



VAASAN AMMATTIKORKEAKOULU
VASA YRKESHÖGSKOLA
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Niina Filander

SANDWICH-PANEELIN TYYPITES-
TAAMINEN SISÄKATTOSOVELLUK-
SEEN

Rakennustekniikka
2013

TIIVISTELMÄ

Tekijä	Niina Filander
Opinnäytetyön nimi	Sandwich-paneelin tyyppitestaaminen sisäkattosovellukseen
Vuosi	2013
Kieli	suomi
Sivumäärä	81 + 1 liite
Ohjaaja	Heikki Paananen

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on esitellä kesällä 2012 Sandwich-paneelin sisäkattosovellukselle suoritettuja tyyppitestejä. Projektin toimeksiantajana oli Rautaruukki Oyj (Ruukki). EU:n julkaiseman rakennustuoteasetuksen (CPR) seurauksena, kaikilla EU:n alueella myytävillä rakennustuotteilla pitää olla CE-merkintä 1.7.2013 mennessä. Tämän aikarajan takia paneelien tyyppitestausta piti aloittaa hyvissä ajoin. Tyyppitestien suunnittelu ja toteutus aloitettiin maaliskuussa 2012.

Testit suunniteltiin ja toteutettiin soveltaen standardeja EN 14509:2006 ja prEN 14509:2009, sekä käyttäen EPAQ-sääntöjä. Suoritetuista kirjoitettiin kuusi englanninkielistä raporttia, joissa selostettiin kaikki testien yksityiskohdat ja laskentatulokset. Raporttien liitteissä olivat testeihin liittyvät pöytäkirjat ja testien tulokset. Näiden raporttien pohjalta laadittiin tämä opinnäytetyö.

Testeihin kuului suuri määrä manuaalista työtä, testausten organisointia, päivittäisiä mittauksia, tulosten käsittelyä ja raportointia. Lopullisten raporttien pohjalta Ruukki toteutti Sandwich-paneelin sisäkattosovellukselle CE-merkinnän.

ABSTRACT

Author	Niina Filander
Title	Initial Type Testing on Sandwich Panels for Ceilings Application
Year	2013
Language	Finnish
Pages	81 + 1 Appendix
Name of Supervisor	Heikki Paananen

The aim of this thesis is to demonstrate the initial type tests that were done on Sandwich panels for Ceiling application during the summer 2012. The client for this project was Rautaruukki Oyj (Ruukki). Due to the Construction Products Regulation, which was published by the EU, all construction products under harmonized EN-standards and sold in the EU area must have a CE-marking by 1 July 2013. Because of this deadline, initial type testing had to be started well in advance. The planning and execution of initial type tests was started in March 2012.

The tests were planned and executed according to standards EN 14509:2006, prEN 14509:2009 and using EPAQ-rules. Based on the tests that were completed, six reports were written in English, including the details about the tests and calculation results. The workbooks and results of measurements from the tests were included in the attachments of the reports.

The tests required a lot of manual labor, organizing the tests, daily measurements, analyzing of results and reporting writing work. By means of the completed reports, Ruukki executed the CE-marking on their Sandwich panels for ceiling application.

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

ALKUSANAT

1	JOHDANTO	12
1.1	Tausta	12
1.2	Työn sisältö	12
2	RUUKKI	13
2.1	Sandwich-paneeli	14
3	TUOTESERTIFIKOINTI RAKENNUSTUOTTEILLE	16
3.1	Rakennusutuoteasetus	16
3.2	CE-merkintä	16
3.3	Standardit	18
3.3.1	Standardi EN 14509 ja EPAQ	18
4	TESTIEN SUUNNITTELU	20
4.1	Menetelmät	21
5	TESTIT KÄYTÄNNÖSSÄ	22
5.1	Elementin poikittainen vetolujuus	22
5.2	Ydinmateriaalin puristuslujuus ja -kimmokerroin	26
5.3	Elementin ydinkerroksen tiheyden ja massan määrittäminen	28
5.4	Pitkäaikaisen leikkauslujuuden testi	28
5.5	Pistekuorma paneelille	42
6	TOISTUVAN KUORMITUKSEN TESTIT	49
6.1	EN 14509: 2006	49
6.2	EN 14509: 2009	54
6.2.1	Testituloksia ja laskenta	60
7	VIRUMISLUVUN MÄÄRITTÄMINEN	64
7.1	Testijärjestelyt	64
7.2	Testitulokset	74
7.2.1	Mitatut taipumat	74
7.3	Virumisluvun laskenta	77

8 JOHTOPÄÄTÖKSET	79
LIITTEET	

KUVIO- JA TAULUKKOLUETTELO

Kuvio 1.	Ruukin Alajärven toimipisteen paneelitehdas.	s. 14
Kuvio 2.	Sandwich-paneelin rakenne.	s. 14
Kuvio 3.	Sandwich-paneelin sisärakenne ja mitat.	s. 15
Kuvio 4.	CE-merkintä.	s. 17
Kuvio 5.	Testikappaleet piirrettynä kovalevyyn.	s. 22
Kuvio 6.	Vetolujuuden koekappaleet valmiita testattavaksi liimauksen ja liiman kovettumisen jälkeen.	s. 23
Kuvio 7.	Vetolujuuden koekappale paraikaa testattavana.	s. 24
Kuvio 8.	Koekappaleita vetokokeen jälkeen.	s. 25
Kuvio 9.	Puristuskoekappaleita valmiina testaukseen.	s. 26
Kuvio 10.	Puristuskoe käynnissä.	s. 27
Kuvio 11.	Täysimittaisen testauksen tukijärjestelyn periaate.	s. 30
Kuvio 12.	Malli tukijärjestelyistä sivusta päin.	s. 30
Kuvio 13.	Testipaneelin asetus paikoilleen.	s. 31
Kuvio 14.	Taipumamittaus kuormituksen aikana.	s. 31
Kuvio 15.	Lähikuva taipumamittauksesta.	s. 32
Kuvio 16.	Murtunut paneeli.	s. 32
Kuvio 17.	Malli pitkäaikaisen leikkauslujuuden testipaneelin kuormituspaikoista.	s. 35

- Kuvio 18.** Testipaneeli valmiina pitkäaikaiseen leikkauslujuuskuormitukseen. s. 36
- Kuvio 19.** Täysi kuorma testipaneelin päällä. s. 36
- Kuvio 20.** Ajanmittaustuntilaskuri on nollattu ja valmis. s. 37
- Kuvio 21.** Tuntilaskurin vastakappale, johon on kiinnitetty teräslanka ja kiristetty paikoilleen testipaneelin alle. s. 38
- Kuvio 22.** Tyypillinen murtuma paneelissa pitkäaikaisen kuormituksen jälkeen. s. 39
- Kuvio 23.** Lähikuva tyypillisestä murtumasta paneelissa. s. 39
- Kuvio 24.** Näkymä testihallista. s. 40
- Kuvio 25.** Logaritminen kaavio pitkäaikaisen leikkauslujuuden esimerkkituloksista. Punaisella värillä merkityt tulokset edustavat murtumia joita olisi saatu 1000 tunnin jälkeen. s. 41
- Kuvio 26.** Malli toistuvan kuormituksen testissä käytettävistä järjestelyistä. s. 43
- Kuvio 27.** Testipaneeli asetettuna tukien päälle. s. 43
- Kuvio 28.** Vaneerilevytuki teräspainoille. s. 44
- Kuvio 29.** Teräspainot ja lisäkappaleet, joita käytettiin pistekuormatestiin. s. 44
- Kuvio 30.** Kumikerros asetettuna paneelin keskikohdan päälle, urosponnin puolelle. s. 45
- Kuvio 31.** Ensimmäinen teräspaino asetetaan paikoilleen. s. 46
- Kuvio 32.** Täysi kuorma paneelin päällä 6 sekunnin ajan. s. 47
- Kuvio 33.** Testipaneelin yläpinta ennen pistekuormitusta. s. 48
- Kuvio 34.** Testipaneelin yläpinta kuormituksen jälkeen. s. 48

Kuvio 35.	Neliö piirrettynä testipaneeliin lamellin mukaisesti.	s. 50
Kuvio 36.	Testipaneelia asetetaan oikeaan paikoilleen koelaitteeseen.	s. 51
Kuvio 37.	Testipaneeli valmiina kuormitettavaksi.	s. 51
Kuvio 38.	Leikattava koekappale merkittynä testipaneeliin.	s. 52
Kuvio 39.	Referenssitestikappale vetolujuuskokeen aikana.	s. 53
Kuvio 40.	Malli toistuvan kuorman koejärjestelystä.	s. 55
Kuvio 41.	Paneeliin keskiviivaa pitkin merkittiin kahdeksan neliötä.	s. 55
Kuvio 42.	Testihenkilö seisomassa tasanteella ennen kävelyn aloittamista.	s. 56
Kuvio 43.	Kengän kantapää osuu merkitylle neliölle.	s. 57
Kuvio 44.	Piirretty neliö testipaneelissa kävelyn jälkeen.	s. 57
Kuvio 45.	Testihenkilö kävelemässä paneelia pitkin yli kahdeksan merkityn neliön yli.	s. 58
Kuvio 46.	Vaneerilevyt suojaamassa jo kuormitettuja neliöitä.	s. 59
Kuvio 47.	Pintavaurioita havaittavissa kävelyn jälkeen.	s. 60
Kuvio 48.	Metallipinta on osittain irti mineraalivillaytimestä.	s. 61
Kuvio 49.	Huomattavaa lamellin irtoamista näytteessä 2000 askeleen jälkeen.	s. 61
Kuvio 50.	Lamellijatkoksen paikka paneelin A.4-3 reunassa.	s. 65
Kuvio 51.	Lamellijatkoksen paikka paneelin A.4-5 reunassa.	s. 66
Kuvio 52.	Lamellijatkoksen paikka paneelin A.4-6 reunassa.	s. 67

Kuvio 53.	Malli virumatesteissä käytetyistä koejärjestelyistä.	s. 69
Kuvio 54.	Malli virumapaneelien kuormituskuviosta.	s. 69
Kuvio 55.	Lamellijatkoksen etäisyys testipaneelin reunassa tuen sisäreunasta paneeleissa.	s. 70
Kuvio 56.	Testipaneeli A.6-1 paikoillaan ja valmiina kuormitettavaksi.	s. 71
Kuvio 57.	Valmis teräskuormitus testipaneeli A.6-1 päällä.	s. 71
Kuvio 58.	Ensimmäinen mittaus kuormituksen jälkeen ja tukipalkin laskemisen jälkeen.	s. 72
Kuvio 59.	Lämpötilan mittaus testipaneelin alapinnasta.	s. 72
Kuvio 60.	Tuntilaskuri mittaamassa aikaa.	s. 73
Kuvio 61.	Esimerkkikäyrät mittaustuloksista joita saadaan virumiskokeista erilaisilla kuormitustasoilla.	s. 74
Taulukko 1.	Vetolujuuden testitulokset 230 mm paneelille, 0,5 mm / 0,5 mm ohutlevyteräkset paneelin pintalevyinä.	s. 62
Taulukko 2.	Vetolujuuden testitulokset 230 mm paneelille, 0,6 mm / 0,5 mm ohutlevyteräkset paneelin pintalevyinä.	s. 62
Taulukko 3.	Tulokset testipaneelistä A.4-3.	s. 65
Taulukko 4.	Tulokset testipaneelistä A.4-5.	s. 66
Taulukko 5.	Tulokset testipaneelistä A.4-6.	s. 67
Taulukko 6	Taipumamittaus paneelille A.6-1, kuormitustaso 40,2%	s. 75
Taulukko 7.	Taipumamittaus paneelille A.6-2, kuormitustaso 32,0%	s. 76
Taulukko 8.	Taipumat 200 ja 1000 tunnin kohdalla.	s. 78
Taulukko 9.	Virumislukujen arvot 2000 ja 100000 tunnille.	s. 78

- Kaavio 1.** Murtokuorman muutos 230 mm paneelissa,
0,5 mm / 0,5 mm ohutlevyteräkset paneelin pintalevyinä. s. 61
- Kaavio 2.** Murtokuorman muutos 230 mm paneelissa,
0,6 mm / 0,5 mm ohutlevyteräkset paneelin pintalevyinä. s. 62

LIITELUETTELO**LIITE 1.** Esimerkkilaskelma paneelille A.6-1

1 JOHDANTO

1.1 Tausta

EU:n uuden rakennustuoteasetuksen (Construction Products Regulation, CPR) tullessa voimaan 1.7.2013 on koko Euroopan alueella myytävissä kaikissa harmoisoitujen tuotestandardien alaisuudessa olevissa rakennustuotteissa oltava CE-merkintä. Tämän asetuksen takia Ruukin Alajärven toimipiste tarvitsi vuoden 2012 keväällä sopivan henkilön tekemään Sandwich-paneelin sisäkattorakenteiden tyyppitestauksen standardien EN 14509:2006 ja EN 14509:2009 mukaan. Tämän työn kirjoittaja valittiin koulutuksensa ja sopivan asuinpaikkansa sekä aiemman työkokemuksensa vuoksi. Tyyppitestaukseen sisältyi mm. viruman ja pitkäaikaisen leikkauslujuuden testikappaleiden mittaus päivittäin erillisellä testaushallilla. Ruukin Alajärven työpisteellä tehtäviin kuului tyyppitestausten suunnittelu, toteutus ja dokumentointi sekä kuuden raportin kirjoittaminen englanniksi CE-merkintää varten. Tyyppitestaus saatiin suurelta osin valmiiksi 5.9.2012 mennessä, osa pitkäaikaisen leikkauslujuuden testeistä on vielä käynnissä tätä opinnäytetyötä kirjoitettaessa.

1.2 Työn sisältö

Opinnäytetyössäni kerrotaan teoriaosiossa Ruukista, EN-standardeista, CE-merkinnästä ja tyyppitestausten suunnittelusta. Käytännön osassa on esitelty keuhalla 2012 tehdyt tyyppitestit, joista keskitytään erityisesti toistuvan kuormituksen ja pitkäaikaisen viruman testeihin.

2 RUUKKI

Rautaruukki Oyj (markkinointinimi Ruukki) on teräkseen ja teräsrakentamiseen keskittyvä pörssiyhtiö, joka toimii noin 30 maassa, mm. Suomessa, Ruotsissa, Puolassa ja Romaniassa, ja jonka painopiste Euroopan markkinoilla. Ruukin toiminta jakaantuu kolmeen osa-alueeseen; Ruukki Building Products, Ruukki Building Systems ja Ruukki Metals. /23/

Ruukki Building Products tärkeimmät toiminta-alat on liike-, toimitila- ja teollisuusrakentaminen sekä asuinrakentamisen kattotuotteet. Tuotteisiin kuuluu mm. teräskatteet, paneelit, julkisivuverhoukset, tukiseinärakenteet ja teräspaalut. /15/

Ruukki Building Systems keskittyy enemmänkin rakentamisen projekteihin ja suunnitteluun käyttäen hyväksi Ruukin muiden osa-alueiden tuotteita ja tuotantoa. Liike- ja toimitilarakentaminen sekä Venäjän maatalousrakentaminen ovat keskeisiä alueita. /14/

Ruukki Metals on vastuussa Ruukin terästuotteista ja niihin liittyvät esikäsittely-, logistiikka- ja varastointipalvelut kuuluvat myös vastualueeseen. Tuotteista mainittakoon erikoislujat rakenneteräkset (Ruukki Optim), terästuotteista kuuma- ja kylmävalssatut terästuotteet ja erilaiset putket, profiilit ja palkit. /22/

Ruukki Construction Oy:llä on Järvi-Pohjanmaalla kaksi toimipistettä, Ruukki Construction Vimpeli, jossa valmistetaan moduulikattoja ja niihin tarvittavia komponentteja, sekä kuviossa 1 esitetty Ruukki Construction Alajärvi, joka keskittyy valmistamaan julkisivupaneeleja. Alajärven uusi julkisivupaneelitehdas on valmistunut vuonna 2009. /17, 19/



Kuvio 1. Ruukin Alajärven toimipisteen paneelitehdas.

2.1 Sandwich-paneeli

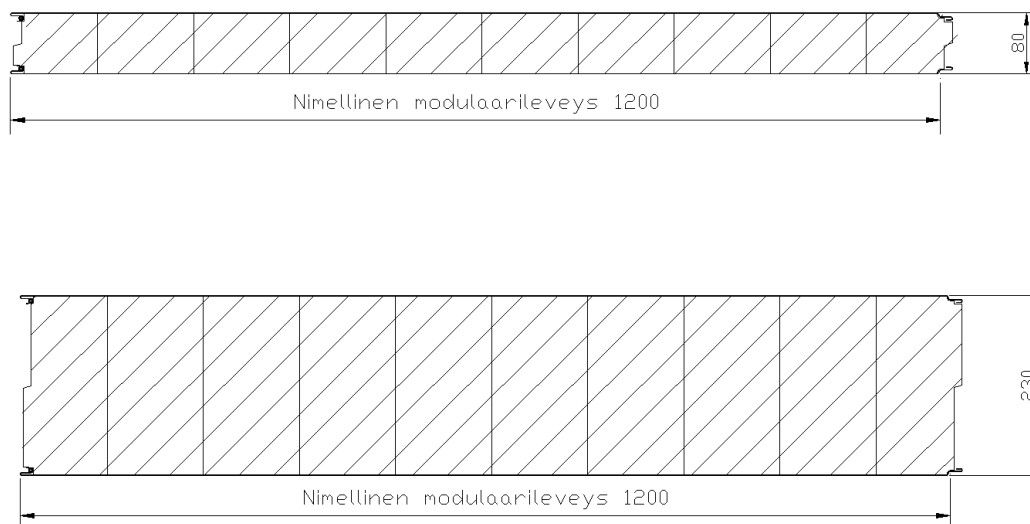
Sandwich-paneeli on kuviossa 2 esitetty metallikuorinen rakenteellinen elementti, jonka ydinmateriaalina on eriste. Paneeleita käytetään mm. tehdashalleissa, liikuntahalleissa, logistiikkakeskuksissa ja kaupparakennuksissa. Paneeleja käytetään pääasiassa ulkoseinissä, väliseinissä ja sisäkatoissa (ceilings) sekä myös vesikatoissa.

Sisäkattopaneelien tyyppitesteissä päätettiin käyttää testaussääntöjen mukaisesti paksuusluokkien 230 mm ja 80 mm paneelia, jotta saadaan kattavasti paneelin paksuusvalikoiman molempien ääripäiden testitulokset selville. Testattu paneelityyppi oli ydinmateriaalin ominaisuuksien osalta sisäkattokäyttöön sopiva, mineraalivillaytiminen paneeli.



Kuvio 2. Sandwich-paneelin rakenne.

Tyypitesteissä käytetty paneelityyppi koostuu kahdesta metallilevystä, joiden väliin on asetettu ja puristettu mineraalivillalamelleista koostuva ydinkerros, joka on liimattu kiinni metalliohutlevyteräspintoihin, paneelin sisärakenne näkyy yleisellä tasolla kuviossa 3. Ylä- ja alapuolen teräkset syötetään suurilta rullakeloilta tuotantolinjalle, jossa pintaan painetaan profiilirullilla mahdolliset urat. Villalevy nostetaan rullalinjalle, jossa levyt sahataan paneelin paksuuden mukaisiksi lamelleiksi. Lamellit käännetään paksuuden mukaiseen asentoon ja työnnetään ennen liimausta pitkittäin ylä- ja alateräspinnan väliin. Liimakerros levitetään teräspintoihin, minkä jälkeen lämmitetty liukuva puristin painaa villan ja teräksen yhteen ja liimasidos kovettuu. Puristuksen jälkeen paneelin urosponnttiin tulostetaan paneelin tiedot mm. jäljitettävyyden vuoksi ja se katkaistaan tilatun mukaiseen pituuteen./16, 18/



Kuvio 3. Sandwich-paneelin sisärakenne ja mitat.

3 TUOTESERTIFIINTI RAKENNUSTUOTTEILLE

3.1 Rakennustuoteasetus

Euroopan unionin vanhan rakennustuotedirektiivin korvaava uusi rakennustuoteasetus (CPR) tuli osittain voimaan 24.4.2011 ja kokonaan se astui voimaan 1.7.2013. Tullessaan voimaan asetus teki CE-merkinnästä pakollisen kaikille myös Suomessa valmistettaville rakennustuotteille, joille on olemassa harmonisoitu tuotestandardi. Jos tuotteelle ei ole olemassa harmonisoitua tuotestandardia ja valmistaja haluaa päästä EU:n sisäisille markkinoille, on valmistajan haettava eurooppalaista teknistä arviointia. /7/

Rakennustuoteasetuksen tarkoituksena on helpottaa EU:n talousalueen sisällä tapahtuvaa rakentamiseen liittyvien tavaroiden vapaata liikkumista. Merkintä helpottaa käyttäjien harkitsemien tarvikkeiden vertailua, jolloin rakenne- ja rakennussuunnittelijoiden on helpompi valita sopiva tuote haluamaansa käyttötarkoitukseen. /11/

3.2 CE-merkintä

CE-merkintä (*Conformité Européene*), katso kuvio 4, on valmistajan todistus siitä, että tuote, jossa CE-merkintä on, täyttää EU:n kyseessä olevaa tuotetta koskevat direktiivit ja näin tuote voi liikkua vapaasti Euroopan alueella. Merkintä on pakollinen Euroopan talousalueella tietyissä tuotteissa ja pakolliseksi se tuli Suomessa vuoden 1994 alussa mm. leluille. /1,4/

Rakennustuotteissa CE-merkintä ja sen liitetiedot kertovat, mitkä ovat tuotteen ilmoitetut ominaisuudet ja että ne on testattu ja ilmoitettu yhdenmukaisella tavalla harmonisoidun tuotestandardin mukaisesti. CE-merkintä rakennustuotteessa ei kuitenkaan takaa sitä, että tuote täyttää kyseessä olevan rakennuskohteen tai ko. maassa asetetut vaatimukset. Käyttäjän on tärkeää tarkistaa, että tuote sopii heidän vaatimuksiinsa, käytäntöihin ja täyttävät viranomaisten vähimmäisvaatimukset. /4/

Yhdenmukaistettu standardi tai ”harmonisoitu tuotestandardi” eli hEN, on asiakirja, jossa on kuvattu muun muassa tuotteen tekniset ehdot, laadunvalvonnan toimenpiteet ja myös tarvittavat CE-merkinnässä ilmoitettavat tiedot. Nämä tiedot on julkaistava ilmoituksena EU:n virallisessa lehdessä, jolloin harmonisoidusta tuotestandardista tulee pätevä. /2; 8; 10/



Kuvio 4. CE-merkintä.

Jotta valmistaja saisi CE-merkinnän, on valmistajan tehtävä seuraavat asiat:

1. Valmistajan on tarkistettava, onko tuotteella harmonisoitua tuotestandardia
2. Harmonisoitu tuotestandardi määrittää, mitä jatkotoimenpiteitä, testejä ja muita selvityksiä valmistajan on tehtävä
3. Valmistaja laatii suoritustasoilmoituksen (DoP) testien ja muiden selvitysten jälkeen
4. Tuotestandardin edellyttämällä tavalla CE-merkintä liitetään tuotteeseen, pakkaukseen tai kaupallisiin asiakirjoihin. Suoritustasoilmoitus laitetaan näkyville valmistajan sivuille tai toimitetaan tilaajalle muilla tavoin. /2/

3.3 Standardit

Standardit ovat järjestön tai organisaation esittelemä kuvaus menettelytavasta, jonka mukaan jokin asia tai esine tulisi tehdä. Se myös määrittää tuotteen ominaisuudet ja vaatimukset tuotteen kestolle. EN-standardit on voittoa tavoittelemattoman järjestön CEN:in (Comité Européen de Normalisation) laatimia asiakirjoja, joita käytetään Euroopan alueella ja niissä Euroopan ulkopuolelta tulevissa tuotteissa, jotka haluavat tulla Euroopan markkinoille. /3/

EN-standardit suunniteltiin poistamaan teknisiä esteitä kaupan tieltä ja yhtenäistämään maiden välisiä määräyksiä sekä käytäntöjä. Näin tuotteista tulisi turvallisia ja ne olisivat vapaasti myytävissä Euroopan talousalueella. Euroopan komissio julkaisi ensimmäisen sukupolven määräyskokoelman, Eurokoodit, vuonna 1984. /9/

Standardit tehdään yhteistyössä maiden kansallisten järjestöjen kanssa ja Suomessa CEN:in standardit vahvistetaan Suomen Standardisoimisliitto SFS ry:n toimesta SFS-EN-standardeiksi /21/. SFS on riippumaton Suomen kansallinen standardisoinnin keskusorganisaatio, joka julkaisee satoja standardeja, jotka eurooppalainen CEN ja maailmanlaajuinen ISO-järjestö vahvistavat. /22/

3.3.1 Standardi EN 14509 ja EPAQ

EN 14509 on metallikuorisille, villaytimisille paneeleille CEN:in vuonna 2006 vahvistama standardi, jonka rakenne koostuu vaatimuksista, ominaisuuksista ja testimenetelmien kuvauksesta Sandwich-paneelille. Paneeli voi olla tehty polyuretaanista, paisutetusta polystyreenistä, suulakepuristetusta polystyreenistä, fenoli-vaahdosta, solulasista tai mineraalivillasta, jotta tätä standardia voidaan käyttää CE-merkinnän hakemiseen. Liitteissä A-E, jotka ovat velvoittavia, kerrotaan tarkasti kaikki testimenetelmät, laskelmat ja arvot, jotka testien pitää täyttää, että tulokset voidaan hyväksyä. /5, 12/

Opinnäytetyössä käytetään kahta versiota standardista, EN 14509:2006 ja prEN 14509:2009, joka on revisiointivaiheessa oleva uusi versio. Suurin ero näiden standardien välillä liittyen sisäkattopaneelien tyyppitestaukseen on toistuvien

kuormien testauksessa. Standardissa prEN 14509:2009 toistuva kuormitus tehdään kävelemällä paneelin yli 2000 kertaa, kun taas standardissa EN 14509:2006 toistuva kuormitus suoritettiin kuormittamalla testipaneelia 40 kertaa käyttämällä vetolujuuskonetta /5, 12/. Muilta osin standardin versiot ovat yhteneväiset.

EPAQ (European Quality Assurance Association for Panels and Profiles) on eurooppalaisten Sandwich-paneelien ja profiilien valmistajien perustama laadunvarmistusyhdistys, joka välittää tietoa siitä, kuinka paneeleille ja profiileille tehtävät testit tulisi tehdä EN- standardien puitteissa. EPAQ:in laatimaa sääntökoelmaa käytetään apuna ja tarkistusasiakirjana tehtäessä varsinaisia testejä standardin EN 14509 mukaan Sandwich sisäkattopaneelien tapauksessa. /6/

4 TESTIEN SUUNNITTELU

Tyypitestiä suunnittelu aloitettiin maaliskuussa 2012. Selvitimme mitä testejä tulee suorittaa, miten paljon tarvitaan materiaalia testeihin, milloin ne saadaan tuotantoon tehtaalla, kuinka monta testikappaletta kuhunkin erilliseen testiin tulisi sisällyttää ja miten testit saataisiin parhaiten suoritettua. Testejä koskevat pohdinnat ja päätökset käytiin läpi palaverissa, sähköpostin kautta ja puhelimitse ennen testiä aloittamista ja testiä aikana. Työstämiseen ja suunnitteluun osallistui Niina Filander, Simo Heikkilä, Harri Kempainen, Lars Heselius ja Jyrki Niemi. Kaikkien testiä tuli noudattaa standardeja EN14509:2006 ja prEN 14509:2009 sekä EPAQ:sta löytyviä ohjeita /5; 6; 12/.

Palaverien tuloksena päätettiin toteuttaa standardista seuraavat testit;

1. Elementin poikittainen vetolujuus
2. Ydinmateriaalin puristuslujuus ja -kimmokerroin
3. Elementin ydinkerroksen tiheyden ja massan määrittäminen
4. Pitkäaikainen leikkauslujuus
5. Pistekuormakestävyys
6. Toistuvan kuormituksen testi standardin EN 14509:2006 mukaan
7. Toistuvan kuormituksen testi standardin prEN 14509:2009 mukaan
8. Virumisluvun määrittäminen

Testien ja testeistä kirjoitettujen englanninkielisten EN- raporttien tuli olla valmiina viimeistään 24.4.2013, jolloin Ruukin vakituksella henkilöstöllä olisi aikaa CE-merkinnän vaatimaan prosessointiin. Testeille suunniteltiin alustava aikataulu, mutta siinä ei suurimmalta osalta pysytty, koska testeissä tuli vastaan uusia huomioita ja faktoja ja tehtaalla testaushenkilöstö oli kiireinen. Suurin osa testeistä saatiin suoritettua 2012 syyskuuhun mennessä. Pitkäaikaisen leikkauslujuuden testit jatkuvat osittain edelleen, mutta kevääseen 2013 mennessä saatiin riittävästi tuloksia CE-merkintää varten.

4.1 Menetelmät

Vähemmän aikaa ja tilaa vievät testit, esimerkiksi toistuvien kuormien testit, tehtiin Alajärven toimipisteen testilaboratoriossa. Tehtaalla oli käytössä vetolujuustestauslaite, jolla suoritettiin myös puristuskokeet, alipainetestilaatikko (vacuum-test box) ja muut tarvittavat välineet testejä varten. Pitkäaikaiset testit tehtiin Alajärven teollisuusalueella olevassa erillisessä hallissa, jossa riitti tilaa useille pitkäaikaisille, samaan aikaan tehtäville testeille. Testihallille kuljetettiin tarvittava määrä kuormitusrautaa, jolla kuormitukset tehtäisiin. Kuormitusteräksiä oli varattu yhteensä n. 31 000 kiloa.

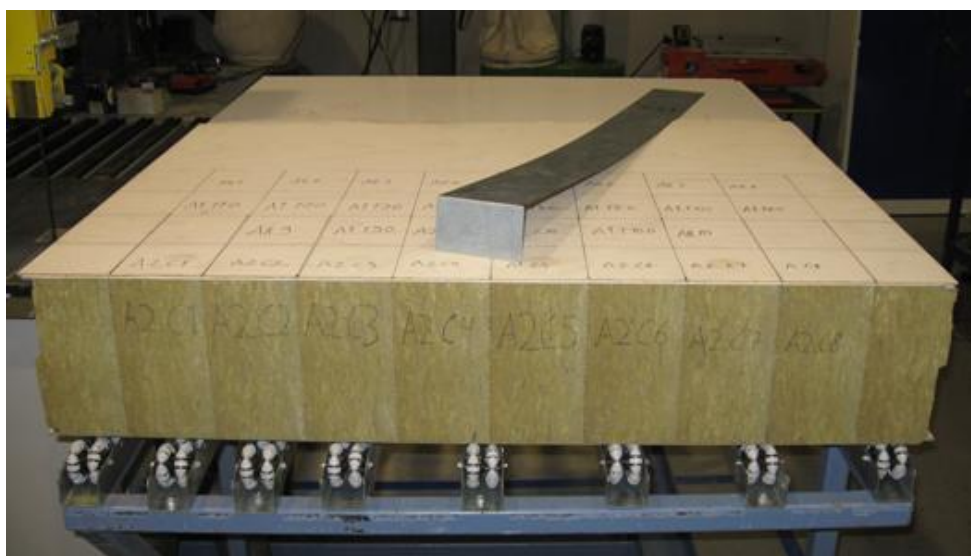
Tehtaan vakinaisesta henkilöstöstä koottiin työryhmä, joka suoritti manuaalisen työn jokaisen testin kohdalla. Tähän ryhmään kuuluivat Simo Heikkilä, Jyrki Niemi, Tapani Lahtela, Niko Pitkänen sekä opinnäytetyön tekijä.

5 TESTIT KÄYTÄNNÖSSÄ

Tässä kappaleessa esitellään pääpiirteittäin suoritettut testit ja kappaleissa 6 ja 7 esitellään kaksi testiä tarkemmin esimerkkiarvojen avulla.

5.1 Elementin poikittainen vetolujuus

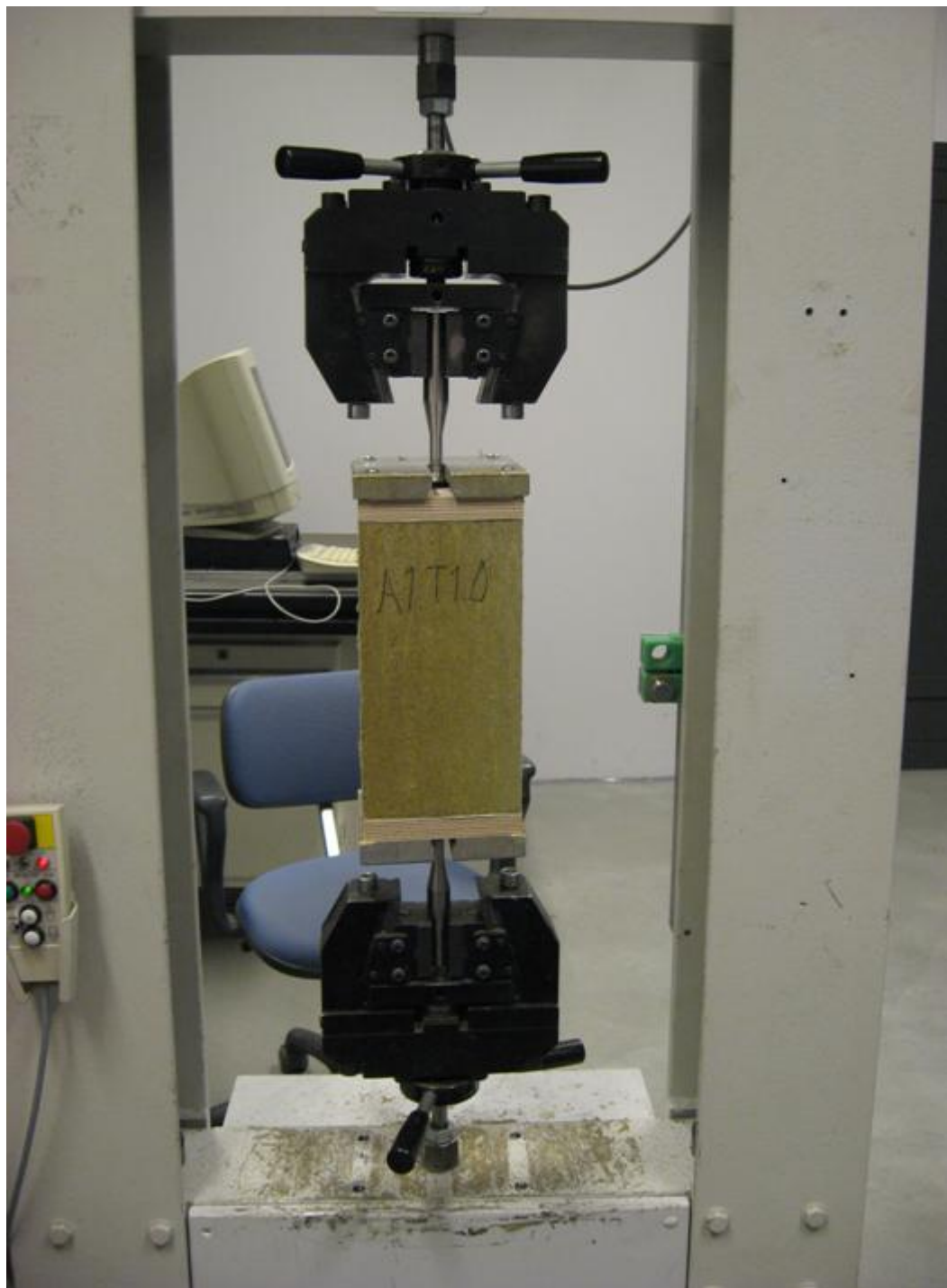
Testipaneelin päälle suojaksi kiinnitettyyn kovalevyyn piirretään 100 mm *100 mm neliöitä. Kovalevy suojaa paneelia vaurioilta vannesahalla leikkauksen ajan, katso kuvio 5. Vannesahalla paneelista leikataan villalamellin myötäisesti vetotestikappaleita. Nämä liimataan vaneerilevyn kappaleisiin, jotka on aiemmin ruuvattu kiinni vetokokeen metallikappaleisiin. Jokainen testikappale numeroitiin, kuten kuviossa 6 voidaan nähdä, että testidata pysyy järjestyksessä. Liiman kuivuttua ja kovetuttua, vetokoe suoritettiin kuormittamalla näytekappaletta tasaisesti käyttämällä vetolujuustestauskonetta, näytetty kuviossa 7. Kuormittamista jatkettiin, kunnes lopullinen kuorma (F_u) saavutettiin eli testikappale murtui ja menetti vetolujuutensa, murtuma nähtävissä kuviossa 8. Testikappaleen murtuman muoto ja tyyppi arvioitiin ja kirjattiin erikseen jokaisen koekappaleen osalta. Koelaitteena käytettiin Matertest vetolujuuskonetta, jonka VTT Expert Services Oy tarkistaa säännöllisin väliajoin. Kokeet tehtiin tasaisissa laboratorio-olosuhteissa lämmön ja kosteuden suhteen./5, 58-62/



Kuvio 5. Testikappaleet piirrettynä kovalevyyn.



Kuvio 6. Vetolujuuden koekappaleet valmiita testattavaksi liimauksen ja liiman kovettumisen jälkeen.



Kuvio 7. Vetolujuuden koekappale paraikaa testattavana.



Kuvio 8. Koekappaleita vetokokeen jälkeen.

5.2 Ydinmateriaalin puristuslujuus ja -kimmokerroin

Puristuslujuuden testikappaleet leikattiin kuvion 5 kappaleen mukaisesti vanesahalla. Kukin testikappale numeroitiin (kuvio 9) ja aseteltiin kahden jäykän alustan väliin, jotka puristivat testikappaletta, kunnes eristeen murtuminen tapahtui (kuvio 10). Puristuskoe tehtiin myös Matertest- vetolujuuskoneella, jolla voi tehdä myös puristuskokeita. Testit suoritettiin tavanomaisissa laboratorioolosuhteissa./5, 64-66/



Kuvio 9. Puristuskoe-kappaleita valmiina testaukseen.



Kuvio 10. Puristuskoee käynnissä.

5.3 Elementin ydinkerroksen tiheyden ja massan määrittäminen

Paneelien villaytimen tiheys mitattiin standardin EN 14509:2006 mukaan. Näytteet villaytimestä leikattiin samasta paneelierästä, joita käytettiin muihin täysmitaisten paneelien testeihin. Paneelit, joista palat leikattiin, olivat 1,5m pitkiä. 100mm * 100mm kokoisesta näytteestä leikattiin varovasti irti ylä- ja alateräspinta ja paino mitattiin vaa'alla. Luvut merkittiin ylös myöhempää käyttöä varten. /5, 98-100/ Samalla testattiin myös myötölujuus ja paksuus teräsohutlevyistä, joita käytettiin muissa testipaneeleissa. Koepaneelien valmistamiseen käytetyistä teräskeloista leikattiin irti kappaleet ennen ja jälkeen koepaneelien valmistamista. Testattavat näytteet leikattiin pienemmiksi A4-kokoisiksi arkeiksi, jotka sitten lähetettiin Ruukin Hämeenlinnaan tehtaalle laboratoriotesteihin, joissa näytteistä määritettiin teräksen myötölujuus ja paksuus.

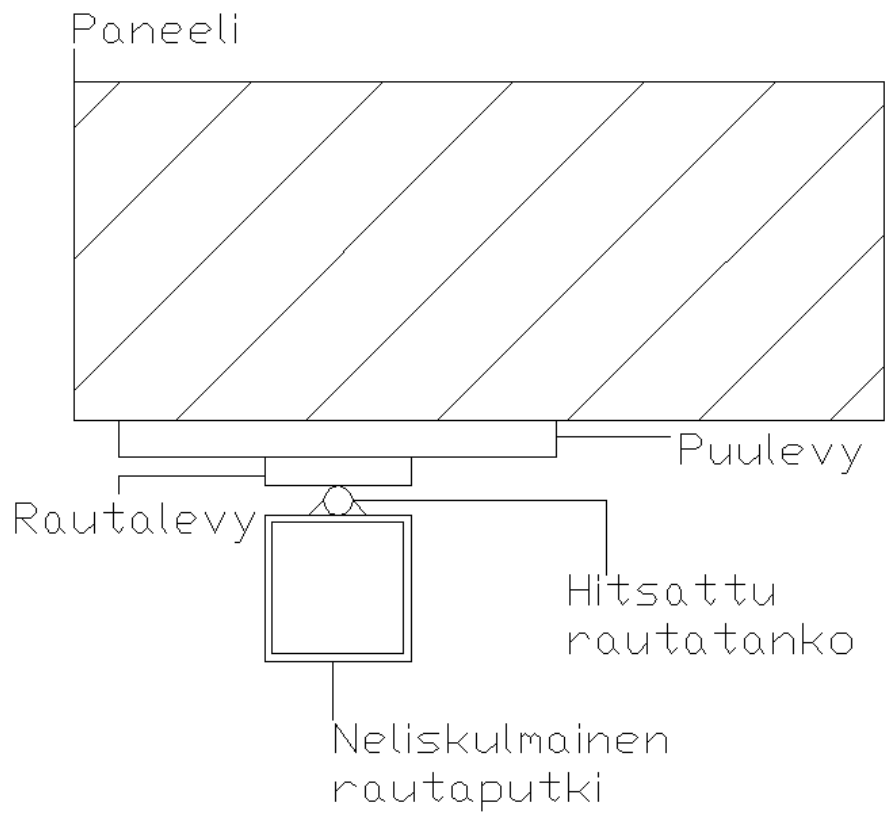
5.4 Pitkäaikaisen leikkauslujuuden testi

Tämän testin tarkoituksena oli saada selville pitkäaikainen leikkauslujuus. Pitkäaikaista leikkauslujuutta käytetään lujuuslaskelmissa lumikuormalle (2000 tuntia) ja omapainolle (100000 tuntia). Lujuus saatiin selville ekstrapoloimalla testitulokset käyttämällä keskiarvon regressiolinjaa logaritmisessa kaaviossa. Murtokuormien testaustuloksiin perustuen tulee piirtää regressiosuora, jotta voidaan osoittaa keskimääräisen pitkäaikaisen leikkauslujuuden suhde alkuperäiseen leikkauslujuuteen (lyhytaikainen leikkauslujuus) kuormitusajan funktiona. Pitkäaikainen leikkauslujuus 2000 tai 100000 tunnin kohdalla määritetään ekstrapoloimalla keskiarvon regressiosuorasta. Tässä kappaleessa on esitetty periaatteet, kuinka kyseisenlaiset tyyppitestaukset suoritetaan. Lisäksi on esitetty esimerkinomaisesti tuloksia, joita testeistä voitaisiin saada ja kuinka sellaisia lukuarvoja jatkokäsitellään. /5, 70-72/

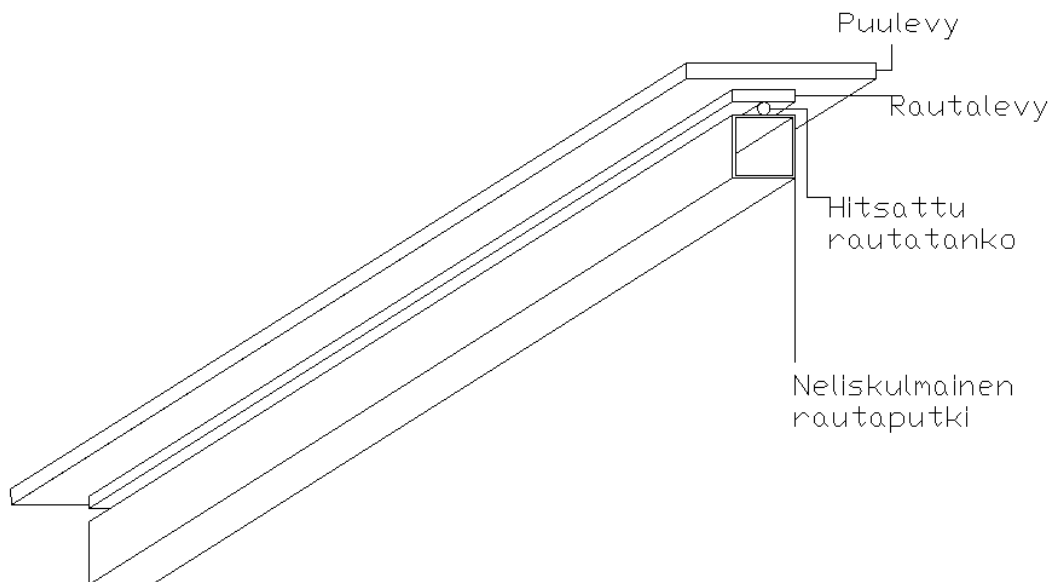
Ennen pitkäaikaista leikkauslujuuden testejä tehtiin kuusi lyhytaikaista testiä paneelin murtokuormaan asti, jotta saataisiin selville lyhytaikainen leikkauslujuus. Paneeli asetettiin kahden neliskulmaisen teräsputken päälle, joiden päällä on te-

räsputken mittainen rautatanko, teräslevy ja puulevy, tukijärjestely nähtävissä kuvissa 11 ja 12. Toisessa tuessa terästanko oli hitsattu kiinni teräsputkeen ja toisessa päässä terästanko oli hitsaamaton ja vapaa liike oli täten mahdollinen. Tuki pääsi kiertymään vapaasti ja näin mahdollisti testipaneelin vapaan taipuman.

Testipaneeli asetettiin paikoilleen testihallilla, jossa oli laboratorio-olosuhteet. Paneelin alapinta suojattiin kovalevyllä siltä kohdalla, missä sijaitisi kuormituksen aiheuttaman viruman ja värinän estämiseksi testauksessa käytettävä tukipalkki (kuvio 13). Paneelia kuormitettiin 3mm vahvoilla ja 1200 mm pitkillä teräslevyillä tasaisesti kuormaa lisäten, kunnes paneeli murtui. Kuormituksen aikana taipuma mitattiin digitaalisella mitalla kahdesta pisteestä paneelin molemmin puolin, jotta taipuman kehitystä pystyttiin tarkkailemaan (kuviot 14 ja 15). Kun paneelille kuormitettiin tarpeeksi terästä, se murtui hyvin nopeasti. Ennen murtumista paneelista oli selvästi kuultavissa hiljainen suhina jännitystason kasvaessa ja mineraalivillan murtuessa kuormituksesta johtuen. Kuten kuvion 16 lyhytaikaisessa leikkauslujuustestin paneelissa nähdään, paneelissa vaurio on alkanut leikkausmurtumana reunalla sijaitsevasta lamellien liitoskohdasta ja lommahdusmurtuma on sekundäärisenä vauriona.



Kuvio 11. Täysimittaisen testauksen tukijärjestelyn periaate.



Kuvio 12. Malli tukijärjestelyistä sivusta päin.



Kuvio 13. Testipaneelin asetus paikoilleen.



Kuvio 14. Taipumamittaus kuormituksen aikana.



Kuvio 15. Lähikuva taipumamittauksesta.



Kuvio 16. Murtunut paneeli.

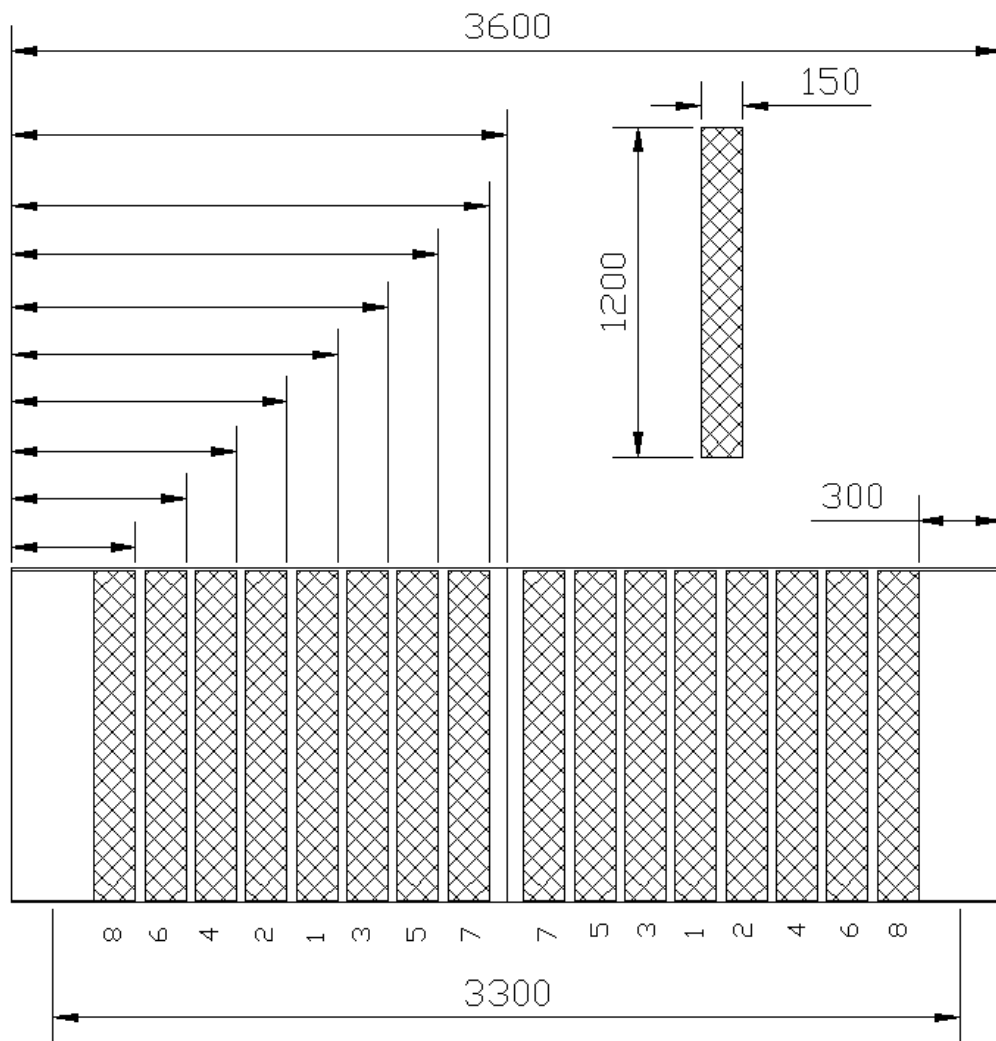
Lyhytaikaisen leikkauslujuuden tuloksista laskettiin referenssitaset pitkäaikaisia testejä varten. Syy kahteen erilliseen referenssitasoon on se, että testeissä huomattiin reunimmaisen lamellijatkoksen sijainnilla paneelissa olevan huomattava vaikutus leikkauslujuuden tasoon. Kun jatkoksen paikka oli 200 mm tuen reunasta, paneelissa tapahtui siisti leikkausmurtuma, alkaen lamellin epämuodostumana johtaen seuraavaan lamellin päähän ja lopulta paneelin taipumiseen ja murtumiseen. Kun jatkospaikka oli kauempana tuen reunasta, murtokuorma kasvoi. Päätettiin, että paneeleilla pitäisi olla jatkoskohta 200 mm päässä tuen sisäreunasta. Testipaneelien rajallisuuden vuoksi päätettiin käyttää kaikki mahdolliset paneelit hyväksi ja paneelit, joissa oli jatkos kauempana kuin 200 mm, käytettiin korkeampaa referenssikuormaa, joka oli määritetty sitä vastaavalla koejärjestelyllä.

Pitkäaikaisiin testeihin valittiin vähintään 10 kuormitustasoa paneeleille, jotka sitten murtuisivat ajanjaksolla 6 minuuttia...1000 tuntia. Kuormitustasot olivat välillä 40% ...93% lyhytaikaisen leikkauslujuuden murtokuormasta. Paneelit, jotka murtuvat 1000 tunnin jälkeen, voitiin myös ottaa mukaan analyysiin. Pitkäaikaiset kuormitustestit tehtiin tavallisissa laboratorio-olosuhteissa ja samalla koejärjestelyllä kuin lyhytaikaiset testit.

Kuormituskaavio on esitettyä kuvassa 17. Kuormitus aloitettiin kuormituspaikasta 1 ja viimeisenä tuli paikka 8. Pitkäaikaisiin kuormituksiin käytettiin 3 mm paksuja teräslevyjä. Ennen ensimmäistä teräslevyjen kerrosta, paneeli tuettiin alapuolelta, jotta virumamuodonmuutos kuormituksen aikana saataisiin estettyä. Tukijärjestelyt on esitetty kuvioissa 18 ja 19. Jokaiseen teräskerrokseen kuului 16 teräslevyä (1200mm*150mm*3mm) joista jokainen painoi n. 4,2 kg, näin jokainen teräskerros painoi 67,2 kg. Kuormitus aloitettiin kohdasta yksi ja lopetettiin kohtaan 8 (kuvio 17) paneelin molemmilla puoliskoilla, jolloin kuormituksen kasvaminen tapahtui symmetrisesti paneelin koko pituuden osalta. Kerralla yhden paneelin kuormituspaikan päälle aseteltiin 5 kerrosta teräslevyjä, joista yhteensä tuli 336 kg/kerros. Näin jatkettiin kuormitusta, kunnes 80 % tavoitekuormasta oli saavutettu, loput tarvittavat teräslevyt aseteltiin pienemmissä erissä. Jokaisen kerroksen

jälkeen alapuolen tukipalkki vapautettiin laskemalla se hieman irti testipaneelin alapinnasta ja paneelin taipuma mitattiin.

Tavoitekuorman tullessa täysimääräiseksi, paneelin taipuma mitattiin välittömästi molemmin puolin paneelia ja sitten 1 minuutin, 10 minuutin, yhden tunnin, 4 tunnin ja sitten lopulta vuorokauden välisin ajoin, kunnes paneeli murtui, mihin kului osassa paneeleita hyvin kauan. Kulunutta aikaa mittaamaan laitettiin digitaalinen tuntilaskuri. Tuntilaskuri nollattiin kuormituksen tullessa täyteen. Kuviossa 20 näkyvässä vihreässä palasessa on kiinni teräslanka, joka on kiinnitetty paneelin toisella puolella olevaan samankaltaiseen tukitelineeseen, joka on esitetty kuviossa 21. Paneelin murtuessa ja pudotessa alas teräslanka vetää vihreän kappaleen pois, jolloin laskuri pysähtyy ja tarkka kertynyt aika jää näyttöön näkyville 0,1 tunnin tarkkuudella. Kuvissa 22- 23 näkyy pitkäaikaisen kuormituksen murtunut testipaneeli. Kuviossa 24 voi nähdä, että enimmillään testaushallissa oli tilaa kuormittaa 12 paneelia yhtä aikaa. Kuviossa 24 on 11 paneelia kuormituksessa ja terästä on samanaikaisesti käytössä testikappaleiden päällä noin 29000 kg.



Kuvio 17. Malli pitkäaikaisen leikkauslujuuden testipaneelin kuormituspaikoista.



Kuvio 18. Testipaneeli valmiina pitkäaikaiseen leikkauslujuuskuormitukseen.



Kuvio 19. Täysi kuorma testipaneelin päällä.



Kuvio 20. Ajanmittaustuntilaskuri on nollattu ja valmis.



Kuvio 21. Tuntilaskurin vastakappale, johon on kiinnitetty teräslanka ja kiristetty paikoilleen testipaneelin alle.



Kuvio 22. Tyypillinen murtuma paneelissa pitkäaikaisen kuormituksen jälkeen.



Kuvio 23. Lähikuva tyypillisestä murtumasta paneelissa.

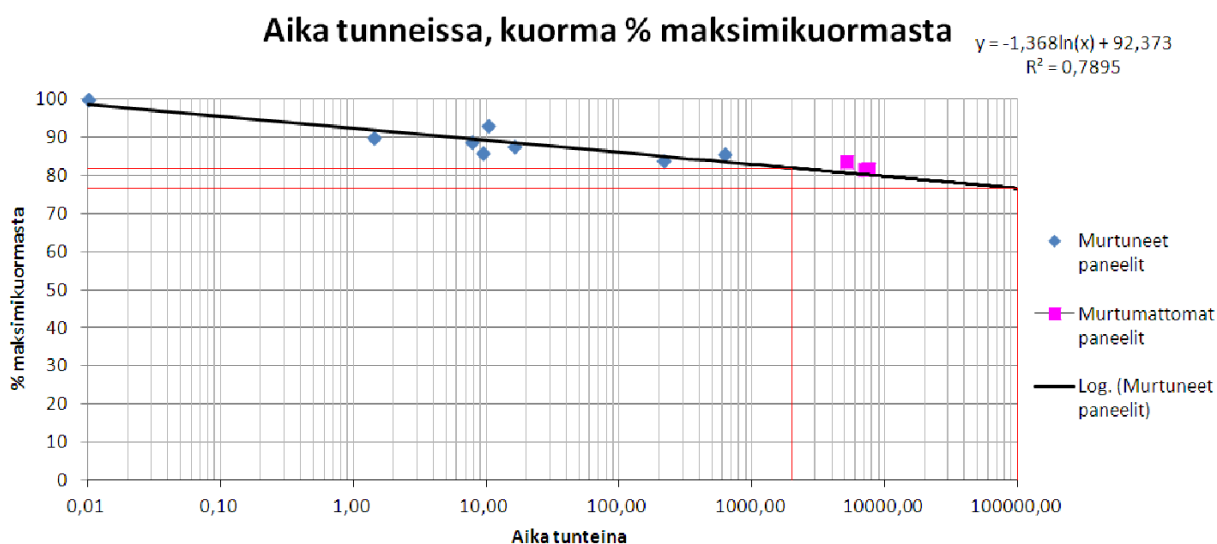


Kuvio 24. Näkymä testihallista.

Mitatut arvot kirjattiin excel-tiedostoon, jonka pohjalta tehtyyn kaavioon on piirretty testitulokset logaritmisena graafina, joka näkyy kuviossa 25. Kaaviossa 25 on esitetty esimerkinomaisesti arvoja, joita kyseisenlaisista testeistä voitaisiin saada. Tästä graafista laskettiin yhtälön

$$y = -1,368 \ln(x) + 92,373 \quad (1)$$

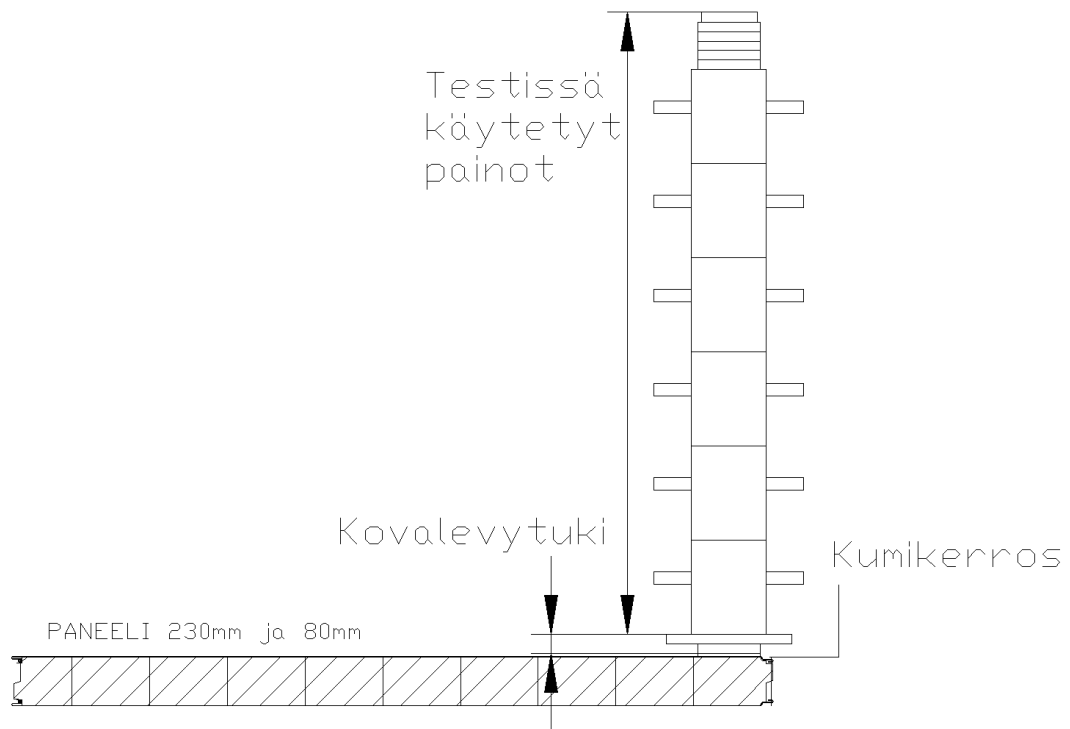
avulla millainen on pitkäaikainen leikkauskuorma 2000 (lumikuorma) ja 100000 (pysyvä kuorma) tunnin kohdalla. Punaiset viivat kuviossa näyttävät pitkäaikaisen kuorman, mutta edellä mainitun laskuyhtälön mukaan on kuorma tarkemmin laskettavissa. Laskemalla arvot yhtälöstä saadaan 2000 h arvoksi 81,97 % maksimikuormasta ja 100000 h arvoksi 76,62 % maksimikuormasta.



Kuvio 25. Logaritminen kaavio pitkäaikaisen leikkauslujuuden esimerkkituloksista. Punaisella värillä merkityt tulokset edustavat murtumia joita olisi saatu 1000 tunnin jälkeen.

5.5 Pistekuorma paneelille

Tämä koe tarkistaa, onko sisäkattopaneeli turvallinen ja soveltuva esimerkiksi yhden henkilön kävelyyn ja soveltuuko paneeli satunnaiseen kulkemiseen asennuksen aikana ja sen jälkeen. Testissä käytetty koejärjestely on esitelty kuviossa 26. Testeissä käytettiin paksuinta ja ohuinta mahdollista paneelia. Testi suoritettiin asettamalla testipaneeli vapaasti kiertyvien tukipalkkien päälle ja testaukseen hyödynnettiin tehtaalla olevaa alipainetestilaatikkoa. Testissä paneelin pinnalle kuormituskohdan viereen asetettiin anturit, jotka mittasivat pistekuormituksen aiheuttamaa taipumaa, katso kuvio 27. Paneelin urosponatin puoleisen sivun keskikohdalle asetettiin n. 1 cm paksuinen kumimatto (kuvio 30), tämän päälle 100 mm x 100 mm vaneerilevyn kappale, johon on kiinnitettynä 300 mm x 300 mm vaneerilevyn kappale, joka näkyy kuviossa 28. Näiden vaneerilevyjen päälle asetettiin tarkasti apuviivojen avulla kuusi teräspainoa, joista jokainen painoin n. 20kg, yhteensä 120 kg ja esiteltyinä kuvioissa 29, 31 ja 32. Teräspainojen päälle laitettiin vielä lisäpainoksi muutama vaneerilevypala ja metallikappale, jotta saataisiin täysi kuorma (kuvio 29). Täyden kuorman annettiin olla paikoillaan 6 sekunnin ajan (kuvio 32), jonka jälkeen kuormitusjärjestelmä poistetaan ja silmämääräisesti tarkistettiin, onko paneelin pintaan jäänyt vaurioita. Pinnassa ei havaittu minkäänlaisia vaurioita, kuten kuvioita 33 ja 34 verrattaessa käy ilmi. Kummassakaan testipaneelityypissä, 230 mm ja 80 mm paksuisissa paneeleissa, ei havaittu vaurioita pistekuormituksen jälkeen. /5, 101-102/



Kuvio 26. Malli toistuvan kuormituksen testissä käytettävistä järjestelyistä.



Kuvio 27. Testipaneeli asetettuna tukien päälle.



Kuvio 28. Vaneerilevytuki teräspainoille.



Kuvio 29. Teräspainot ja lisäkappaleet, joita käytettiin pistekuormatestiin.



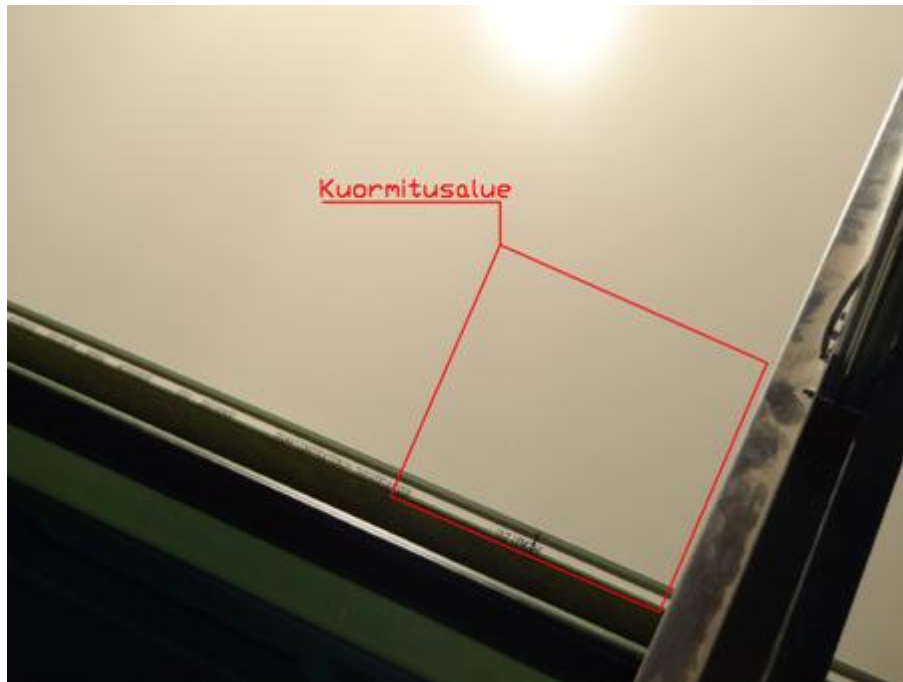
Kuvio 30. Kumikerros asetettuna paneelin keskikohdan päälle, urospontin puolelle.



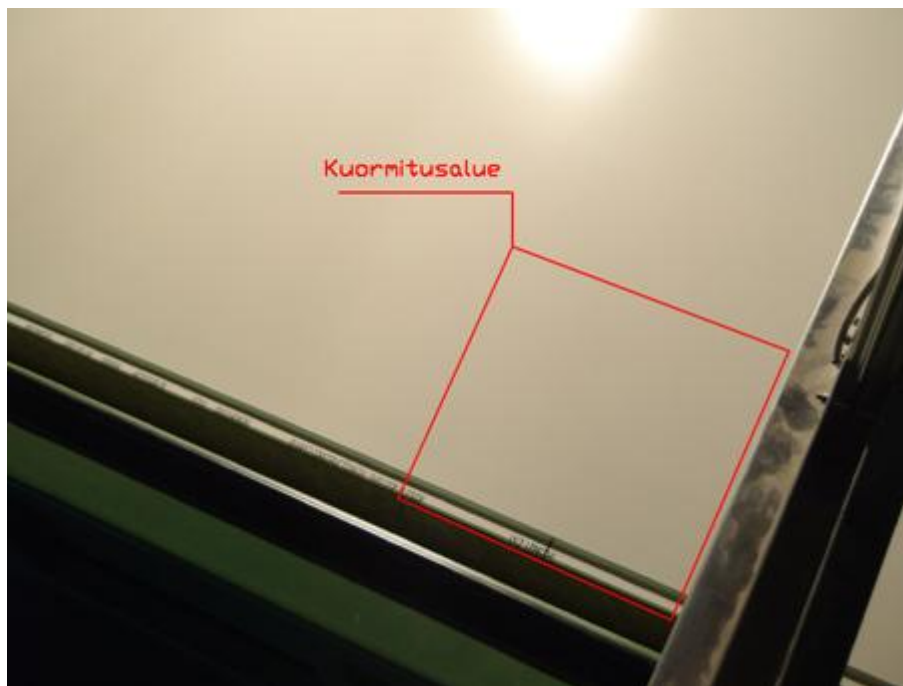
Kuvio 31. Ensimmäinen teräspaino asetetaan paikoilleen.



Kuvio 32. Täysi kuorma paneelin päällä 6 sekunnin ajan.



Kuvio 33. Testipaneelin yläpinta ennen pistekuormitusta.



Kuvio 34. Testipaneelin yläpinta kuormituksen jälkeen.

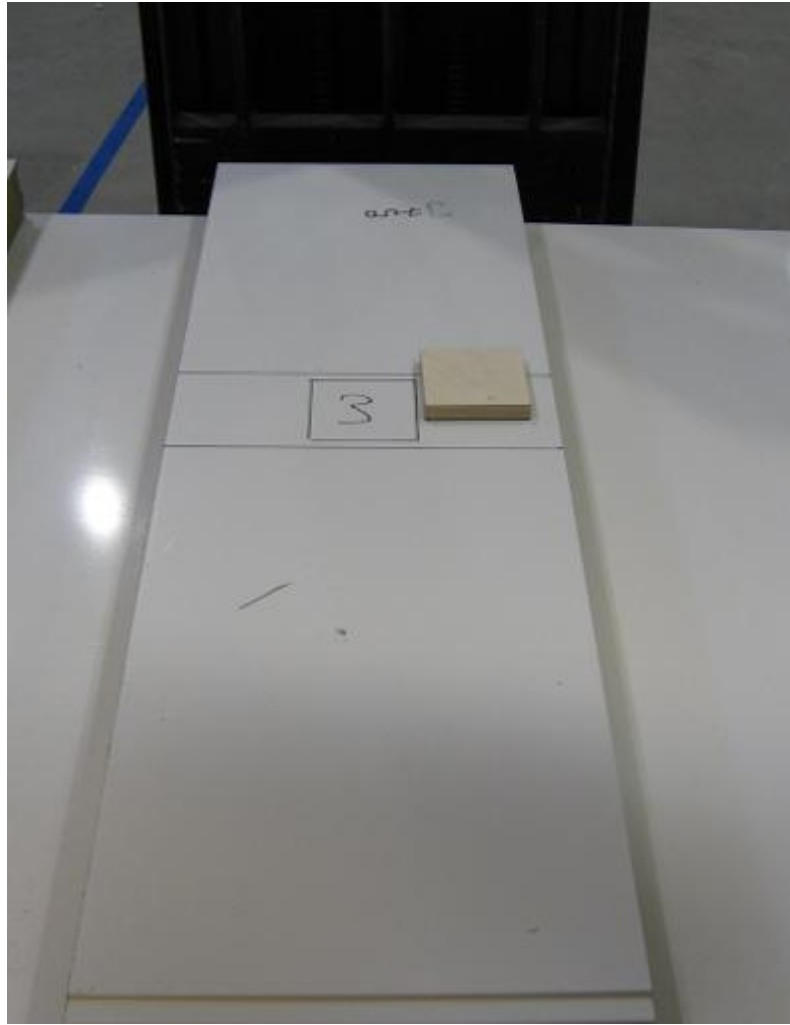
6 TOISTUVAN KUORMITUKSEN TESTIT

6.1 EN 14509:2006

Tämä toistuvan kuormituksen testi tarkastaa paneelin turvallisuuden ja käytettävyyden, kun yksi henkilö on kävelemässä paneelilla asennuksen aikana ja sen jälkeen. Testi mittaa paneelin poikittaisen vetolujuuden toistuvan kuormituksen jälkeen, joka simuloi toistuvaa kulkua katolle tai sisäkatolle. Kuormitettujen paneelien vetolujuusarvoja verrataan sitten kuormittamattoman testikappaleen poikittaiseen vetolujuuteen. /5, 102-104/

Viiden testipaneelin keskelle piirretään 100 mm x 100 mm neliö (kuvio 35) ja kukin testikappale asetetaan sisäpuoli jäykälle 500 mm x 1200 mm levyille, joka sitten asetetaan puristuskoneen alemmalle levyille (kuvio 36). Kuormituskappale, jonka mitat ovat 100 mm x 100 mm, sijoitetaan paikalleen niin, että se osuu täsmälleen paneeliin merkityn neliön kohdalle, kun kappaletta puristetaan paneelin yläpintaa vasten (kuvio 37). Näytepaneeliin kohdistetaan 40 sykliä, joista jokainen sykli puristaa paneelia 600 N voimalla 6 sekunnin ajan tarkasti asetetun kuormituskappaleen kautta paneeliin, ja välillä on 2 sekunnin tauko ilman kuormitusta. /5, 102-104/

Kun 40 syklin kuormitus on suoritettu, merkityt ja kuormitetut neliöt leikataan irti varovasti lopusta paneelistä (kuvio 38). Palojen metallipinnat liimataan normaalin vetokoejärjestelyn mukaisesti ja testikappaleet testataan aina murtoon saakka (kuvio 39). Jotta testitulokset olisivat hyväksyttäviä, on kuormitettujen testikappaleiden poikittainen vetolujuus oltava 80 % kuormittamattomien testikappaleiden lujuudesta. /5, 102-104/



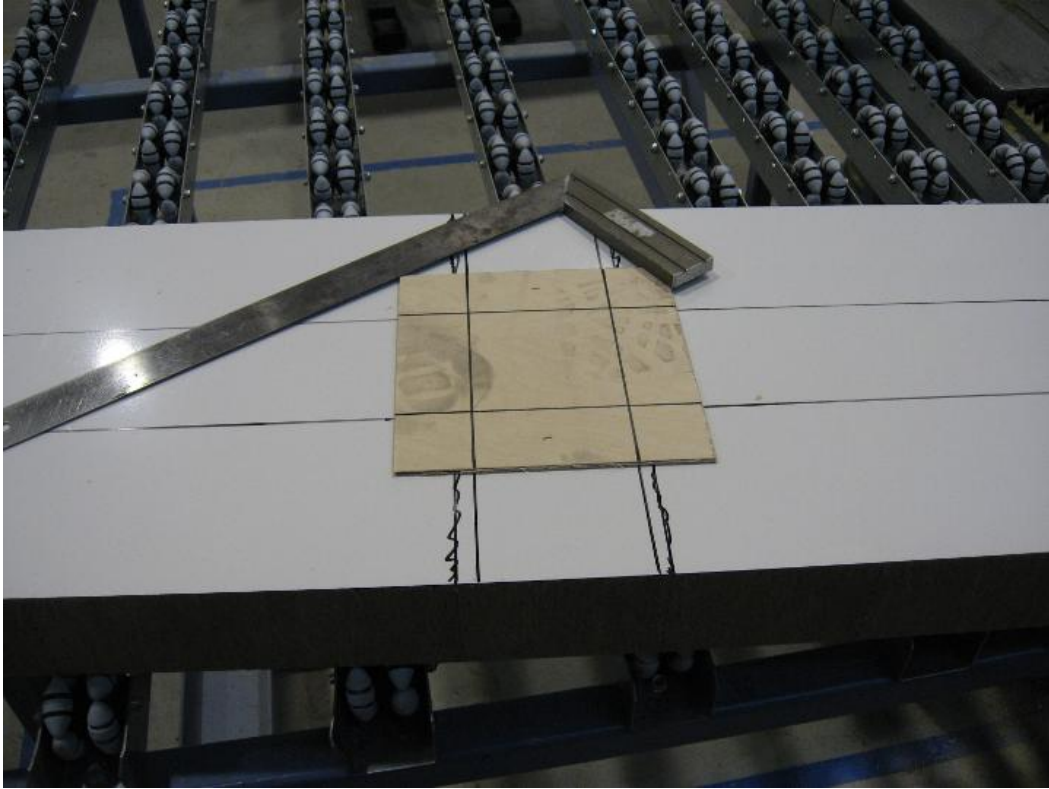
Kuvio 35. Neliö piirrettynä testipaneeliin lamellin mukaisesti.



Kuvio 36. Testipaneelia asetetaan paikoilleen koelaitteeseen.



Kuvio 37. Testipaneeli valmiina kuormitettavaksi.



Kuvio 38. Leikattava koekappale merkittynä testipaneeliin.



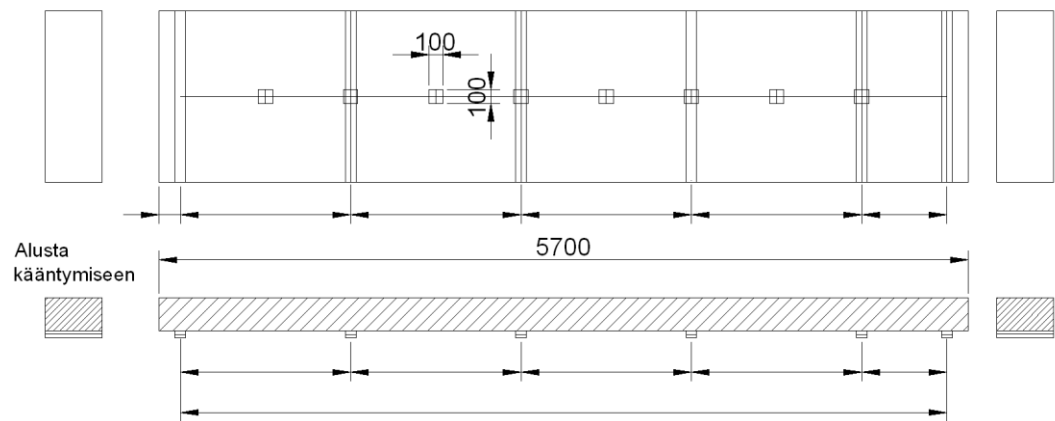
Kuvio 39. Referenssitestikappale vetolujuuskokeen aikana.

Korkein ja matalin vetolujuusarvo jätetään huomioimatta ja kolmen jäljellä olevan testikappaleen tuloksen keskiarvo lasketaan. Tätä arvoa verrataan niihin arvoihin, jotka on saatu kuormittamattomista testikappaleista. Jos kuormitettujen testikappaleiden vetolujuuden keskiarvo on vähemmän kuin 80 % kuormittamattomien paneelien vetolujuuden keskiarvosta, paneelin katsotaan olevan sopimaton toistuville kuormille ilman lisäsuojasta. /5, 102-104/

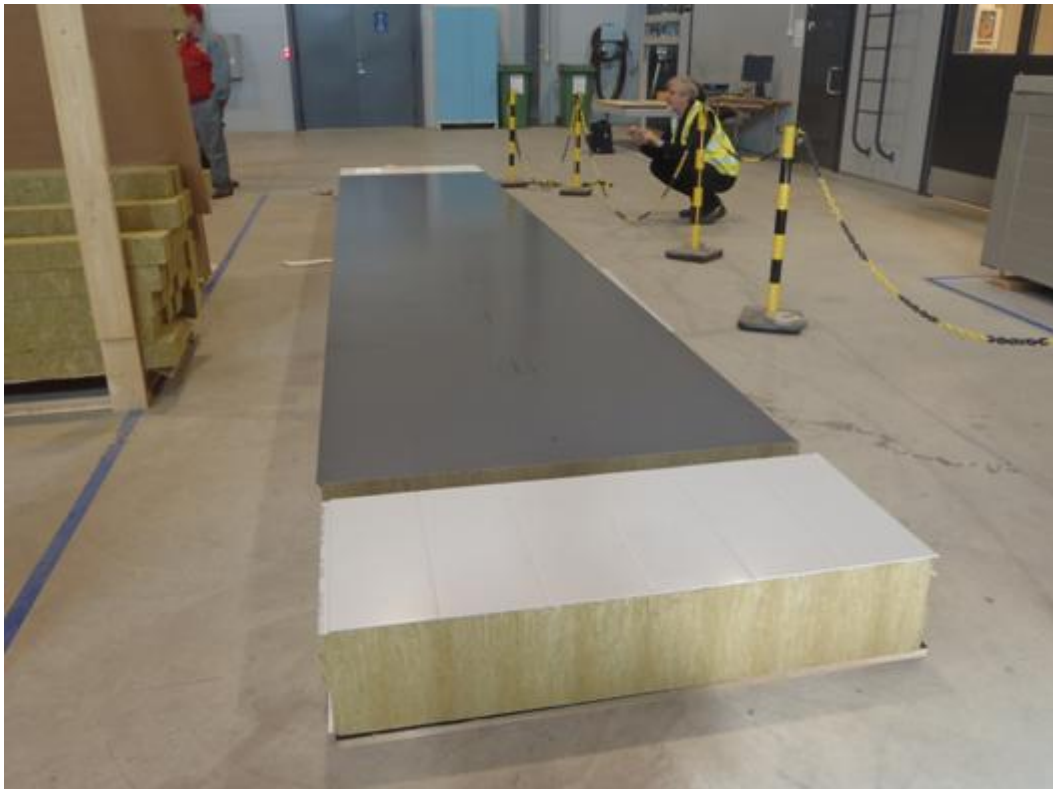
6.2 EN 14509:2009

Uuden standardirevision mukainen toistuvan kuormituksen testi eroaa tällä hetkellä voimassa olevasta standardista huomattavasti.

Testissä tarvittiin noin 90 kg painava henkilö mahdollisen työkalulaatikon kanssa ja jolla on uudet, vähän kantapäästä kulutetut kengät. Todellinen kuorma testi-paneelilla käveltyessä oli $108 \text{ kg} \times 9,80665 \text{ m/s}^2 / 1000 = 1,05 \text{ kN}$. Paneeliin keskiviivaa pitkin merkittiin kahdeksan neliötä. Neljä neliötä oli tukien kohdalla ja toiset neljä olivat tukien välissä jännevälän keskellä, koejärjestely esitettynä kaaviona kuviossa 40 ja valokuvana kuviossa 41. Lisäksi paneeliin merkittiin kolme vertailuneliötä kauaksi keskiviivasta, jotta saataisiin selvitettyä vertailulujuus kuormitettuja testikappaleita varten. Kuviossa 42 testihenkilö on seisomassa tasanteella ennen kävelyn aloittamista. Koehenkilö käveli edestakaisin paneelin päästä päähän ottaen huomioon, että kenkien kantapää osui satunnaisesti 100 mm x 100 mm kokoisen neliön alueelle, jotka on merkitty paneelin keskiviivan kohdalle, katso kuvio 43 ja 44. Testihenkilö kävelee paneelia pitkin 2000 kertaa, matkien satunnaisista asennusaikaista ja huoltokäyntejä sisäkaton päällä, kävelyä esitelty kuviossa 45. Kun ylityksiä oli 500,1000,1500, yli käveltyjen neliöiden (tuen ja jännevälän kohdilla) päälle laitetaan 12 mm paksu, riittävän tukeva levy suojaamaan paneelia kantapään tuottamalta vahingolta, levy nähtävissä kuviossa 46. 2000 ylityksen jälkeen, kahdeksan koeneliötä leikataan varovasti irti muusta paneelistä. Kolme samankokoista kappaletta leikataan muualta paneelistä, etäällä kävelyalueesta. Testikappaleet testataan vetokokeessa tavallisesti käytetyllä koejärjestelyllä, esitelty kuvioissa 6-8. Kuormitettujen testikappaleiden vetolujuuden on oltava 80% referenssilujuudesta, jotta testitulos on hyväksyttävä. /12, 76-78/



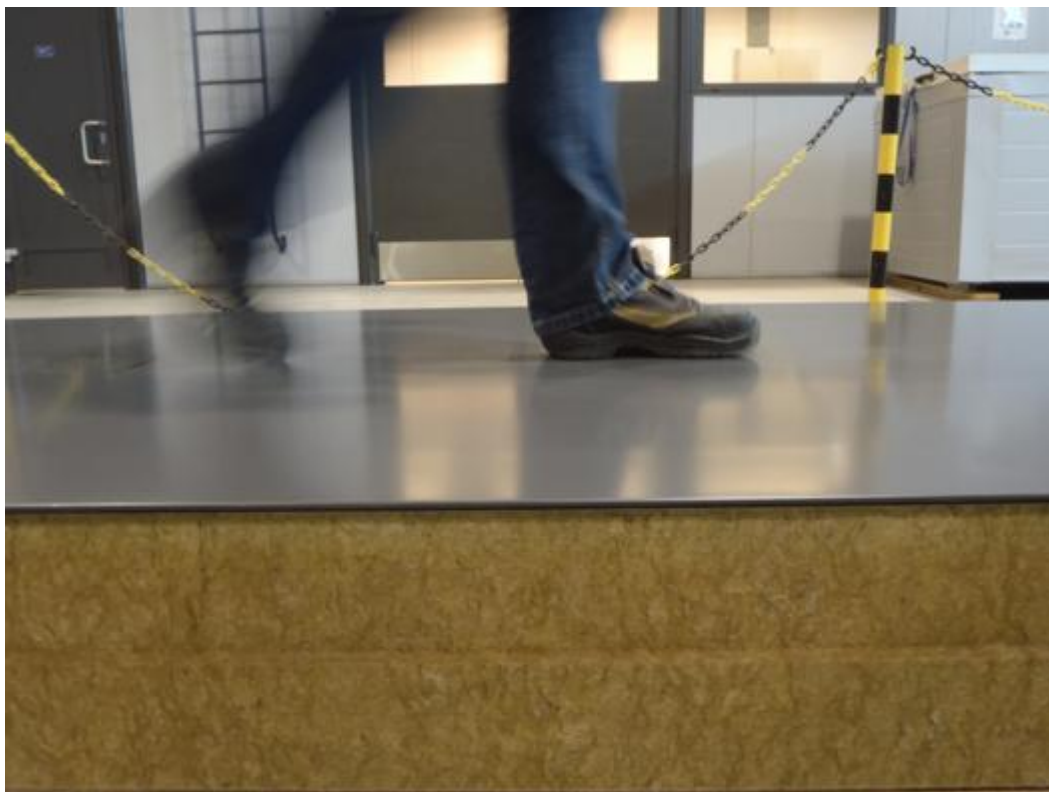
Kuvio 40. Malli toistuvan kuorman koejärjestelystä.



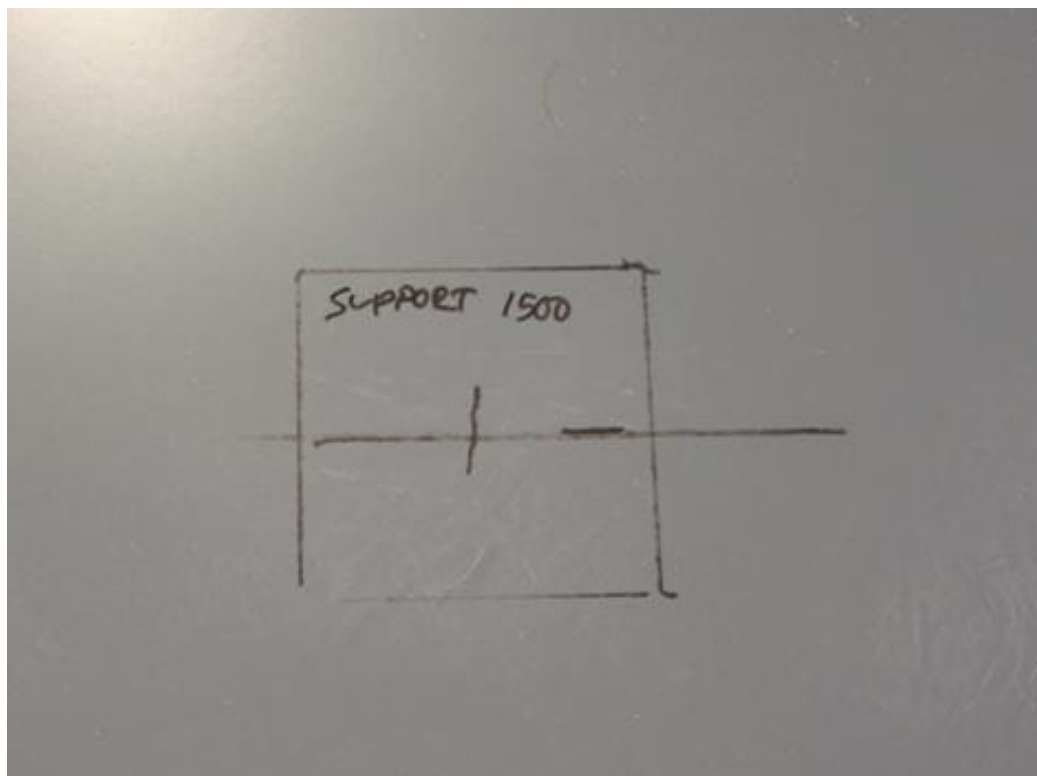
Kuvio 41. Paneeliin keskiviivaa pitkin merkittiin kahdeksan neliötä.



Kuvio 42. Testihenkilö seisomassa tasanteella ennen kävelyn aloittamista.



Kuvio 43. Kengän kantapää osuu merkitylle neliölle.



Kuvio 44. Piirretty neliö testipaneelissa kävelyn jälkeen.



Kuvio 45. Testihenkilö kävelemässä paneelia pitkin kahdeksan merkityn neliön yli.



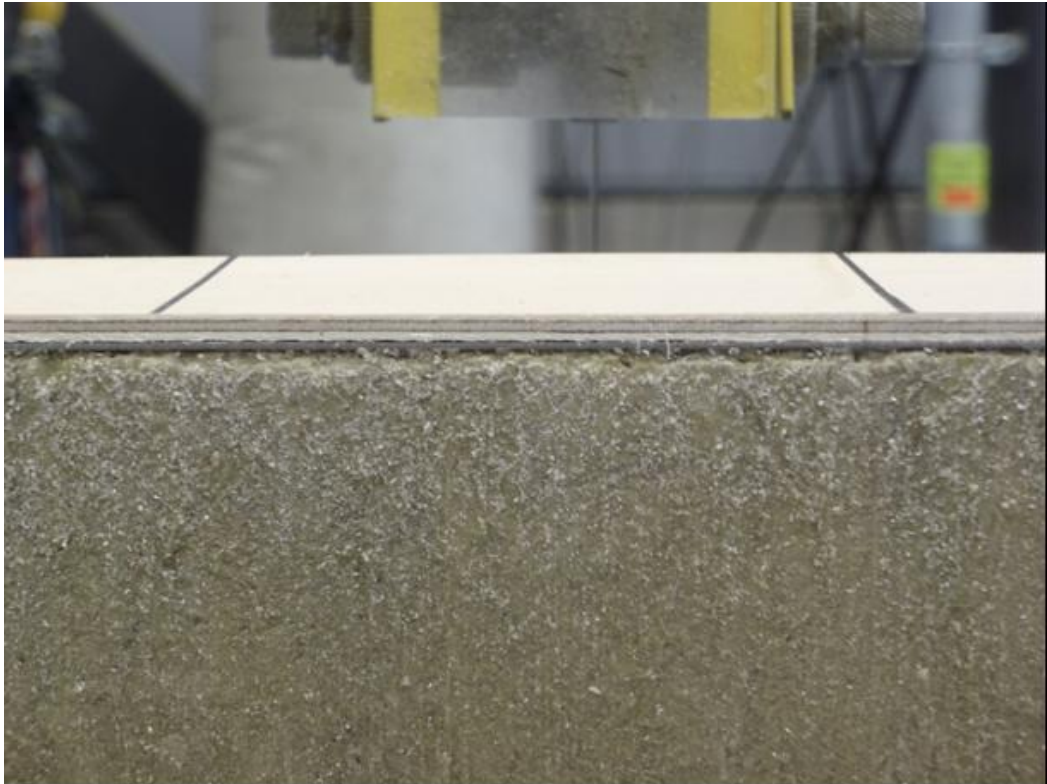
Kuvio 46. Vaneerilevyt suojaamassa jo kuormitettuja kohtia.

6.2.1 Testituloksia ja laskenta

Tässä kappaleessa on esitetty esimerkinomaisesti tuloksia, joita testeistä voitaisiin saada. Kuviossa 47 on nähtävissä paneelin pinnassa huomattavaa pysyvää vauriota niillä kohdin, missä kantapää osui satunnaisesti neliön sisälle. Leikattaessa testikappaleita pois lopusta paneelista ja liimattaessa näytteitä, metallipinta näkyi olevan osittain irti mineraalivillaytimeistä (kuvio 48 jaa 49). Taulukosta 1 ja kaaviosta 1 näkyy esimerkkitulokset 230 mm paksuusluokan paneelille, jonka pintalevyinä on 0,5 mm /0,5 mm ohutlevyteräkset ja taulukosta 2 ja kaaviosta 2 näkyvät esimerkkitulokset 230 mm paneelille, jonka pintalevyinä on 0,6 mm/0,5 mm ohutlevyteräkset. Testituloksista voi kriteerien perusteella päätellä, että kumpikaan paneelityyppi ei sovellu toistuvaan kuormittamiseen ilman riittävää suojausta. /12, 76-78/



Kuvio 47. Pintavaurioita havaittavissa kävelyn jälkeen.



Kuvio 48. Metallipinta on osittain irti mineraalivillaytimestä.

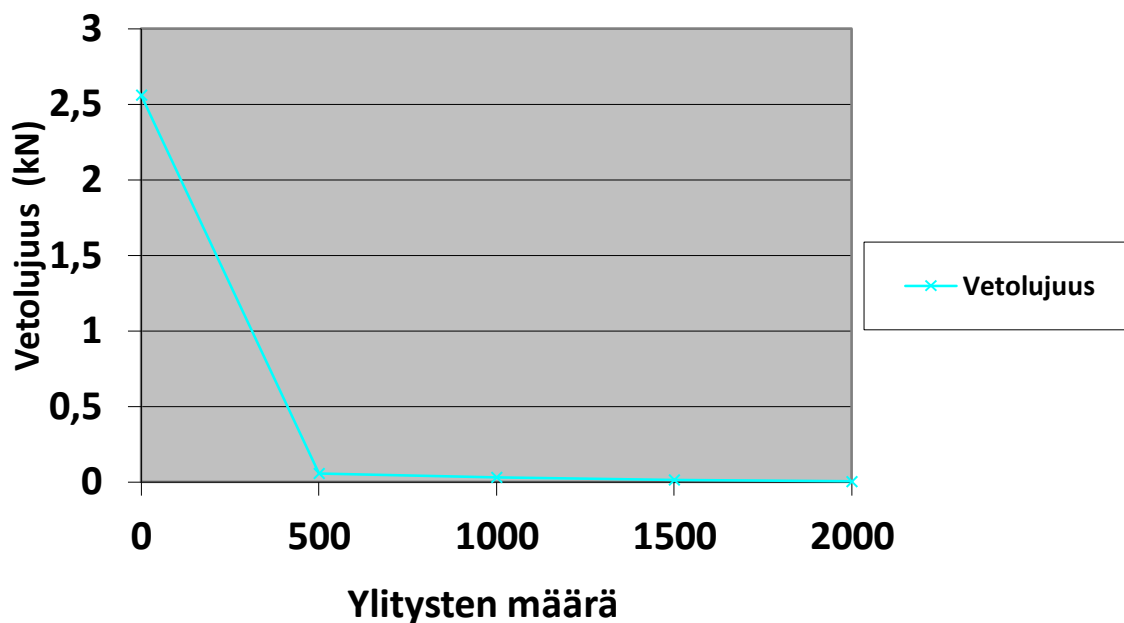


Kuvio 49. Huomattavaa lamellin irtoamista näytteessä 2000 askeleen jälkeen.

Taulukko 1. Vetolujuuden testitulokset 230 mm paneelille, 0,5 mm / 0,5 mm ohutlevyteräkset paneelin pintalevyinä.

VETOLUJUUS			(näytemitta 100*100mm ²)				
Näyte	Voima		Lujuus		Kimmomoduuli	murtuma	murtuma
n:o	kN	K.a	kPa	% alkulujuudesta	MPa	% ydin	paikka
Ref.1	2,809	2,561	280,9	100,0	26	50	lower
Ref.2	2,643		264,3		42	50	lower
Ref.3	2,231		223,1		26	50	lower
500 j.v.	0,07	0,058	7,0	2,7	0	25	upper
500 tuki	0,045		4,5	1,8	0	25	upper
1000 j.v.	0,043	0,032	4,3	1,7	0	25	upper
1000 tuki	0,021		2,1	0,8	0	25	upper
1500 j.v.	0,025	0,015	2,5	1,0	0	25	upper
1500 tuki	0,004		0,4	0,2	0	25	upper
2000 j.v.	0,000	0,004	0,0	0,0	0	0	upper
2000 tuki	0,007		0,7	0,3	0	25	upper

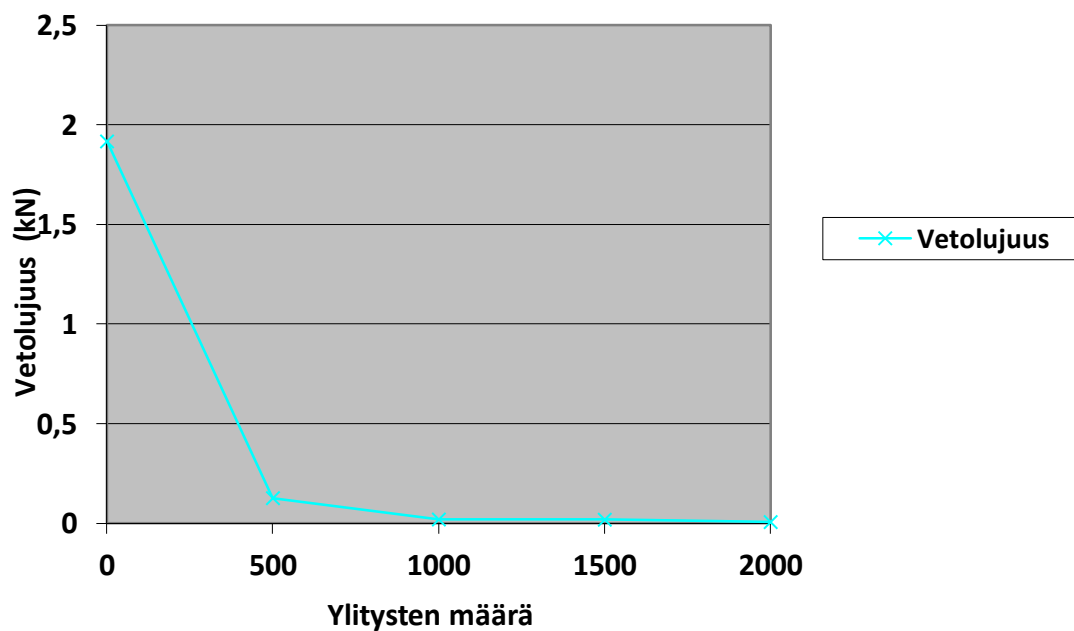
Kaavio 1. Murtokuorman muutos 230 mm paneelissa, 0,5 mm / 0,5 mm ohutlevyteräkset paneelin pintalevyinä.



Taulukko 2. Vetolujuuden testitulokset 230 mm paneelille, 0,6 mm / 0,5 mm ohutlevyteräkset paneelin pintalevyinä.

VETOLUJUUS			(näytemitta 100*100 mm ²)				
Näyte	Voima		Lujuus		Kimmomoduuli	murtuma	murtuma
n:o	kN	K.a	kPa	% alkulujuudesta	MPa	% ydin	paikka
Ref.1	1,827	1,917	182,7	100,0	33	75	lower
Ref.2	1,971		197,1		37	50	lower
Ref.3	1,953		195,3		42	75	lower
500 j.v.	0,102	0,127	10,2	5,3	0	10	upper
500 tuki	0,152		15,2	7,9	0	10	upper
1000 j.v.	0,032	0,020	3,2	1,7	0	10	upper
1000 tuki	0,007		0,7	0,4	0	10	upper
1500 j.v.	0,034	0,019	3,4	1,8	0	10	upper
1500 tuki	0,004		0,4	0,2	0	10	upper
2000 j.v.	0	0,007	0	0	0	0	upper
2000 tuki	0,024		2,4	1,3	0	10	upper

Kaavio 2. Murtokuorman muutos 230 mm paneelissa, 0,6 mm / 0,5 mm ohutlevyteräkset paneelin pintalevyinä.



7 VIRUMISLUVUN MÄÄRITTÄMINEN

Standardin EN 14509:2006 mukaan, mikäli sisäkattoelementtien suunnittelussa tarvitaan virumisluvun arvoa, yhdelle vapaasti kuormitetulle paneelille tehdyn kuormitustestin katsotaan riittävän täyttämään standardin vaatimukset yhdelle ydinkerrosmateriaalille. /5, 90-93/

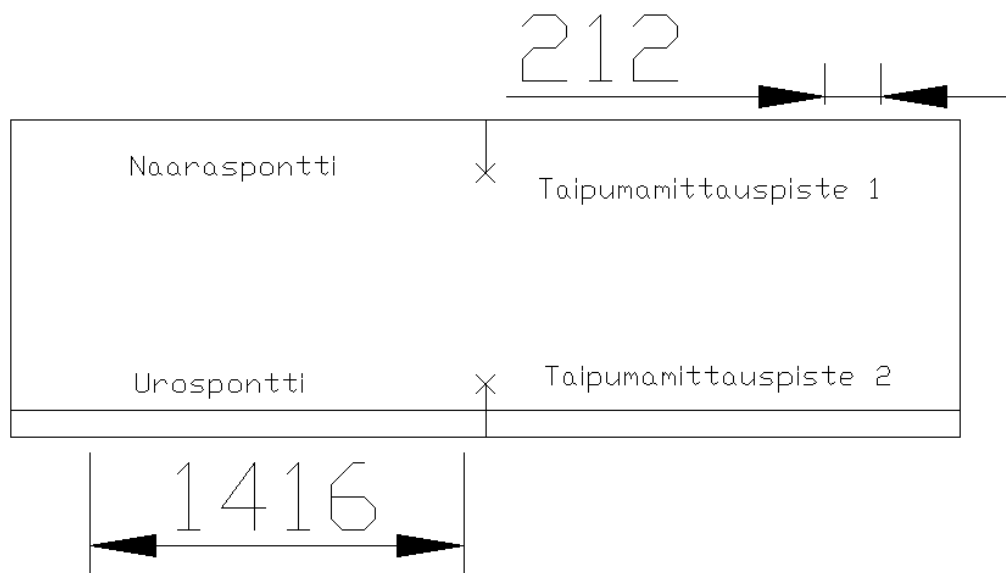
7.1 Testijärjestelyt

Jotta voitaisiin määrittää 230 mm paksuusluokan paneelin murtolujuus, ensin tehtiin lyhytaikaiset leikkauslujuuskuormitukset. Virumatestejä varten valittiin korkeampi kuormitustaso, koska lamellijatkos testipaneeleissa oli kauempana kuin 200 mm sisäreunasta. Lyhytaikaiset leikkauslujuuskuormitukset tehtiin samalla tavalla kuten kappaleessa 5.4 on kuvattu ja kuvioissa 11-16 on esitelty.

Alkulujuustestien esimerkkitulokset on annettu taulukoissa 3, 4 ja 5 sekä paneelien esimerkkimitat on kuvioissa 50-52, joissa etäisyys on mitattu tuen sisäpuolen reunasta. Tuloksina ja mittoina on esitetty kuvitteellisia tuloksia, joita kyseisistä testeistä voitaisiin saada. /5, 90-93/

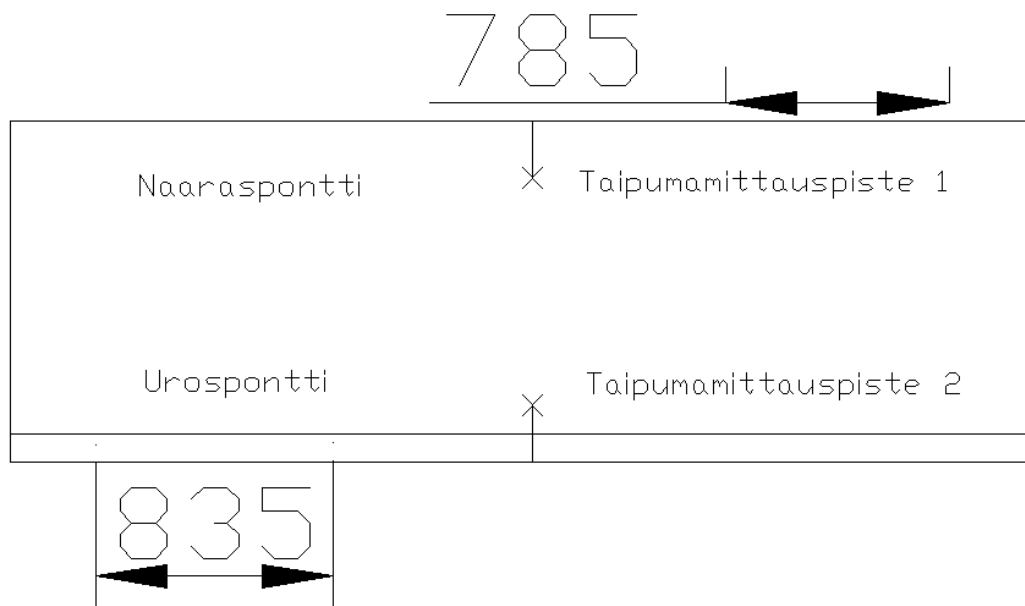
Taulukko 3. Tulokset testipaneelistä A.4-3.

A.4-3 LYHYTAIKAINEN ALKULEIKKAUSLUJUUS		
Omapaino	161	kg
Paneelin pituus	3600	mm
Jänneväli	3300	mm
Kuormituksen aloitus	10:53	
Murtuma tapahtui	11:20	
Kuorma paneelilla	4873	kg
Kokonaiskuorma	5034	kg
	49367	N
Leikkausjännitys	0,089	MPa

**Kuvio 50.** Lamellijatkoksen paikka paneelin A.4-3 reunassa.

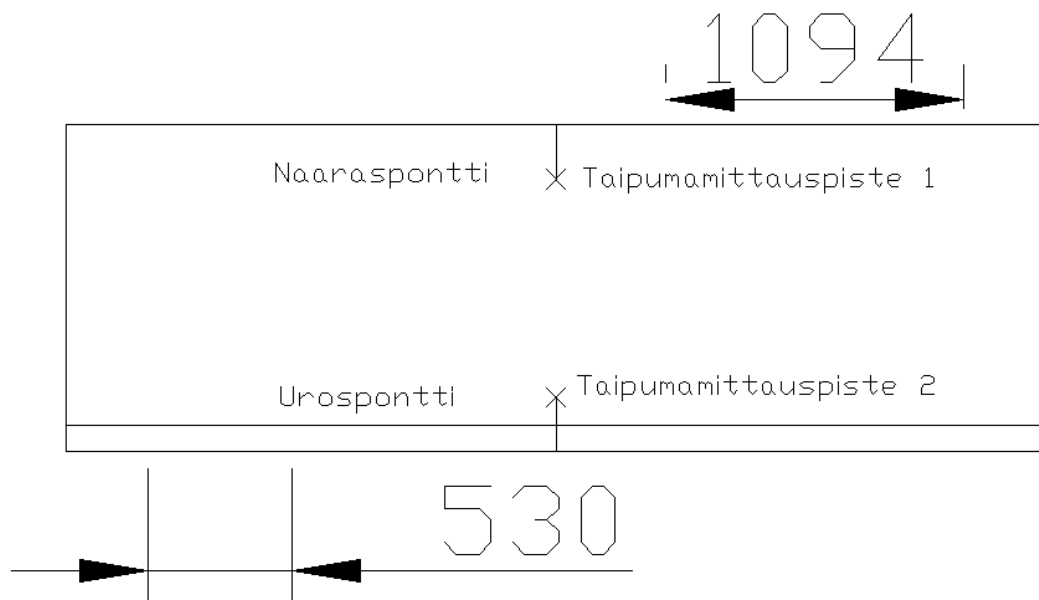
Taulukko 4. Tulokset testipaneelista A.4-5.

A.4-5 LYHYTAIKAINEN ALKULEIKKAUSLUJUUS		
Omapaino	160	kg
Paneelin pituus	3600	mm
Jänneväli	3300	mm
Kuormituksen aloitus	8:44	
Murtuma tapahtui	9:09	
Kuorma paneelilla	4914	kg
Kokonaiskuorma	5074	kg
	49759	N
Leikkausjännitys	0,089	MPa

**Kuvio 51.** Lamellijatkoksen paikka paneelin A.4-5 reunassa.

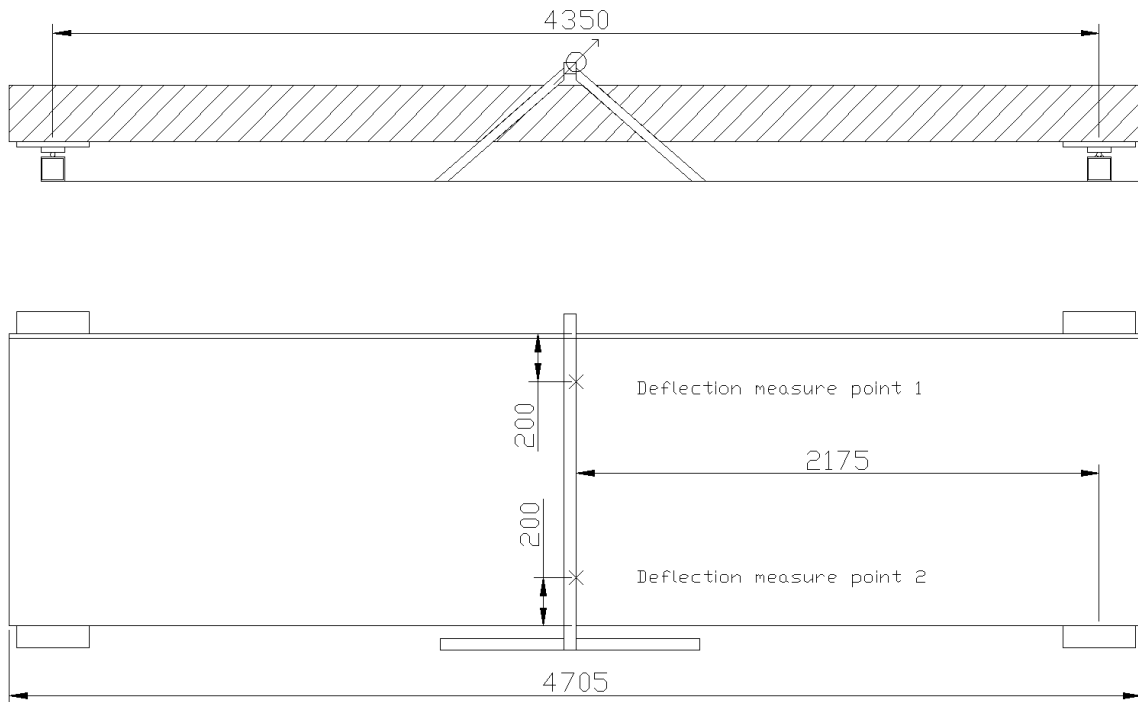
Taulukko 5. Tulokset testipaneelista A.4-6.

A.4-6 LYHYTAIKAINEN ALKULEIKKAUSLUJUUS		
Omapaino	160	kg
Paneelin pituus	3600	mm
Jänneväli	3300	mm
Kuormituksen aloitus	12:30	
Murtuma tapahtui	13:00	
Kuorma paneelilla	5117	kg
Kokonaiskuorma	5276	kg
	51740	N
Leikkausjännitys	0,093	MPa

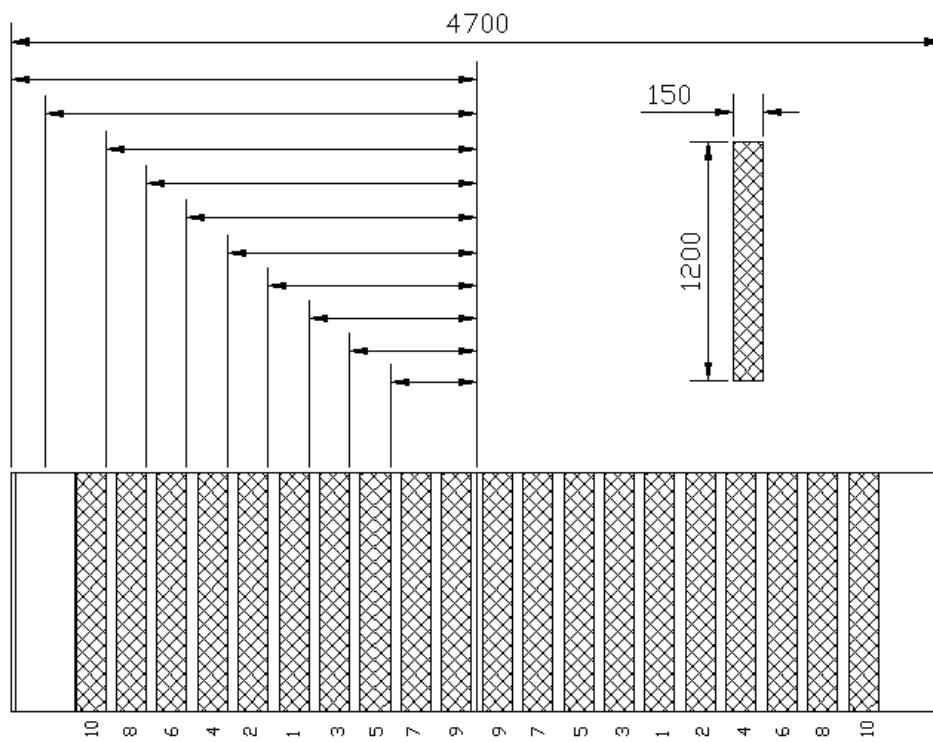
**Kuvio 52.** Lamellijatkoksen paikka paneelin A.4-6 reunassa.

Vertailukuorman taso määritettiin kolmesta edellä esitellystä lyhytaikaisen alku-leikkauslujuuden murtokuormitustesteistä, joiden murtokuorman keskiarvoksi tuli 50289 N, mikä vastaa 0,090 MPa leikkauslujuutta. Kun murtokuorma saatiin selville, virumistestin onnistumisen varmistamiseksi ja testitulosten paremman kattavuuden vuoksi kahdelle testipaneelille laskettiin kaksi erillistä kuormitustasoa. Testipaneelille A.6-1 määritettiin kuormitustasoksi 40,2% murtokuormasta ja testipaneelille A.6-2 kuormitustaso 32,0%. Kuviossa 55 nähtävissä lamellin jatkospaikan sijainnit testipaneeleissa. Paneelit asetettiin tukien päälle kuvion 53 mu-

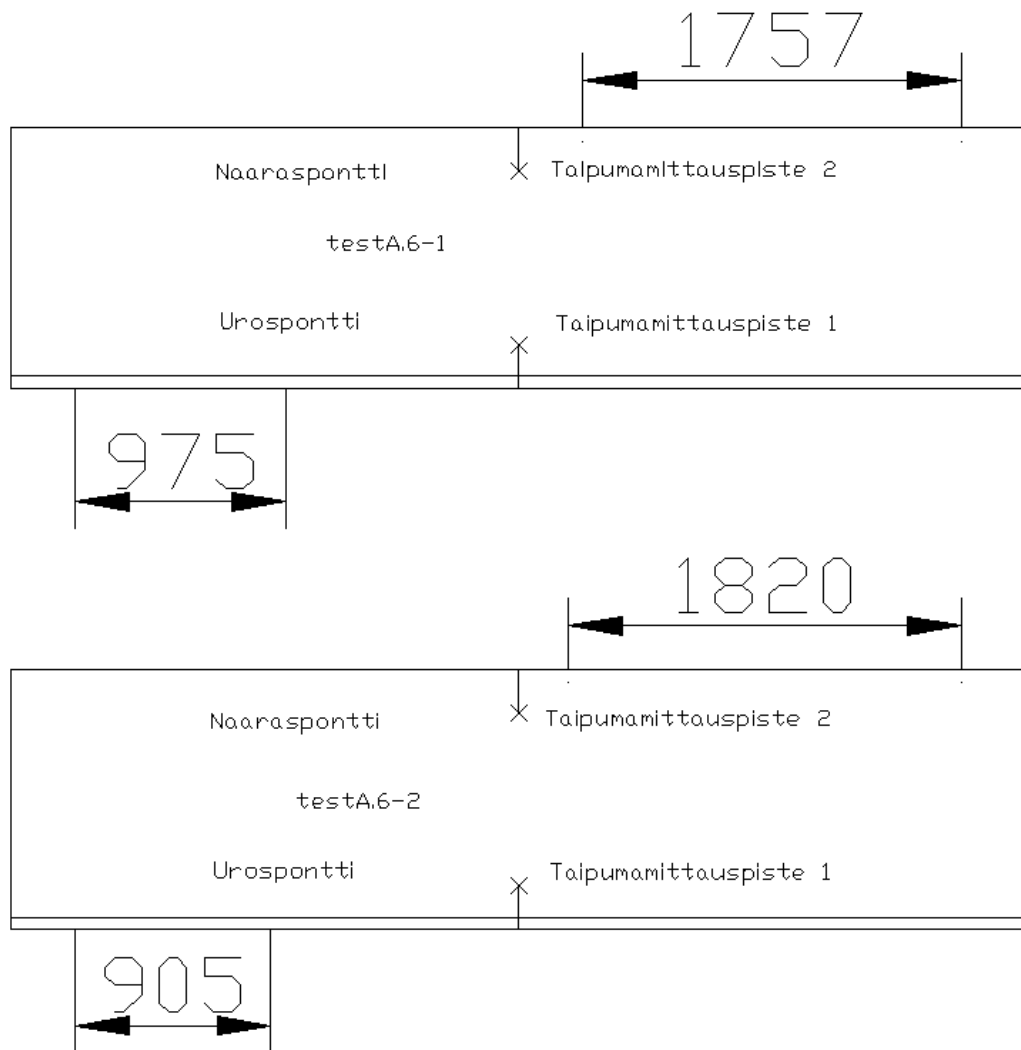
kaan. Ennen ensimmäisen teräskerroksen asettamista paneelille, paneeli tuettiin alhaalta päin teräspalkilla, joka esti kuormituksen aikaisen viruman ja värinän (kuvio 56). Teräslevyt (1200 mm x 150 mm x 3 mm) asetettiin paneelille symmetrisesti, 5 levyä kerrallaan, kuormituskohta 1 ensin ja kuormituskohta 10 viimeisenä (kuvion 54 mukaan), kunnes jokaisessa kuormituskohdassa oli 20 teräslevyä. Yksittäinen teräslevy painoi noin 4,2 kg. Näin jokaiseen kuormituskohtaan tuli vähintään 84 kg kuormitus. Tämän jälkeen lisättiin yksi teräslevy kerrallaan symmetrisesti paneelille, kunnes kyseisen testipaneelin laskettu kuormitustaso saavutettiin. Testipaneelille A.6-1 tuli 40,2 % murtokuormasta ja testipaneelille A.6-2 32,0 % murtokuormasta. Valmis kuormitus paneelille A.6-1 näkyy kuviossa 57. Tämän jälkeen tuenta vapautettiin ja tapahtunut taipuma mitattiin välittömästi, jotta 0-tason taipuma saataisiin selville, jota käytetään taulukoissa 6 ja 7 sekä kuvassa 61. Kuormituksen jälkeen molempien paneelien A.6-1 ja A.6-2 taipuma mitattiin välittömästi molemmin puolin paneelia (kuvio 58) ja sitten 1 minuutin, 10minuutin, yhden tunnin, 4 tunnin ja sitten lopulta vuorokauden välisin ajoin, kunnes vähintään 1000 tuntia on kulunut. Paneelista mitattiin myös pintojen lämpötilat kahdesta pisteestä paneelin yläpinnasta ja alapinnasta infrapunalämpömittarilla, mittaustapahtuman näet kuvioista 59. Kulunutta aikaa mittaamaan laitettiin digitaalinen tuntilaskuri, joka näkyy kuviossa 60. /5, 90-93/



Kuvio 53. Malli virumatesteissä käytetyistä koejärjestelyistä.



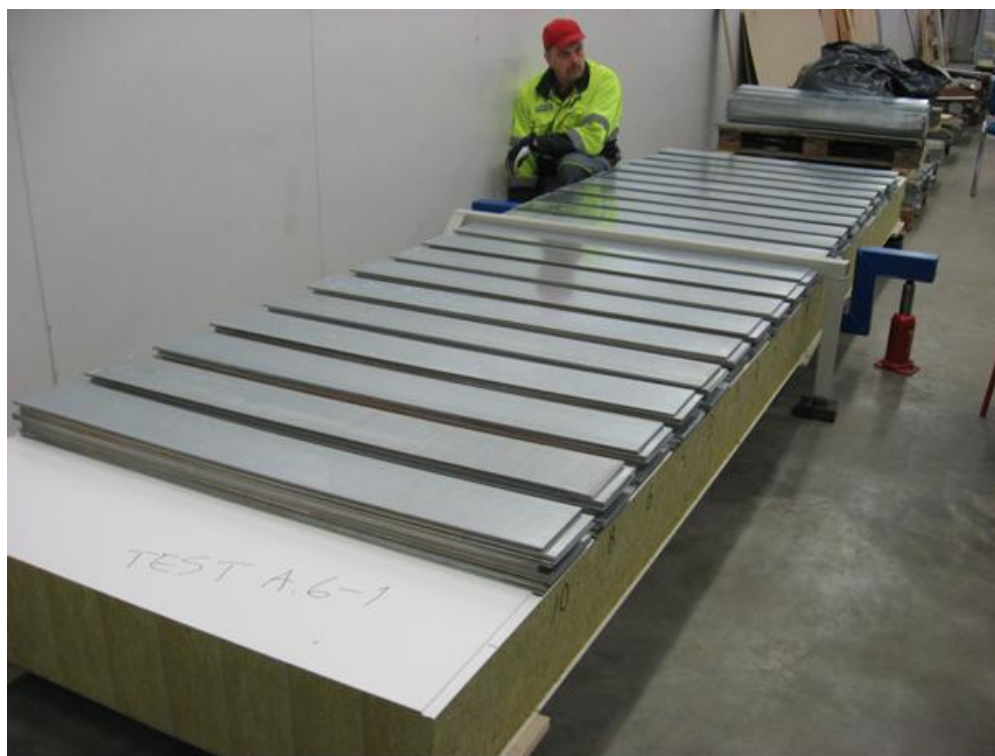
Kuvio 54. Malli virumapaneelin kuormituskuvioista.



Kuvio 55. Lamellijatkoksen etäisyys tuen sisäreunasta.



Kuvio 56. Testipaneeli A.6-1 paikoillaan ja valmiina kuormitettavaksi.



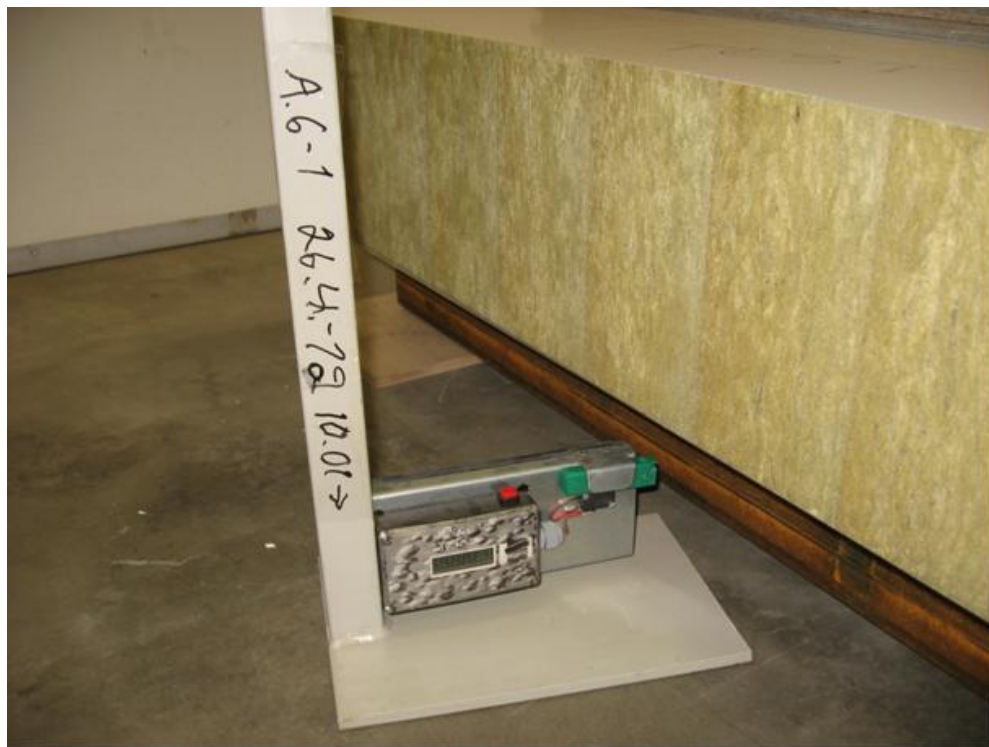
Kuvio 57. Valmis teräskuormitus testipaneeli A.6-1 päällä.



Kuvio 58. Ensimmäinen mittaus kuormituksen jälkeen ja tukipalkin laskemisen jälkeen.



Kuvio 59. Lämpötilan mittaus testipaneelin alapinnasta.



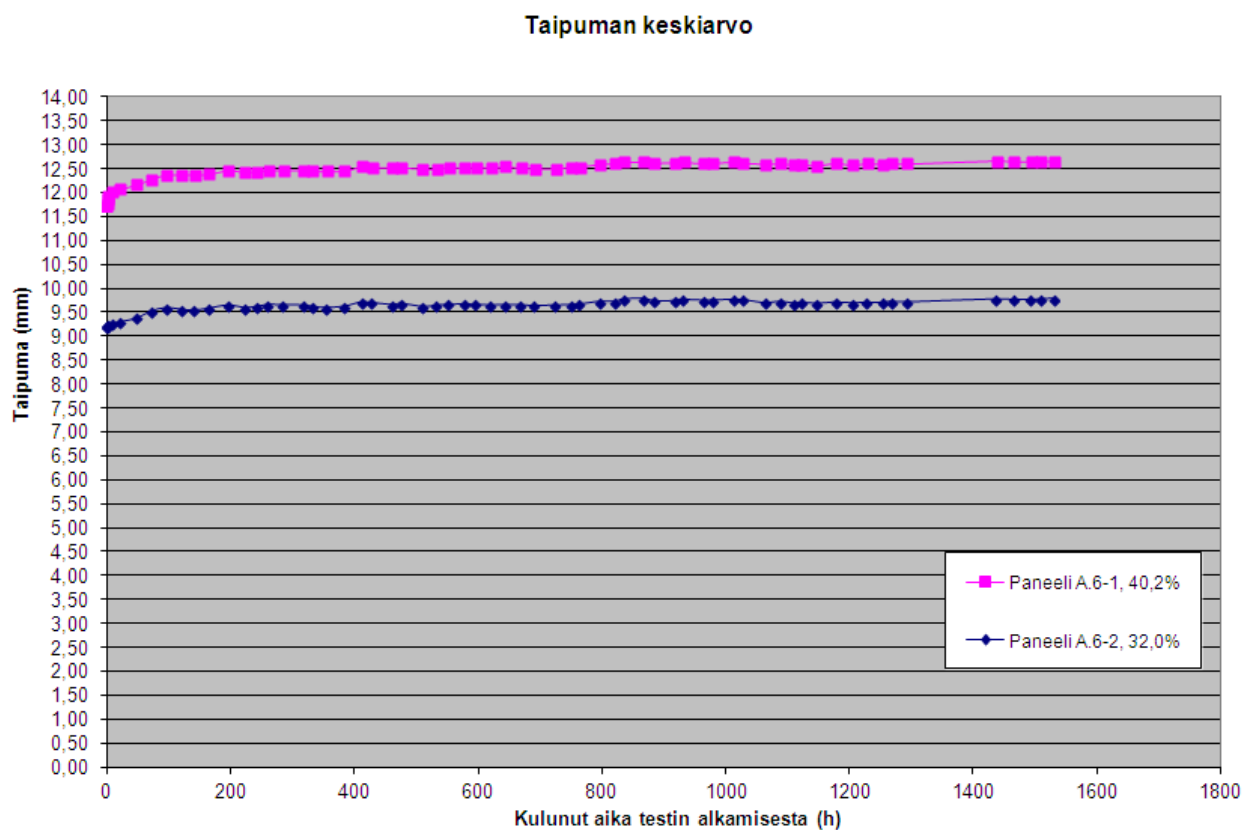
Kuvio 60. Tuntilaskuri mittaamassa aikaa.

7.2 Testitulokset

7.2.1 Mitatut taipumat

Seuraavaksi esitellään esimerkkituloksia ja taipumia, joita tällaisista virumatesti-paneeleista voidaan saada edellä mainitun kaltaisilla testeillä.

Aloituspiste (0- piste alla olevassa graafissa 61) taipumamittaukselle on paneelin omapainon aiheuttaman vapaa taipuma. Kuormitusta lastattaessa paneeleja tuettiin alhaalta päin, jotta paneeliin ei tulisi taipuman aiheuttamaa virumaa. Tuki poistettiin, kun testipaneelille oli saatu koko kuorma päälle ja taipuma mitattiin välittömästi molemmin puolin paneelia. Samalla mitattiin myös lämpötila kahdesta pisteestä paneelin päältä ja alta, jotta lämpötilojen eron vaikutus saataisiin dokumentoitua. Taulukoissa 6 ja 7 voi havaita, miten taipuma muuttui ajan kuluessa.



Kuvio 61. Esimerkkikäyrät mittaustuloksista, joita voidaan saadaan virumisko-keista erilaisilla kuormitustasoilla.

Taulukko 6. Taipumamittaus paneelille A.6-1, kuormitustaso 40,2%.

Päivämäärä	Tunnilaskuri	Taipuma mittauspisteessä 1 (mm)	Taipuma mittauspisteessä 2 (mm)	Taipuman keskiarvo (piste 1 ja piste 2)(mm)
26.4.2012		87,476	89,118	Sijainti taipuman johtuessa pelkästä paneelin omapainosta
26.4.2012	0	99,30	100,73	11,72
26.4.2012	0,03	99,40	100,75	11,78
26.4.2012	0,6	99,44	100,85	11,85
26.4.2012	1	99,50	100,96	11,93
26.4.2012	9,1	99,60	101,01	12,01
27.4.2012	21,3	99,64	101,09	12,07
30.4.2012	96,1	99,94	101,39	12,37
1.5.2012	120,8	99,93	101,41	12,37
4.5.2012	196,4	100,03	101,49	12,46
5.5.2012	222,8	99,98	101,46	12,42
9.5.2012	318,6	100,03	101,50	12,47
13.5.2012	412,1	100,12	101,57	12,55
17.5.2012	510,4	100,05	101,53	12,49
21.5.2012	596,7	100,10	101,56	12,53
25.5.2012	691,4	100,07	101,53	12,50
29.5.2012	797,0	100,17	101,61	12,59
6.6.2012	979,8	100,18	101,65	12,62
7.6.2012	1013,1	100,21	101,65	12,63
11.6.2012	1110,6	100,14	101,62	12,58
15.6.2012	1204,6	100,14	101,6	12,57
19.6.2012	1293,4	100,16	101,64	12,60
28.6.2012	1508,6	100,21	101,69	12,65

Taulukko 7. Taipumamittaus paneelille A.6-2, kuormitustaso 32,0%.

Päivämäärä	Tuntilaskuri	Taipuma mittauspisteessä 1(mm)	Taipuma mittauspisteessä 2(mm)	Taipuman keskiarvo (piste 1 ja piste 2)(mm)
26.4.2012		85,25	90,26	Sijainti taipuman johtuessa pelkästä paneelin omapainosta
26.4.2012	0	94,66	99,25	9,20
26.4.2012	0,02	94,67	99,26	9,21
26.4.2012	0,6	94,73	99,26	9,24
26.4.2012	1	94,73	99,28	9,25
26.4.2012	8,1	94,74	99,30	9,27
27.4.2012	20,9	94,78	99,33	9,30
30.4.2012	95,2	95,07	99,62	9,59
1.5.2012	119,9	95,03	99,59	9,56
4.5.2012	195,4	95,12	99,68	9,65
5.5.2012	221,8	95,07	99,63	9,60
9.5.2012	317,7	95,12	99,68	9,65
13.5.2012	411,2	95,2	99,73	9,71
17.5.2012	509,4	95,11	99,63	9,62
21.5.2012	595,7	95,16	99,67	9,66
25.5.2012	690,5	95,13	99,65	9,64
29.5.2012	796,1	95,21	99,74	9,72
6.6.2012	979,2	95,26	99,75	9,75
7.6.2012	1012,5	95,26	99,77	9,76
11.6.2012	1109,9	95,16	99,72	9,69
15.6.2012	1203,9	95,17	99,72	9,69
19.6.2012	1292,7	95,19	99,74	9,71
28.6.2012	1508,0	95,26	99,79	9,77

7.3 Virumisluvun laskenta

Virumaluku kevyesti profiloidulle Sandwich-paneelille lasketaan käyttämällä alla olevia yhtälöitä.

$$\varphi_t = \frac{w_t - w_0}{w_0 - w_b} \quad (2)$$

missä

w_t on ajankohtana t mitattu taipuma (mm)

w_0 on alkutaipuma ajankohtana $t = 0$ (mm) ja

w_b on pintakerrosten kimmoisen muodonmuutoksen aiheuttama taipuma (mm) (ilman leikkausmuodonmuutosta)

$$w_b = \frac{5}{379,5} * \frac{qL^4}{B_s} \quad (3)$$

q = voima (N/mm)

L = koekappaleen jänneväli (mm)

B_s = taivutusjäykkyys (Nmm)

Yhtälössä (3) oleva kerroin 379,5 johtuu kuormitusjärjestelmästä, joka on hieman erilainen kuin tasaisesti jakautunut kuorma. Tällöin käytetään kerrointa 384.

$$B_s = E_s \frac{t_{F1} t_{F2}}{t_{F1} + t_{F2}} B e_c^2 \quad (4)$$

E_s = teräksen kimmokerroin (N/)

t_{F1} = yläpuolisen teräspinnan paksuus (mm)

t_{F2} = alapuolisen teräspinnan paksuus (mm)

B = paneelin mitattu leveys (mm)

e_c = pintakerrosten painopisteiden välinen etäisyys (mm)

Kaikki yhtälöt löytyvät ja voidaan johtaa standardista EN 14509:2006.

Yhtälössä (3) testipaneelin omapainoa (g) ei ole otettu huomioon, koska 0-vertailupiste on sellaisesta tilanteesta, missä paneeli on taipunut kuolleen kuorman seurauksena. Taipumat 200 tunnin w_{200} ja 1000 tunnin w_{1000} kohdalla, joita tarvitaan virumisluvun laskemisen yhtälöihin, on esitetty taulukossa 8 interpoloituna mitatuista tuloksista. Näillä tuloksilla voidaan laskea virumisluku 2000 ja 100000 tunnille. /5, 90-93/ Liitteessä 1 on nähtävissä kokonaan virumisluvun laskenta.

Taulukko 8. Taipumat 200 ja 1000 tunnin kohdalla.

Taipuma	Panel A.6-1 Kuormitustaso: 40,2%	Panel A.6-2 Kuormitustaso: 32,0%
w_{200}	12,45	9,64
w_{1000}	12,63	9,76
φ_{200}	0,206	0,15
φ_{1000}	0,254	0,191

Virumisluku 2000 (lumikuorma) ja 100000 (pysyvä kuorma) lasketaan seuraavista yhtälöistä.

$$\varphi_{2000} = 1,2(1,43\varphi_{1000} - 0,43\varphi_{200}) = 1,7(\varphi_{1000} - 0,3\varphi_{200}) \quad (5)$$

$$\varphi_{100000} = 3,86\varphi_{1000} - 2,86\varphi_{200} \quad (6)$$

Taulukko 9. Virumislukujen arvot 2000 ja 100000 tunnille.

Virumisluku	Paneeli A.6-1 Kuormitustaso: 40,2%	Paneeli A.6-2 Kuormitustaso: 32,0%
φ_{2000} (lumikuorma)	<u>0,205</u>	0,159
φ_{100000} (pysyvä kuorma)	<u>0,244</u>	0,198

Tähän testiin ja esimerkkilaskelmiin perustuen, olisi suositeltavaa käyttää virumislukua paneelistä A.6-1, näytetty ja alleviivattu taulukossa 9.

8 JOHTOPÄÄTÖKSET

Tyypitesteistä saadut tulokset ja testausten aikana saadut havainnot osoittautuivat hyödylliseksi Ruukille. Sandwich-paneelista saatiin uudenlaista perustietoa ja tarvittavat tulokset CE-merkinnän toteuttamiseksi vaatimusten mukaisesti. Toteutetut testit voivat osoittautua hyödylliseksi myös tulevaisuudessa mahdollisesti tapahtuvalle tutkimukselle ja tuotekehitykselle. Tarkasti kerätty ja tunnollisesti järjestyksessä pidetty tutkimusdata auttoi pitämään testauksen toteutuksen ja tulosten analysoinnin hallinnassa. Kaikki tutkimusdata on helposti käytettävissä jatkossa, mikäli tarvetta ilmenee.

Työ oli kaiken kaikkiaan työläs ja runsaasti manuaalisia järjestelyjä sekä organisoimista vaatinut projekti. Ottaen huomioon kuinka laaja ja vaativa työ kokonaisuudessaan oli, testien toteuttamisessa onnistuttiin melko hyvin. Kaikki suunnitellut testit saatiin suoritettua ja raportit onnistuttiin tekemään ajoissa valmiiksi tarvittavan aikataulun puitteissa. Kirjoittajalle tuli hyvin selväksi, kuinka tärkeää on dokumentoida kaikki, mitä testeissä tapahtuu, aina pienintäkin yksityiskohtaa myöten. Oli myös tärkeää miettiä etukäteen, kuinka testit tulee tehdä, jottei itse testaustilanteessa tarvitse pohtia miten ja mitä kyseessä olevassa kuormitustilanteessa pitikään tehdä ja että kaikki olennainen tulee riittävällä tavalla huomioitua ja dokumentoitua toteutusvaiheessa. Oli mielenkiintoista huomata miten paljon manuaalista työtä tämänkaltaisen projekti vaati. Päivittäiset mittaukset ja pöytäkirjojen pitäminen ajan tasalla viiden kuukauden ajan veivät oman aikansa ja useiden tuhansien teräskilojen nostaminen käsin pitkäaikaisten leikkauslujuuden testipaneelien kuormitusten yhteydessä oli fyysisesti raskasta. Pitkäjänteisyydellä, tarkkuudella ja avulaiden työtovereiden avulla tämä projekti saatiin onnistuneesti toteutettua loppuun saakka.

LÄHTEET

- /1/ CE-merkintä. 2013. Wikipedia. Viitattu 11.10.2013.
<http://fi.wikipedia.org/w/index.php?title=CE-merkint%C3%A4&oldid=13391933>
- /2/ CE-merkintä pakolliseksi rakennustuotteille -powerpointesitys. 2011. Rakennusteollisuus. Viitattu 17.10.2013. <http://www.rakennusteollisuus.fi/Tuoteteollisuus/M%C3%A4%C3%A4r%C3%A4ykset+ja+standardisointi/CE-merkint%C3%A4+esittelyaineisto/>
- /3/ CEN. 2013. Wikipedia. Viitattu 17.10.2013. <http://fi.wikipedia.org/w/index.php?title=CEN&oldid=12835610>
- /4/ CE-tuotesertifiointi rakennustuotteille. 2011. Inspecta Group. Viitattu 7.6.2013 <http://www.inspecta.com/fi/Palvelut/Sertifiointi/Tuotesertifiointi/CE-tuotesertifiointi/#.UbGfDUoeFyU>
- /5/ EN 14509:2006. 2006. Kantavat metalliohutlevypintaiset eristävät Sandwich elementit. Tehdasvalmisteiset tuotteet. Tuotestandardi. Suomen Standardisointiliitto SFS. Viitattu 21.10.2013. Ostettavissa osoitteessa <http://sales.sfs.fi/sfs/servlets/ProductServlet?action=productInfo&productID=186351>
- /6/ EPAQ- High Quality for Sandwich Panels and Profiles. 2013. European Quality Assurance Association for Panels and Profiles. Viitattu 19.10.2013. <http://www.epaq.eu/portrait.html>
- /7/ EU:n rakennetuoteasetuksen käyttöönotto lähenee. 2013. Tuoteteollisuus.. Rakennusteollisuus. Viitattu 15.10.2013. <http://www.rakennusteollisuus.fi/Tuoteteollisuus/M%C3%A4%C3%A4r%C3%A4ykset+ja+standardisointi/Rakennustuoteasetus/>
- /8/ Harmonised standards. 2013. European Commission. Viitattu 17.10.2013. <http://ec.europa.eu/enterprise/policies/european-standards/harmonised-standards/>
- /9/ Historiaa. 2013. Eurokoodi Help desk. Viitattu 17.10.2013. <http://www.eurocodes.fi/Historiaa/contentstausta.htm>
- /10/ Käsitteet ja lyhenteet. 2013. Tukes. Viitattu 17.10.2013 http://www.tukes.fi/fi/Toimialat/Rakennustuotteet/Kasitteet_lyhenteet/
- /11/ Mitä EU:n rakenustuoteasetus tarkoittaa tuotteen valmistajan kannalta? 2013. Tukes. Viitattu 15.10.2013. <http://www.tukes.fi/fi/Toimialat/Rakennustuotteet/Mita-rakennustuoteasetus-tarκοittaa-tuotteen-valmistajan-kannalta/>
- /12/ prEN 14509:2009. 2009. Self-supporting double skin metal faced insulating panels- Factory made – Specifications. CEN. Viitattu 22.2013.

- /13/ Quality Regulations for Sandwich Panels. 2006. European Quality Assurance Association for Panels and Profiles. Viitattu 20.10.2013. Saatavilla osoitteesta <http://www.epaq.eu/home.html>.
- /14/ Rakentamisen projektit – Ruukki Building Projects. 2013. Viitattu 15.10.2013. <http://www.ruukki.fi/Tietoa-yhtiosta/Konsernirakenne/Rakentamisen-projektit---Ruukki-Building-Systems>
- /15/ Rakentamisen tuotteet – Ruukki Building Products. 2013. Rautaruukki Oyj. Viitattu 15.10.2013. <http://www.ruukki.fi/Tietoa-yhtiosta/Konsernirakenne/Rakentamisen-tuotteet---Ruukki-Building-Products>
- /16/ Ruukin Sandwich- paneelit energiatehokkaiseen rakennukseen. 2013. Rautaruukki Oyj. Viitattu 15.10.2013. <http://www.ruukki.fi/~media/Finland/Files/Rakentamisen-esitteet/Ruukin-Sandwich-paneelit-energiatehokkaiseen-rakennukseen.ashx>
- /17/ Ruukin toimipisteet. 2013. Rautaruukki Oyj. Viitattu 15.10.2013. <http://www.ruukki.fi/Ota-yhteytta/Ruukin-toimipisteet/>
- /18/ Sandwich panel solutions. 2010. Rockwool. Viitattu 18.10.2013. <http://www.rockwool-coresolutions.com/solutions/Sandwich+panel+solutions/en+14509>
- /19/ Seppälä, J. 2008. Rautaruukki rakentaa julkisivupaneelitehtaan Alajärvelle. Viitattu 15.10.2013. Tekniikka & Talous. <http://www.tekniikkatalous.fi/metalli/rautaruukki+rakentaa+julkisivupaneelitehtaan+alajarvelle/a57512>
- /20/ SFS. 2013. Wikipedia. Viitattu 18.10.2013. <http://fi.wikipedia.org/wiki/SFS>
- /21/ Standardisoimisliiton tehtävät. 2011. Suomen Standardisoimisliitto SFS ry. Viitattu 18.10.2013. http://www.sfs.fi/sfs_ry/sfs_n_tehtavat
- /22/ Teräsliiketoiminta - Ruukki Metals. 2013. Rautaruukki Oyj. Viitattu 15.10.2013. <http://www.ruukki.fi/Tietoa-yhtiosta/Konsernirakenne/Ruukki-Metals>
- /23/ Tietoa yhtiöstä. 2013. Rautaruukki Oyj. Viitattu 15.10.2012. <http://www.ruukki.fi/Tietoa-yhtiosta>

Esimerkkilaskelma paneelille A.6-1**Interpoloitu taipuma, kun aikaa on kulunut 200 tuntia.**

$$196,4\text{h} = 12,46\text{mm}$$

$$222,8\text{h} = 12,42\text{mm}$$

$$200\text{ h} - 196,4\text{ h} = 3,6\text{h} \quad X\text{mm}$$

$$222,8\text{ h} - 196,4\text{ h} = 26,4\text{ h} \quad 12,42\text{ mm} - 12,46\text{ mm} = -0,04$$

$$\frac{X\text{mm}}{-0,04\text{mm}} = \frac{3,6\text{h}}{26,4\text{h}}$$

$$26,4\text{ h} * X\text{ mm} = (-0,04\text{mm}) * 3,6\text{ h}$$

$$X = ((-0,04\text{ mm}) * 3,6\text{ h}) / 26,4\text{ h}$$

$$X = -0,01\text{ mm}$$

Taipuma, kun 200 tuntia kulunut testin aloittamisesta.

$$12,46\text{ mm} + (-0,01\text{ mm}) = 12,45\text{ mm}$$

Interpoloitu taipuma, kun aikaa on kulunut 1000 tuntia.

$$979,8\text{h} = 12,62\text{mm}$$

$$1013,1\text{h} = 12,63\text{mm}$$

$$1000\text{ h} - 979,8\text{ h} = 20,2\text{ h} \quad X\text{ mm}$$

$$1013,1\text{ h} - 979,8\text{ h} = 33,3\text{ h} \quad 12,63\text{ mm} - 12,62\text{ mm} = 0,01\text{ mm}$$

$$\frac{X\text{mm}}{0,01\text{mm}} = \frac{20,2\text{h}}{33,3\text{h}}$$

$$33,3 \text{ h} * X \text{ mm} = 0,01 \text{ mm} * 20,2 \text{ h}$$

$$X = (0,01 \text{ mm} * 20,2 \text{ h}) / 33,3 \text{ h}$$

$$X = 0,01 \text{ mm}$$

Taipuma, kun 1000 tuntia kulunut testin aloittamisesta.

$$12,62 \text{ mm} + 0,01 \text{ mm} = 12,63 \text{ mm}$$

Virumisluvun laskenta paneelille A.6-1.

Kokonaiskuorma

$$5128 \text{ kg} * 9,80665 \text{ m/s}^2 = 50289 \text{ N}$$

$$D_{k,a} = \frac{(231,7 + 231,8 + 232 + 231,7 + 231,7 + 231,7) \text{ mm}}{6} = 231,8 \text{ mm}$$

$$e_c = 231,8 \text{ mm} - 0,5 * (0,5 \text{ mm} + 0,5 \text{ mm}) = 231,27 \text{ mm}$$

Kokonaisleikkausjännitys 230mm paksuiselle paneelille.

$$\frac{0,5 * 50289 \text{ N}}{1202 \text{ mm} * 231,27 \text{ mm}} = 0,090 \text{ MPa}$$

Leikkausjännitys

$$0,5 * (1848 \text{ kg} + 215 \text{ kg}) * 9,80665 \text{ m/s}^2 : (1202 \text{ mm} * 231,27 \text{ mm}) \\ = 0,036 \text{ MPa}$$

Prosenttimäärä kokonaisleikkausjännityksestä.

$$\frac{0,036 \text{ MPa}}{0,090 \text{ MPa}} = 40,2\%$$

$$B_S = 210000 \text{ N/mm}^2 * \frac{(0,470 \text{ mm} * 0,476 \text{ mm})}{(0,470 \text{ mm} + 0,476 \text{ mm})} * 1230 \text{ mm} * (231,27 \text{ mm})^2$$
$$= 3,27 * 10^{12} \text{ Nmm}$$

$$q = \left(\frac{1848 \text{ kg} * 9,80665 \text{ m/s}^2}{1000} \right) : 4,35 \text{ m} = 4,166135 \text{ N/mm}$$

$$w_b = \frac{5}{379,5} * \left(\frac{4,166 \text{ N/mm} * (4350 \text{ mm})^4}{3,27 * 10^{12} \text{ Nmm}} \right) = 6,01 \text{ mm}$$

$$\varphi_{200} = \frac{12,46 \text{ mm} - 11,72 \text{ mm}}{11,72 \text{ mm} - 6,01 \text{ mm}} = 0,130$$

$$\varphi_{1000} = \frac{12,627 \text{ mm} - 11,72 \text{ mm}}{11,72 \text{ mm} - 6,01 \text{ mm}} = 0,159$$

$$\varphi_{2000} = 1,7 * (0,159 - 0,3 * 0,130) = 0,205$$

$$\varphi_{100000} = 3,86 * 0,159 - 2,86 * 0,130 = 0,244$$