

Mika Uitto

Parvekkeen kaiderakenteen kiinnikkeen kehitys ja tutkimustyö

Riikku Rakenteet Oy

Opinnäytetyö

Kevät 2010

Tekniikan yksikkö

Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma



SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU

OPINNÄYTETYÖN TIIVISTELMÄ

Koulutusyksikkö: Seinäjoen ammattikorkeakoulu tekniikan yksikkö

Koulutusohjelma: Kone- ja tuotantotekniikka

Suuntautumisvaihtoehto: Kone- ja tuotantotekniikka

Tekijä: Mika Uitto

Työn nimi: Parvekkeen kaiderakenteen kiinnikkeen tutkimus ja kehitystyö

Ohjaaja: Heikki Kokkonen

Vuosi: 2010

Sivumäärä: 58

Liitteiden lukumäärä: 5

Opinnäytetyö on tehty Riikku Rakenteet Oy:lle, joka sijaitsee Etelä-Pohjanmaalla Alavudella. Yritys on perustettu vuonna 2005. Riikku Rakenteet Oy:n päätuotteet ovat alumiini rakenteita, joita yritys valmistaa ja asentaa rakennustyömaille ympäri Suomen.

Opinnäytetyö sisälsi yrityksen valmistamien alumiinisten parvekekaiteiden kiinnityksessä käytettävän hattukiinnikkeen tutkimus- ja kehitystyön. Työn tarve tuli esille hattukiinnikkeen valmistusmenetelmän muutoksen tuomista muutostarpeista. Tulevaisuudessa alumiininen hattukiinnike olisi valettava tuote nykyisen pursotettavan tuotteen sijasta.

Tutkimustyöhön kuului erilaisten materiaalien tutkiminen, joita hattukiinnikkeessä olisi mahdollista ja tuotteen valmistuksen kannalta ergonomisinta käyttää. Tutkimuksessa on perehdytty myös hieman painevalumenetelmään, joka on käytetyin menetelmä tämän kokoisissa tuotteissa. Esitutkimuksena kehitystyölle on tehty tutkimusta hattukiinnikkeeseen tulevista ulkoisista kuormista. Kehitystyönä hattukiinnikkeestä on tehty kolme erilaista valukappale mallia, joista lujuuksia on vertailtu COMSOL Multiphysics lujuuslaskenta ohjelmalla.

Saatujen tulosten perusteella kiinnikkeeksi valittiin yksi malli, joka sai lujuuslaskenta ohjelmasta parhaat tulokset. Hattukiinnikkeen materiaaliksi valittiin erilaisista vertailutaulukoista saatu alumiiniseos, jota kiinnikkeen valmistuksessa tultaisiin käyttämään.

Opinnäytetyöhön sisältyi myös RIIKKU-parvekekaiteiden mitoitusopas. Mitoitusoppaasta suunnittelija voi helposti lukea kaiderakenteisiin vaikuttavat kuormitukset ja niiden vaikutukset eri maastoluokissa.

Asiasanat: Kaidekiinnike, alumiinikaide, kaiteidenkiinnitys

SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Thesis abstract

Faculty: School of Technology

Degree programme: Mechanical and Production Engineering

Author: Mika Uitto

Title of the thesis: Research and development of the structures the balcony handrail bracket

Supervisor: Heikki Kokkonen

Year: 2010

Number of pages: 58

Number of appendices: 5

This thesis was made for Riikku Rakenteet Oy, located in Southern Ostrobothnia in Alavus. The company was founded in 2005. The main products of Riikku Rakenteet Oy are aluminum structures which the company manufactures and installs at the building sites around Finland.

The thesis included the research and development of mounting the mooring rails of the aluminum balcony railings manufactured by the company. The need of Research and Development arose from the manufacturing process change of rail mounting and it bringing the changes. The rail mount aluminum in the future should be molded product instead of the current product squeezed.

The research project included the examination of the various materials which would be possible to use in manufacturing the product and would be the most appropriate materials. The study also explored a minor piece pressure die casting method which is the most widely used method. The feasibility study has been made of the future research of the loads of the external rail mounting. Three different types of casting models were made as development work. The strength calculations were performed with the COMSOL multiphysics Fem programme.

The thesis also included the RIIKKU balcony railing design guide. The measurement guide gives the designer the information on the loads of the rectangular structures that affect the sizes of different terrain classes.

Keywords: rail mount, aluminum railing, mounting rails

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

SISÄLLYS

KÄYTETYT TERMIT JA LYHENTEET

KUVIO- JA TAULUKKOLUETTELO

1	JOHDANTO.....	10
2	YRITYSESITTELY	11
3	TYÖN TAVOITTEET.....	12
4	ALUMIINIKAIDEDIINNIKE.....	13
4.1	Käyttökohteet.....	13
4.2	Tekniset ominaisuudet.....	14
4.2.1	Profiilin valmistus	14
4.2.2	Materiaali	15
5	KIINNIKEMATERIAALIEN TUTKINTA.....	16
5.1	Alumiinit.....	16
5.2	Alumiinivalut	16
5.3	Teräokset	18
5.3.1	Yleiset rakenneteräokset.....	18
5.3.2	Nuorrutusteräokset	20
5.4	Valuraudat ja -teräokset.....	21
5.4.1	Suomugrafiittirauta	21
5.4.2	Pallografiittiraudat.....	23
5.4.3	Valuteräokset	24
5.5	Muovit ja muovikomposiitit	25
5.5.1	Polyeteeni	25
5.5.2	Polyvinyylilokloridi	25
5.5.3	Polyamidit.....	26
5.6	Lujitteet.....	27
5.6.1	Lasikuidut	27
5.6.2	Hiilikuitu.....	28

5.6.3	Aramikuidut	29
6	MATERIAALIN VALINTA	30
6.1	Materiaalien vertailu	30
6.2	Lopullinen valinta	33
7	KIINNIKKEEN VALMISTUS.....	34
7.1	Valumenetelmä	34
7.1.1	Painevalu osien vaatimukset	34
7.1.2	Työkalun suunnittelu	34
7.1.3	Muottipesä	35
7.1.4	Jäähdytyskanavat	35
7.1.5	Valukanavat, porttikanavat ja ilmanpoistoaukot.....	36
7.1.6	Mitoitusohjeita	36
8	KIINNIKKEEN KESTÄVYYS.....	37
8.1	Kaiderakenteeseen kohdistuvat kuormat	37
8.1.1	Maastoluokan määrittäminen.....	38
8.1.2	Tuulen nopeuspaineen määrittäminen.....	39
8.1.3	Tuulikuormien vaikutus rakennuksen pintoihin	41
8.2	Kiinnikkeen ankkurointi betonilaattaan	43
8.3	Kiinnikemallien lujuustarkastelu	47
8.3.1	Lujuuslaskentamallin muodostaminen	47
8.3.2	Kappaleiden lujuuslaskenta	51
9	YHTEENVETO	56
	LÄHTEET.....	58
	LIITE 1: Työkuva käytössä olevasta hattukiinnikkeestä.....	59
	LIITE 2: Työkuva A-revisio hattukiinnikkeestä	60
	LIITE 3: Työkuva B-revisio hattukiinnikkeestä	61
	LIITE 4: Työkuva C-revisio hattukiinnikkeestä	62
	LIITE 5: Eurokoodi9 mukainen kaiderakenteen kuormitusohje	63

KÄYTETYT TERMIT JA LYHENTEET

<i>Eurokoodi9</i>	Kansainvälinen suunnittelun standardiohje.
<i>Fem-ohjelmisto</i>	Lujuuslaskenta ohjelma.
<i>Hattukiinnike</i>	Alumiininen parvekekaidekiinnike, nimi tulee kiinnikkeen hat- tua muistuttavasta muodosta.
<i>Injektointi</i>	Kiinnitys menetelmä, kemiallista lisäainetta käyttäen.
R_e	Materiaalin myötölujuus.
R_m	Materiaalin murtolujuus.
$R_{p0.2}$	0,2 % -venymäraja.

KUVIO- JA TAULUKKOLUETTELO

Kuva 1. Hattukiinnike.	13
Kuvio 2. Alumiinin pursotus prosessi.	14
Kuva 3. Porttikanavan sijoittelu.	35
Kuva 4. Jäähdytys kanavien sijoittelu.	35
Kuva 5. Ulkoiset kuormat.	37
Kuva 6. Tuulen suunnan vaikutus rakennuksen pintoihin.	41
Kuva 7. Ankkurointimalli.	43
Kuva 8. Kierretangonankkurointi.	44
Kuva 9. Kaiderakenteeseen kohdistuvat voimat.....	48
Kuva 10. Vakiohattukiinnikkeen von mises jännitykset.....	52
Kuva 11. A-revisio hattukiinnikkeen von mises jännitykset.....	53
Kuva 12. B-revisio hattukiinnikkeen von mises jännitykset.....	54
Kuva 13. C-revisio hattukiinnikkeen von mises jännitykset.....	55
Taulukko 1. . Yleisimmät alumiinivaluseokset.	17

Taulukko 2. Yleisten rakenneteräkset ja standardien vastaavuudet.	19
Taulukko 3. Tärkeimmät nuorrutusteräkset ja niiden lujuudet	21
Taulukko 4. Tärkeimmät suomugrafiittirautojen mekaaniset ominaisuudet.....	22
Taulukko 5. Tärkeimpien pallografiittirautojen mekaaniset ominaisuudet.	23
Taulukko 6. Tärkeimpien valuterästen tekniset ominaisuudet.	24
Taulukko 7. Tärkeimmät polyeteenit.	25
Taulukko 8. Tärkeimmät polyvinyylidikloridit	26
Taulukko 9. Tärkeimmät polyamidit.	26
Taulukko 10. E-lasi-epoksi-yhdensuuntaislaminaatin mekaaniset ominaisuudet.	27
Taulukko 11. Kaupallisten hiilikuitujen mekaaniset ominaisuudet.....	28
Taulukko 12. Yhdensuuntaislaminaattien tyypillisiä mekaanisia ominaisuuksia.	29
Taulukko 13. Arvoanalyysiin pohjautuva materiaalin valintataulukko.	30
Taulukko 14. Materiaaliominaisuuksien painokertoimien määrittäminen.	31
Taulukko 15. Materiaalien hävittäminen ja valmistuskustannukset.	32
Taulukko 16. Materiaalien vertailu.....	32
Taulukko 17. Maastoluokat.....	38
Taulukko 18. Tuulen nopeuspaineet $q_{p0}(Z)$, (kN/m ²) eri maastoluokissa.	40

Taulukko 19 Ulkoseinien paikallisen tuulen nettopaineen kertoimia.....	41
Taulukko 20. Hattukiinnikkeisiin muodostuneet jännitykset ja venymät.....	51

1 JOHDANTO

Opinnäytetyön toimeksiantaja oli Riikku Rakenteet Oy. Yrityksen päätuotteet ovat alumiini-lasirakenteita, joita yritys valmistaa ja asentaa ympäri Suomen. Riikku Rakenteet Oy:llä kaikki tuotteet tehdään asiakkaan toiveiden mukaan.

Opinnäytetyön tavoitteena oli tehdä esitutkimusta uudelle parvekekaiteiden kiinnityksessä käytettävälle hattukiinnikkeelle. Esitutkimukseen kuului materiaalitutkimusta ja valmistusmenetelmätutkimista. Uudesta valettavasta hattukiinnikkeestä on piirretty 3D-ohjelmalla kolme erilaista mallia, joista on tehty COMSOL Multiphysics lujuuslaskentaohjelmalla kuormituskestävyysmallit. Saatuja tuloksia vertailin alkuperäiseen kiinnikkeeseen lujuuksiin. Vertailun jälkeen hattukiinnikkeeksi on valittu yksi kiinnikemalli, jolla oli lujuuslaskentaohjelman mukaan parhain kuormitus kestävyys.

Opinnäytetyöhön kuului myös suunnitteluoppaan teko. Suunnittelu oppaasta suunnittelija pystyisi vaivatta katsomaan, minkälaisia kuormituksia parvekekaiteeseen kohdistuu erilaisissa olosuhteissa. Suunnittelu opas muodostuu tiedoista, jotka on kerätty lujuuslaskentamallin toteuttamista varten.

2 YRITYSEESITTELY

Riikku Rakenteet Oy on vuonna 2005 perustettu yritys, jonka päätoimipiste sijaitsee Alavudella Etelä-Pohjanmaalla. Yrityksellä on myös aluetoimisto Helsingissä. Yrityksen liiketoiminta on kasvanut neljässä vuodessa merkittävästi, vuonna 2008 arvioitu liikevaihto oli noin 4,5 miljoonaa euroa. Riikku Rakenteet Oy työllistää tällä hetkellä noin 50 henkilöä erilaisissa työtehtävissä. Yrityksen liiketoiminta kattaa kokonaisvaltaisesti tuotteiden myynnin, suunnittelun, valmistuksen ja asennuksen. (Riikku Rakenteet Oy, [Viitattu 7.4.2010].)

Riikku Rakenteet Oy:n päätuotteet ovat alumiini- ja lasirakenteita, joihin sisältyvät lasijulkisivut, sisäläsisseinät, ovet, ikkunat, valokatot, parvekelasitukset ja tyyppihyväksytyt alumiiniprofiilirakenteiset palo-ovet. Riikku Rakenteilla on käytössä myös Riikku-alumiiniparvekekaide- ja terassilasijärjestelmä, josta löytyy kattava valikoima yksilöllisiä ratkaisuita. Tuotevalikoima kattaa runsaan määrän toimivia kaideratkaisuita. (Riikku Rakenteet Oy, [Viitattu 7.4.2010].)

3 TYÖN TAVOITTEET

Työn tavoitteena on tehdä esitutkimusta erilaisista materiaaleista, joita alumiiniparvekekai- teiden kiinnityksessä käytettävään hattukiinnikkeeseen olisi mahdollista käyttää. Tutki- mukseen sisältyy myös valmistusmenetelmän muutostutkimus, koska tulevaisuudessa hat- tukiinnikkeen valmistusmenetelmä korvattaisiin nykyisen pursotettavan tuotteen sijaan valukappaleena.

Opinnäytetyön tavoitteena on myös tehdä Riikku- parvekekaiteiden mitoitus ohje Euro- koodi9-mitoitusohjeiden mukaisesti. Ohjeen tulisi olla selkeä ja helppolukuinen. Ohjeesta tulisi ilmetä kaikki kuormitukset, jotka parvekekaiteisiin kohdistuu eri maastoluokissa.

4 ALUMIINIKAIDEKIINNIKE

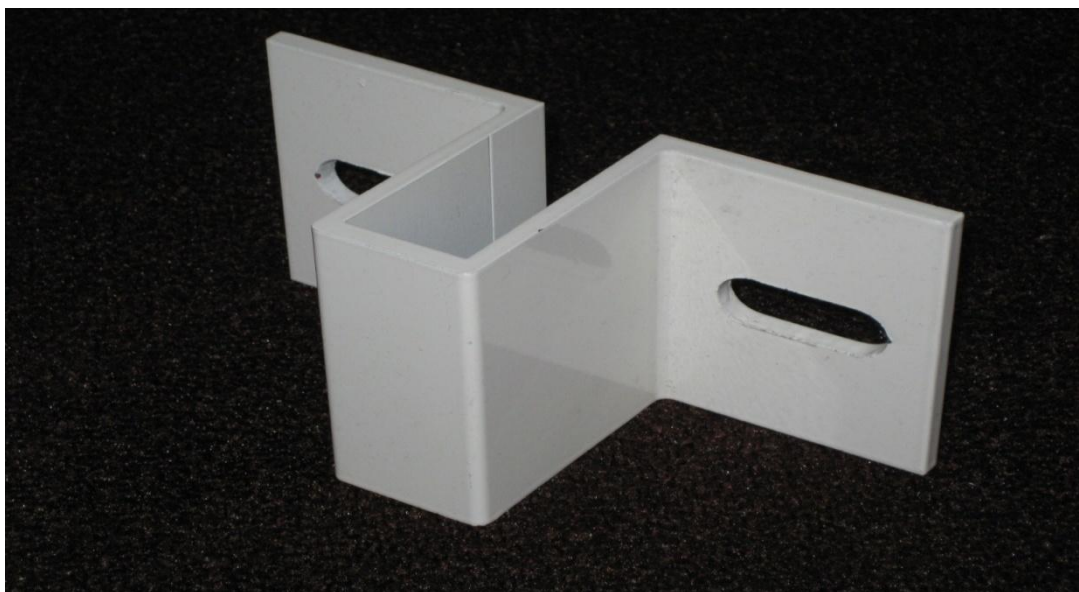
4.1 Käyttökohteet

Hattukiinnikettä käytetään alumiinisten parvekekaiteiden kiinnitykseen rakennuskohteissa. Hattukiinnikkeellä kiinnitetään alumiininen kaiderakenne betonilaattaan. Hattukiinnikkeen kiinnitys betonilaattaan tapahtuu kemiallisella massalla injektoiduilla ruostumattomilla M12:lla kierretangoilla.

Hattukiinnikkeeseen kohdistuu jatkuvasti kaiteen kautta johtuvaa kuormaa, joka syntyy tuulen aiheuttamasta ulkoisesta ja sisäisestä tuulenpaineesta sekä kaiteeseen kohdistetusta pistekuormasta eli ”käsijohdekuormasta”. Kiinnikkeeseen kohdistuu myös jatkuvat olosuhdemuutokset, jonka johdosta kiinnikkeellä tulee olla hyvä korroosion kestävyys.

Kaideratkaisusta riippuen hattukiinnike on näkyvä osa kaidetta, jonka vuoksi kiinnikemateriaalin tulee olla hyvin maalattavissa ilman erikoisia käsittelyitä.

Hattukiinnikkeiden menekki on vuositasolla noin 10 000 kpl/vuosi.

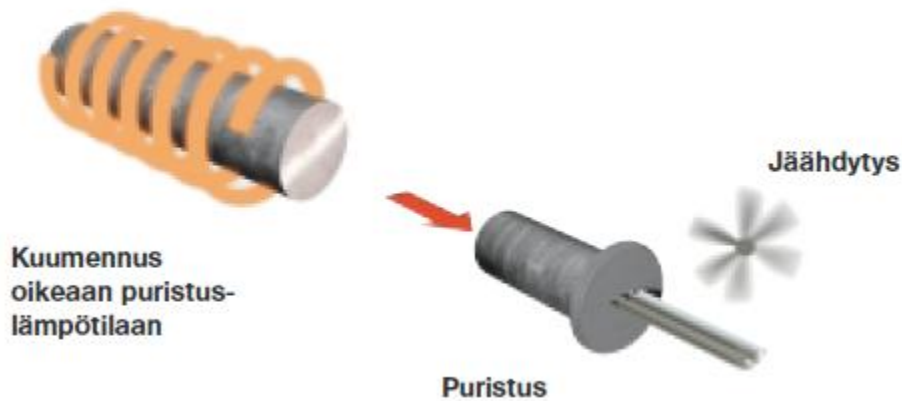


Kuva 1. Hattukiinnike.

4.2 Tekniset ominaisuudet

4.2.1 Profiilin valmistus

Käytössä oleva kaidekiinnike valmistetaan pursottamalla. Pursotus tapahtuu siten, että pursotuskoneessa on alumiinia, jonka lämpötila on n. 450–500 astetta. Alumiini syötetään männän avulla muotinläpi, jolloin syntyy alumiiniprofiilia. Pursotuksen jälkeen alumiiniprofiili suoristetaan vetämällä, suoristamisen jälkeen tehdään mahdolliset lisäkäsittelyt.



Kuvio 2. Alumiinin pursotus prosessi. (Sapa, [Viitattu 12.4.2010].)

Pursotusmenetelmää käyttäen on profiilin muotoilu rajattua. Pursotetulla profiililla ei saavuteta samoja lujuusominaisuuksia esimerkiksi valutuotteeseen verrattuna, koska pursotusmenetelmää käyttäessä täytyy profiilin muotoilun olla hyvin yksinkertainen, jotta sen pursottaminen olisi mahdollista.

Pursottamisen etuja ovat:

- Nopea profiilin valmistusmenetelmä.
- Edullinen valmistusmenetelmä.
- Nopea maalausprosessi.

Pursottamisella on seuraavia haittoja:

- Pursottaminen rajoittaa tuotteen muotoilua.
- Siinä on enemmän valmistusvaiheita.
- Sahaus ja painintyökalu aiheuttavat epäkohtia maalaukseen.

Valamisen etuja ovat:

- Saadaan viimeistellympi tuote.
- Valamalla turhat työ vaiheet saadaan pois.
- Voidaan valmistaa monimuotoisempia tuotteita.

Valamisella on seuraavia haittoja:

- Valmistus menetelmä ei ole yhtä nopea.
- Muottien kallishinta.
- Valaprosessin jälkeen on suoritettava kappaleen viimeistely.

4.2.2 Materiaali

Nykyinen materiaali, jota hattukiinnikkeessä käytetään on alumiiniseos laadultaan SFS-EN AW-6082 T6 [Al Si1MgMn], jonka murtolujuus on 290 MPa, myötölujuus on 259 MPa ja murtovenymä on 8 %. Kyseinen materiaalilaatu on soveltuvainen vain pursotusmenetelmään. Valukappaleen valmistuksessa materiaali täytyy muuttua valmistusmenetelmään sopivaksi.

5 KIINNIKEMATERIAALIEN TUTKINTA

5.1 Alumiinit

Alumiiniseoksia käytetään kohteissa, jossa materiaalilta vaaditaan keveyttä, hyvää korroosionkestävyyttä ja lujuutta. Alumiinin lujuutta voidaan nostaa käyttämällä seosaineina piitä, kuparia, magnesiumia ja sinkkiä. Alumiinien väsymislujuus vaihtelee 35 - 55 %:iin materiaalin murtolujuudesta. Materiaalin korkein käyttölämpötila on virumisen vuoksi rajattava alueelle 200 - 250 °C. Materiaalin hyvä syöpymiskestävyys perustuu alumiinin pintaan muodostuvaan tiiviiseen ja nopeasti uusiutuvaan oksidikerrokseen. Parhaimmillaan syöpymiskestävyys on puhtaalla alumiinilla. Syövyttävissä olosuhteissa alumiiniseosten väsymislujuus laskee nopeasti. (Airila, ym. 2001, 119.)

5.2 Alumiinivalut

Alumiiniseosten valettavuus vaihtelee seosaineiden mukaisesti. Parhaiten valettavia alumiineja ovat alumiini-piiseokset eli silumiinit. Silumiineissä piin määrä on tavallisesti 11 - 13 %. Korvaamalla osa piistä kuparilla saadaan kuparisilumiineja, joilla on hyvät valu- ja lujuusominaisuudet, mutta huono korroosionkestävyys. Alumiini-magnesiumseoksilla on parhaat lujuus-, syöpymiskestävyys- ja kiillotettavuusominaisuudet, mutta seosten valaminen on vaikeaa. (Airila ym. 2001, 120 – 121.)

Taulukko 1. . Yleisimmät alumiinivaluseokset. (Airila ym. 2001, 121.)

SFS	Valutapa	Myötö- lujuus	Murto- lujuus	Murto- venymä	Kovuus (ohjeellinen)
2550 1985	GS, GD, GK	Rp 0,2 MPa	Rm MPa	A5 %	HB
G-AlCu4Ti	GS, GK *	200	250	3	95...110
G-AlSi12	GS, GK, GD	80	160	3	50...60
G-AlSi10	GS, GK, GD	200	230	1	85...115
G-AlSi8Cu3Fe	GD	160	240	0,5	80...110
G-AlSi7Mg	GS, GK	200	250	3	80...105
G-AlMg3	GS, GK	70	150	4	50...60
G- AlSi7MgFe0,2	GS, GK	200	250	4...8	80...110
* GS = Hiekkavalu, GD = Painevalu, GK = Kokillivalu.					

Alumiinivalujen hyviä puolia perinteisiin valumateriaaleihin verrattuna on materiaalin keveys, sitkeys ja hyvä lastuttavuus. Alumiini laadut G-AlSi12 ja G-AlSi7Mg soveltuvat hyvin koneenosien, laitteiden koteloihin ja kansiin. G-AlCu4Ti soveltuu kohteisiin, jossa materiaalilta vaaditaan suurta lujuutta ja materiaali ei joudu korroosio alttiiseen ympäristöön. (Airila ym. 2001, 120 - 121)

5.3 Teräkset

Teräkset jaetaan ominaisuuksien ja käyttötarkoitusten mukaisesti kahteen ryhmään, jotka ovat seostamattomat ja seosteräkset. Teräkset sisältävät enemmän rautaa kuin mitään muuta alkuainetta. Teräksen hiilipitoisuus yleisesti on alle 2 %. Hiilen lisäksi yleisesti käytettyjä lisäaineita ovat: nikkeli, pii, kromi, vanadiini, alumiini, molybdeeni, koboltti ja volframi. Erilaisilla lisäaineyhdistelmillä saadaan teräkseltä vaaditut ominaisuudet.

Seostamattomissa teräksissä minkään seosaineen pitoisuus ei ylitä arvoa 1,65 % ja seosteräksissä vähintään yhden seosaineen pitoisuus ylittää 1,65 %. Seostamattomien terästen pääluokkia ovat seostamattomat perusteräkset, seostamattomat laatuteräkset ja seostamattomat erikoisteräkset. Seosterästen pääluokat ovat seostetut laatuteräkset ja seostetut erikoisteräkset. (Airila ym. 2001, 110)

5.3.1 Yleiset rakenneteräkset

Yleiset rakenneteräkset ovat seostamattomia tai niukkaseosteisia laatuteräksiä, joiden murtolujuus ei ylitä 500 MPa. Yleiset rakenneteräkset on tarkoitettu hitsattuihin ja hitsaamattomiin rakenteisiin. Taulukossa 2 on tärkeimpiä rakenneterästen lujuusluokat ja merkinnät standardin SFS-EN 10027-1 mukaan ja kansallisten terässtandardien vastaavuudet. (Airila ym. 2001, 111.)

Taulukko 2. Yleisten rakenneteräkset ja standardien vastaavuudet. (Airila ym. 2001, 111.)

Myötö- lujuus	Murto- lujuus	EN	SFS	DIN	BS
Re MPa	Rm MPa	10025 1933	200 1986	17 100 1980	A 35-501 1981
235	360...510	S235JR	-	St 37-2	-
235	360...510	S235JRG2	Fe 37 B	Rst 37-2	40B
235	360...510	S235JO	-	St 37-3 U	40C
235	360...510	S235J2G3	Fe 37 D	St 37-3 N	40D
235	360...510	S235J2G4	-	-	-
275	430...580	S275JR	Fe 44 B	St 44-2	43B
275	430...580	S275JO	-	St 44-3 U	43C
275	430...580	S275J2G3	Fe 44 D	St 44-3 N	43D
275	430...580	S275J2G4	-	-	-
355	510...680	S355JR	-	-	50B
355	510...680	S355JO	Fe 52 C	St 52-3 U	50C
355	510...680	S355J2G3	Fe 52 D	St 52-3 N	50D
355	510...680	S355J2G4	-	-	-
355	510...680	S355K2G3	-	-	-
355	510...680	S355K2G4	-	-	-
185	290...680	S185	Fe 33	St 33	-
295	470...610	E295	Fe 50	St 50-2	-
360	670...830	E360	Fe 70	-	-

Rakenneteräksillä ainevahvuuden noustessa 100 mm myötölujuusarvot laskevat noin 10 %. Lämpötilan noustessa 200 °C rakenneteräksien laskentalujuusarvot laskevat noin 20 %. Yleisiä rakenneteräksiä ei suositella käytettäväksi, jos lämpötila on jatkuvasti alle -40 °C ja kappaleeseen kohdistuu iskumaista rasitusta. (Airila ym. 2001, 112.)

Lujien rakenneterästen myötölujuuteen suhteutettu hinta on huomattavasti edullisempi kuin heikompien rakenneterästen, joten on suositeltavaa käyttää staattisissa kuormituksissa lujia teräksiä. Hitsatuissa rakenteissa ei lujien terästen käytöstä ole vastaavaa hyötyä, koska hitsatun rakenteen väsymislujuus on riippumaton teräksen lujuudesta. Hitsaamattomissa rakenneseosissa väsymislujuus on suoraan verrannollinen teräksen murtolujuuteen, joten lujien terästen käyttö näissä tapauksissa on edullista. (Airila ym. 2001, 112.)

5.3.2 Nuorrutusteräokset

Nuorrutus on eräänlainen lämpökäsittely, jossa teräs karkaistaan ja sen jälkeen päästetään lämpötila-alueelle 500-700 °C. Nuorrutamalla saavutetaan erinomainen sitkeyden, lujuuden ja väsymislujuuden yhdistelmä. Parhaat ominaisuudet nuorrutusteräksellä on silloin, kun karkeneminen on täydellinen eli mikrorakenteessa on ainoastaan päästettyä martensiittia. Ainepaksuuden kasvaessa suureksi joudutaan materiaalin seostusta lisäämään, jotta materiaali voidaan karkaista täydellisesti. (Airila ym. 2001, 112.)

Nuorrutettuja teräksiä käytetään rakenteissa, joihin kohdistuu väsyttävä kuormitus. Parhaat väsymislujuusominaisuudet saadaan päästettyä martensiittia sisältävällä mikrorakenteella. Usein riittää, että kappaleen pinta saadaan riittävästi nuorrutettua, sillä taivutus- ja vääntötapauksissa suurin jännitys syntyy kappaleen pintaa. Nuorrutusterästen väsymislujuuksia voidaan likimäärin käyttää murtolujuuteen pohjautuvia suhteellisia arvoja eli taivutusvaihtolujuus on noin 50 % murtolujuudesta, veto-puristuslujuus on noin 40 % murtolujuudesta ja vääntölujuus 30 % murtolujuudesta. (Airila ym. 2001, 112.)

Nuorrutusterästen lujuutta ja sitkeyttä voidaan säädellä valitsemalla halutut ominaisuudet antavat päästölämpötila. Taulukossa 3 on yleisesti käytetyillä nuorrutusteräksillä saavutettavia myötörajan arvoja. (Airila ym. 2001, 113.)

Taulukko 3. Tärkeimmät nuorrutusteräkset ja niiden lujuudet (40 mm < d < 100mm). (Airila ym. 2001, 113.)

Myötö- lujuus	Murto- lujuus	EN	SFS	DIN	BS
Re MPa	Rm MPa	10 083 1992	450 1973	17 200 1969	970:1-72
370	630...780	2 C 45	C 45	1.0503	080M46
450	700...850	25 CrMo 4	25CrMo4	1.7218	708M25
650	900...1100	42 CrMo 4	42CrMo4	1.7225	708M40
800	1000...1200	34 CrNiMo 6	34CrNiMo6	1.6582	817M40
700	800...1100	-	IMACRO M	-	-

5.4 Valuraudat ja -teräkset

Valaminen on helpoin ja suurin tie sulasta metallista valmiiksi osaksi tai viimeisteltäväksi aihiksi. Valaminen tarjoaa suunnittelijalle useita etuja. Kappaleen muodot ja seinämänpaksuudet voidaan valita ilman suuria rajoituksia, jolloin päästään hyvään lujuuspainosuhteeseen. Oikealla muotoilulla voidaan välttää jännityskeskittymät ja vaikuttaa suoraan osan kestoikään. (Airila ym. 2001, 116.)

5.4.1 Suomugrafiittirauta

Suomugrafiittirauta on yleisesti käytetyin valumetalli halvan hintansa, erinomaisten valuminaisuuksien, hyvän työstettävyytensä, kulumiskestonsa ja vaimennuskykynsä ansios-

ta. Raudassa oleva hiili on valtaosaltaan erkautunut suomumaisiksi sulkeumiksi metalliseen perusmassaan, joka on yleisesti perliittiä tai ferriittiä. (Airila ym. 2001, 116.)

Suomugrafiittiraudan lujuusominaisuuksiin vaikuttavat eniten grafiittisuomut, jotka rikkovat metallimatriisin. Niistä johtuen materiaali käyttäytyy jo huoneenlämpötilassa hauraasti ja vetomurtolujuus on suhteellisen alhainen muihin rautaseoksiin verrattuna. Suomugrafiittiraidoilla ei ole havaittavissa selvää myötörajaa ja tarvittaessa määritetään 0,2-raja. Materiaalin puristus-, leikkaus- ja taivutuslujuudet ovat melko hyviä. Väsymislujuuteen vaikuttava loviherkkyys on hyvin pieni, koska grafiittisuomut aiheuttavat metallimatriisiin niin suuren määrän lovivaikutuskohtia, ettei ulkoisilla lovilla niiden rinnalla ole enää suurta vaikutusta. (Airila ym. 2001, 116.)

Suomugrafiittirauta on ”seinämäherkkä” materiaali. Lujuusominaisuudet riippuvat seinämän paksuudesta, koska paksuus vaikuttaa jäähtymisnopeuteen ja grafiitin erkautumiseen. Materiaalin lujuus laskee seinämänpaksuuden kasvaessa. (Airila ym. 2001, 116.)

Taulukko 4. Tärkeimmät suomugrafiittirautojen mekaaniset ominaisuudet. (Airila ym. 2001, 117.)

SFS-EN	Murtolujuus	Puristusmurtolujuus	Kimmoduuli	Murtovenymä	Kovuus (ohjeellinen)
SFS-EN 1561	R _m MPa	R _{em} MPa	E N/mm ² x10 ³	A ₅ %	HB
GJL 150	150...250	600	78...103	0,8...0,3	130...180
GJL 200	200...300	720	88...113	0,8...0,3	140...200
GJL 250	250...350	840	103...118	0,8...0,3	170...220
GJL 300	300...400	960	108...137	0,8...0,3	180...240
GJL 350	350...450	1080	123...143	0,8...0,3	220...280

Suomugrafiittirautojen tyypillisiä käyttökohteita ovat:

- koneiden rungot ja alustat
- putkistot ja venttiilit

- kannet ja säiliöt
- jarrurummut ja -levyt.

5.4.2 Pallografiittiraudat

Pallografiittirautojen lujuusominaisuudet ovat paremmat kuin suomugrafiittiraudoilla. Raudassa olevan grafiitti saadaan palloutumaan erityiskäsittelyllä. Lujuusominaisuudet määräytyvät metallimatriisin rakenteen mukaan. Perliitin osuuden lisääntyessä lujuus ja kovuus kasvavat venymän pienetessä. Useimmat pallografiittiraudat lämpökäsitellään ominaisuuksien saavuttamiseksi. Pallografiittirautojen venymä on teräksen venymää pienempi, mutta oleellisesti suurempaa kuin suomugrafiittiraudoilla. (Airila ym. 2001, 117.)

Hyvien lujuusominaisuuksiensa takia pallografiittirautoja käytetään yleisesti

- hammaspyörissä ja kuljetinpyörissä
- rasitetuissa runkorakenteissa
- valsseissa ja puristinmuoteissa
- ajoneuvojen voimansiirtorakenteissa
- polttomoottorien ja paperikoneiden osina.

Taulukko 5. Tärkeimpien pallografiittirautojen mekaaniset ominaisuudet. (Airila ym. 2001, 117)

SFS-EN	Venymis- raja	Murto- lujuus	Kimmo- moduuli	Murto- venymä	Kovuus (ohjeellinen)
SFS-EN 1563	Rp0.2 MPa min.	Rm MPa min.	E MPa x10 ³ min.	A ₅ % min.	HB
GJS 400	250	400	169	18	130...180
GJS 500	320	500	169	7	170...230
GJS 600	370	600	174	3	200...260
GJS 700	420	700	176	2	260...320
GJS 800	480	800	176	2	250...320

5.4.3 Valuteräkset

Valuteräksinä käytetään pääosin yleisiä teräslaatuja, joita valmistetaan muovattuina levyinä ja tankoina. Muovattujen terästen ominaisuuksia pidetään yleisesti parempina. Valuteräsrakenteet ovat ominaisuuksiltaan isotrooppisia. Muovattujen terästen ominaisuudet ovat testaussuunnasta riippuvaisia, koska niiden suurakenteen arvot ovat parempia kuin poikittaiset arvot. Valuterästen arvot asettuvat muovattujen terästen pitkittäisten ja poikittaisten arvojen väliin. (Airila ym. 2001, 118.)

Valuteräkset soveltuvat moniin koneisiin ja laitteisiin. Niiden käytöllä saavutetaan samoja etuja kuin muidenkin valukappaleiden käytöllä. Erittäin sopivia kohteita ovat:

- vesiturbiinien juoksupyörät ja rakenneosat
- erikoisventtiilit ja offshore-rakenteet
- prosessiteollisuuden vaativat koneet
- kivimurskaimet
- suuret hammaspyörät ja hammasakselit.

Taulukko 6. Tärkeimpien valuterästen tekniset ominaisuudet. (Airila ym. 2001, 119.)

SFS	Myötö- lujuus	Murto- lujuus	Kimmo- moduuli	Murto- venymä	Kovuus (ohjeellinen)
357...394 1975...1979	Re MPa	Rm MPa	E MPa x10³	A₅ %	HB
G-26-52	260	520...670	210	18	150
G20Mn5	290	490	210	18	140...180
G-25CrMo4	590 X	780...930	210	10	240...290
G-X8CrNiMo19	195	450 (min)	200	35	-
G-X8CrNiMo1910 2	205	485 (min)	200	30	-
X = Nuorrutettu kovuuteen HB 280...330.					

5.5 Muovit ja muovikomposiitit

5.5.1 Polyeteeni

Polyteenit ovat eniten käytettyjä muoveja maailmassa. Niiden osuus on yli kolmanneksen kaikista muovikulutuksesta kertamuovit mukaan lukien. Polymeroinnin olosuhteista riippuen valmistetaan matalan tiheyden polyeteenejä (PE-LD) ja korkean tiheyden polyeteenejä (PE-HD). Taulukossa 7 on esitetty tärkeimpien polyeteenien ominaisuuksia. (Airila ym. 2001, 124.)

Polyeteenejä käytetään yleisesti putkistoissa, säiliöissä, pesureissa ja muissa kulutuskestävyyttä vaativissa osissa, kuten hammaspyörissä, tiivisteissä ja rullien valmistuksessa. (Airila ym. 2001, 124.)

Taulukko 7. Tärkeimmät polyeteenit. (Airila ym. 2001, 124.)

Laatu	Tiheys g/cm ³	Vetolujuus MPa	Käyttölämpötila °C	Kitkakerroin μ	Kovuus Shore D
PE-LD	0,93	9,5	-50...+80	0,1	43
PE-HD	0,94...0,96	24...29	-50...+81	0,1	62...68

5.5.2 Polyvinyylikloridi

Polyvinyylikloridi on toiseksi eniten käytetty muovi. Muoviin seostetaan usein täyteainetta, kuten liitua ja kaoliinia. Lisäämällä polyvinyylikloridiin pehmitettä saadaan joustavaa kumimaista muovia. Polyvinyyliklorideja käytetään yleisesti altaisiin, säiliöihin, ilmastointikanaviin, vuorauksiin, puhaltimiin, putkiin, putkenosiin ja happotiivisteisiin. Muovi kestää hyvin useita happoja ja emäksiä. (Airila ym. 2001, 124.)

Taulukko 8. Tärkeimmät polyvinyylidikloridit. (Airila ym. 2001, 124.)

Laatu	Tiheys g/cm ³	Vetolujuus MPa	Käyttölämpötila °C	Kitkakerroin μ	Kovuus Shore D
PVC, kova	1,35	45...54	-15...+60	-	80
PVC, pehmeä	1,2...1,35	13...34	-20...+60	-	64...66
PVC, iskunk.	1,38	47	-40...+60	-	95
PVCC	1,35...1,4	>69	-40...+90	-	140

5.5.3 Polyamidit

Polyamideja kutsutaan yleisesti nailoneiksi. Polyamideja on kaikkiaan yli 60 eri laatua. Tärkeimmät ovat PA6 ja PA6.6. Tyypillisiä käyttökohteita ovat kotitalouskoneiden laakerit, hammaspyörät, ohjainkiskot, rullat ja holkit. Polyamidit ovat itsestään voitelevia muoveja. Lasikuitulujitettuja laatuja käytetään mm. puhaltimissa, jarru- ja kytkinnesteiden säiliöissä ja venttiilikotelojen kansissa. Polyamideja voidaan helposti värjätä, lisäämällä muoviseokseen väriainetta. Yleisessä koneenrakennuksessa polyamideja käytetään vaihteistoissa, laakereissa, pumpuissa ja mittareissa. (Airila ym. 2001, 125.)

Taulukko 9. Tärkeimmät polyamidit. (Airila ym. 2001, 125.)

Laatu	Tiheys g/cm ³	Vetolujuus MPa	Käyttölämpötila °C	Kitkakerroin μ	Kovuus Shore D
PA6	1,14	75...85	-40...+100	0,25	58
PA6.6	1,14	82...92	-30...+110	0,25	68

5.6 Lujitteet

Lujitteita käytetään parantamaan muovien mekaanisia ominaisuuksia. Niiden pääasiallisena tehtävänä on kantaa komposiittiin kohdistuvat kuormitukset. Muovimatriisin tehtävänä on sitoa lujitteet toisiinsa, suojata niitä ja siirtää kuormitukset lujitteiden kannatettavaksi. Teollisesti merkittävin lujite on lasikuitu, jonka osuus kaikesta lujitekäytöstä on noin 99 %. (Airila ym. 2001, 130.)

5.6.1 Lasikuidut

Pääosa valmistetusta lasikuidusta on E-lasia (Electrical glass), jonka mekaaniset ja sähköiset ominaisuudet sekä kemialliset kestävyudet ovat hyviä. C-lasia (Cheramicly resistant glass) käytetään erityisesti happamissa olosuhteissa kun pyritään korroosionkestäviin muovituotteisiin. E-lasikuidusta ja epoksista koostuvan yhdensuuntaislaminaatin tyypilliset mekaaniset ominaisuudet on koottu taulukkoon 10. (Airila ym. 2001, 130.)

Taulukko 10. E-lasi-epoksi-yhdensuuntaislaminaatin mekaaniset ominaisuudet. (Airila ym. 2001, 130.)

Ominaisuudet	Kimmomoduuli MPa	Vetolujuus MPa	Puristuslujuus MPa	Poissonin vakio ν	Lujitepitoisuus t%
Kuitujen suunnassa (0°)	32 000	1000	550	0,3	40
Kuitujen suunnassa (0°)	45 000	1300	800	0,3	60
Poikittaisessa suunnassa (90°)	9 000	35	100	0,09	40
Poikittaisessa suunnassa (90°)	9 000	35	100	0,06	60

5.6.2 Hiilikuitu

Hiilikuidulla tarkoitetaan kuitua, jonka hiilipitoisuus on vähintään 95 %. Hiilikuidulle on ominaista korkea kimmomoduuli ja suuri lujuus, jotka soveltavat ominaisuuksiensa puolesta muovien lujittamiseen. Hiilikuidut soveltuvat kaikkien kerta- ja kestumuovien lujittamiseen eivätkä valmistusmenetelmät aiheuta rajoituksia kuitujen käytölle. (Airila ym. 2001, 130.)

Hiilikuidut valmistetaan jatkuvana kuitukimppuna, jonka filamenttiluku vaihtelee muutamasta tuhannesta muutamiin satoihin tuhansiin. Yksittäiset filamentit ovat väriltään mustia ja poikkileikkaukseltaan pyöreitä (halkaisija 5- 10 μm). (Airila ym. 2001, 131.)

Hiilikuituja valmistetaan eri laatuja. Yleinen tapa on jakaa hiilikuidut kolmeen ryhmään kuitujen lujuus- ja jäykkyysominaisuuksien perusteella. Nykyisin hiilikuidut jaotellaan kimmomoduulin mukaan. (Airila ym. 2001, 131.)

Taulukko 11. Kaupallisten hiilikuitujen mekaaniset ominaisuudet. (Airila ym. 2001, 131.)

Hiilikuitu	Kimmomoduuli MPa	Vetolujuus MPa	Tiheys g/cm³	Murtovenymä %	Filamentteja Kpl
SM-kuidut	235 000	4 600	1,8	1,9	12 000
IM-kuidut	295 000	5 000	1,8	1,6	12 000
HM-kuidut	400 000	3 500	1,82	0,7	12 000

SM- kuidut ovat standardikuituja (Standard Modulus), joita käytetään eniten. Niille tyypillistä on korkea vetomurtolujuus ja murtovenymä. Kimmomoduuli on noin 230 Gpa. Sääntönä on, että kuidun hinta nousee yleisesti kimmomoduulin kasvaessa. SM-ryhmän hiilikuiduilla on alhaisin kimmomoduuli ja ne ovat myös hinnaltaan edullisimpia. IM-kuidut ovat keskijäykkiä eli kimmomoduuli alueella 270-320 Gpa. HM-kuidut ovat jäykkiä kuituja, joiden kimmomoduuli on noin 350 Gpa. (Airila ym. 2001, 131.)

5.6.3 Aramikuidut

Aromaattisia polyamidikuituja sanotaan aramidikuiduiksi. Muihin kuituihin verrattuna niillä on huomattavasti suurempi vetomurtolujuus ja kimmomoduuli. Kuiduille on ominaista alhainen puristuslujuus ja huonohko tartunta matriisina käytettyyn muoviin. Suurimmat erot lasi- ja hiilikuituihin verrattuna ovat sitkeys ja tekstiilikuitumainen luonne. (Airila ym. 2001, 131.)

Taulukko 12. Yhdensuuntaislaminaattien tyypillisiä mekaanisia ominaisuuksia. (Airila ym. 2001, 131.)

Laminaatti (epoksimatriisi)	Kimmomoduuli MPa	Vetolujuus MPa	Puristuslujuus MPa	Tiheys g/cm³	Lujitepitoisuus t%
Hiili XA-S	130 000	2 200	1 600	1,5	60
Aramidi Kevlar 49	75 000	1 400	300	1,35	60
Lasi E	45 000	1 100	600	2	60
Lasi S	50 000	1 500	800	1,95	60

6 MATERIAALIN VALINTA

6.1 Materiaalien vertailu

Materiaalin valinnassa on käytetty kahta yleistä materiaalien valintamenetelmää. Materiaalien vertailutaulukoissa materiaalien ominaisuuksia vertaillaan keskenään. Vertailussa vertaillaan sekä valmisteknillisiä ominaisuuksia että tuotteelta vaadittavia ominaisuuksia.

Arvoanalyysin pohjautuvassa materiaalinvalinnassa tuotteen vaatimuksia ja ominaisuuksia vertaillaan jokaiselle materiaalille erikseen. Materiaalille annetaan joko positiivinen tai negatiivinen arvo, menetelmän soveltuvuudesta kyseiselle materiaalille. Yhteenvedosta saadaan selville, mikä materiaali on saanut parhaan arvosanan ja on sopivin materiaali kyseiselle tuotteelle.

Taulukko 13. Arvoanalyysiin pohjautuva materiaalin valintataulukko.

Vaati- mus/ominaisuus	Materiaali				
	Valuraudat- ja teräkset	Teräk- set	Lujit- teet	Muovit- ja muovi- komposiitit	Alumii- nit
Lujuus /sallitut jännitykset	-	+	+	-	+
Jäykkyys / kimmomoduli	+	+	+	-	+
Väsymislujuus	-	+	+	-	+
Saatavuus	+	+	+	+	+
Korroosion kesto	-	-	+	+	+
Maalattavuus	+	+	+	-	+
Valettavuus/ valmistettavuus	+	-	-	+	+
Yhteenvedo	-	-	-	-	+

Toisessa materiaalinvalinnassa materiaalien ominaisuuden muutetaan numeroarvoiksi, josta voidaan suoraan lukea, mikä materiaali olisi soveltuvin hattukiinnikemateriaali.

Materiaalinvalinnan ensimmäisessä vaiheessa materiaalilta vaadittavia ominaisuuksia vertaillaan keskenään, jonka mukaisesti ominaisuuksille määräytyy omat painokerroin arvot.

Taulukko 14. Materiaaliominaisuuksien painokertoimien määrittäminen.

A= Lujuus
 B= Valettavuus
 C= Ruostumattomuus
 D= Pintakäsiteltävyys
 E= Materiaalin hinta
 F= Paino
 G= Saatavuus
 H= Kierrätettävyys

	B	C	D	E	F	G	H
A	AB	AC	AD	AE	A	AG	A
B		BC	BD	BE	B	BG	B
C			CD	CE	C	CG	C
D				DE	D	DG	D
E					E	EG	EH
F						F	FH
G							G
H							

Painokertoimet:

A= 7
 B= 7
 C= 6
 D= 7
 E= 5
 F= 1
 G= 7
 H= 2

Materiaalin valinnan toisessa vaiheessa materiaaleille määritetään materiaalien hävittämisen ja valmistuskustannusten lukuarvot.

Taulukko 15. Materiaalien hävittäminen ja valmistuskustannukset.

I= Hävittäminen ja valmistuskustannukset (5-1) 5=huono, 1=hyvä.	
Valuraudat- ja teräkset	$I = 3+3 = 6$
Teräkset	$I = 4+4 = 8$
Lujitteet	$I = 5+5 = 10$
Muovit- ja muovikomposiitit	$I = 2+1 = 3$
Alumiinit	$I = 1+2 = 3$

Materiaalinvalinnan viimeisessä vaiheessa materiaaleille määritetään vertailulukuarvot. Tämän jälkeen ominaisuuksien painokerroin kerrotaan materiaalille määrättyllä vertailuluvulla. Jokainen ominaisuus kerrotaan materiaalille määrällä vertailuluvulla ja nämä lasketaan yhteen. Yhteen laskettu tulos jaetaan aikaisemmin määrättyillä hävittämisen ja valmistuskustannusten lukuarvolla, jolloin saadaan suoraan lukuarvo ja parhaimman lukuarvon saaja on soveltuvin materiaali kyseiselle tuotteelle.

Taulukko 16. Materiaalien vertailu.

Ominaisuuden painokerroin	Ominaisuus	Materiaalien vertailuluvut (Lukuarvo 1=huono, 5=hyvä).				
		Valuraudat- ja teräkset	Teräkset	Lujitteet	Muovit- ja muovikomposiitit	Alumiinit
7	A	7*3	7*5	7*4	7*1	7*2
7	B	7*3	7*1	7*2	7*5	7*4
6	C	6*2	6*1	6*4	6*3	6*5
7	D	7*3	7*4	7*2	7*1	7*5
5	E	5*4	5*5	5*1	5*3	5*2
1	F	1*3	1*2	1*1	1*5	1*4
7	G	7*4	7*3	7*1	7*2	7*5
2	H	2*4	2*3	2*1	2*2	2*5
		134/I	130/I	95/I	97/I	166/I
Vertailuluvut		22,33	16,25	9,5	35	55,33

6.2 Lopullinen valinta

Lopullinen materiaalinvalinta muodostuu vertailutaulukoista saatujen tulosten perusteella, joiden mukaan alumiini oli selvästi sopivin materiaali kyseiselle hattukiinnikkeelle. Aikaisemmin käsittelemässä materiaalin esitutkinnasta voidaan valita paras valettava alumiini-seos, joka soveltuu tälle kyseiselle tuotteelle (Taulukko 1.).

Taulukosta valitaan alumiini-seos G- AlSi10 , koska kyseinen materiaali soveltuu hyvin painevalumenetelmään, joka on käytetyin valumenetelmä tämä kokoisissa tuotteissa ja valmistussarjoissa. Alumiini-seoksessa G- AlSi10 on myös soveltuvimmat lujuusominaisuudet muihin painevaluun soveltuviin laatuihin verrattuna.

Materiaalinvalinta tutkimuksessa tuli esille myös esille kilpailevien yritysten käyttämät materiaalit vastaavanlaisilla tuotteilla. Useissa tapauksissa, joissa tuotteeseen kohdistui ulkoisia voimia ja tuote on korroosio alttiissa ympäristössä oli materiaaliksi valittu kyseinen alumiini-seos.

7 KIINNIKKEEN VALMISTUS

7.1 Valumenetelmä

Painevalu on usein suositeltava menetelmä valettaessa suuria määriä edellyttäen, että kappaleelle voidaan valmistaa painevalumuotti. Painevalu on yleensä edullisin, jos kappaleen seinämät ovat suhteellisen ohuet ja muodot monimutkaiset. Jos taas kappaleen seinämänpaksuudet ovat suurehkot ja muodot suhteellisen yksinkertaiset, on matalapainevalu usein hyvä ratkaisu. (Uddeholm Oy, [Viitattu 16.3.2010].)

7.1.1 Painevalu osien vaatimukset

Painevalettuja osia koskevat tiukat vaatimukset edellyttävät lujempien, sitkeämpien, helpommin työstettävien ja hitsattavien sekä korroosionkestävämpien painevalu seosten kehittämistä. Tuotesuunnittelu suuntautuu

- suurempiin osiin
- ohuempiin seinämävahvuuksiin
- monimutkaisempiin muotoihin
- tiukempiin toleransseihin.

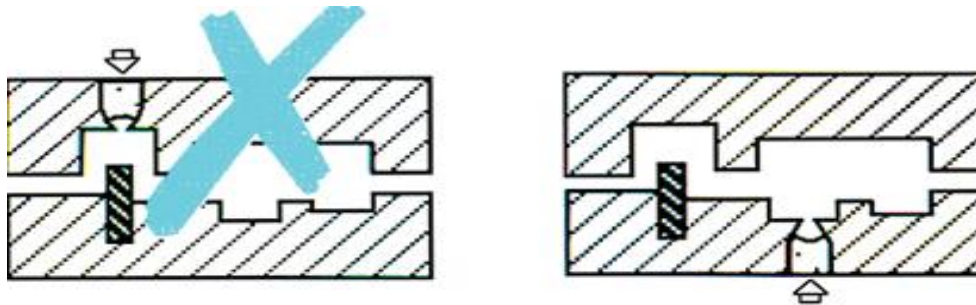
Tämä suuntaus nostaa painevalun muita valumenetelmiä, kuten matalapainevalua ja kokilivalua edullisemmaksi valmistusmenetelmäksi. (Uddeholm Oy, [Viitattu 16.3.2010].)

7.1.2 Työkalun suunnittelu

Painevalutyökalun muotoilu määräytyy ensisijaisesti painevaletun osan muodon perusteella. Muotoiluun ja mitoitukseen vaikuttaa muitakin tekijöitä, jotka voivat työkalun kestävyiden kannalta olla merkittäviä. (Uddeholm Oy, [Viitattu 16.3.2010].)

7.1.3 Muottipesä

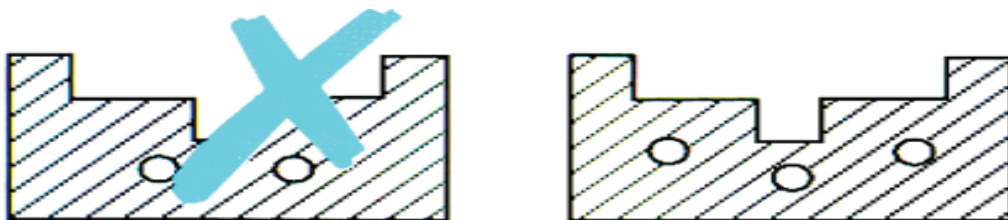
Erikoislujat teräkset ovat hyvin loviherkkiä. Siksi muottipesän seinämien paksuuserot on pidettävä pieninä ja pyöristykset tehtävä mahdollisimman suurella säteellä. Jotta eroosio- tai kuumahalkeamariski muottimateriaalissa lähellä porttikanavaa olisi mahdollisimman vähäistä, muottipesän seinämä, keernat ja muottipalat sijoitetaan mahdollisimman kauas porttikanavasta. (Uddeholm Oy, [Viitattu 16.3.2010].)



Kuva 3. Porttikanavan sijoittelu. (Uddeholm Oy, [Viitattu 16.3.2010].)

7.1.4 Jäähdytyskanavat

Jäähdytyskanavat sijoitetaan siten, että muottipesässä on mahdollisimman tasainen lämpötila. Sekä jäähtymisen että lujuuden kannalta on tärkeää, että jäähdytyskanavien pinnat ovat tasaiset. (Uddeholm Oy, [Viitattu 16.3.2010].)



Kuva 4. Jäähdytyskanavien sijoittelu. (Uddeholm Oy, [Viitattu 16.3.2010].)

7.1.5 Valukanavat, porttikanavat ja ilmanpoistoaukot

Jotta valuolosuhteet olisivat mahdollisimman hyvät, jäähdytysjärjestelmän on oltava oikeassa suhteessa kuumaan osaan (valukanavat, porttikanavat, ilmanpoistoaukot, muottipesät) nähden. Valukanavat, porttikanavat ja ilmanpoistoaukot on suunniteltava huolellisesti. Muottipesän vaikeasti täyttyviin osiin on järjestettävä ilmanpoistoaukko helpottamaan valumateriaalin virtaamista tilaan. Sellaisissa monipesäisissä muoteissa, joiden muottipesät ovat identtiset, on tärkeää, että jakokanavat ovat yhtä pitkät ja läpimitoiltaan yhtä suuret. Porttikanavien samoin kuin ilmanpoistoaukkojen, on oltava identtisiä. Porttikanavien sijainti, niiden väliseinämien paksuus ja leveys ovat ratkaisevia metallin ruiskutusnopeuden kannalta. Portit suunnitellaan niin, että valumetalli virtaa tasaisesti ja esteettä muottipesän kaikkiin osiin. Jos metalli valumisen sijaan ruiskutetaan muottitilaan, tuloksena on huono valu. Liika turbulenssi valumetallissa voi aiheuttaa eroosiota muottiin. (Uddeholm Oy, [Viitattu 16.3.2010].)

7.1.6 Mitoitusohjeita

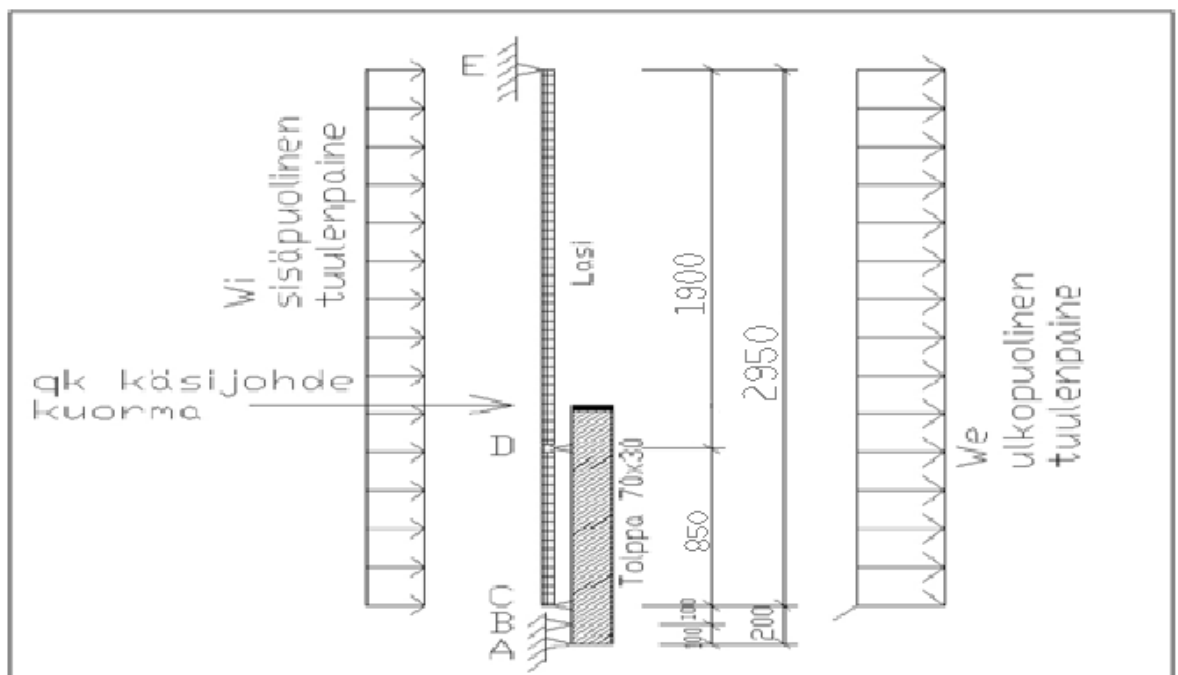
Tärkeimpiä ohjeita kuinka alumiinille tarkoitettu muotti on mitoitettava, että muotilta vaadittavat lujuusominaisuudet saadaan täytetyksi:

- Etäisyys muottipesästä ulkopintaan tulee olla suurempi kuin 50 mm.
- Muottipesän syvyyden suhde kokonaispaksuuteen on oltava suurempi kuin 1:3.
- Etäisyys muottipesästä jäähdytyskanavaan suurempi kuin 25mm ja etäisyys muottipesästä jäähdytyskanavan kulmaan on suurempi kuin 50 mm.
- Pyörityssäteet sinkkillä oltava suuremmat kuin 0,5 mm, alumiinilla suurempi kuin 1 mm, messingillä suurempi kuin 1,5 mm
- Etäisyys porttikanavasta muottipesän seinämään on oltava suurempi kuin 50 mm (Uddeholm Oy, [Viitattu 16.3.2010].)

8 KIINNIKKEEN KESTÄVYYS

8.1 Kaidarakenteeseen kohdistuvat kuormat

Alumiiniseen kaidarakenteeseen kohdistuu jatkuva tuulen aiheuttamaa ulkoista kuormitusta. Suurin tuulikuorma syntyy sille parvekkeen ulkoseinälle, jossa parvekelasitus on kiinni ja jolloin tuulta vastaan kohtisuorassa oleva parvekelasitus on auki. Tällöin tuuli pääsee puhaltamaan parvekkeen sisälle, jolloin kiinni olevaan lasitukseen kohdistuu samanaikaisesti lasitusta ulospäin työntävä sisäinen tuulenpaine ja samansuuntainen ulkoinen tuulenpaine. Ulkopuoleisen tuulenpaineen suunta muodostuu, kun tuulen suunta ei ole kohtisuorassa parvekettä kohden. Mitoitettava tuulen yhteispaine muodostuu sisäisen ja ulkoisen tuulenpaineen summasta. Lisäksi kaidarakenteeseen kohdistuu vaakasuuntainen kuorma, jota kutsutaan käsijohdekuormaksi. Käsijohdekuorma kohdistetaan kaidarakenteen käsijohteeseen koko kaiteen leveydeltä. Käsijohdekuormana käytetään rakennemääräyksi- en mukaista vakio arvoa, jonka suuruus on 0,5 kN/m. Kuvassa 5 on esitetty kaidarakenteeseen kohdistuvat voimat ja niiden suunnat ilman lukuarvoja. (Eurokoodi9, [Viitattu 12.4.2010].)



Kuva 5. Ulkoiset kuormat. (Eurokoodi9, [Viitattu 12.4.2010].)

8.1.1 Maastoluokan määrittäminen

Tuulen voimakkuus vaihtelee rakennusta ympäröivän maaston mukaisesti. Maasto-olosuhteet luokitellaan viiteen erilaiseen ryhmään taulukon 17 mukaisilla maaston rosoisuuden ja pinnanmuodon muutoskuvauksilla.

Rakennuspaikan ympäristön todelliset maasto-olosuhteet vaikuttavat rakennukseen kohdistuvan tuulen nopeuteen. Tapauksessa, jossa rakennus sijaitsee lähellä maaston rosoisuuden muutoskohtaa, pitää maastoluokassa käyttää sileämmän maastoluokan parametreja, jos rakennus sijaitsee:

- alle 2 km:n etäisyydellä sileämmästä, luokkaan 0 kuuluvasta maastosta
- alle 1 km:n etäisyydellä sileämmästä, luokkaan I, II tai III kuuluvasta maastosta.

Rakennuksen maasto-alueilla ei tarvitse huomioida pieniä maastoja, joilla karheus vaihtelee, jos alue on alle 10 % tarkasteltavan alueen kokonaisosuudesta.

Taulukko 17. Maastoluokat. (Suomen rakennusinsinöörien liitto ry. 2008, 127.)

Maasto- luokka	Maaston rosoisuuden ja pinnanmuodon kuvaus.
0	Avomeri tai merelle avoin rannikko.
I	Järvi tai alue, jolla on vähäistä kasvillisuutta eikä esteitä.
II	Alue, jolla on matalaa kasvillisuutta ja erillisiä puita tai rakennuksia, joiden etäisyys toisistaan on vähintään 20 kertaa esteen korkeus. Esim. maatalousmaa.
III	Esikaupunki- tai teollisuusalueet sekä metsät. Matalat pientaloalueet ja kylät.
IV	Yhtenäiset laajat kaupunkialueet, joiden pinta-alasta vähintään 15% on rakennettu ja rakennusten keskimääräinen korkeus on yli 15 m.

8.1.2 Tuulen nopeuspaineen määrittäminen

Kaiderakenteeseen vaikuttavien ulkoisten painerasitusten suuruudet eri maastoluokilla ja erilaisilla kerroskorkeuksilla voidaan laskea Suomen Rakennusinsinöörien Liiton määräämien tuulen nopeuspaineille soveltuvien kaavojen mukaisesti:

$$q_{p0}(Z) = 0,00893 * \left[\ln \left(\frac{\max(1,Z)}{0,003} \right) \right]^2 + 0,0625 * \ln \left(\frac{\max(1,Z)}{0,003} \right), \text{ maastoluokassa 0} \quad (1)$$

$$q_{p0}(Z) = 0,00794 * \left[\ln \left(\frac{\max(1,Z)}{0,01} \right) \right]^2 + 0,0556 * \ln \left(\frac{\max(1,Z)}{0,01} \right), \text{ maastoluokassa I} \quad (2)$$

$$q_{p0}(Z) = 0,00995 * \left[\ln \left(\frac{\max(2,Z)}{0,05} \right) \right]^2 + 0,0697 * \ln \left(\frac{\max(2,Z)}{0,05} \right), \text{ maastoluokassa II} \quad (3)$$

$$q_{p0}(Z) = 0,01279 * \left[\ln \left(\frac{\max(5,Z)}{0,3} \right) \right]^2 + 0,0895 * \ln \left(\frac{\max(5,Z)}{0,3} \right), \text{ maastoluokassa III} \quad (4)$$

$$q_{p0}(Z) = 0,01513 * \left[\ln \left(\frac{\max(10,Z)}{1} \right) \right]^2 + 0,1059 * \ln \left(\frac{\max(10,Z)}{1} \right), \text{ maastoluokassa IV,} \quad (5)$$

jossa $q_{p0}(Z)$ = Tuulen nopeuspaineen arvo, korkeudella Z

$\max(1, Z)$ = Tarkasteltavan korkeusasema ≥ 1 metri

$\max(2, Z)$ = Tarkasteltavan korkeusasema ≥ 2 metri

$\max(5, Z)$ = Tarkasteltavan korkeusasema ≥ 5 metri

$\max(10, Z)$ = Tarkasteltavan korkeusasema ≥ 10 metri.

Taulukkoon 18 on laskettu eri kerros korkeuksilla vaikuttavien tuulen nopeuspaineiden arvot jokaisella viidellä maastoluokalla. Taulukosta voidaan hyvin huomata erilaisissa maastoluokissa tuulen nopeuspaineiden vaikutuksen suuruudet. Kaupunkien keskusta alueille ja tiheään asutetuilla rakennusalueilla on tuulen nopeuspaineen vaikutus hyvin vähäistä, koska tuulen nopeuspaineen vaikutus ei yllä suurillakaan kerros korkeuksilla samoihin arvoihin kuin esimerkiksi matalassa rannikkoalueella sijaitsevan rakennuksen tuulennopeuspaineen arvot.

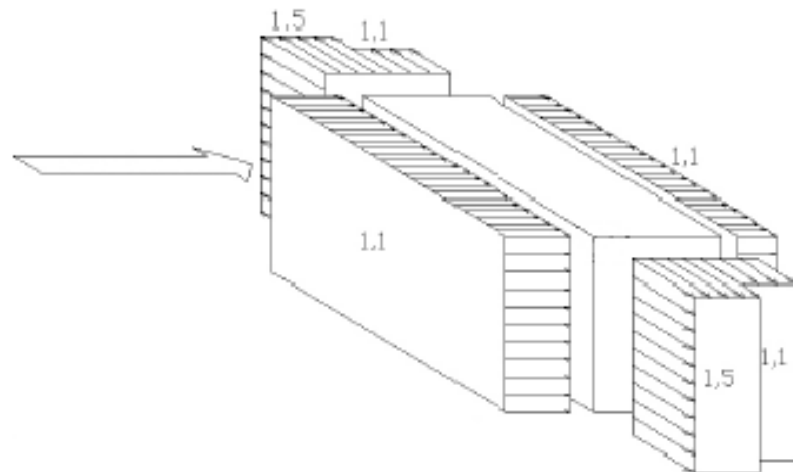
Tuulen nopeuspaineiden laskenta kaavojen mukaisesti maastoluokassa III minimi korkeus on 5m ja maastoluokassa IV minimi korkeus on 10m, jonka vuoksi taulukossa 18 ei ole esitetty näille alueille tuulen nopeuspaineiden arvoja.

Taulukko 18. Tuulen nopeuspaineet $q_{p0}(Z)$, (kN/m²) eri maastoluokissa.

KRS	H (m)	ML 0	ML I	ML II	ML III	ML IV
1	3	0.858	0.575	0.452	-	-
2	6	0.991	0.681	0.562	0.383	-
3	9	1.073	0.746	0.630	0.452	-
4	12	1.133	0.793	0.681	0.504	0.357
5	15	1.180	0.831	0.721	0.546	0.398
6	18	1.221	0.863	0.755	0.581	0.432
7	21	1.253	0.890	0.784	0.611	0.463
8	24	1.283	0.914	0.810	0.640	0.490
9	27	1.310	0.935	0.832	0.662	0.513
10	30	1.333	0.954	0.853	0.683	0.539
11	33	1.355	0.972	0.872	0.703	0.555
12	36	1.375	0.988	0.889	0.722	0.574
13	39	1.393	1.003	0.910	0.739	0.591
14	42	1.411	1.017	0.920	0.755	0.607
15	45	1.423	1.030	0.935	0.770	0.622
16	48	1.442	1.042	0.950	0.784	0.637
17	51	1.456	1.053	0.960	0.797	0.650
18	54	1.470	1.064	0.972	0.810	0.663
19	57	1.483	1.075	0.984	0.822	0.675
20	60	1.499	1.085	0.994	0.833	0.687

8.1.3 Tuulikuormien vaikutus rakennuksen pintoihin

Rakennukseen kohdistuvalle tuulelle määritetään tuulen nettopaine kerroin, joka määräytyy rakennukseen kohdistuvan tuulen suunnan vaikutuksesta. Kuvassa 6 on esitetty tuulen nopeuspaineelle ja tuulen suunnan aiheuttamien nettopaine kerrointen lukuarvot, kun tuulen suunta on kohtisuorassa rakennuksen pitkään sivuun nähden. Kuvan 6 rakennuksen sivujen mitat ovat: 15m * 45 m ja rakennuksen korkeus on 20m. Rakennukseen kohdistuvien tuulten nettopaine kerrointen lukuarvot määritellään rakennuksen pinta-alan mukaisesti. Taulukossa 19 on esitetty Eurokoodi9 mukaisesti määritettyjä tuulen nettopaine kertoimen lukuarvoja rakennusten pinta-alojen suhteen.



Kuva 6. Tuulen suunnan vaikutus rakennuksen pintoihin. (Eurokoodi9, [Viitattu 12.4.2010].)

Taulukko 19 Ulkoseinien paikallisen tuulen nettopaineen kertoimia. (Eurokoodi9, [Viitattu 19.4.2010].)

Ulkoseinät	suurin imu nurkka- alueilla 1)		suurin imu keskialueilla		suurin paine sisäänpäin	
	$A \geq 10 \text{ m}^2$	$A < 10 \text{ m}^2$	$A \geq 10 \text{ m}^2$	$A < 10 \text{ m}^2$	$A \geq 10 \text{ m}^2$	$A < 10 \text{ m}^2$
tarkasteltava pinta-ala						
$C_{p,net}$	-1,5	-1,7	-1,1	-1,4	+1,1	+1,3

Ulkoseinien tuulen nettopaine kerroin lasketaan kaavasta:

$$C_{p,net} = C_{pe} + C_{pi}, \quad (6)$$

jossa C_{pe} = Ulkopuolinen paine kerroin, pohjaltaan suorakulmaisten rakennusten pystysuurille seinille

C_{pi} = Sisäpuolinen paine kerroin, pohjaltaan suorakulmaisten rakennusten pystysuurille seinille.

Rakennusten kaikkien seinien tuulikuormitus saadaan kaavasta:

$$q_{w,k} = C_{p,net} * q_{p0}(Z), \quad (7)$$

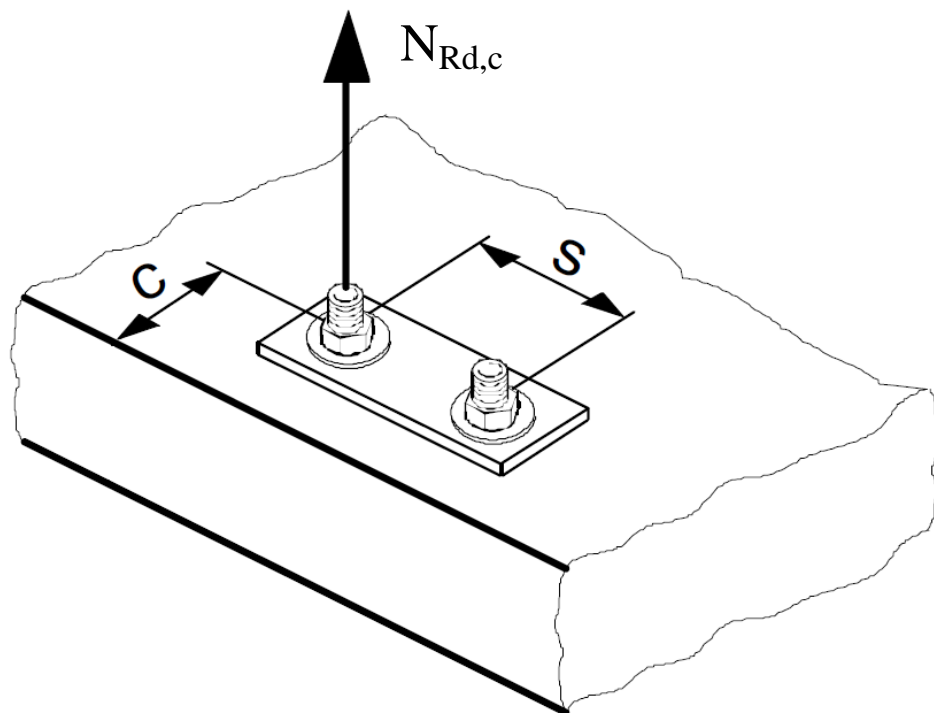
jossa $C_{p,net}$ = tuulen nettopaine kerroin

$q_{p0}(Z)$ = rakennuksen korkeutta Z vastaava tuulen nopeuspaine.

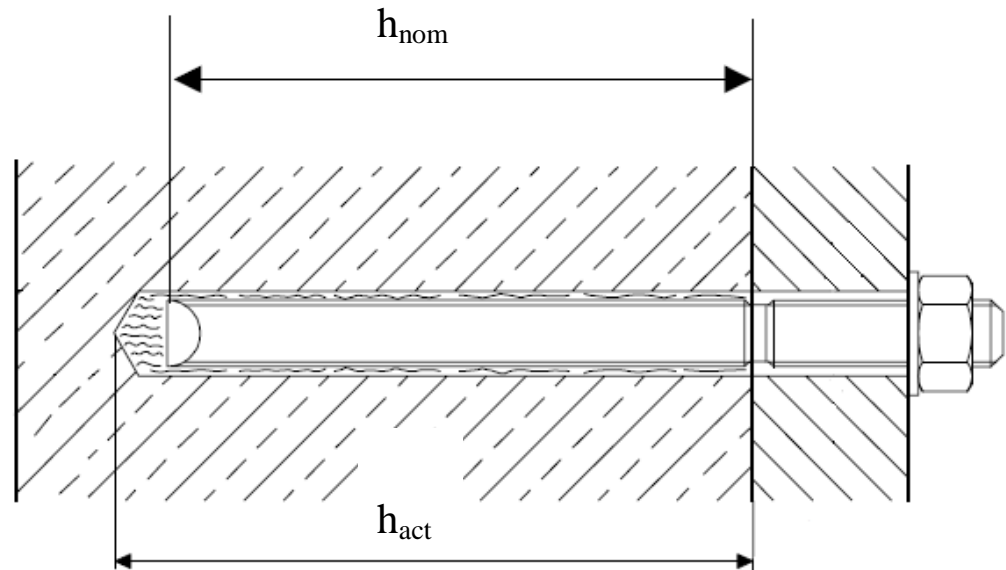
8.2 Kiinnikkeen ankkurointi betonilaattaan

Alumiininen kaidekiinnike ankkuroidaan injektoimalla betonilaattaan kahdella M12:lla kierretangolla (kierretangon lujuusluokka 5.8), jotka ovat ruostumatonta terästä. Injektointissa käytetään Hilti HIT-HY 150 -injektointimassaa.

Kaidekiinnikkeiden kiinnityksessä käytettävät injektointimassat toimittava Hilti Oy ilmoittaa injektointiohjeissaan lukuarvon yhdelle HIT-HY 150 -injektointimassalla kiinnitetylle M12:lle kierretangolle, jonka se kestää kuvan 7 mukaista vetolujuutta. Hilti Oy:n ankkurointiohjeissa ilmoitettua lukuarvoa ei voida suoraan käyttää ankkurin vetolujuusarvona, koska kaidekiinnike kiinnitetään kahdella M12:lla ankkurilla ja ankkuroinnin vetolujuuden heikentävänä tekijänä on ankkuriparin pieni etäisyys toisistaan



Kuva 7. Ankkurointimalli. (Hilti Oy 2005, 261.)



Kuva 8. Kierretangonankkurointi. (Hilti Oy 2005, 259.)

Tässä lasketaan maksimi vetovoima, jonka injektoitu ankkuripari kestää. Vetovoiman laskennassa käytetyt kaavat 8-13 ovat Hilti Oy:n valmistamasta ankkurointiohjeesta. Hilti Oy:n ankkurointi ohjeissa on ilmoitettu yhden oikein ankkuroidun M12:sen kierretangon kestävän vetokuormitusta 16.8 kN. Laskelmissa käytetyt arvot ovat vakio arvoja, jotka määräytyvät asennus määräyksissä ja hattukiinnikkeen muodon tuomista mitoista.

$$N_{Rd,c} = N_{Rd,c}^o * f_T * f_{B,N} * f_{A,N} * f_{R,N}, \quad (8)$$

jossa $N_{Rd,c}^o$ = Ulosvetovoima, jonka yksittäinen injektoitu kierretanko kestää

f_T = Ankkurointi syvyyden vaikutus

$f_{B,N}$ = Betonin lujuuden vaikutus

$f_{A,N}$ = Ankkurien etäisyyden vaikutus

$f_{R,N}$ = Reunaetäisyyden vaikutus.

Tässä lasketaan ankkurointi syvyyden vaikutusta ankkurointiin.

$$f_T = \frac{h_{act}}{h_{nom}} \quad (9)$$

$$f_T = \frac{140}{110} = 1.273,$$

jossa h_{act} = ankkurointi reiän poraus syvyys (mm)

h_{nom} = ankkurointi syvyys (mm).

Tässä lasketaan betonin lujuuden vaikutusta ankkurointiin.

$$f_{B,N} = 1 + \left(\frac{f_{ck,cube} - 25}{100} \right) \quad (10)$$

$$f_{B,N} = 1 + \left(\frac{25 - 25}{100} \right) = 1,$$

jossa $f_{ck,cube}$ = Betonin lujuusluokka (N/mm²).

Saneeraus rakennuskohteissa betonin lujuudesta käytetään arvoa 25 N/mm², kun taas uudis rakennuskohteissa betonin lujuuden arvona käytetään 40 N/mm².

Tässä lasketaan ankkurien etäisyyden vaikutusta ankkurointiin.

$$f_{A,N} = 0.5 + \frac{s}{4 \cdot h_{nom}} \quad (11)$$

$$f_{A,N} = 0.5 + \frac{110}{4 \cdot 110} = 0.75,$$

jossa s = ankkurien väli (mm)

h_{nom} = ankkurointi syvyys (mm).

Tässä lasketaan reunaetäisyyden vaikutusta ankkurointiin.

$$f_{R,N} = 0.28 + 0.72 \frac{c}{h_{nom}} \quad (12)$$

$$f_{R,N} = 0.28 + 0.72 \frac{100}{110} = 0.935,$$

jossa c = ankkurien reunaetäisyys (mm), vakio laatta 200mm, jolloin reunaetäisyys on 100mm.

h_{nom} = ankkurointi syvyys (mm).

Ankkurille saadaan sallituksi vetovoimaksi:

$$N_{Rd,c} = 16.8 \text{ kN} * 1.273 * 1 * 0.75 * 0.935 = 14.98 \text{ kN}$$

Ankkuriparille saadaan sallituksi vetovoimaksi:

$$N_{Rd,ckok} = N_{Rd,c} * 2 \quad (13)$$

$$N_{Rd,ckok} = 14.98 \text{ kN} * 2 = 29.96 \text{ kN}$$

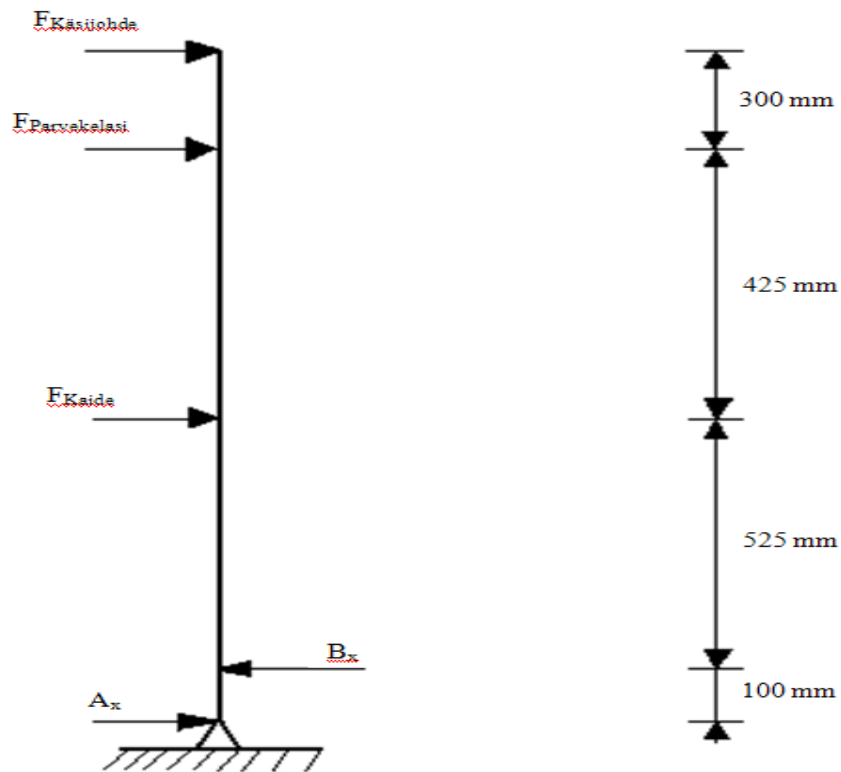
8.3 Kiinnikemallien lujuustarkastelu

8.3.1 Lujuuslaskentamallin muodostaminen

Hattukiinnikkeiden lujuuslaskentamallit on muodostettu Comsol -ohjelmalla. Hattukiinnikemallien muodostamisessa on käytetty ohjelman automaattista kappaleenverkotusta. Lujuuslaskentaohjelmalla lasketaan hattukiinnikkeisiin kohdistuneet von mises jännitykset.

Hattukiinnikkeiden lujuuslaskentamallit on muodostettu siten, että mikä vastaisi todellista tilannetta kiinnikkeen käytössä. Lujuuslaskentamalleissa on kiinnikkeiden tukipisteiksi valittu kiinnitys reiät, jotka vastaavat hyvin todellista tilannetta.

Lujuuslaskentamalleissa on käytetty kaavan 19 mukaisesti laskettua kiinnikkeeseen kohdistuvaa oletusarvoa, jonka suuruus on 10 N/mm^2 . Kaavalla 19 saadaan laskettu tarkka arvo tasaisesta kiinnikkeeseen kohdistuvasta kuormasta. Hattukiinnikkeeseen kohdistettu tasainen kuorma ei vastaa täysin todellista tilannetta, koska kenttäolosuhteissa kiinnikkeeseen kohdistuva kuormitus ei ole tasaisesti jakautunut kiinnikkeen pintaan. Tästä syystä lujuuslaskentamalleissa kappaleiden maksimaaliset jännitykset ja venymät eivät muodostu todenmukaisille alueille. Lujuuslaskentamalleihin muodostuneista jännityksistä ja venymistä on hyvin havaittavissa eri kiinnikemallien hyvät ja huonot ominaisuudet.



Kuva 9. Kaidarakenteeseen kohdistuvat voimat.

Kuvassa 9 tuenta B_x vastaa hattukiinnikkeellä kiinnitystä betonilaattaan ja tuenta A_x vastaa kaiteen tolpparakenteen kosketusta betonilaatan ala-reunaan. Tuulen aiheuttama tasainen kuormitus on muutettu pistekuormaksi ja pistekuorman sijainti määräytyy kaidarakenteen kuvan 5 mittojen mukaisesti.

Kaidarakenteen mitat:

- Betonisen parvekelaatan paksuus on 200 mm.
- Kaidarakenteen verhouksen korkeus on 850 mm, jolloin tuennan B_x etäisyys kuormaan F_{Kaide} on $850 \text{ mm}/2 + 100 \text{ mm}$.
- Käsijohteen korkeus laatan ylä-pinnasta on 1150 mm, jolloin tuennan B_x etäisyys kuormaan $F_{\text{käsijohde}}$ on $1150 \text{ mm} + 100 \text{ mm}$.
- Parvekelasituksen korkeus on 1900 mm, parvekelasituksen aiheuttaman kuorma kohdistuu kaideverhouksen ylä-reunaan, jolloin tuennan B_x etäisyys kuormaan $F_{\text{parvekelasi}}$ on $850 \text{ mm} + 100 \text{ mm}$.

- Kaiderakenteen tolppa jako on 1 m, tolppa jaolla määritetään leveys suunnassa pinta-ala, joka kohdistuu yhdelle kiinnikkeelle.
- Tuuli kuormituksena kaiderakenteelle on käytetty arvoa $q_{w,k}=1,335 \text{ kN/m}^2$, joka muodostuu maastoluokassa I, korkeusaseman ollessa 21 m ja tuulen nopeuspaineelle taulukon 19 mukaisesti saadaan kertoimen arvoksi 1.5.

Kuvan 9 voimien suuruudet lasketaan seuraavista kaavoista:

$$F_{\text{Käsijohde}} = 0.5 \text{ kN, vakioarvo.} \quad (14)$$

$$F_{\text{Parvekelasi}} = \frac{q_{w,k} * A_{\text{Parvekelasi}}}{2}, \quad (15)$$

jossa $q_{w,k}$ = rakennuksen tuulikuormitus

$A_{\text{Parvekelasi}}$ = parvekelasituksen pinta-ala.

$$F_{\text{Parvekelasi}} = \frac{1,335 \text{ kN/m}^2 * 1,9 \text{ m}^2}{2}$$

$$F_{\text{Parvekelasi}} = 1,268 \text{ kN}$$

$$F_{\text{Kaide}} = q_{w,k} * A_{\text{Kaide}}, \quad (16)$$

jossa $q_{w,k}$ = rakennuksen tuulikuormitus

A_{Kaide} = kaideverhouksen pinta-ala.

$$F_{\text{Kaide}} = 1,335 \text{ kN/m}^2 * 0,85 \text{ m}^2$$

$$F_{\text{Kaide}} = 1,135 \text{ kN}$$

Tukireaktiot F_x suunnassa saadaan kaavalla:

$$\sum F_x = F_{käsijohde} + F_{parvekelasi} + F_{kaide} - B_x + A_x = 0 \quad (17)$$

Momentti A_x ympäri saadaan kaavalla:

$$\sum MA_x = F_{käsijohde} * 1.35m + F_{parvekelasi} * 1.05m + F_{kaide} * 0.625m - B_x * 0.1m = 0 \quad (18)$$

$$B_x = \frac{F_{käsijohde} * 1.35m + F_{parvekelasi} * 1.05m + F_{kaide} * 0.625m}{0.1m}$$

$$B_x = \frac{0.5kN * 1.35m + 1.268kN * 1.05m + 1.135kN * 0.625m}{0.1m}$$

$$B_x = 27,16 \text{ kN}$$

Kaidarakenteen kiinnitys on riittävä kun $B_x < N_{Rd,ckok}$.

Tukireaktiosta saadaan A_x arvo:

$$A_x = B_x - F_{käsijohde} - F_{parvekelasi} - F_{kaide}$$

$$A_x = 27,16kN - 0.5kN - 1.268kN - 1.135kN$$

$$A_x = 24,26 \text{ kN}$$

Kiinnikkeeseen kohdistuva tasainen kuorma saadaan kaavasta:

$$q = \frac{F}{A} \quad , \quad (19)$$

jossa q = kiinnikkeeseen kohdistuva tasainen kuorma

F = kiinnikkeeseen kohdistuva kuorma

A = kiinnikkeen pinta-ala (pinta-ala on $28 \text{ mm} * 90 \text{ mm} = 2520 \text{ mm}^2$).

$$q = \frac{27160N}{2520\text{mm}^2}$$

$$q = 10.78 \text{ N/mm}^2$$

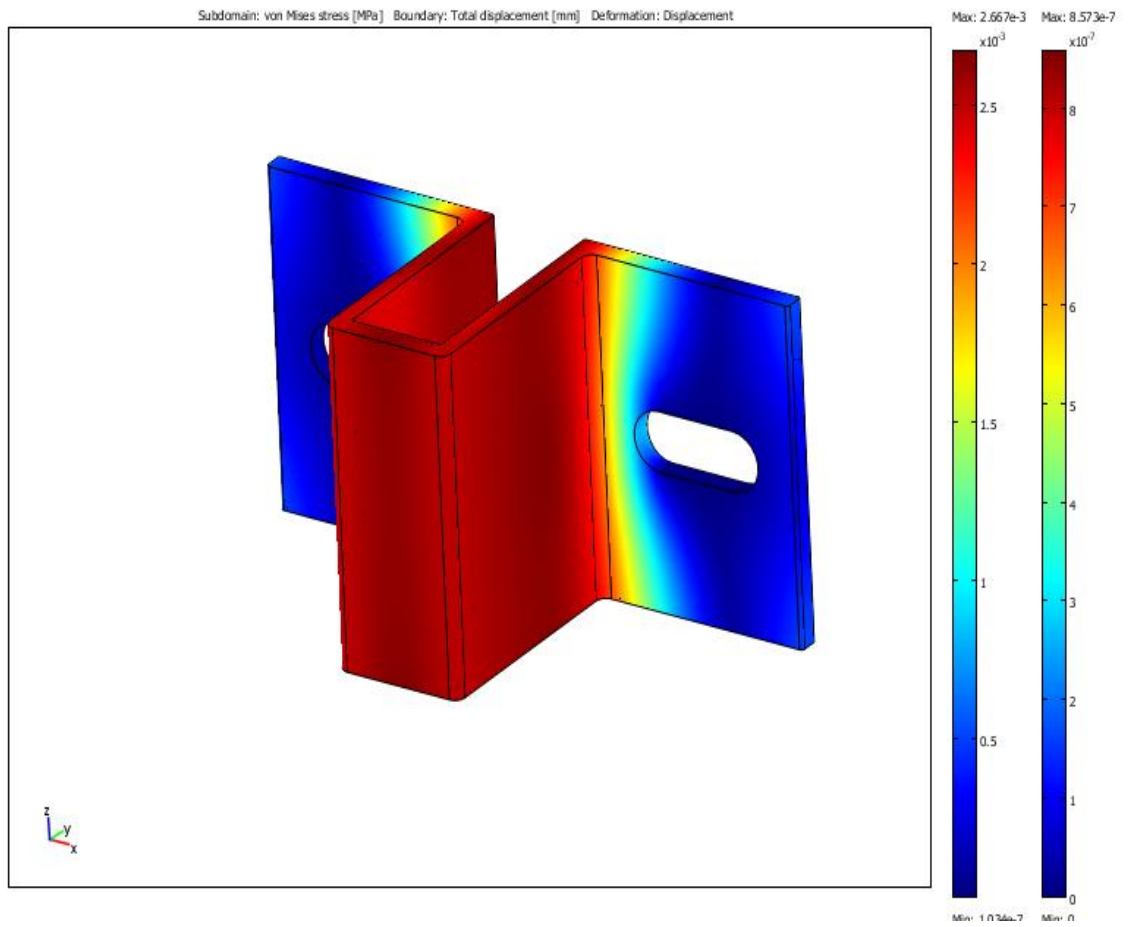
8.3.2 Kappaleiden lujuuslaskenta

Hattukiinnike malleista on saatu lujuuslaskentaohjelman suorittamien laskelmien mukaisesti von mises -jännitykset, jotka ulkoisen kuorman aiheuttaman muodostuu ja maksimaaliset venymät kappaleista.

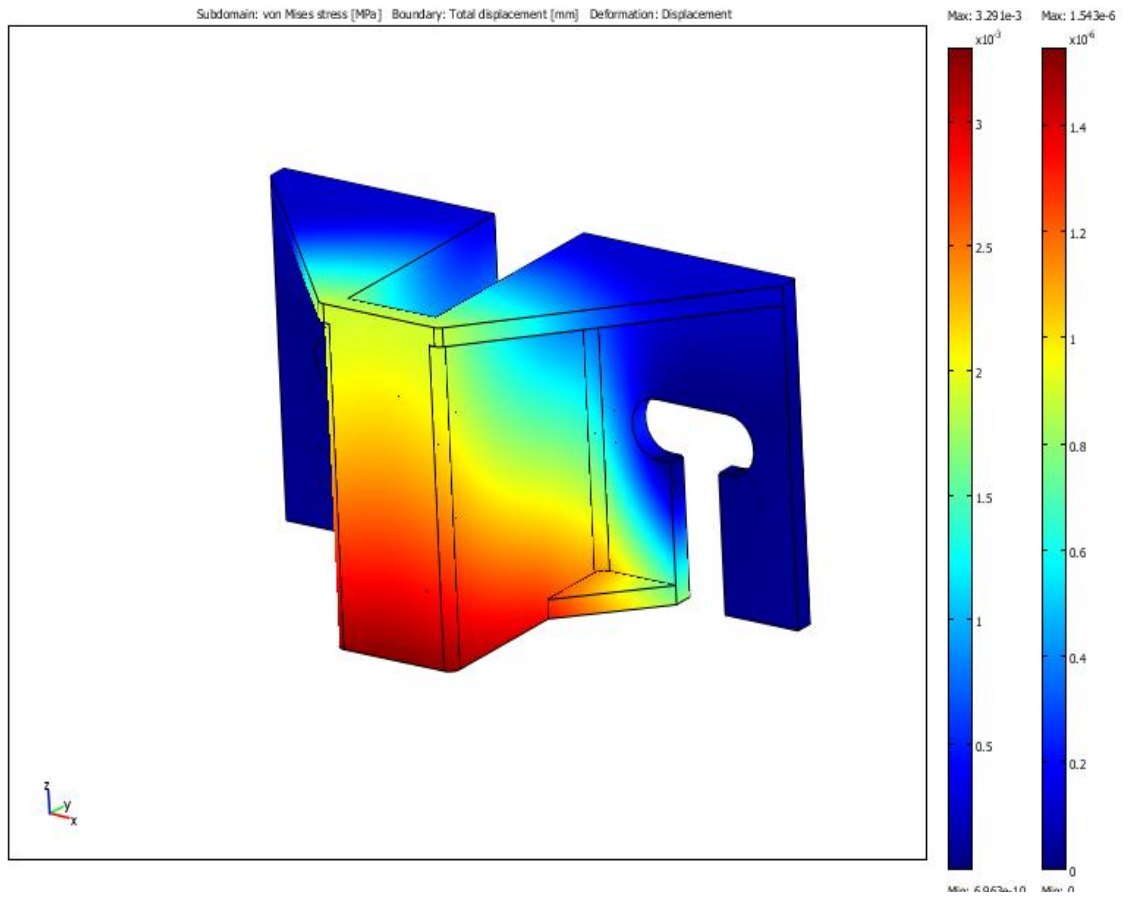
Taulukko 20. Hattukiinnikkeisiin muodostuneet jännitykset ja venymät.

Hattukiinnike	Maksimi jännitys (MPa)	Maksimi venymä (mm)
Vakio	$2,67 * 10^{-3}$	$8,57 * 10^{-7}$
A-revisio	$3,29 * 10^{-3}$	$1,54 * 10^{-6}$
B-revisio	$2,11 * 10^{-3}$	$6,75 * 10^{-7}$
C-revisio	$3,66 * 10^{-3}$	$1,22 * 10^{-6}$

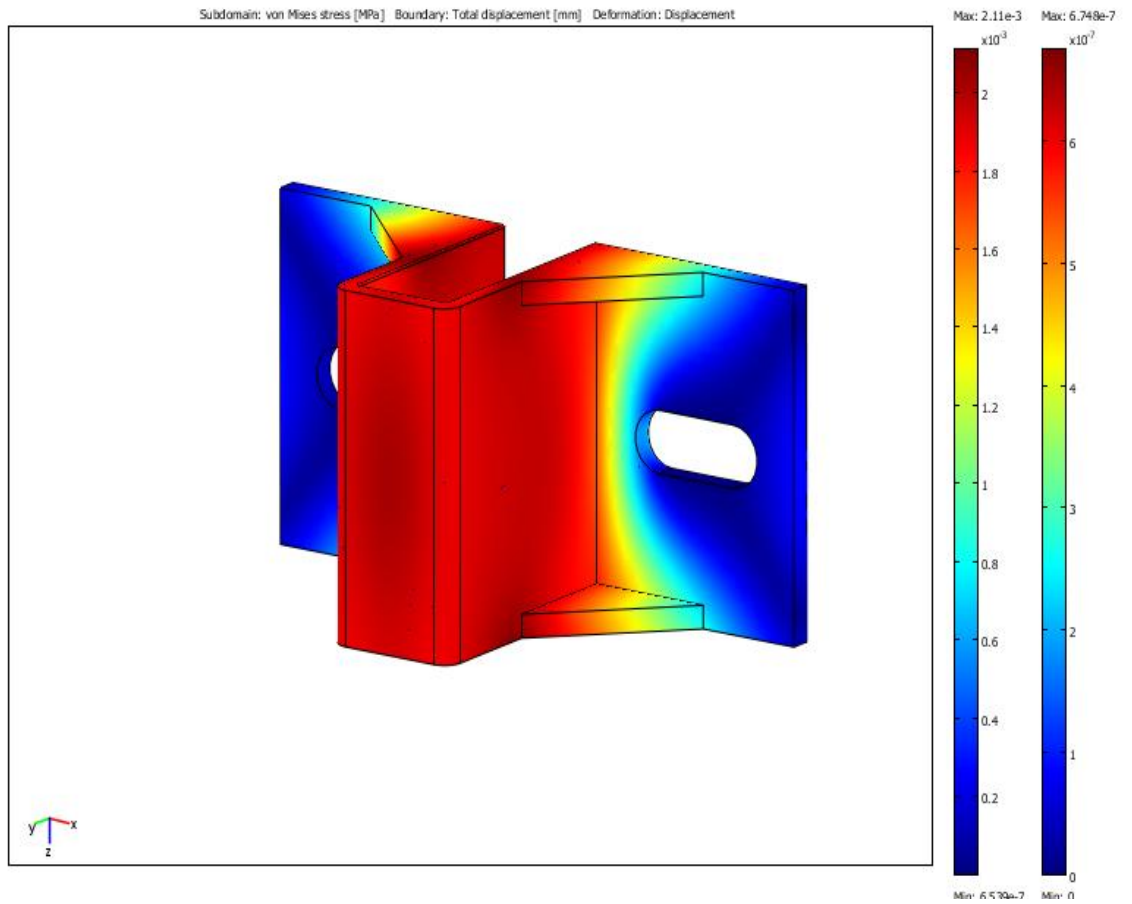
Lujuuslaskennasta parhaimmat tulokset sai hattukiinnike B-revisio. Hattukiinnikkeen B-revisio muoto soveltuisi parhaiten käytettäväksi hattukiinnikkeeksi, koska kiinnikkeeseen kohdistuneet von mises -jännitykset ovat pienempiä kuin muiden kiinnikemallien vastaavat jännitysten arvot. Hattukiinnikkeeseen B-revision maksimi venymä kuormituksen alaisena oli myös paras kaikista kiinnike malleista, koska kiinnikkeen venymän arvo oli pienin.



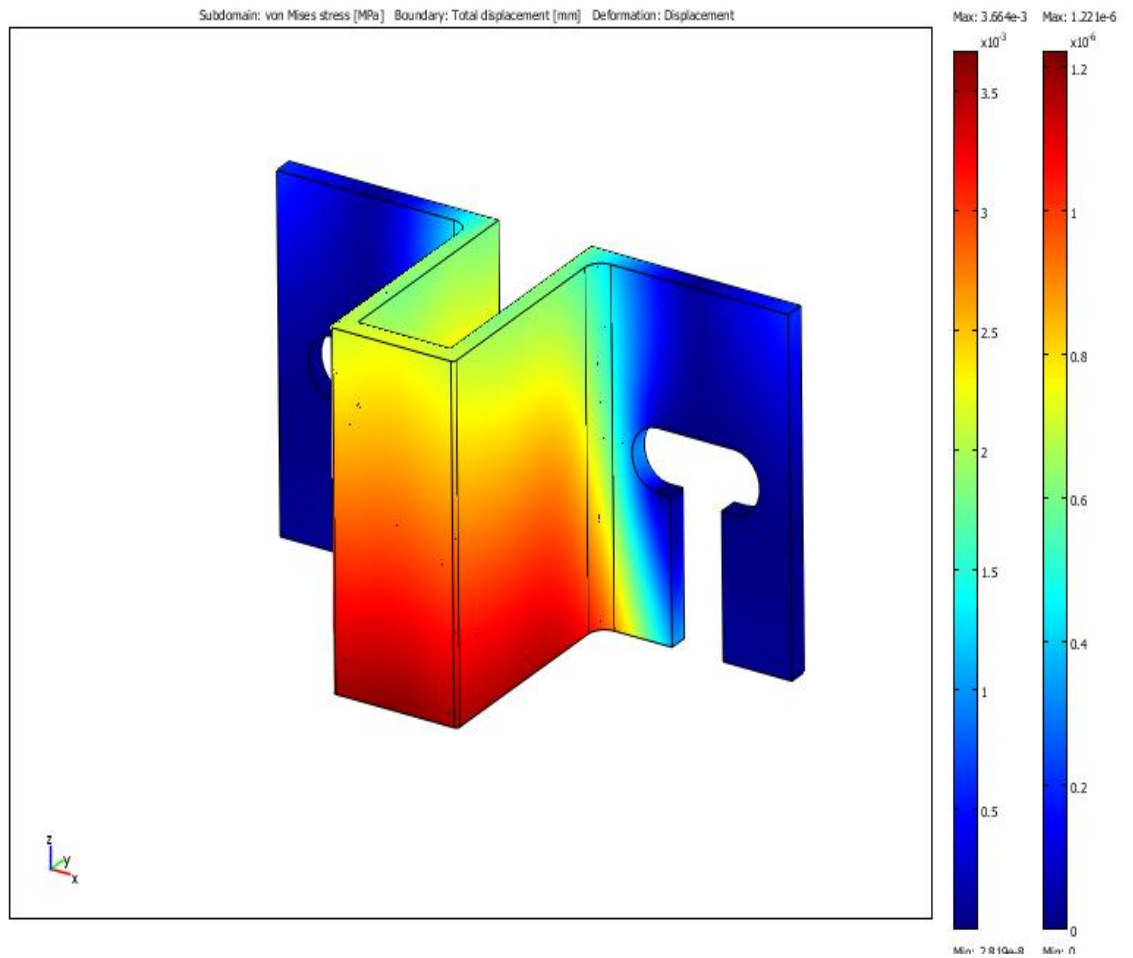
Kuva 10. Vakiohattukiinnikkeen von mises jännitykset.



Kuva 11. A-revisio hattukiinnikkeen von mises jännitykset.



Kuva 12. B-revisio hattukiinnikkeen von mises jännitykset.



Kuva 13. C-revisio hattukiinnikkeen von mises jännitykset.

9 YHTEENVETO

Opinnäytetyön tavoitteena oli tehdä esitutkimusta alumiinisten parvekekaiteiden kiinnityksessä käytettävästä hattukiinnikkeestä. Opinnäytetyön aihe muodostui projektiopintojen yhteydessä kun ilmeni, että Riikku Rakenteet Oy:llä oli halu kehittää tuotetta. Merkittävin tarve kehitys ja tutkimustyölle muodostui tuotteen valmistusmenetelmän muutoksesta, jossa vanha pursotusmenetelmällä valmistettava tuote haluttiin korvata uudella valettavalla kappaleella. Valumenetelmällä tuotteesta saadaan halutunlainen ja valmis tuote, ilman valmistusmenetelmän tuomia suuria rajoituksia tuotteen muodolle.

Esitutkimus sisälsi tutkimusta materiaaleista, jotka olisivat soveltuvia valettavan hattukiinnikkeen materiaaliksi. Tutkimuksessa on suoritettu materiaalinvalinta erilaisia materiaalienvertailu taulukoita apuna käyttäen.

Opinnäytetyössä on tutkittu lisäksi kolmen erilaisen hattukiinnikemallin käyttäytymistä rasitusten alaisina. Kappaleiden lujuuslaskenta tarkastelut on tehty COMSOL-lujuuslaskentaohjelmalla. Kappaleille tehdyistä lujuuslaskentamalleista on suoritettu vertailuja eri kiinnikemallien välillä. Kiinnikemalleja on vertailtu myös käytössä olevaan hattukiinnikkeeseen. Lujuuslaskentamallien toteuttamiseksi on selvitetty kaidarakenteeseen kohdistuvien kuormitusten vaikutus erilaisissa olosuhteissa ja kaidekiinnikkeen kiinnityksen lujuus betonilaattaan.

Opinnäytetyössä oli tavoitteen myös tehdä kuormitusohje kaiteiden suunnittelijoille, josta suunnittelija voi vaivatta katsoa kaidarakenteeseen kohdistuvien voimien suuruuden ja rakennuksen sijainnin vaikutukset kuormien suuruuksiin. Opinnäytetyöhön kuuluva kuormitusohje on tehty exel -ohjelmalla, joka on muodostettu siten, että suunnittelija saa selville kuormitusten suuruudet ilmoittamalla ohjeeseen kaidarakenteen mittatiedot ja rakennuksen sijaintipaikan. Kuormitusohjeessa tarkastellaan myös kaiteen kiinnitystä betonilaattaan ja sen lujuutta. Exel -ohjelma on muodostettu siten, että suunnittelija saa tiedon kiinnityslujuuden riittävydestä ilmoitettuaan mittatiedot ja rakennuksen sijaintipaikan.

Opinnäytetyössä suurimpina haasteina oli hattukiinnikemalleista tehtyjen lujuuslaskentamallien muodostaminen ja kaiderakenteeseen kohdistuvien ulkoisten kokonaiskuormien selvittäminen erilaisilla maastoluokilla. Kaiderakenteeseen kohdistuvien kuormien määrittämisessä apua sain Rakennusinsinööriliiton valmistamasta suunnitteluperusteet ja rakenteiden kuormat oppikirjasta ja työn toimeksi antajan yhteyshenkilöltä.

COMSOL -ohjelmalla tehtyjen lujuuslaskentamalli muodostaminen oli opinnäytetyön haastavin vaihe. Suurimmat vaikeudet muodosti COMSOL -ohjelman käytön vähäisyys sekä ohjelman käytön vaikeus. Ohjelman käytön vaikeus aiheutti, että hattukiinnikkeistä saadut von mises -jännitykset ja maksimaaliset venymät eivät ole todellisia. Lujuuslaskennan epäonnistumiselle ei tarkkaa virhe analyysia ole. Oma epäilyksenä on, että virhelaskelmat aiheutuivat kappaleen sidonnan puutteellisesta määrittämisestä. Hattukiinnikkeiden von mises -jännityskuvista on kuitenkin hyvin havaittavissa alueet, joille jännitykset aiheutuvat tasaisella kuormituksella.

Opinnäytetyössä suurena haasteena oli myös excel -ohjelmalla tehdyn kuormitus ohjeen muodostaminen. Excel -ohjelmaan muodostettujen lujuuslaskentakaavojen valmistaminen oli hyvin haasteellista, koska kaikki lopputulokset olivat jollain tavalla riippuvaisia toisistaan, jonka vuoksi kaikki laskenta kaavat täytyi olla täysin oikein, että kuormitus ohje toimi kokonaisuudessa.

Opinnäytetyön tekeminen antoi minulle hyvät valmiudet työ elämään. Työ onnistui kokonaisuudessaan hyvin lukuun ottamatta hattukiinnikkeistä tehtyjä lujuuslaskelmia, joista saadut tulokset eivät olleet todellisia. Opinnäytetyölle asetetut tavoitteet täyttyivät lujuuslaskentaa lukuun hyvin.

LÄHTEET

Airila, M. ym. V. 2001. Koneenosien suunnittelu. Helsinki: Werner Söderström osakeyhtiö.

Eurokoodi9. Ei päiväystä. [Verkkajulkaisu]. [Viitattu 12.4.2010]. Saatavissa: http://static.ebaxsite.com/public/mediaporras/suunnittelu/esim_parvekekaide_lopullinen_eng_END_10.pdf

Eurokoodi9. Ei päiväystä. [Verkkajulkaisu]. [Viitattu 19.4.2010]. Saatavissa: http://www.eurokoodi9.fi/workspace.php?id_workspace=alu_5&id_toc=bf560d89bbd6f491c229f8c261d59af6

HILTI. 2005. Fastening technology manual.

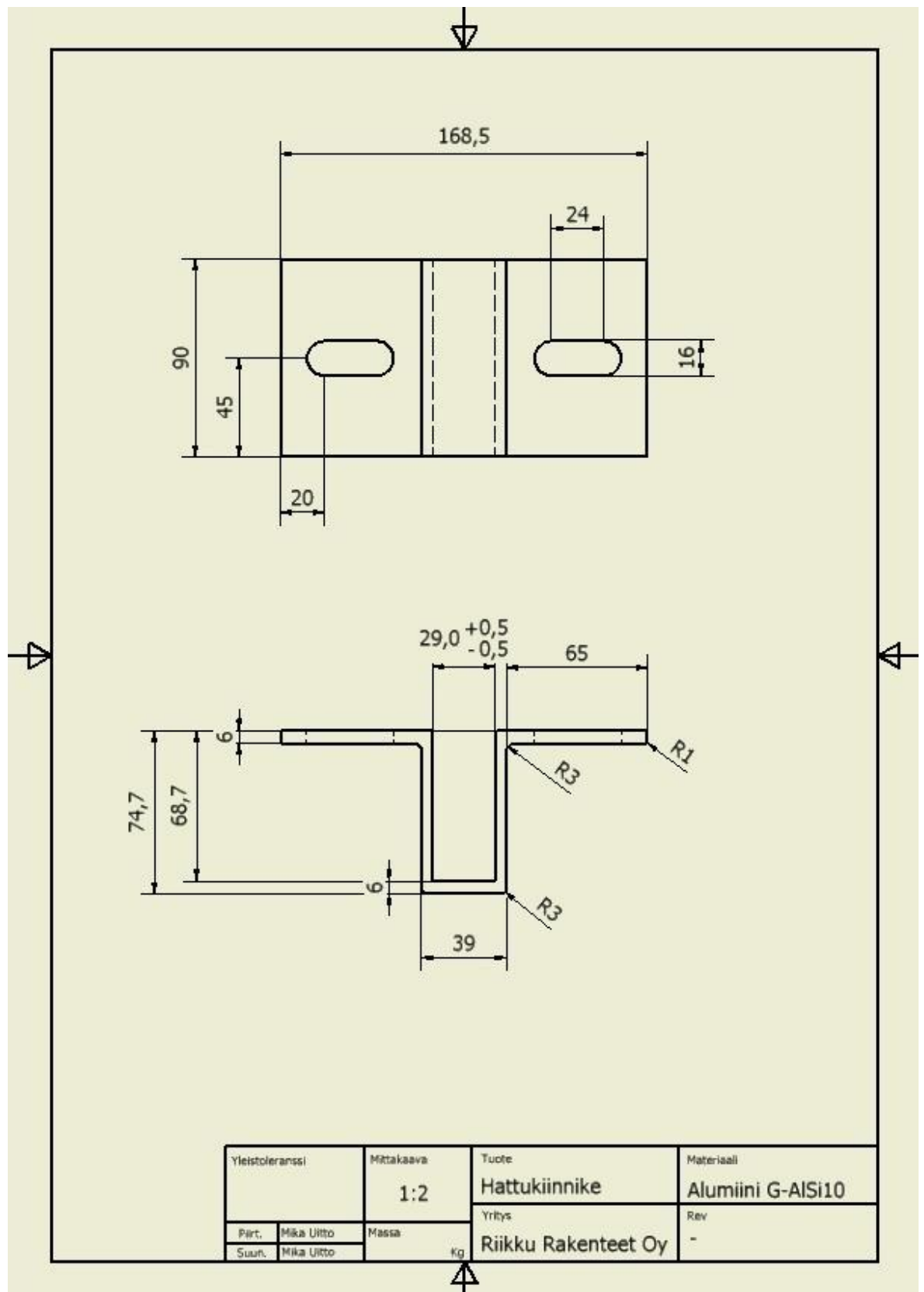
Riikku Rakenteet Oy. Ei päiväystä. [Verkkajulkaisu]. [Viitattu 7.4.2010]. Saatavissa: <http://www.riikku.fi>

Sapa. Ei päiväystä. [Verkkajulkaisu]. [Viitattu 12.4.2010]. Saatavissa: <http://www.sapagroup.com/Companies/Sapa%20Profiilit%20Oy/Documents/Fin/Ainutlaatuinen%20profiili.pdf>

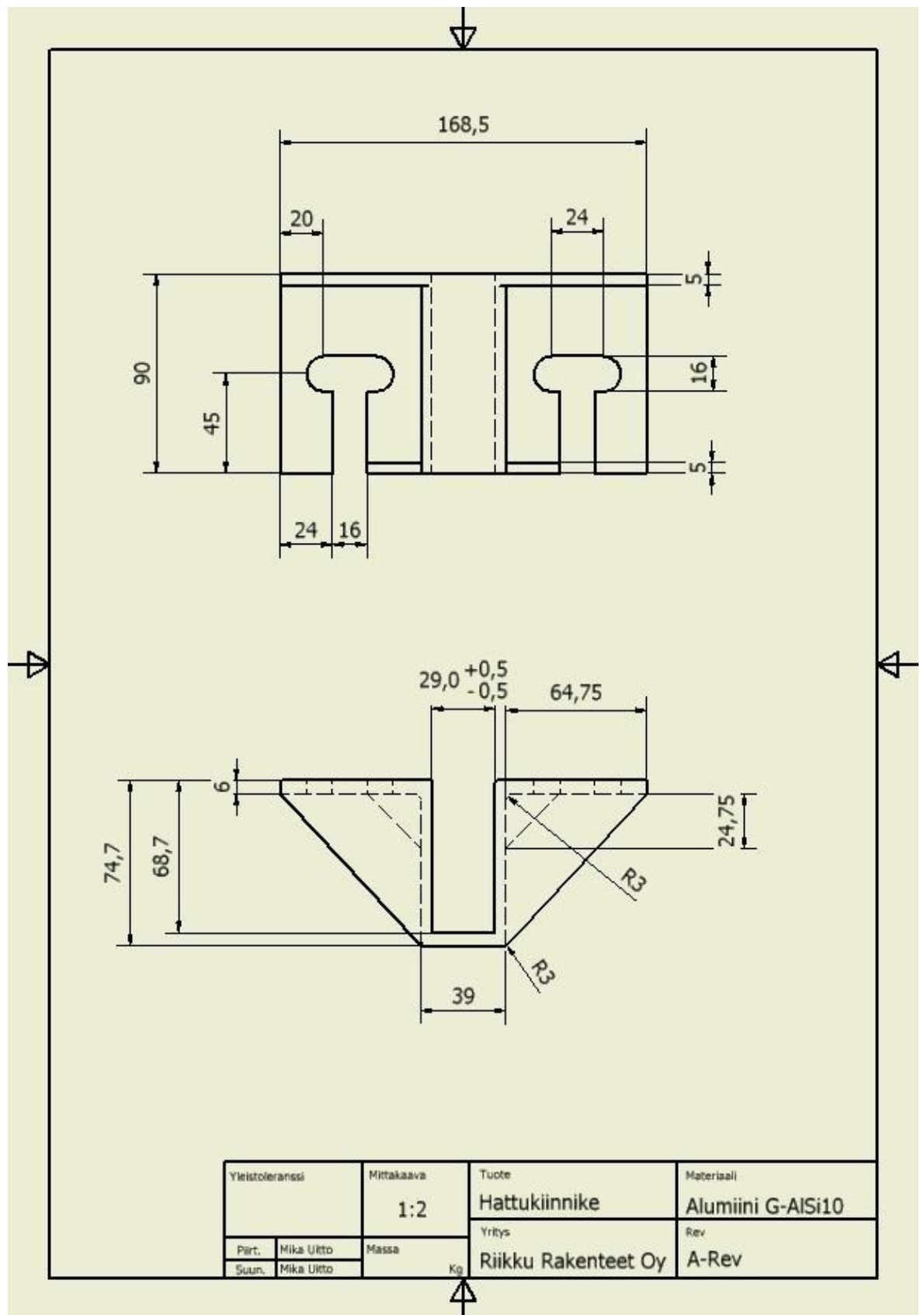
Suomen Rakennusinsinöörien liitto RIL ry. 2008. Suunnitteluperusteet ja rakenteiden kuormat. RIL ry.

Uddeholm Oy. 6.3.201. [Verkkajulkaisu]. [Viitattu 16.3.2010]. Saatavissa: http://www.uddeholm.fi/finnish/files/painevalu_kayttokohdeopas.pdf

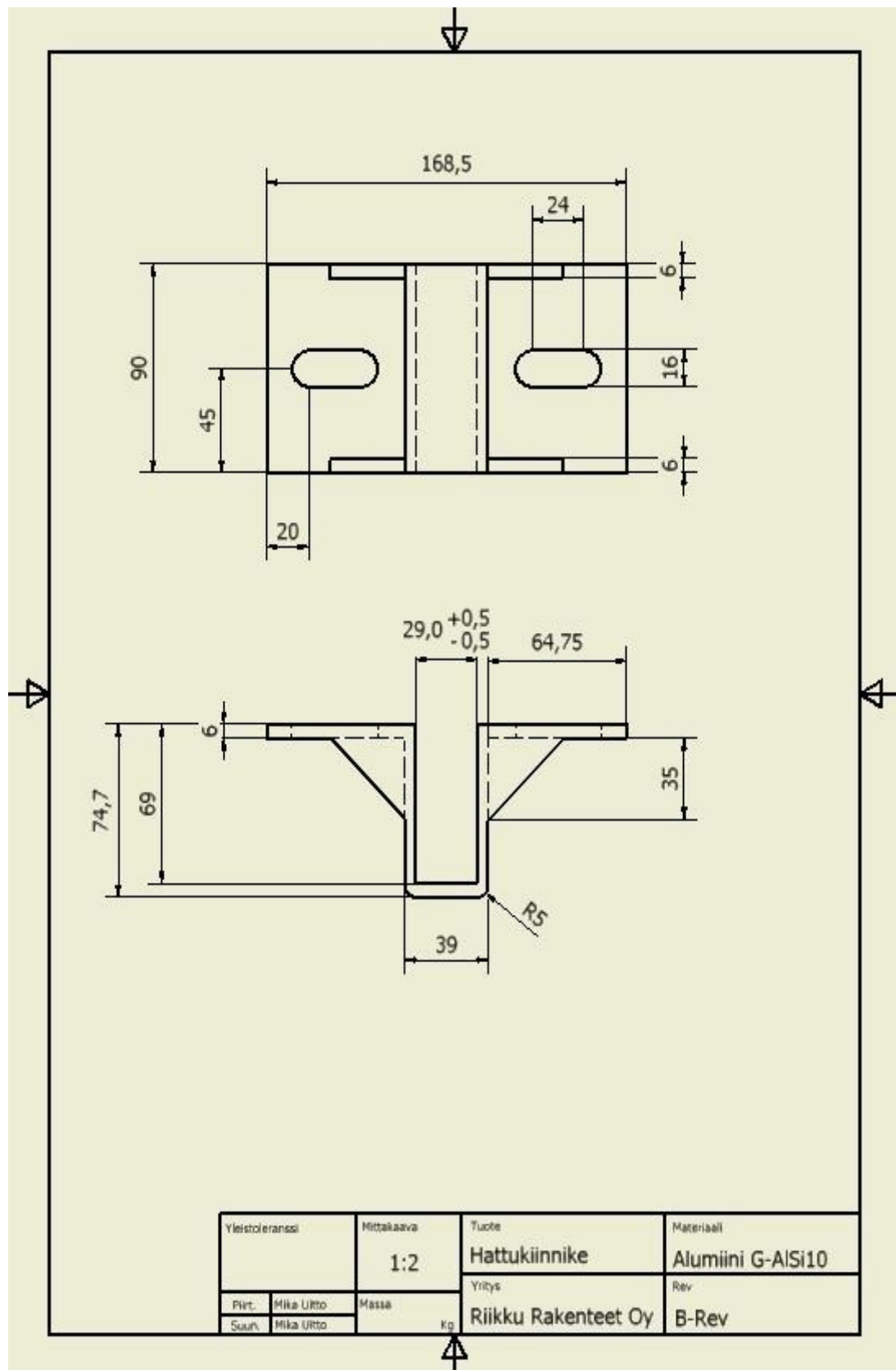
LIITE 1: Työkuva käytössä olevasta hattukiinnikkeestä



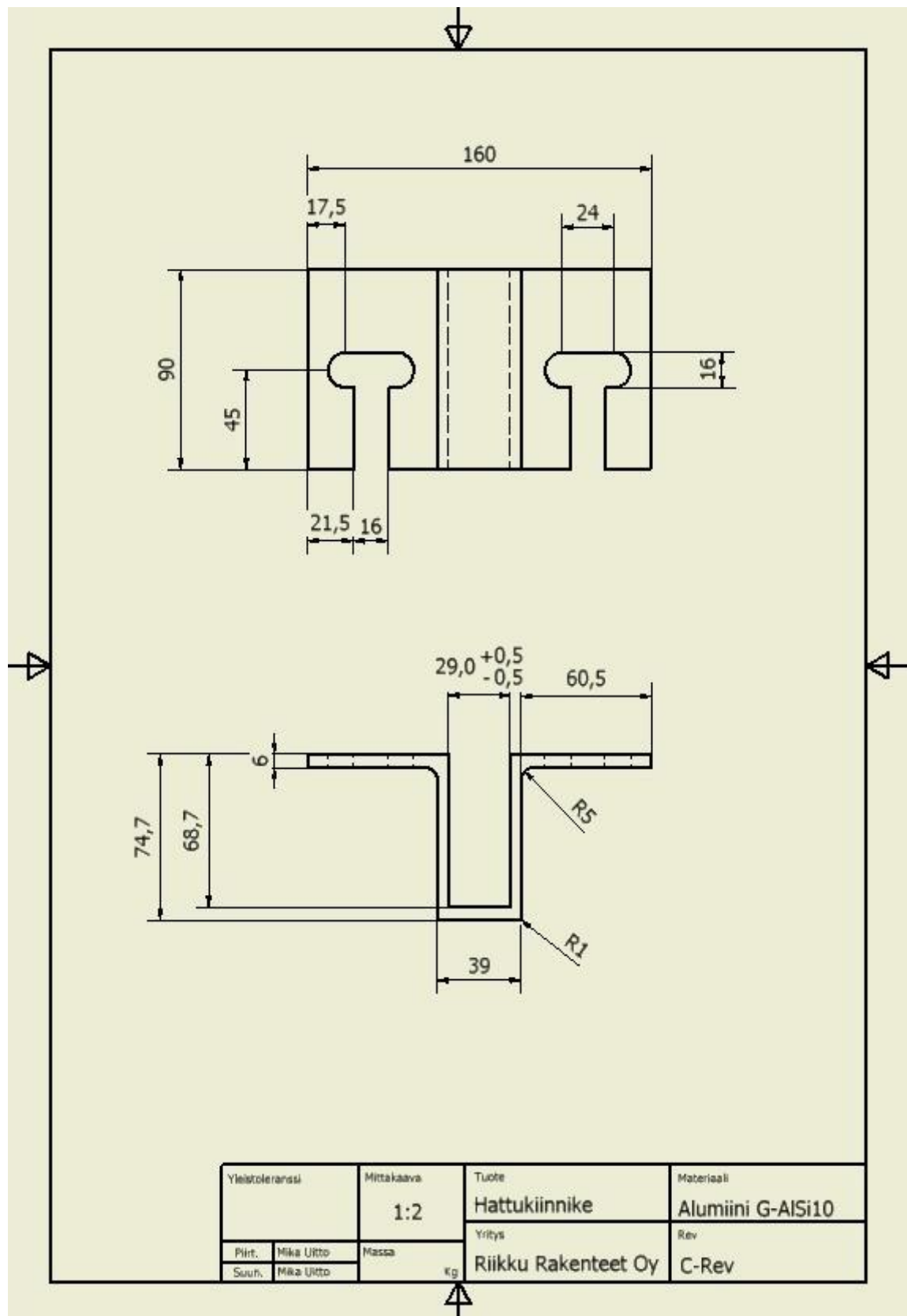
LIITE 2: Työkuva A-revisio hattukiinnikkeestä



LIITE 3: Työkuva B-revisio hattukiinnikkeestä



LIITE 4: Työkuva C-revisio hattukiinnikkeestä



LIITE 5: Eurokoodi9 mukainen kaiderakenteen kuormitusohje

1. Kaiderakenteeseen kohdistuvien kuormien määrittäminen.

1.2 Rakennetiedot:

Parvekkeen korkeusasema (Z):	15 m
Parvekelasituksen korkeus:	1900 mm
Etäisyys laatan yläpinnasta verhouksen yläreunaan:	850 mm
Etäisyys laatan yläpinnasta käsijohteen yläreunaan:	1150 mm
Parvekelaatan paksuus:	200 mm
Betonin lujuusluokka K:	25 N/mm ²
Etäisyys käsijohteen yläreunasta tolpan kiinnityskohtaan:	1,25 m
Etäisyys verhouksen yläreunasta tolpan kiinnityskohtaan:	0,95 m
Tolppajako	1 m

1.3 Maastoluokan valinta:

	Maastoluokat	kerroin (k)	potenssi (p)
1	0 Avomeri	0,87	0,18
2	I Laaja avoin alue	0,77	0,20
3	II Maatalousmaa, satunnaisia pieniä esteitä	0,65	0,24
4	III Esikaupunki- ja teollisuusalueet, metsät	0,49	0,32
5	IV Kaupunkien keskusta-alueet	0,34	0,44
Valinta:	2	0,77	0,20

1.4 Tuulen nopeuspaineen määrittäminen:

$$q_{p0}(Z) = k * (Z/10)^p \quad 0,84 \text{ kN/m}^2$$

1.5 Tuulen nettopaine kertoimen määrittäminen:

	Ulkoseinät	Tarkasteltava pinta-ala	$C_{p,net}$
1	Suurin imu	$A > 10 \text{ m}^2$	1,5
2	nurkka-alueilla	$A < 10 \text{ m}^2$	1,7
3	Suurin imu keskialueilla	$A > 10 \text{ m}^2$	1,1
4		$A < 10 \text{ m}^2$	1,4
5	Suurin paine	$A > 10 \text{ m}^2$	1,1
6	sisäänpäin	$A < 10 \text{ m}^2$	1,3

Valinta: **1** $C_{p,net}$ 1,5

1.6 Kaiteeseen kohdistuvan tuulen kuormitus:

$$q_{w,k} = C_{p,net} * q_{p0}(Z) \quad 1,25 \text{ kN/m}^2$$

2. Kaiderakenteeseen kohdistuvat voimat pistevoimina:

$$F_{\text{käsijohde}} = 0,5 \text{ kN}$$

$$F_{\text{parvekelasi}} = 1,19 \text{ kN}$$

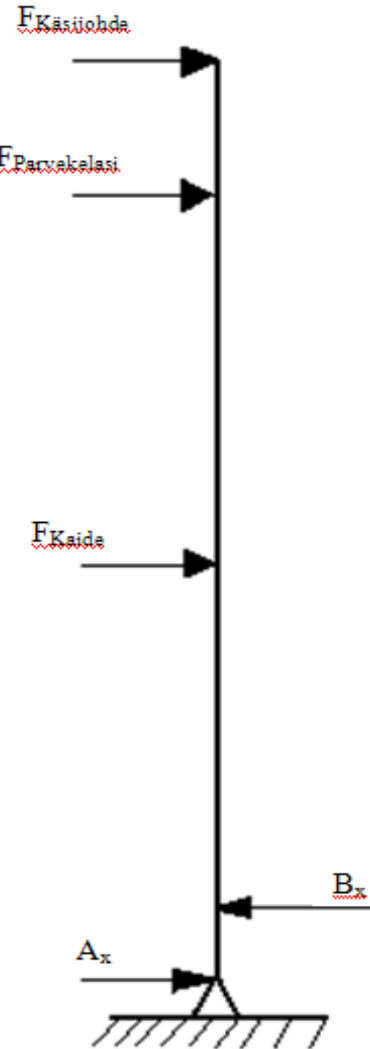
$$F_{\text{kaide}} = 1,06 \text{ kN}$$

$$B_x = 25,90 \text{ kN}$$

$$A_x = 23,14 \text{ kN}$$

Kiinnikkeeseen kohdistuva voima:

$$25,90 \text{ kN}$$



2. Kiinnitys parvekelaataan:

2.1 Ankkuroinnin tiedot:

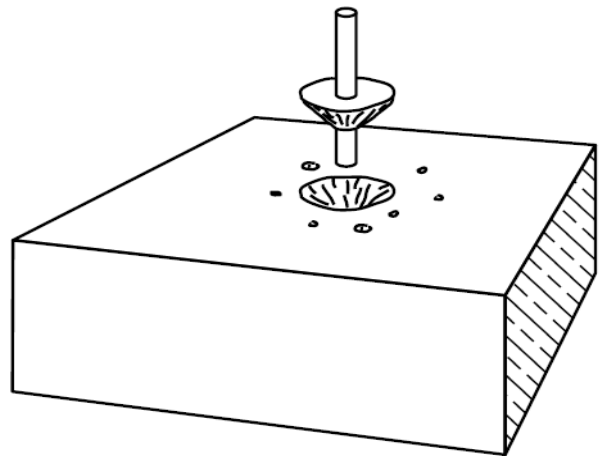
Ankkuritanko, HAS:	12 mm
Injektointimassa:	Hilti HIT HY 150
Tukikorkeus (kiila, h_t):	100 mm
Betonin lujuusluokka K:	25 N/mm ²
Ankkuriparin keskenäinen etäisyys (s):	110 mm
Poraussyvyys (h_{act}):	140 mm
Reunaetäisyys (c):	100 mm
Asennussyvyys (h_{nom}):	110 mm

Maksimi kuormitus lujuus
yhdelle ankkurille:

$$N_{Rd,c} = N_{Rd,c}^0 * f_t * f_{B,n} * f_{A,N} * f_{R,N}$$

$N_{ORd,c} =$	16,8 kN
$f_{B,n} =$	1
$f_t =$	1,27
$f_{A,n} =$	0,75
$f_r =$	0,93

$N_{Rd,c} =$	14,99 kN/ankkuri
	29,97 kN/ankkuripari



Kiinnitys parvekelaataan kestää!