumista julkisivua vasten. Säädettävyys helpottaa myös viereen tai yläpuolelle tulevan elementin yhdistymistä viereiseen elementtiin.



KUVA 4. EX –julkisivuankkuri (Kiinnikekolmio)

Kuvan julkisivuankkuri on laajeneva kiinnike, jossa laajeneminen aikaansaadaan kiristämällä ankkuria. Rungon alapäässä oleva osa puristuu näin ollen esiporatun reiän seinämää vasten. (Kiinnikekolmio)

Kiinnitysjärjestelmän suunnittelu on kehitysvaiheessa ja sen tarkempaa teknistä tarkastelua ei käsitellä tässä opinnäytetyössä.

3.6 Paloturvallisuus

Suomen rakentamismääräyskokoelman osassa E1 *Rakennusten paloturvallisuus, Määräykset ja ohjeet 2011* annetaan kaksi tapaa, joilla rakennusten paloturvallisuutta koskevien vaatimusten täyttäminen voidaan osoittaa. Menetelmät ovat taulukkomitoitusmenetelmä, jossa rakennus suunnitellaan ja rakennetaan noudattaen E1 määräysten ja ohjeiden paloluokkia ja lukuarvoja. Toinen menetelmä on toiminnallinen palomitoitusmenetelmä, jossa rakennus suunnitellaan ja rakennetaan perustuen oletettuun palonkehitykseen, joka kattaa kyseisessä rakennuksessa todennäköisesti esiintyvät tilanteet. Vaatimuksen täytyminen todennetaan tapauskohtaisesti ottaen huomioon rakennuksen ominaisuudet ja käyttö. (Jantunen 2011)

Puujulkisivuinen P1-paloluokan asuinkerrostalo vaatii taulukkomitoitusmenetelmän mukaan automaattisen vesisammutusjärjestelmän, joten tässä tapauksessa sovelletaan toiminnallista palomitoitusmenetelmää ja osoitetaan julkisivun palotekninen toimivuus sen mukaan. Koska tarkoituksena on tehdä puuverhousjulkisivu korjauskohteeseen, on automaattisen vesisammutusjärjestelmän rakentaminen kohteeseen kallista ja haastavaa.

Paloturvallisuuden suunnittelu on kehitysvaiheessa kiinnitysjärjestelmän tavoin. Näin ollen tässä työssä ei perehdytä tarkemmin paloturvallisuuden tekniseen tarkasteluun tai toiminnalliseen palomitoitusmenetelmään.

4 MITTAUS

4.1 Mittausvaihtoehdot

Julkisivun mittaukseen parhaiten soveltuvia mittavälineitä ovat takymetri ja laserkeilain. Opinnäytetyössä tutkitaan yleistymässä olevan laserkeilaimen ominaisuuksia ja soveltuvuutta verhoukorkorjaukseen. Mittausvälineissä keskitytään lähinnä laserkeilaimen toimintaperiaatteisiin, tyyppeihin ja ominaisuuksiin.

4.1.1 Takymetri

Takymetri on maanmittauksessa ja rakennusmittauksessa käytettävä mittalaite, joka mittaa säteittäisesti eli polaaraisesti matkan ja kulmien avulla pisteiden sijainteja toisiinsa nähden. Takymetri toimii säteittäisessä koordinaatistossa, mutta pisteet saadaan suorakulmaiseen koordinaatistoon käsittelyohjelmien avulla. Perinteisessä takymetrimittauksessa mittaussäde palautetaan takaisin heijastimen eli prisman avulla. Julkisivujen mittauksessa tämä on hyvin hankalaa, koska korkealla sijaitseviin pisteisiin on vaikea päästä käsiksi. Julkisivujen mittauksessa käytetäänkin useimmiten prismatonta takymetrimittauksista. Prismattomassa takymetrimittauksessa mittaussäde osoitetaan suoraan mitattavaan pintaan, josta se palautuu kohtisuorasti takaisin takymetriin. Prismaton takymetri soveltuu hyvin julkisivun mittaukseen, mutta jokainen haluttu piste joudutaan mittaamaan erikseen ja manuaalisesti. Tämä vie aikaa, mutta kohteesta saadaan juuri ne halutut pisteet, joita suunnittelija haluaa ja tarvitsee. (Lappalainen 2009; Wikipedia)

4.1.2 Laserkeilain

Laserkeilain on mittalaite, jolla pystytään mittaamaan suuri määrä mittatarkkoja pisteitä kohteesta ja ympäröivästä maailmasta koskematta siihen. Mittausperiaate muistuttaa prismatonta takymetrimittauksista. Mittalaitteen nollapisteestä lähtevä lasersäde osuu mitattavaan kohteeseen, minkä avulla mitataan kohteen etäisyys laitteesta. Laserkeilainten yleisimmät mittaustavat ovat valon kulku-aikaan perustuva mittaus (pulssilaser) ja vaiheero -mittaus (jatkuva-aaltainen laser). Valon kulku-aikaan perustuva mittaus on saman

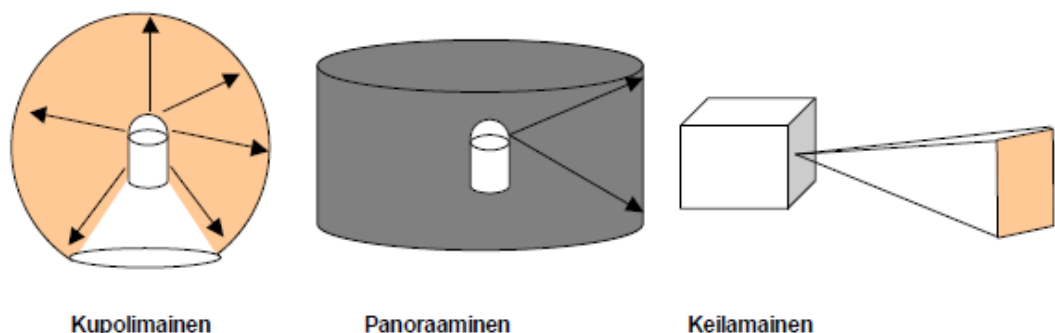
tyyppinen kuin prismattomassa takymetrimittauksessa, jossa mittaus perustuu keilaimesta lähtevän laserpulssin kulku-aikaan. Vaihe-eroon perustuvassa eli jatkuva-aaltoisessa mittauksessa kohteen matka mitataan lähetetyn ja vastaanotetun säteilyn vaihe-eron kautta. Laserkeilaimella saadaan kohteesta kolmiulotteinen pistepilvi, jossa jokaisella pisteellä on oma koordinaattinsa ja intensiteetti-arvo paluusihtaalnin voimakkuuden pohjalta. (Joala 2006; Kari 2011)

4.2 Laserkeilain tyypit

Laserkeilaimet voidaan jakaa käyttötarkoituksensa perusteella kolmeen luokkaan:

- 1.) Ilmalaserkeilaimet, eli kaukokartoitus laserkeilaimet, joita käytetään lentokoneista, avaruusaluksista tai helikoptereista. Mittausetäisyys näillä laitteilla 0.1 km–100 km ja mittaustarkkuus > 10 cm.
- 2.) maalaserkeilaimiin eli terestiaalisiin laserkeilaimiin, joiden mittausetäisyys on 1–300 m ja mittaustarkkuus alle 2 cm.
- 3.) Lähilaserkeilaimiin, joista käytetään myös nimitystä teollisuuslaserkeilain, joilla mittausetäisyys on alle 30 m ja mittatarkkuus alle millimetrin. (Joala 2006, 1; Hyypä, Ahlavuo, & Kukko 2009, 19.)

Tässä opinnäytetyössä keskitytään maalaserkeilainten käsittelyyn ja ominaisuuksiin. Maalaserkeilaimet voidaan jakaa vielä neljään eri tyyppiin mittaustavan mukaan, joista kolme yleisintä kuvassa 5.



KUVA 5. Maalaserkeilaimien tyyppejä. (Joala, 2006, 2)

Suurin osa nykyajan keilaimista on kupolimaisesti mittaavia, kuten tässä opinnäytetyösäkin käytettävä laserkeilain. Kupolimaisella keilaimella mittaamatta jää vain pieni alue

koneen alapuolelta, koska laitteen kiinteä runko on tiellä. Panoraamisesti mittaavissa laitteissa keilain ei pysty mittaamaan ylöspäin. Keilamaisella mittauksella mitataan vain tietty pieni alue, mikä sopii erityisesti yksityiskohtien mittaamiseen.

4.3 Tutkimuskohteen mittauskalusto

Tutkimuskohteen mittauksessa käytettiin Faro Laser Scanner Focus 3D -laserkeilainta (kuva 6.)



KUVA 6. Faro Laser Scanner Focus 3D -laserkeilain (Geostar)

Laitteen teknisiä tietoja (Geostar):

- | | |
|-------------------|--------------------------------------|
| - paino | 5 kg |
| - mittausperiaate | vaihe-eromittaus |
| - mittausetäisyys | 0,6 m–120 m |
| - mittautyyppi | kupolimainen, vaaka 360°, pysty 320° |
| - mittautarkkuus | 25 metrissä +/- 2 mm |
| - keilausnopeus | 976 000 pistettä/sekunti |
| - kamera | integroitu 70 megapikselin kamera |

4.4 Laserkeilauksen edut

Laserkeilauksen etuina vastaaviin mittausten menetelmiin, kuten takymetrimittaukseen, on nopeus, tarkkuus, merkittävästi suurempi pistetiheys ja aineiston monikäyttöisyys. Pro-solve Oy:n projektipäällikkö pitää laserkeilauksen merkittävimpänä etuna korjauskoh-teen mittauksessa, että sillä saadaan oikein käytettynä paikkaansa pitävät ja luotettavat lähtötiedot. Toisin kuin takymetrimittauksessa, laserkeilausmittauksessa kohde pysty-tään mittaamaan nopeasti olematta siihen kontaktissa. Tämä lisää laserkeilaimen sovel-tuvuutta mitata vaikeasti lähestyttäviä ja geometrisesti monimutkaisia kohteita. Kohteen mittaaminen etäältä parantaa myös turvallisuutta, koska esimerkiksi henkilönostimia tai telineitä ei tarvita mittaustuloksen saamiseen. (Joala 2006; Hyyppä & Hyyppä 2007)

Laajan mittaussaineiston ansiosta laserkeilausaineiston avulla voidaan luoda laajoja ja yksityiskohtaisia kaksi- tai kolmiulotteisia malleja. Tästä syystä laserkeilausmittaus on nopeasti kasvava menetelmä erityisesti suosiotaan nostavassa rakennusten tietomallin-nuksessa.

4.5 Laserkeilauksen haasteet

Koska laserkeilaus on suhteellisen uusi ja nopeasti kehittyvä mittausten menetelmä, ei sen hyödyntäminen suunnittelussa ole vielä kovin yleistä. Hyödyntämisen tietotaito on vielä monilta osin puutteellista, ja kaikkia mahdollisuuksia ei osata vielä hyödyntää tehok-kaasti. Alalle tulee koko ajan uusia osajia ja aineiston hyödyntämistä kehitetään jatku-vasti, jotta siitä saadaan entistä helpompaa, nopeampaa sekä tehokkaampaa niin ajalli-sesti kuin kustannusmielessä.

Merkittävänä haasteena voidaan pitää laajojen aineistojen käsiteltävyyttä. Eri merkkisil-lä laitteilla on usein omat pistepilven käsittelyyn kehitetyt ohjelmistot ja haasteena on se, kuinka näillä tuotetut mallit tai mittatiedot saadaan järkevästi arkkitehdin tai raken-nesuunnittelijan käyttöön hankkeen lähtötietoina. Laserkeilaus ja aineiston käsittely ja mallinnus kuuluu useimmiten saman yrityksen toimenkuvaan, joten yhteistyö suunnitte-lijoiden kanssa on erityisen tärkeää. Jos tämä yhteistyö ei toimi sujuvasti, voi suunnitte-

lutyössä ilmetä ongelmia, jos mallissa tai mittatiedoissa on epäoleellista tietoa. (Ala-Hiiri 2014)

Laserkeilaus on vielä melko kallis mittaustapa, kun mittaukseen laskee myös aineiston käsittelyn ammattilaisen toimesta. Tilaajan tulee miettiä, mitä aineistoa kohteesta tarvitaan. Pienemmissä mittauksissa takymetri on usein halvempi mittausvaihtoehto. Mikäli kohteesta kuitenkin tarvitaan paljon mittatarkkoja tietoja ja yksityiskohtia tai, jos kohteesta halutaan luoda 3D-malli, on laserkeilaus luultavimmin halvempi ja järkevin ratkaisu. Ennakkoluulot uutta tekniikkaa ja sen hintaa kohtaa on kuitenkin suuremmat kuin mitä sen todellinen hyöty ja hinta ovat. (Siitonen 2014)

4.6 Laserkeilaus korjaushankkeen julkisivumittauksessa

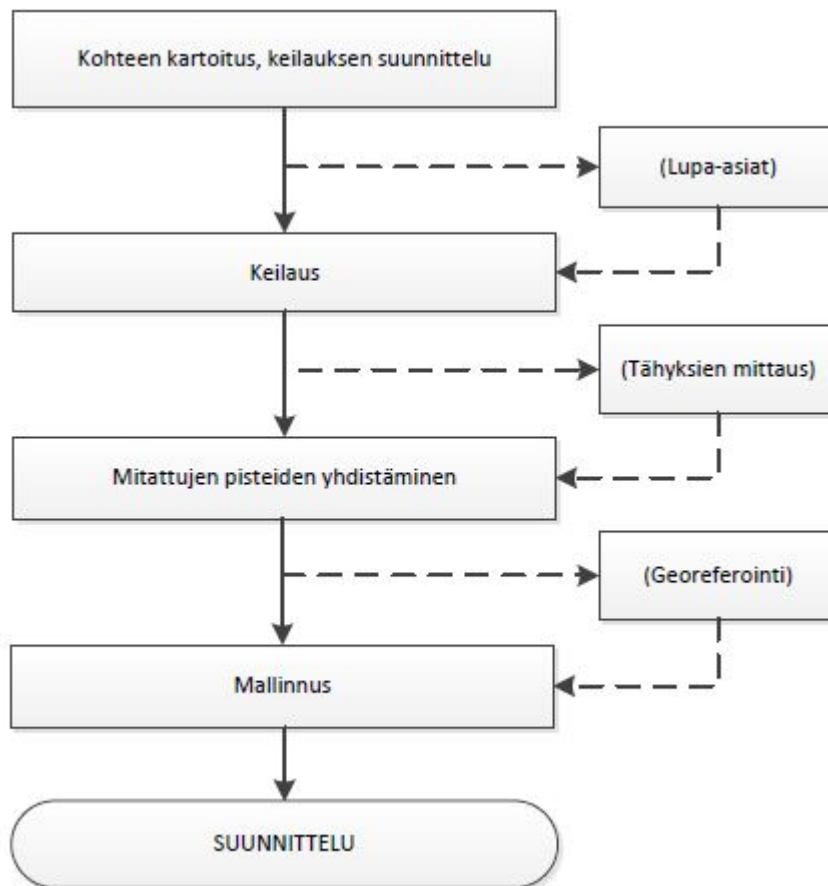
Riihimäen Peltosaarella toteutettiin vuonna 2011 betonisandwich-elementtirakenteisen kerrostalon julkisivukorjaus. Saneerauksessa vuonna 1975 rakennetun talon sisäkuoren päälle asennettiin puurunkoiset suurelementit, joiden eristysmäärä vastaa passiivitalon tasoa. Passiivisaneeraus on osa Innova-hanketta, jossa haetaan uusia ratkaisuja 1960–70-luvun lähiötalojen korjaamiseksi passiivitasoon esivalmistetuin elementein. Saneeraus ja elementtien mitoitus perustuu rakennuksen ulkopuoliseen laserkeilaukseen. Näin tehtiin, koska hankkeen alussa havaittiin, ettei arkistokuvista saa riittävästi tietoja, joiden pohjalta saneeraukseen voisi ryhtyä. (Korhonen 2011)

Kohteen laserkeilauksen ja aineiston alkukäsittelyn teki Suomen Mallinnusmittaus Oy. Yritys teki laserkeilausaineistosta yksinkertaisen mallin suunnittelun pohjaksi arkkitehtitoimisto Kimmo Lylykangas Oy:lle. Viivamalliin oli merkitty vanhojen elementtien paikat, aukot, parvekelinjat ja rakennuksen ääriviivat. Lopputuloksena lähes kaikki elementeistä ja elementtien aukoista osuivat oikeille paikoilleen. (Ala-Hiiri 2014; Kiuru, 2014)

4.7 Laserkeilausprojektin vaiheet

Laserkeilausprojektin alussa mittauksen tekijän ja kohteen suunnittelijoiden yhteistyö on tärkeää, jotta saadaan haluttu mittausaineisto suunnittelua varten. Suunnittelutyön

helpottamiseksi suunnittelijan tulee tietää, minkälaista aineistoa he tarvitsevat ja minkälaisessa muodossa. (Kiuru 2014) Tilaajan kanssa pitää sopia valmiin mallin tarkkuustaso, yksityisyyskohtaisuustaso ja mallin siirtoformaattit. Alla olevassa kaaviossa kuvataan tyypillisen laserkeilausprojektin vaiheet.



KUVIO 2. (Lahtinen 2014; Joala 2006)

Kuviossa 2 peruskulku on osoitettu vasemmalla. Oikealla olevat vaiheet ovat mahdollisia kohteesta riippuen. Lupa-asioilla tarkoitetaan esimerkiksi taloyhtiön lupaa keilata rakennusta tai yrityksen lupaa kulkea teollisuuskohteen alueella ja keilata tarvittavia kohteita. Tähyksien mittaus tehdään useimmiten takymetrin avulla, jotta saadaan pisteilvi sidottua haluttuun koordinaatistoon. Georeferointi tarkoittaa pisteilven yhdistämistä esimerkiksi kaupungin koordinaatistoon.

5 TUTKIMUSKOHDE

5.1 Tutkimuskohde

Tutkimuskohteeksi valikoitui Prosolve Oy:n alkuperäinen mittauskohde As Oy Jyväskylän Puistotori 2. Kohde on Jyväskylässä sijaitseva vuonna 1971 rakennettu asuinkerrostalo. Talo on paikalla rakennettu 6-kerroksinen, tiiliverhottu betonirunkoinen kerrostalo. Talon toinen pitkä sivu on kokonaisuudessaan asuntojen parvekkeita. Talon toinen pitkä sivu (kuva 7) on tiiliverhottu, jossa on perinteinen ikkunajako, tuuletusparvekkeet, alakerrassa autotallit ja talon sisäänkäynti. Talon päädyt ovat umpinaisia, jossa on pienet ikkunat. Talossa on loiva harjakatto.



KUVA 7. Tutkimuskohde. Sisäänkäynnin puoleinen julkisivu.

Tutkimuskohteen käsittelyssä keskitytään talon päätyihin ja tuuletusparvekkeelliseen pitkään sivuun. Parvekkeelliseen pitkään sivuun ei ole mahdollista asentaa kevyt puuvuori -elementtiä, joten se jätetään työssä huomioimatta.

5.2 Kohteen mittauksen suorittanut yritys

Opinnäytetyön kanssa yhteistyössä toimi Jyväskyläläinen suunnittelutoimisto Prosolve Oy. Yritys lähti mukaan työhön tarjoamalla tutkimuskohteen aineiston ja antamalla apu- ja puhelinkeskustelujen avulla. Prosolve Oy on vuonna 2004 perustettu yritys ja toimitusjohtajana toimii tällä hetkellä Janne Salmela. Yritys tarjoaa konesuunnittelu-, 3D-skannaus- sekä kiinteistöpalveluita. Visuaalisuus on tärkeässä roolissa yrityksen toiminnassa ja 3D-tekniikkaa pyritään hyödyntämään paljon yrityksen toiminnassa.

5.3 Kohteen laserkeilaus

Kohde laserkeilattiin Prosolve Oy:n toimesta heidän omalla laitteellaan. Aluksi kohteesta tehtiin alkukartoitus pohjapiirustusten avulla. Piirustuksista katsottiin alustavat mittauspaikat sekä arvioitiin kohteen keilaukseen kuluva aika. Kohteesta keilattiin myös kaikki sisätilat, joten ennen mittausta asukkaita tiedotettiin tulevasta toimenpiteestä. Ennen varsinaista keilausta kohteeseen asetettiin tähykset, eli kohdistuspisteet, joilla eri mittaukset voidaan yhdistää myöhemmin. Nämä pisteet ovat mustavalkoisia, seinään kiinnitettäviä tarroja ja Faron omia pallomaisia tähyksiä. Tähysten jälkeen kohde keilattiin sekä sisä-, että ulkopuolelta. Kokonaisuudessaan keilaukseen kului kaksi työpäivää, joista julkisivujen keilaukseen kului vain noin 2–3 tuntia. Faron laitteella, asetuksista riippuen yhteen mittaukseen kuluu aikaa noin 5–10 minuuttia. (Siitonen 2014)

5.4 Kohteen tarkemittaukset paikan päällä

Tutkimuskohteessa käytiin tekemässä tarkemittauksia paikan päällä 8.5.2014. Kohteen kolmesta sivusta otettiin mittoja käsikäyttöisillä mittalaitteilla. Kohde mitattiin maasta käsin, joten mittaukset ovat 0–2.0 metrin korkeudelta. Kohteesta mitattiin muun muassa julkisivujen pituudet leveysuunnassa ja kahden erikokoisten ikkuna-aukkojen mitat sekä muita pienempiä mittauksia. Mittaustulokset ja vertailu pistepilvestä saatuihin mittoihin ovat kappaleessa 6.3.

5.4.1 Mittausvälineet

Mittausvälineinä käytettiin 5 metrin perinteistä rullamittaa, 30 metrin rullattavaa mittanauhaa sekä kuvassa 8 olevaa *Leica Disto D3* -etäisyysmittaria.



KUVA 8. Leica Disto D3 -etäisyysmittari (CIS)

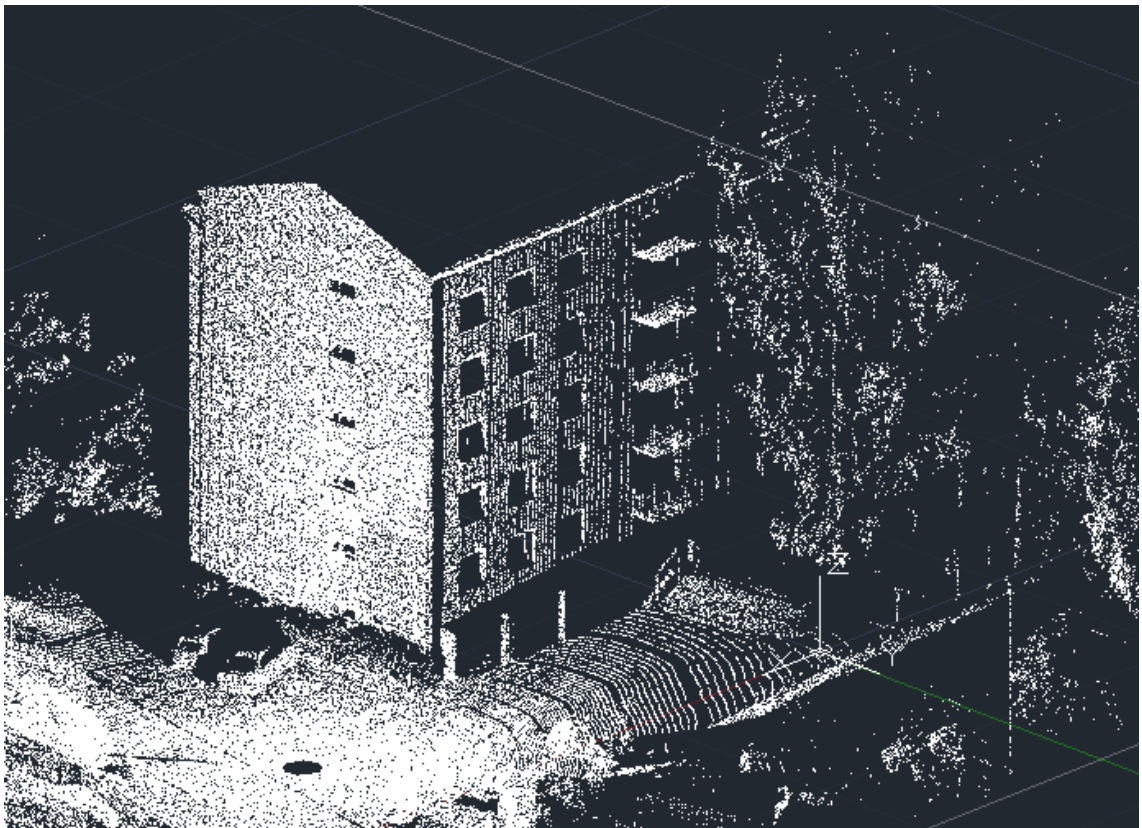
Suurin osa mitoista, kuten päätyjen leveydet ja aukkojen mitat pystyttiin mittaamaan Leican etäisyysmittarilla. Mittauksessa laserilla osoitetaan kohteeseen, jolloin laite mittaa matkan laitteen perästä kohteeseen. Mittaukseen tarvittiin kaksi tekijää, joista toinen osoitti laserilla ja toinen piti vastakappaletta kohdassa, johon mitta haluttiin. Näin tehtiin esimerkiksi päädyn leveyttä mitattaessa kulmasta kulmaan. Pitkän sivun pituusmitta jouduttiin mittaamaan 30 metrin mittanauhalla, koska julkisivussa oli tiellä olevia objekteja, jotka estivät laserin suoran yhteyden. Mittaus jouduttiin suorittamaan noin 1.5 metrin korkeudella maaston epätasaisuuden vuoksi. Pitkällä matkalla mittanauhan suoraksi saaminen on haastavaa ja mittanauhassa havaittiin pientä roikkumista, joten tulosta ei voida pitää täysin luotettavana.

6 MITTAUSTULOSTEN TARKASTELU

6.1 Pistepilvi

Laserkeilausmittauksesta saatua aineistoa kutsutaan pistepilveksi. Se koostuu lukuisista, jopa miljoonista tai yli miljardista pisteestä nykylaitteilla mitattuna. Kaikilla mitatuilla pisteillä on koordinaatti ja intensiteetti-arvo ja kaikki nämä pisteet ovat olemassa olevia ja käsiteltävissä olevia pisteitä.

Mitattu aineisto rekisteröidään, yhdistetään ja asetetaan tarvittaessa haluttuun koordinaattijärjestelmään. Aineistosta poistetaan usein niin sanotut turhat pisteet varsinkin, jos mittaus on tehty ulkona, kuten esimerkiksi julkisivun mittaus. Laserkeilain pyörii kokonaan akselinsa ympäri ja antaa pisteet koko ympäristölle, joten mukaan tulee kasvusto ja kaikki muut mahdolliset ympärillä olevat objektit. Turhien pisteiden poistamisella aineistosta saadaan pienempi ja kevyempi käsiteltävä. Alla olevassa kuvassa on yhdestä asemapistestä saatu pistepilvi tuotuna AutoCAD 2013 -ohjelmaan



KUVA 9. Pistepilvi tutkimuskohteen julkisivusta. (Prosolve Oy 2014)

Kuvassa 9 laitteen asemakohta erottuu kuvasta mustana pisteenä kuvan vasemmassa alareunassa. Pistepilveä ei ole rajattu, joten ympärillä näkyy muun muassa puita ja autoja.

6.2 Pistepilven tarkastelu ja käsittely

Käsittelemättömien pistepilvien käsittelyohjelmien puute ja kallis hankintahinta rajoittivat työtä pistepilven käsittelyn osalta. Aineistoksi saatiin jo valmiiksi käsitelty aineisto Prosolve oy:ltä. Aineiston käsittelyyn on käytetty laserkeilainvalmistajan omaa *Faro Scene* –käsittelyohjelmaa. Saatu aineisto oli rekisteröity ja yhdistetty, mikä tarkoittaa eri mittausasemien sitomista samaan avaruuteen. Näin kaikki pistepilvet saadaan haluttaessa samaan kuvaan oikeille paikoilleen oikeassa asennossa. Mittatarkkuus on Faron ilmoittama +/- 2 mm 25 metrin päässä, mutta ulkona mitattaessa olosuhteet ja eri materiaalit vaikuttavat hieman tarkkuuteen, joten tarkkuus on pienempi kuin +/- 5 mm. (Siitonen 2014)

Tässä työssä käytettyä aineistoa oltiin rekisteröinnin ja yhdistämisen lisäksi ainoastaan rajattu ja harvennettu. Rajauksella tarkoitetaan ylimääräisen alueen poistamista aineistosta, kuten keilaimen takana olevan hyödyttömän alueen poistamista. Harvennuksella pistepilveä harvennetaan hieman, jotta tiedostokokoa saadaan pienemmäksi ja helpommaksi käsiteltäväksi.

6.3 Pistepilven mittojen ja tarkemittausten vertailu

Pistepilvestä tehtiin viivamalli, johon piirrettiin myös rakennuksen uusi moduuliverkko. Mallin etäisyydet mitattiin pistepilven päälle tehdystä viivamallista ennen paikan päällä tehtyjä tarkemittauksia, jotta vertailu olisi mahdollisimman relevantti. Mittauksissa tulee ottaa huomioon eri mittauskohdat. Etenkin tiiliverhous on epätasainen ja mittapoikkeamaa voi tulla eri kohdasta mitattuna useita, jopa kymmeniä millimetrejä. Taulukossa 3 on esitetty mittauksissa saatuja tuloksia ja niiden mittapoikkeamat.

TAULUKKO 3. Pistepilven mittojen ja tarkemittausten vertailu.

Tien puoleinen pääty	Pistepilvi	Tarkemittaus	Mittapoikkeama	Huomioitavaa
Päädyn leveys	12 302 mm	12 312 mm	10 mm	
Ikkuna-aukon mitat	1438 x 650 mm	1427 x 630 mm	11 - 20 mm	
Piipullinen pääty				
Piipun kyljestä sivulle	9500 mm	9503 mm	3 mm	
Piipun kyljestä toiselle sivulle	1639 mm	1658 mm	19 mm	
Pitkä sivu				
Pituus	23 363 mm	23350 mm*	13 mm	*nauhamitta
Ikkuna-aukon mitat	1550 x 1530 mm	1535 x 1525 mm	5-15 mm	
Parvekelinjan leveys	2560 mm	2550 mm	< 10 mm	

Tuloksista havaitaan, että mittapoikkeamat ovat välillä 3-20 mm. Tuloksia voidaan pitää varsin hyvinä ja riittävän mittatarkkoina, jotta elementtijako voidaan suunnitella pistepilven päälle.

7 TULOSTEN MALLINTAMINEN

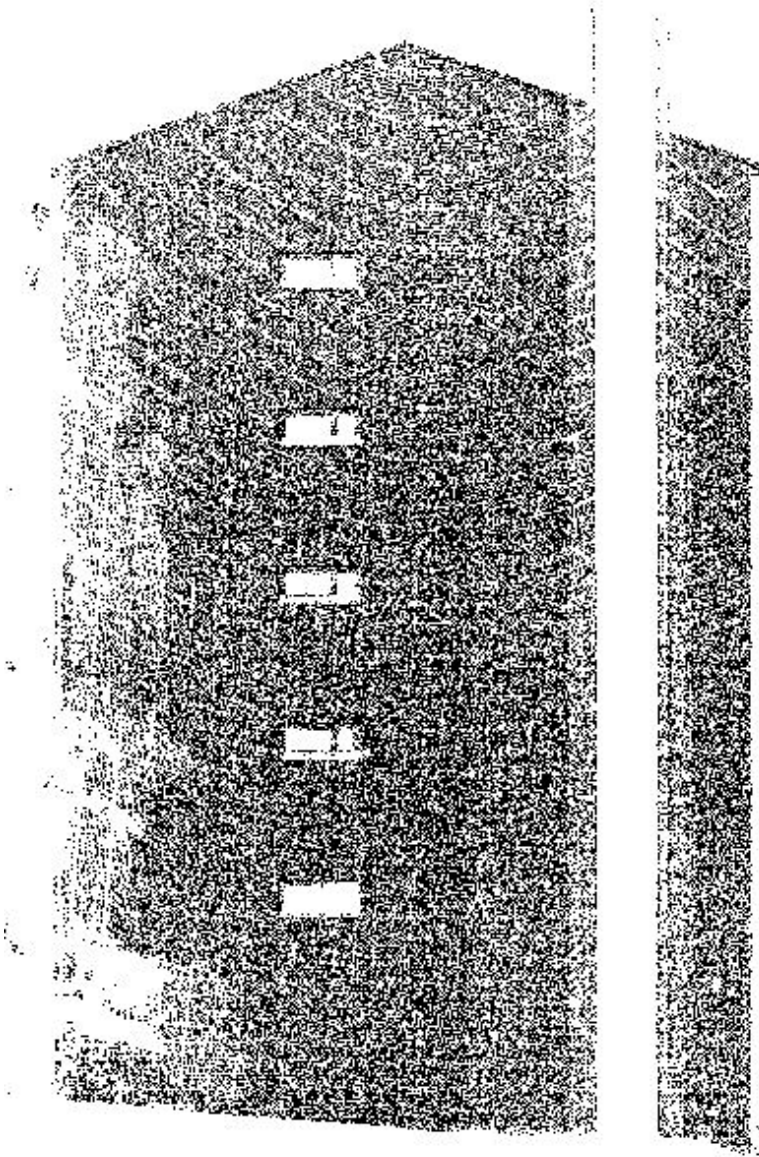
7.1 Mallinnusohjelman esittely

Tässä työssä aineiston käsittelyyn ja elementtijaon mallintamiseen käytetään *Autodeskin AutoCAD 2013* -ohjelmaa. Ohjelma valikoitui sen saatavuuden vuoksi, mutta aineiston jatkokäsittely ei ole sovellussidonnaista ja aineiston käsittelyyn on olemassa useita erilaisia käsittelyohjelmia.

AutoCAD 2013 on vektorigrafiikkaohjelma, jonka tiedonkäsittely perustuu graafisiin objekteihin, kuten viivoihin ja kaariin. AutoCAD on parhaimmillaan viivapiirtoon perustuvassa 2D- tai 3D-suunnittelussa. Ohjelmaan on saatavissa useita eri lisäosia ja laajennussovelluksia, jotka tekevät AutoCAD:sta erittäin monipuolisen yleissuunnitteluohjelman. Ohjelmaa käytetään useilla eri aloilla niin arkkitehtitehti- rakenne- kuin kone-suunnittelussa. (Autodesk)

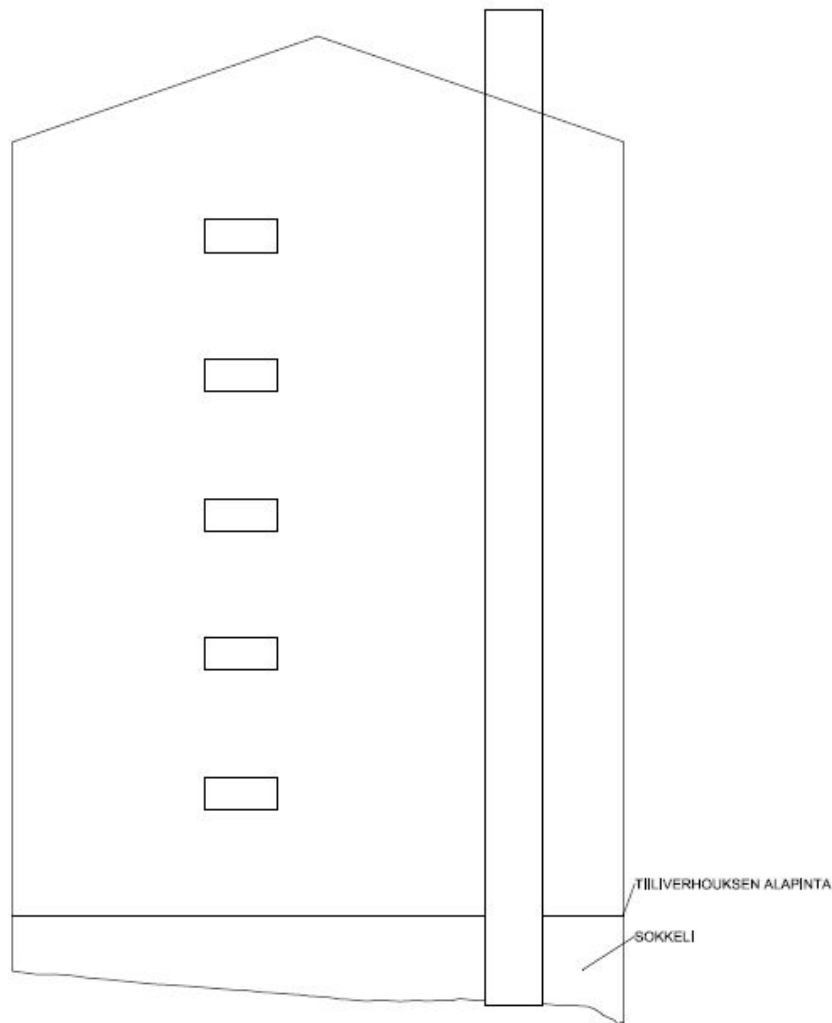
7.2 Pistepilven tuonti mallinnusohjelmaan ja rautalankamallin luonti

Pistepilvet saatiin Prosolve Oy:ltä point cloud file eli pcg-tiedostoina. Tiedostot tuodaan AutoCAD 2013 ohjelmaan Point cloud -työkalulla. Pistepilvet skaalataan oikeaan mittaan ja asetetaan origoon. Origoon asetettaessa kaikki asemat saadaan tarvittaessa samaan kuvaan, jolloin asemat ja pisteet kohtaavat oikein, jos aineisto on yhdistetty. Pisteet muodostavat kolmiulotteisen pistepilven, mutta luodessa rautalankamallia julkisivuista asetetaan kukin julkisivu kaksiulotteiseen näkymään, mikä helpottaa työskentelyä. Vaikkakin pistepilvet oli asetettu origoon, niitä joutui hieman kääntämään, että seinälinjat saatiin suoraan. Työn aikana havaittiin, että viivojen piirto suoraan on huomattavasti nopeampaa ja tarkempaa kuin hieman vinon pistepilven myötäily viivoilla. Point cloud -valikon rajaustyökalulla saadaan ylimääräinen ja ei haluttu aineisto rajattua pois selkeyden vuoksi.



KUVA 10. Piipullisen päädyn pistepilvi kohtisuorassa näkymässä.

Kaksiulotteisessa kuvassa voi olla yhdistettynä useampi asemakohta, kuten kuvassa 10 on yhdistettynä kaksi asemakohtaa. Näin saadaan julkisivun kaikki tarvittavat nurkat ja aukot mahdollisimman selvästi näkyviin, kun kohde on mitattu eri kulmista. Kuvan vasemmassa reunassa näkyy rakennuksen vieressä olevan puun aiheuttamia pisteettömiä katvealueita, mutta rakennuksen reuna on kuitenkin riittävän selkeästi nähtävissä. Kun pistepilvi on selkeä ja oikein rajattu, voidaan alkaa hakemaan rakennuksen ääri viivoja viivatyökalulla. Ääri viivat asetetaan reunimmaisten pisteiden kohdalle tai niiden keskiarvon kohdalle, mikäli pisteet eivät ole täysin linjassa. Näin toimitaan rakennusten reunojen, kulmien, aukkojen ja muiden tarvittavien objektien kohdalla. Alla olevassa kuvassa 9 on rakennuksen piipullisen päädyn rautalankamalli.



KUVA 11. Piipullisen päädyn rautalankamalli.

Kuvaan on pistepilven päälle merkitty päädyn ääriviivat, maanpinnan taso sekä ikkuna-
aukkojen paikat viivoilla.

7.3 Moduuliverkko

Uusien elementtien ei tarvitse mukailla vanhaa moduuliverkkoa, joten suunnittelijalla on vapaus sijoitella elementit arkkitehtonisesti ja teknisesti parhaaksi näkemällään tavalla. Asennuksen helpottamiseksi on kuitenkin järkevää luoda uusi moduuliverkko olemassa olevan julkisivun päälle. Uusi elementtijako suunnitellaan moduuliverkon pohjalle (liitteet 1-6).

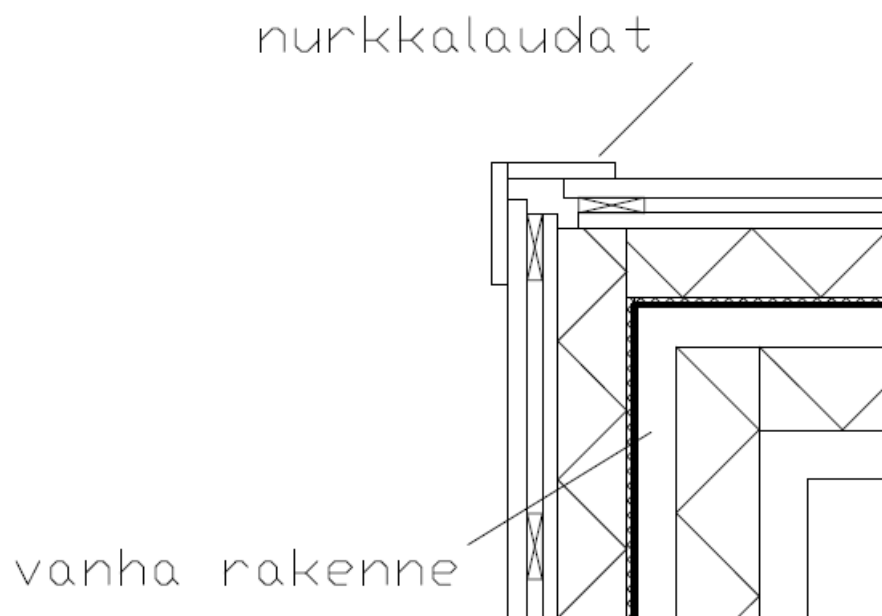
Moduuliverkko muodostuu moduulitasojen kohtisuorista projektioista, eli moduuliviivoista. Moduuliviivojen väli on kantamoduulin M (100 mm) kerrannainen. Jos moduu-

limitoitus johtaa teknisistä tai ergonomisista syistä liian epätarkkaan mitoittamiseen, pyritään käyttämään kantamoduulin puolikasta 0,5M. Myös pienemmät tarkkuudet ovat mahdollisia, jos kohde niin vaatii. Koska opinnäyteyön kohde ei ole uudisrakennus, vaan 1970-luvulla rakennettu korjauskohde, joudutaan joiltain osin käyttämään tarkempia mittoja kuin normaalin kantamoduulin kerrannaisia. Moduuliviivat merkitään piirustuksiin ehyellä viivalla, jonka toisessa tai molemmissa päissä on piirretty ympyrä. Ympyrän sisään merkitään usein moduulin tunnus. (RT 03-10525, 1993)

7.4 Elementtijaon luonti

Kun rakennuksen ääriviivat ovat selvillä ja moduuliverkko luotu julkisivuun, suunnitellaan elementit julkisivuun. Elementtien lähtökorkeudet suunnitellaan valitun koron mukaan. Kohteesta ei kuitenkaan ollut mitattuja korkoja käytettävissä, joten elementtien lähtökorkeutena pidetään tiiliverhouksen alapintaa.

Elementit suunnitellaan 130–140 mm julkisivun yli, jos viereiselle sivulle asennetaan myös kevyt puuvuori -elementti. Tällä tavoin eristeet yhtyvät nurkassa, ja nurkka voidaan tehdä kuvan 12 tavoin.



KUVA 12. Rakennekuva. Nurkan vaakaleikkaus.

Nurkan eristeisiin voidaan tehdä myös ponttaus tai tarvittaessa asentaa pehmeä villa eristeiden väliin tiivyyden varmistamiseksi. Nurkissa eristettä on tarvittaessa mahdollista leikata ja muotoilla paikan päällä.

Elementtien eristeiden rajat piirretään moduuliviivoihin kiinni. Tällä varmistetaan eristeen tiiveys. Jos asennusvaiheessa huomataan, että eristeiden väliin jää rakoa, voidaan eristeiden väliin asentaa pehmeä villakaistale. Pehmeää villaa asennettaessa tulee ottaa huomioon kerrannaisuus, jotta ylöspäin tai sivulle mentäessä ei synny mittapoikkeamia.

Villan päälle suunnitellaan elementtien ristiinkoolaus, joko k600- tai k400-jaolla elementistä riippuen. Ristiinkoolauksessa alempi lauta jätetään 40 mm sisemmäksi moduuliviivasta eli eristeen reunasta. Ylempi lauta sisennetään eristeen reunasta 20 mm. Näin ollen elementtien väliin jää asennusvara eristeiden saumausteipille. Ristiinkoolauksen väliin asennetaan peltinen vinojäykistysvanne, joka piirretään näkyviin elementtikuviin, kuten liitteessä 7.

Suunnittelun aikana todettiin, että aukot voidaan suunnitella ja tehdä 40 mm suuremmiksi kuin alkuperäiset aukot. Näin varmistetaan aukkojen osuvuus paikalleen ja viimeistelylaudoille jää riittävästi tilaa. Viimeistelylaudoilla saadaan myös peitettyä aukkoa, vaikka aukko on suurempi kuin alkuperäinen aukko

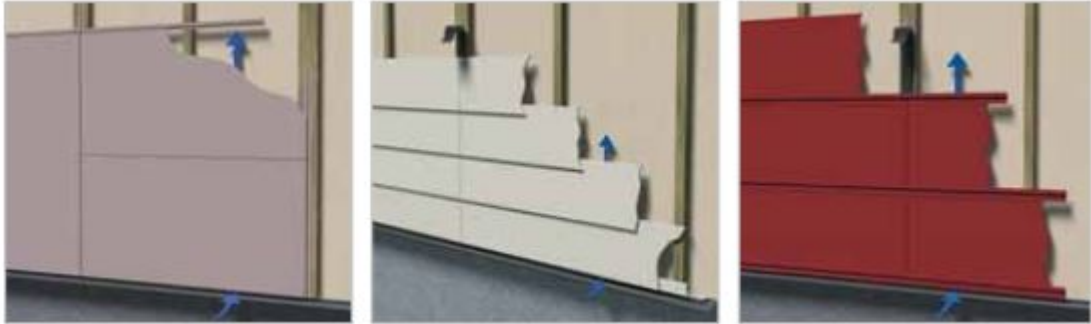
Elementtikaaviot julkisivuista ovat liitteinä 1–6 ja esimerkkielementti liitteessä 7. Julkisivuista on kuvat paneeliverhouksella ja ilman verhousta, joissa näkyy elementtien ristiinkoolaus sekä lämmöneristeet. Kuvat eivät ole mittakaavassa.

7.5 Puuverhous

Kohteen julkisivuverhouksena käytetään 145 x 28 mm paneelia, jonka tehokas etenemä suunnittelussa on 127 mm (Puuinfo). Panelointi suunnitellaan lähteväksi tiiliverhouksen alapinnan tasosta. Elementtien moduuliverkko ja elementtien koot on mahdollista suunnitella paneloinnin etenemällä jaolliseksi. Tällöin paneloinnin esiasennus tehtaalla helpottuisi.

7.6 Eri verhousvaihtoehdot

Kevyt puuvuori -elementin ei tarvitse välttämättä olla puuvuorinen, vaan elementin runko sopii käytettäväksi moniin eri verhousvaihtoehtoihin. Ristiinkoolauksen ansiosta elementtiin voidaan kiinnittää esimerkiksi erilaisia vinyylipaneeleita tai julkisivulevyjä kuten kuvassa 12.



KUVA 12. Steni-julkisivulevyjen kiinnitys koolaukseen (Steni)

Käytännössä ainoa rajoittava tekijä verhousvalinnassa on verhouksen paino. Elementin idea perustuu sen keveyteen, joten painavia sementtilevyjä ei ole välttämättä järkevä valita, koska kiinnikkeiden määrä kasvaa huomattavasti. Sementtilevyjen asennus on kuitenkin teknisesti mahdollista.

7.7 Kevyt puuvuori -elementin toleranssit

Suunnittelun aikana sekä tuotteen suunnittelijan, Jukka-Pekka Katajan, kanssa käytyjen keskusteluiden jälkeen todettiin, että kevyt puuvuori -elementin valmistus- ja asennustarkkuuksina voidaan käyttää suurimmilta osin taulukoiden 1. ja 2. mukaisia tarkkuuksia. Alla olevissa taulukoissa ovat kevyt puuvuori -elementille merkityksellisimmät toleranssiarvot.

TAULUKKO 4. Valmistustarkkuudet kevyt puuvuori -elementille.

Verhouselementin valmistustarkkuudet	
	Suurin sallittu poikkeama [mm]
leveys (< 10m)	+5 - 5
korkeus	+3 - 3
paksuus (puuosat)	+3 - 3

TAULUKKO 5. Asennustarkkuudet kevyt puuvuori -elementille.

Verhouselementin asennustarkkuudet	
	Suurin sallittu poikkeama [mm]
Ulkosauman hammastus, puuverhous	2
Elementtien ulkoreunan hammastus	3
Elementin poikkeama vaakasuorasta	+5 -5
Elementin poikkeama pystyasuorasta	+3 - 3

Tärkeintä on paneelien sijainti ulkoreunaan nähden viereisiin elementteihin yhdistymistä ajatellen. Ulkomitat tulee tehdä mittatarkasti asennuksessa tapahtuvan mittaheiton kerrannaisuuden estämiseksi. Elementtejä pystytään säätämään työmaalla, mikä mahdollistaa pienten mittavirheiden sallimisen tuotantovaiheessa. Tarkemmat mittatoleranssit saadaan määriteltyä tuotannon ja asentamisen käytännön kokemusten kautta. (Kataja 2014)

Mittatarkkuutta seurataan jatkuvasti asennuksen aikana mittavälineillä, jotta kerrannaisuutta ei pääse syntymään. Elementtien tärkein tarkkuusvaatimus on esteettisyys. Vierekkäisissä elementeissä, joissa paneelit on asennettu samansuuntaisesti, mittatarkkuus on tärkein. Elementtien saumoihin työmaalla asennettavat viimeistelevät paneelit täytyy pystyä asentamaan niin, etteivät välit veny liian pitkäksi tai paneelilinjat taitu liikaa. Vierekkäisillä vaakapaneelielementeillä korkeusheitto saa olla korkeintaan ± 3 mm/m. Päällettäisillä vaakapaneelielementeillä korkeusheitto saa olla korkeintaan +15 mm tai -10 mm. Vaakapaneelielementin saumassa on neljä työmaalla asennettavaa viimeistelypaneelia. Viimeistelypaneelien saumoilla saadaan kullakin piilotettua 3 mm venyttämällä paneelien välejä tai 2 mm painamalla liitoksia yhteen. Asennustarkkuudet ovat samat sekä vaaka-, että pystypaneloinnilla. Rakennuksessa olevien aukkojen vieressä on asennustoleranssia 20 mm joka suuntaan. Erisuuntaan paneloitujen vierekkäisten elementtien saumat pystytään peittämään listoilla. Listoilla pystytään peittämään 20 mm mittaheitot. Mittaheittojen kertymistä tulee kuitenkin pyrkiä estämään. Vaikka elementit mahdollistavat asennustoleransseja, elementit tulee pyrkiä asentamaan millintarkasti. (Kataja 2014)

8 YHTEENVETO

Opinnäytetyön tavoitteena oli suunnitella elementtijako korjausrakentamiseen tarkoitetulle kevyt puuvuori -elementille esimerkkikohteeseen laserkeilainaineiston avulla. Työssä tehtiin toimintamalli kohteen mittauksesta elementtien asennuksen alkuun asti. Työssä keskityttiin elementin toleransseihin ja laserkeilaimen soveltuvuuteen verhouk-
korjauksen mittalaitteena

Julkisivujen mittauksessa laserkeilain on erittäin nopea ja tarkka mittalaite manuaali-
seen takymetrimittaukseen verrattuna. Tutkimuskohteen julkisivujen mittaukseen kului
aikaa Prosolve Oy:n mittajaan mukaan noin 2–3 tuntia. Saadun aineiston alkukäsitte-
lyyn mittajalla kului aikaa myös noin 2–3 tuntia. Työn alussa aineiston tarkasteluun ja
mallinnusohjelman valintaan kului aikaa, koska aihe oli opinnäytetyön tekijälle täysin
uusi ja apuja oli rajallisesti saatavilla. Kun aineiston käsittelystä sai selkeän kuvan, ai-
neistoa oli suhteellisen helppo lähteä työstämään AutoCAD 2013 -ohjelmalla.

Pistepilven tarkkuus osoittautui varsin kelvolliseksi, kun mittoja verrattiin paikan päällä
tehtyihin tarkemittauksiin. Mittauksissa mittapoikkeamiksi saatiin 3–20 mm, kun paikan
päällä mittalaitteena käytettiin laser-etäisyysmittaria. Mallintamisessa on kuitenkin
suunnittelijan vastuulla valita oikeat pisteet ja pisteparvet mallinsa luomiseksi. Pistepil-
ven käsittelyssä tärkeää on huolellisuus ja tarkkuus. Mittatarkkuuden säilyminen on
ensiarvoisen tärkeä. Onkin erityisen tärkeää, että mittaja ja suunnittelija ovat yhteis-
työssä ennen kohteen mittausta. Suunnittelijan tulee tietää, minkälaista aineistoa tarvi-
taan, millä tiheydellä ja missä muodossa.

Tutkimuskohteen pistepilven ongelmakohtia olivat muutamat katvealueet, joita aiheut-
tivat muun muassa talon läheisyydessä ollut puu ja muutamat ulokkeet, kuten ylimmän
parvekkeen katos. Katvealueet aiheuttivat pistepilven muutamia tummia pisteettömiä
kohtia. Näitä kohtia joutui arvioimaan kohteesta otettujen valokuvien avulla. Tällaisissa
tapauksissa kohteesta voidaan kuitenkin ottaa käsin katvealueen mittoja, jos siihen on
tarve.

AutoCAD:lla saatiin luotua käsiteltävistä julkisivuista mittatarkat ja selkeät kuvat (liit-
teet 1–7) pistepilvien pohjalta. Pistepilvien käsittely 2D-muodossa onnistuu AutoCAD

2013 -ohjelmalla varsin hyvin. Suunnittelutoimistot kuitenkin suosivat pistepilven käsittelyssä Autodeskin *Revit* -ohjelmaa, etenkin 3D-suunnittelussa (Siitonen 2014; Kiuru 2014). Ohjelman puutteen vuoksi opinnäytetyössä ei päästy vertailemaan pistepilvien käsittelyä AutoCAD:n ja Revit:n välillä.

Pistepilven ja paikan päällä tehtyjen tarkemittausten mittapoikkeama 3-20 mm on riittävän pieni myös elementtien valmistuksen ja asennuksen kannalta. Kevyt puuvuori -elementti on rakenteeltaan hyvin joustava varsinaisen kantavan rungottomuuden ja viimeistelylautojen ansiosta. Nämä antavat elementille lisää toleransseja ja pienet mittaheiot eivät välttämättä ole vaarallisia kohteesta riippuen.

Päätelmänä opinnäytetyöstä voidaan todeta, että oikein käytettynä laserkeilain soveltuu hyvin julkisivujen mittaamiseen ja sen tuottaman materiaali pohjaksi verhoukorkorjauksen suunnittelulle. Kohteesta saadaan mittatarkkaa aineistoa, jota voidaan hyödyntää monilla eri tavoin sekä kaksiulotteisessa että kolmiulotteisessa maailmassa.

LÄHTEET

Ala-Hiiri, A. 2014. Työkaluja laserkeilausdatan mallintamiseen. Sähköpostikeskustelu, 31.1.2014.

Autodesk. 2013. AutoCAD 2013.
<http://www.autodesk.fi/products/autodesk-autocad/overview>

Betonikeskus ry. 2011. Betonielementtien toleranssit. Luettu 12.2.2014
http://asv.fi/files/documents/pdf/toleranssit_versio27_10_2011.pdf

CIS http://www.2cis.com/images/331201010134PMLeica_Disto_D3.jpg

Ekman, V. 2010. Rakennusmittaukset, niiden laatu ja dokumentointi. Opinnäytetyö.
<https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/22445/Rakennusmittaukset%20niiden%20laatu%20ja%20dokumentointi.pdf?sequence=1>

Geostar. Faro Scanner Focus 3D S 120-laserkeilain.
<http://www.geostar.fi/?op=item&pID=183>

Huuhtola, K. Tasoplan Oy. Puhelinkeskustelu 1.4.2014

Hyypä, J & Hyypä, H. 2007. Kansallisen laserkeilausdet.
http://www.maankaytto.fi/arkisto/mk107/mk107_995_hyypa.pdf

Hyypä, H., Ahlavuo, M. & Kukko, A. 2009. Lähilaserkeilausella kohde kolmiulotteiseksi. Maanmittauslaitos. Positio 1/2009, 18-21.

Jantunen, J. 2011 1E1 Suomen rakentamismääräyskokoelma, Rakennusten paloturvallisuus. Määräykset ja ohjeet 2011. http://www.finlex.fi/data/normit/37126-E1_2011-fi.pdf

Joala, V. 2006. Laserkeilausdet ja mittauksen suunnittelu. Leica Nilomark Oy

Kari, V. 2011. Laserkeilaus ja pistepilven käsittely ydinvoimarakentamisessa. Opinnäytetyö.

Kataja, J-P. 2014. Haastattelu, 13.2.2014

Kiinnikekolmio. Tekniset tiedot, EX –julkisivuankkuri.
http://www.kiinnikekolmio.fi/verkkokauppa/liitteet/julkisivuankkuri_arvot_80a.pdf

Kilpeläinen, M. Kivimäki, M. Ukonmaanaho, A. 2001. Avoin puurakennusjärjestelmä – elementtirakenteet. Wood Focus Oy.

<http://www.puuinfo.fi/sites/default/files/content/rakentaminen/suunnitteluohjeet/avoin-puurakennusjarjestelma-elementtirakenteet/elementtirakenteet.pdf>

Kiuru, J. 2014. Arkkitehtitoimisto Kimmo Lylykangas. Puhelinkeskustelu 1.4.2014

Lahtinen, M. 2014. Prosolve Oy. Puhelinkeskustelu 2.4.2014

Lahtela, T. 2005. Puujulkisivu lähiökerrostalossa. VTT

<http://www.puuinfo.fi/sites/default/files/content/rakentaminen/suunnitteluohjeet/puujulkisivu-lahiokerrostaloissa/puujulkisivulahiokerrostalossav101.pdf>

Lappalainen, E. 2009. Prismaton takymetrimittaus mastomalli- ja kartoitusmittauksissa. Opinnäytetyö.

<http://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/5573/opinn200929712.pdf?sequence=1>

Parviainen, P. 2014. Teeri-Kolmio Oy. Puhelinkeskustelu 1.4.2014

Prosolve Oy. 2014. Laserkeilausaineisto

Puuinfo. Muotohöylätyt ulkoverhouslaudat, yleisimmät profiilit ja mitat

<http://www.puuinfo.fi/sites/default/files/content/info/muotohoylatyt-laudat-ja-lis-tat/Ulkoverhouslautojen%2520yleisimm%C3%A4t%2520Mitat%2520ja%2520profiilit.pdf>

Korhonen, A. 2011. Puuelementit tuovat nopeutta kerrostalon energiasaneeraukseen. Rakennuslehti 27.10.2011. Sanoma Tekniikkajulkaisut Oy

RT 03-10525, Rakennusten ja rakennusosien mittajärjestely, 1993. Rakennustieto Oy

RunkoRYL 2010, 2010. Rakennustieto Oy

Siitonen, E. 2014. Puhelinhaastattelu 5.5.2014

Steni. Steni colour –julkisivulevy

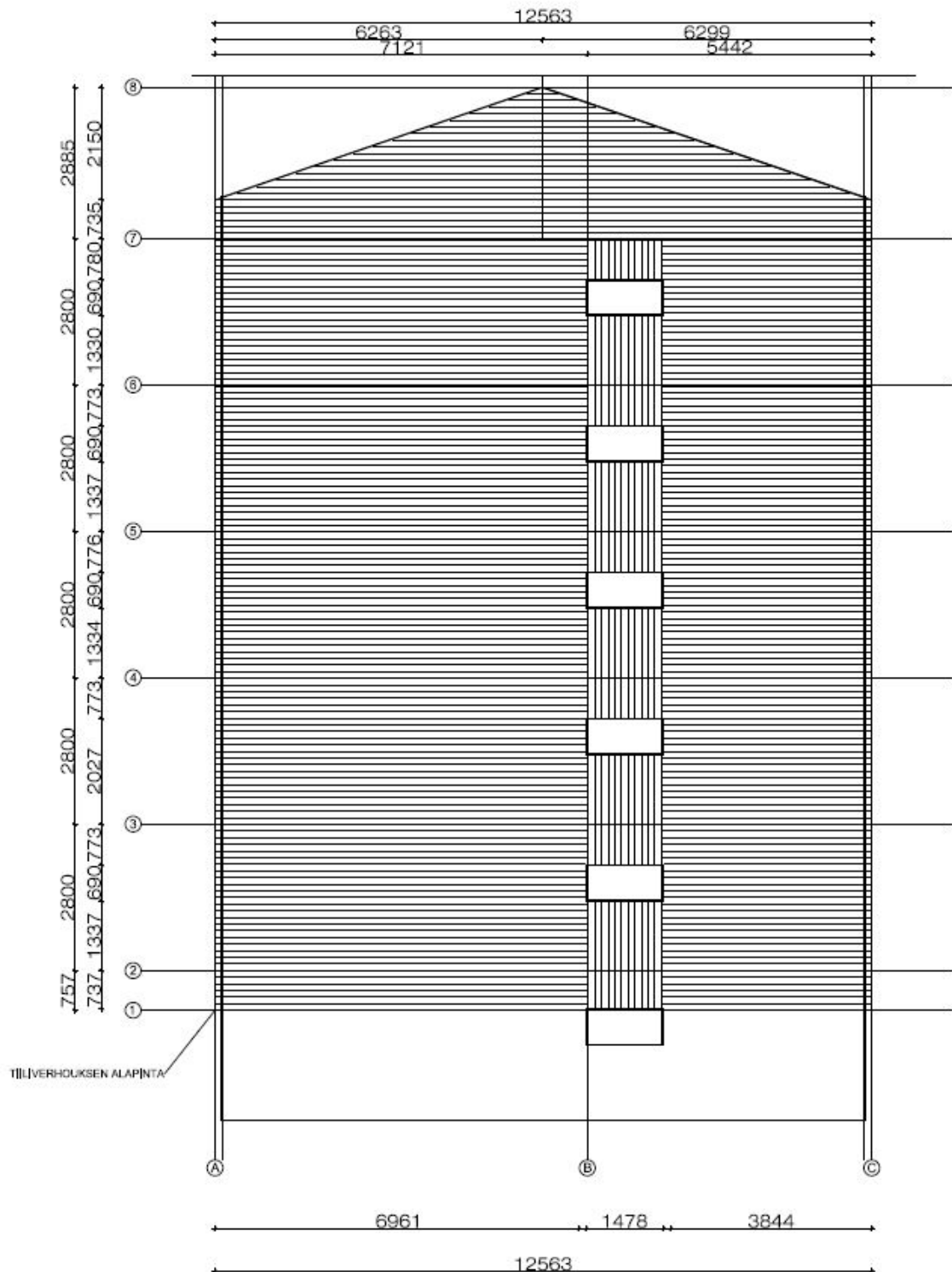
http://www.steni.fi/fi/resources/pdf/brosjyrer_fi/steni_colour_brochure_FI.pdf

Wikipedia. Takymetri. Luettu 20.4.2014

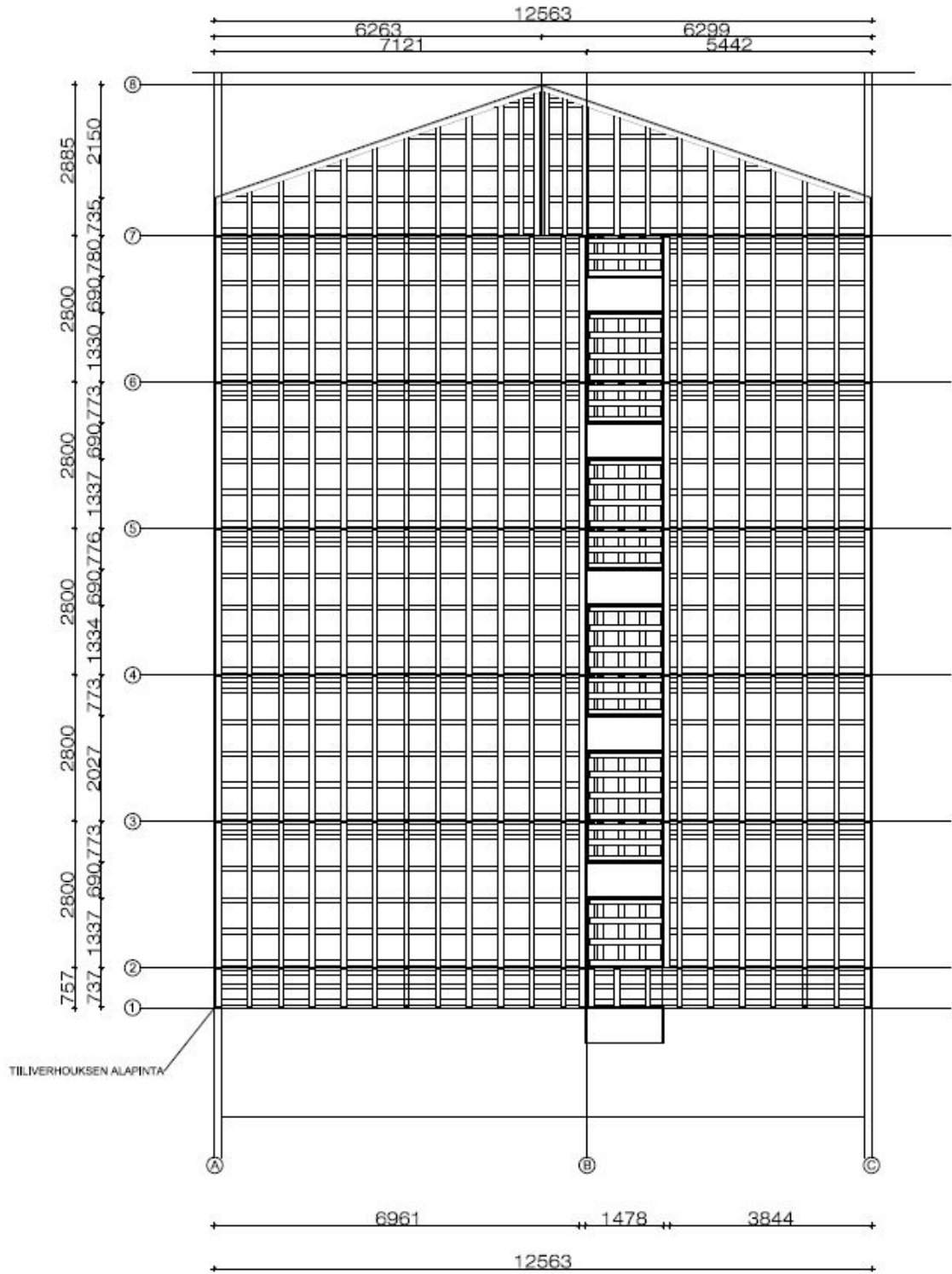
<http://fi.wikipedia.org/wiki/Takymetri>

LIITTEET

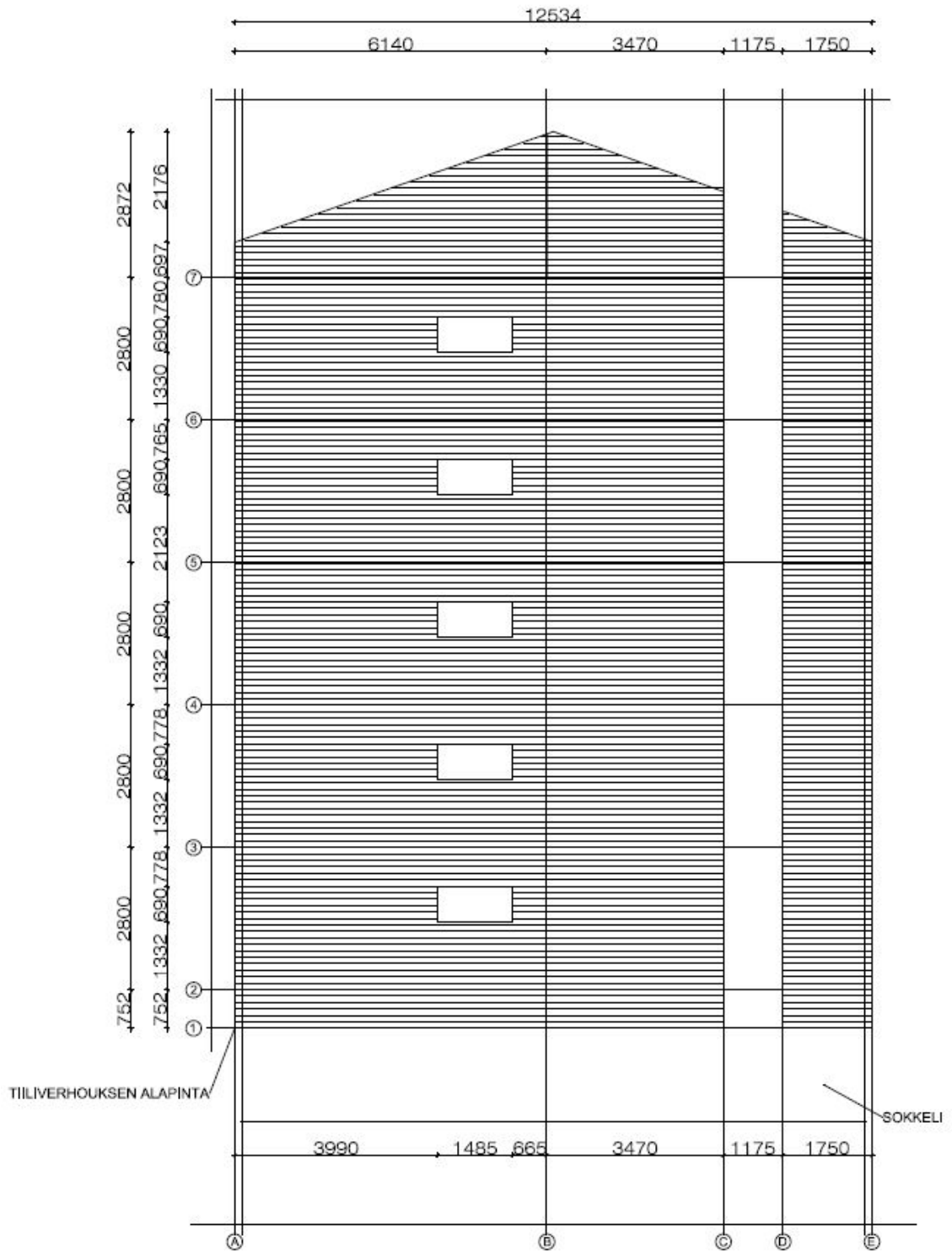
8.1 Liite 1. Päädyn elementtijako, panelointi



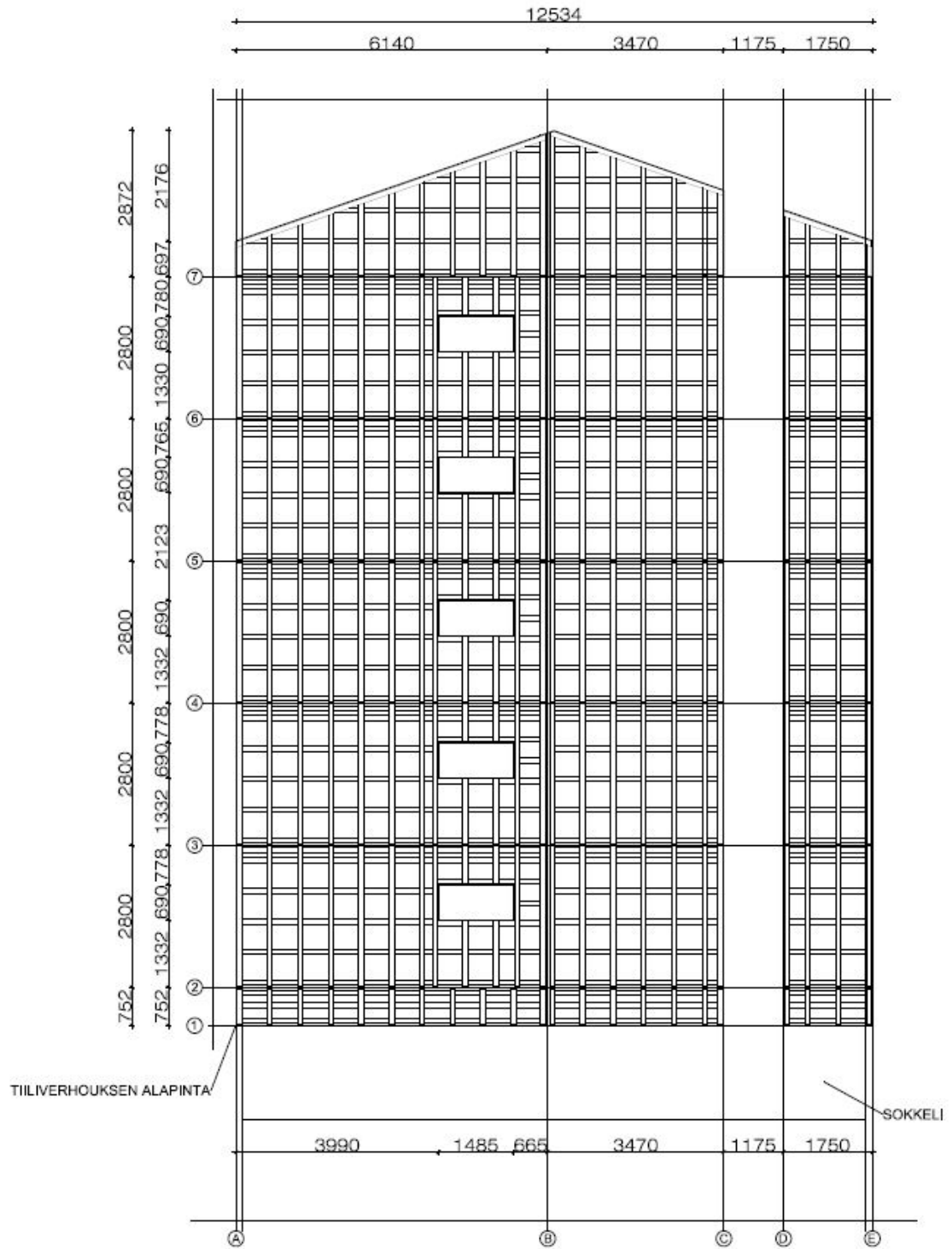
8.2 Liite 2. Pädyn elementtijako, koolaus



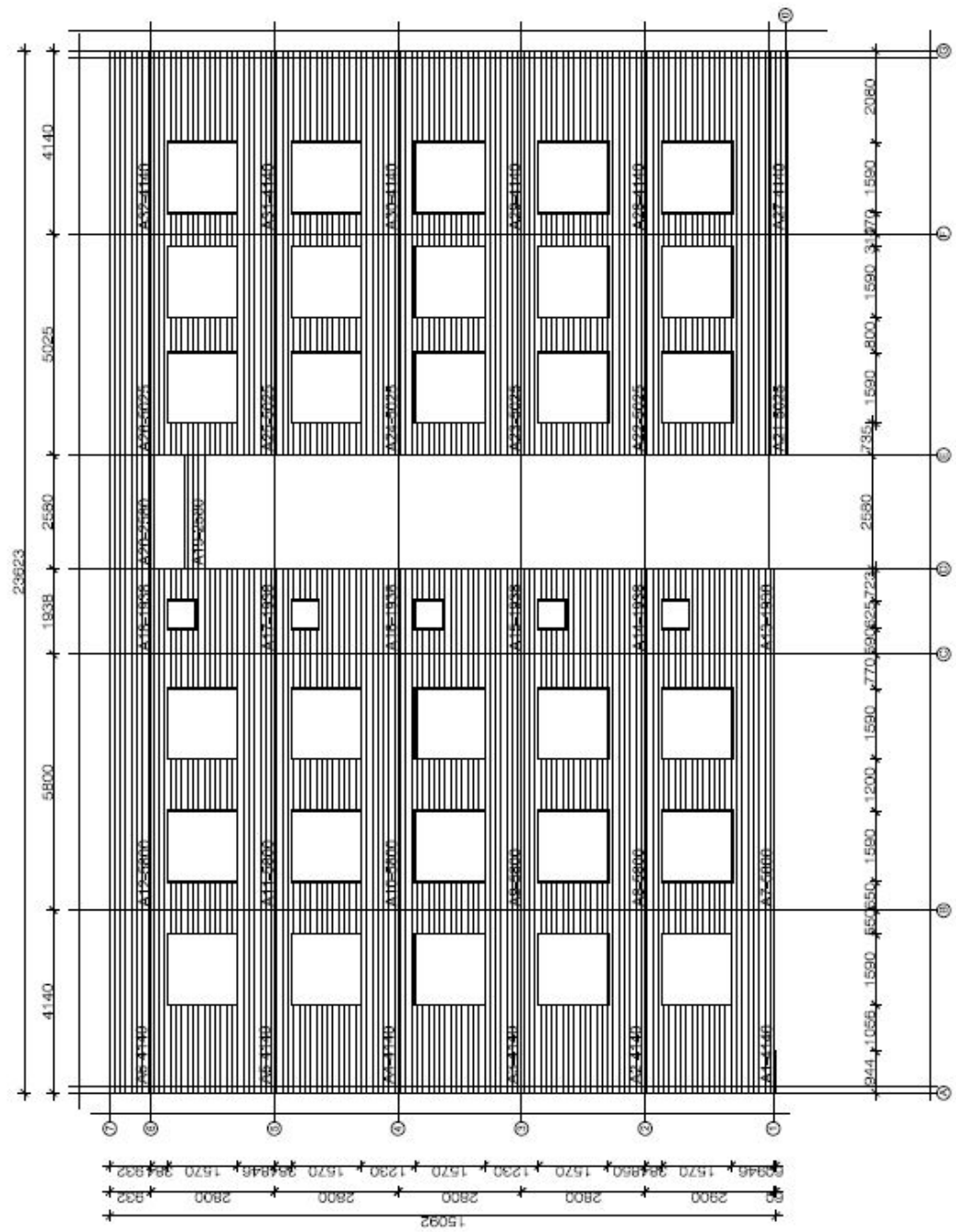
8.3 Liite 3. Piipullisen päädyn elementtijako, panelointi



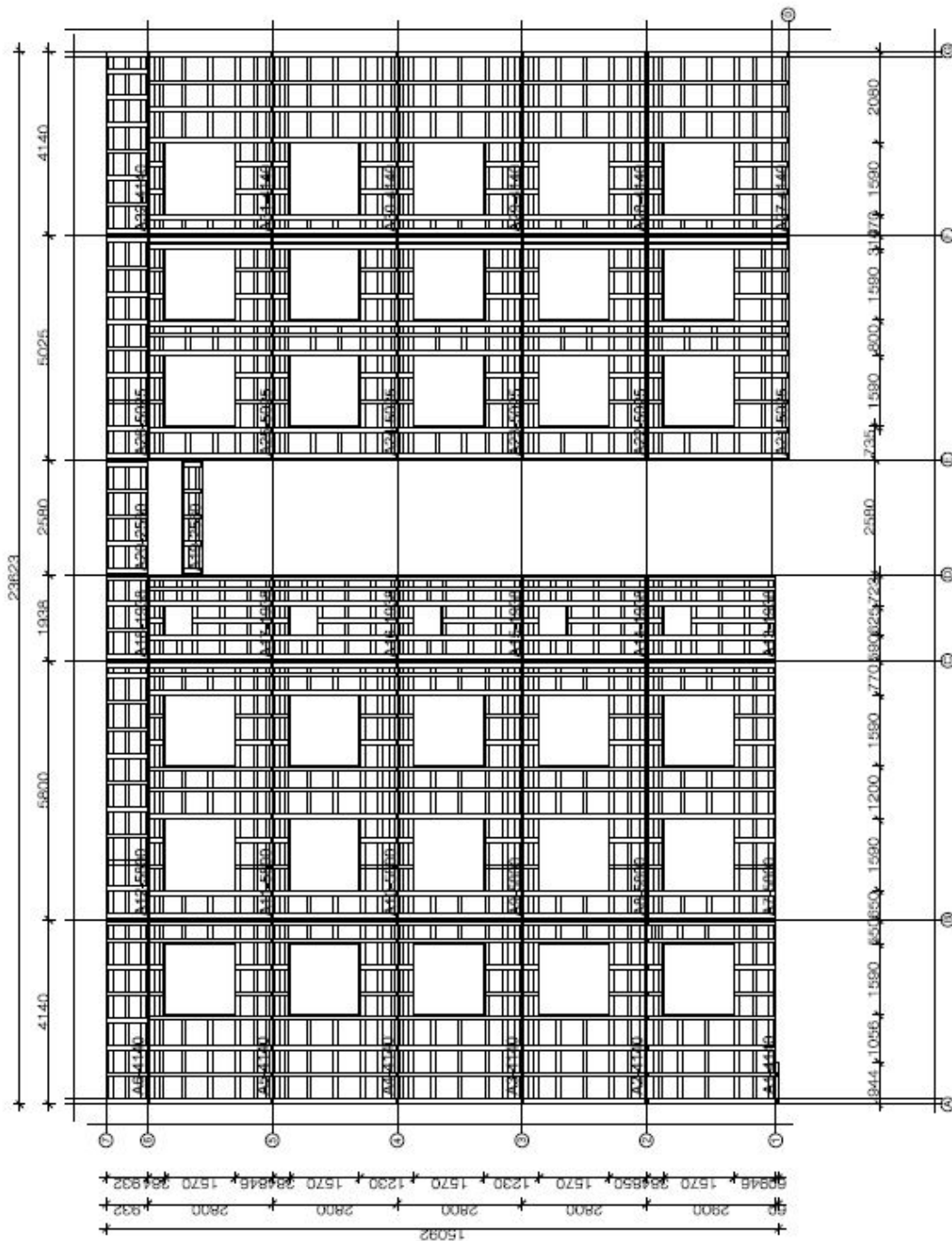
8.4 Liite 4. Piipullisen päädyn elementtijako, koolaus



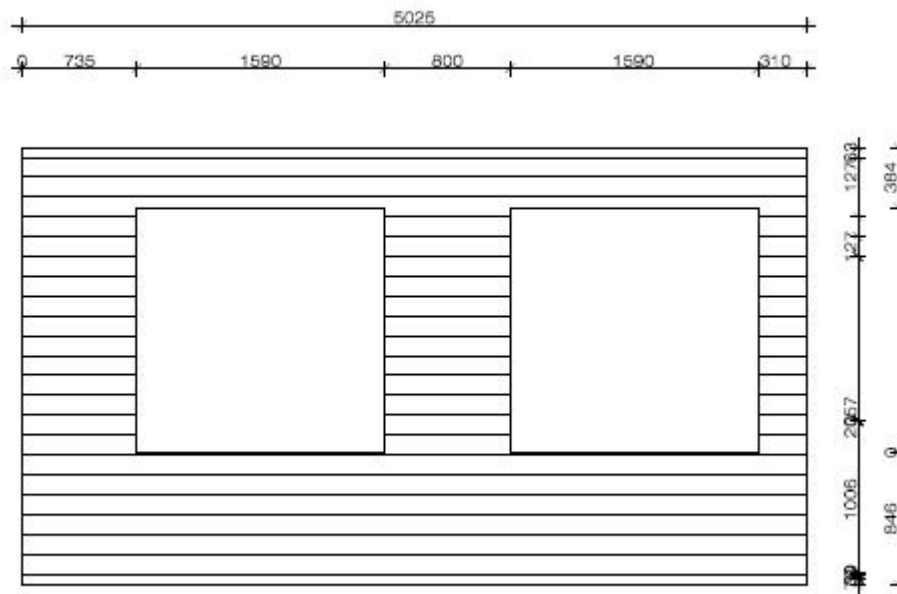
8.5 Liite 5. Pitkän sivun elementtijako, panelointi



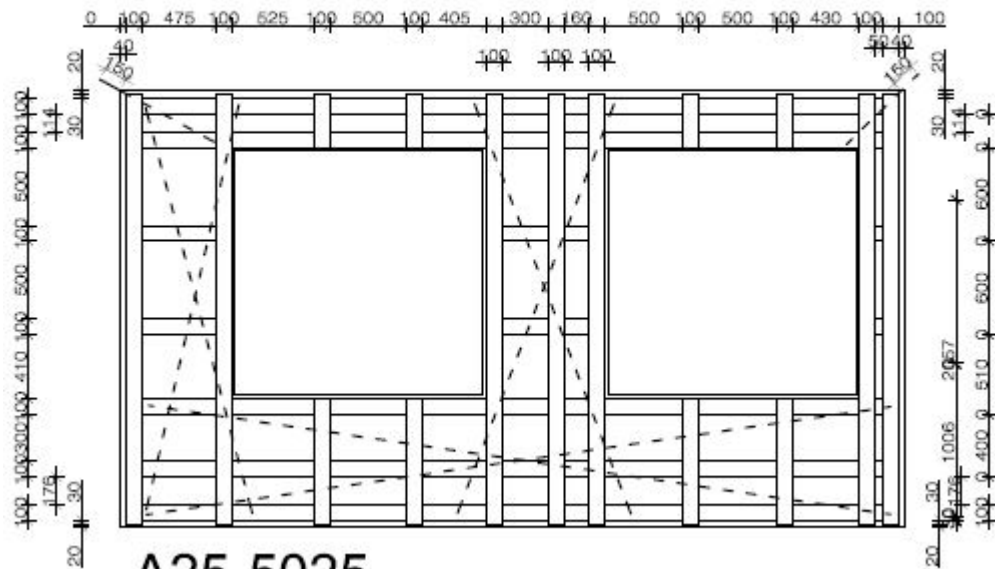
8.6 Liite 6. Pitkän sivun elementtijako, koolaus



8.7 Liite 7. Esimerkkielementin elementtikaavio, panelointi ja koolaus.



A25-5025



A25-5025