



Liikennemerkkien tyypitestausta

Samuli Ilmonen

Ari Saarinen

Opinnäytetyö
Kesäkuu 2014
Kone- ja tuotantotekniikka

TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Kone- ja tuotantotekniikka

Samuli Ilmonen & Ari Saarinen:
Liikennemerkkien tyyppitestausta

Opinnäytetyö 50 sivua, 5 liitettä
Kesäkuu 2014

Vuonna 2013 Euroopan Unionin alueella valmistettavilta liikennemerkkeiltä on alettu vaatia CE-merkintää tai standardinmukaisuuden todistamista. Tästä syystä opinnäytetyön tehtäväksi tuli laatia Tampereen Infralle liikennemerkkien standardinmukaisuuden todistus ja luokitus täytetyistä standardin luokista.

Työssä keskityttiin kahteen pääaiheeseen: standardinmukaiseen tuotteen testaukseen ja testauksen nojalta suoritettuun laskentaan. Näillä keinoin opinnäytetyössä todistettiin Infran liikennemerkkien standardinmukaisuus.

Työssä hyödynnettiin liikennemerkkistandardia, Suomen Tiehallinnon ohjeistusta, sekä Tiehallinnon määräyksiä. Näiden pohjalta työssä asetettiin liikennemerkille testaus- ja laskentasuunnitelma. Testaus osoittautui arvioitua haastavammaksi, joten työn edetessä suurempaa painoarvoa edusti laskenta. Laskennalla päästiin kuitenkin työn kannalta hyviin tuloksiin. Suuria haasteita asetti myös materiaalin laajuus. Vaikka itse standardi ja ohjeistus olikin laadittu selkeäksi kokonaisuudeksi, osoittautuivat ne kuitenkin käytännössä haastavaksi tehtävänannoksi.

Testauksen ulkoistaminen kolmannelle taholle oli yksi työn suurimmista takapakeista, mutta se oli työn kannalta välttämätöntä, koska testauksen vaatimukset olivat liian suuret käytettäviin resursseihin nähden. Ulkoistamisella saavutettiin kuitenkin suuria ajallisia säästöjä ja suurempi luotettavuus saatuihin tuloksiin. Laskennassa suurta apua toi laskennan toistettavuus. Käytetty laskentaohjelma helpotti työtä ja mahdollisti helpon dokumentaation.

Testauksen ja laskennan valmistuttua jää Infran tehtäväksi hakea lopullista hyväksyntää työlle Inspectalta, joka on testaus- ja tarkastuspalveluita tarjoava yritys ja EU:n mandaatilla hyväksyy Suomessa CE-hakemukset.

ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tampere University of Applied Sciences
Mechanical and Production Engineering

Samuli Ilmonen & Ari Saarinen:
Standard Testing of Traffic Signs

Bachelor's thesis 50 pages, 5 appendix
June 2014

From 2013 onwards, all traffic signs manufactured in the EU must have a CE marking or otherwise be proved to be standard. Because of this legislation there was a demand in the Infra Services of the City of Tampere to prove the conformity of traffic signs. The aim of this thesis is to provide the Infra Services a certificate of conformity of traffic signs and to compile a classification of the standards.

The thesis focused on two subjects: Firstly, the standard testing of the product, and secondly, the calculation that was done on the basis of the testing. With this method, the conformity of the traffic signs could be stated.

Testing and calculation plan for traffic signs was made on the basis of the traffic sign standard and the instructions and regulations of The Finnish Transport Agency. Testing turned out to be more challenging than estimated, so calculation became more important later in the process. However, calculation provided good results. Another challenge was the enormity of the material. Even though the initial standard and the instructions were clear, they turned out to be hard to put into practice.

Outsourcing the testing to a third party was regrettable yet inevitable as the requirements for testing were too high in relation to the resources available. Outsourcing saved a lot of time and provided reliable results. The aspect of repeatability was a huge asset in the calculation process. The calculation software helped in managing the work load and facilitated a simple way of documentation.

After the final results of the testing and calculation it is up to the client to seek approval to the work from the inspection and testing company Inspecta which has the mandate from the EU to approve CE applications in Finland.

Key words: CE marking, traffic signs, standard, finite element method (FEM)

SISÄLLYS

ERITYISSANASTO	5
1 JOHDANTO.....	6
2 CE-MERKINTÄ	7
2.1 Tarkastus ja valvonta	8
2.2 Inspecta	8
3 LIKENNEMERKKIKOKONAISUUS.....	10
3.1 Rakenne	10
3.2 Muovikiinnike.....	11
4 LIKENNEMERKKIEN TESTAUS.....	14
4.1 Kiinnikkeen testaus standardissa	15
4.2 Kiinnikkeen testaus	17
4.3 Testaustilanne	18
4.3.1 Taivutuskoe	19
4.3.2 Liukumakoe.....	20
4.3.3 Vetokoe	21
4.3.4 Kiertokoe.....	22
4.4 Testauksen pohdinta	23
4.5 Testauksen tulokset.....	24
5 LIKENNEMERKKIEN LUJUUSLASKENTA	28
5.1 Mallinnus	28
5.2 FEM	29
5.3 Laskennan vaiheet.....	30
5.3.1 Elementtiverkko ja laskennan vaiheet.....	30
5.3.2 Kontaktit.....	31
5.3.3 Kuormitukset ja tuennat	33
5.4 Tulokset	35
5.4.1 Hetkelliset muodonmuutokset.....	35
5.4.2 Pysyvät muodonmuutokset	38
5.4.3 Pistekuormat.....	42
5.4.4 Pystypistekuorma	42
5.4.5 Vaakapistekuorma.....	44
6 POHDINTA.....	47
LÄHTEET	50
LIITTEET	52

ERITYISSANASTO

FEM	Elementtimenetelmä (Finite Element Method)
Liikennemerkki	Kyltti, pylväs, kiinnike, kalvo ja asennustarvikkeet
TAMK	Tampereen ammattikorkeakoulu

1 JOHDANTO

Opinnäytetyön toimeksiantaja, Tampereen Infra, on Tampereen kaupungin omistama liikelaitos, jonka tehtävänä on vastata Tampereen alueen tiestön liikenneopasteista. Isot päätiät, kuten moottoritiet, kuuluvat tiehallinnon alaisuuteen. Infra valmistaa liikennemerkkejä myös myyntiin yksityisille tahoille, kuten taloyhtiöille ja tieosuuskunnille.

Opinnäytetyöprosessi alkoi Tampereen Infran yhteydenotolla Tampereen ammattikorkeakoululle. Infran tarvitsi todistaa käyttämiensä liikennemerkkien standardin mukaisuus ja CE-merkintäkelpoisuus. Tarve syntyi uudesta EU:n lainsäädännöstä, joka astui voimaan vuonna 2013.

Suurin ongelma Infralla liittyi heidän käyttämäänsä liikennemerkin kiinnikkeeseen. Muut liikennemerkin osat olivat CE-merkittyjä paitsi muovinen kiinnike, jota Infra halusi käyttää helpottamaan kylttien asennettavuutta. Muovikiinnike oli myös hinnaltaan edullinen verrattuna muihin vaihtoehtoihin. Lisäarvoa Infralle antoi myös kiinnikkeen valmistajan paikallisuus.

Liikennemerkkikyltti on kokonaisuus, johon kuuluu itse kyltin lisäksi liikennemerkkikalvo sekä kiinnike tarvikkeineen, kuten kiinnitykseen käytettävät pultit, mutterit ja aluslevyt. Tällöin kiinnikkeen vaihtaminen tarkoitti, että CE-merkintä raukesi koko liikennemerkkikokonaisuudelta. Infran tulee täten suorittaa standardinmukaisuustodistaminen koko kokonaisuudelle, vaikka kokonaisuudessa onkin vain yksi tuntematon osa. Tätä todistamista valvoo Suomessa Inspecta Oy.

Opinnäytetyön ulkopuolelle rajattiin Infran omat selvitykset Inspectalle. Näitä olivat laatukäsikirja, talouskäsikirja, Infran tuotannon valvonta, sekä Infran alihankinta kokonaisuudessaan. Todistamisen pääpaino suunnattiin tässä työssä laskentaan.

2 CE-MERKINTÄ

CE tulee ranskan kielen sanoista Conformité Européene, joka voidaan kääntää englanniksi European Conformity. Nykyisen muotonsa ”CE Marking” merkintä sai vuonna 1993. Tätä ennen merkintää kutsuttiin nimellä ”EC Mark”.

CE-merkintä on Euroopan yhteisön direktiiviin perustuva vaatimustenmukaisuusmerkintä. Merkinnän tarkoituksena on helpottaa ja nopeuttaa tavaroiden liikkumista EU-alueella. CE-merkityllä liikennetuotteella valmistaja vakuuttaa tuotteen vastaavan Euroopan yhteisön liikennemerkkidirektiivin mukaista teknistä eritelmaa. Tällöin merkinnässä ilmoitetaan tuotteen ominaisuudet yhdenmukaisella eurooppalaisella tavalla. (Inspecta Group 2013)

Jos tuoteryhmällä ei ole käytössä CE-merkintää voidaan sille anoa teknistä arviota. Teknisiä arvioita laatii EOTA (European Organization for Technical Approvals). EOTA perustuu ETAG (European Technical Approval Guide) hyväksymisohjeisiin. ETAG myöntää valmistajille hakemusten perusteella ETA:n (European Technical Approval). Suomessa ETAG:in jäsen on VTT Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka. ETA annetaan aina viideksi vuodeksi kerrallaan. (SFS käsikirja 133 2010; CE- merkintä 2010; CE-merkintä 2011.)

CE-merkinnällä tuotteen valmistaja tai valtuutettu edustaja ilmoittaa viranomaisille, että tuote täyttää direktiivien oleelliset turvallisuusvaatimukset. CE-merkintä voidaan yleensä kiinnittää tuotteeseen ilman puolueettoman osapuolen suorittamaa testausta. Direktiiveissä ei anneta yksityiskohtaisia tuotevaatimuksia, vaan ainoastaan oleelliset turvallisuusvaatimukset. CE-merkintä ei ole laatumerkki. Kuitenkin liikennetuotteissa merkintää täytyy aina anoa erikseen, eikä liikennemerkkituotteita saa myydä ilman CE-merkintää. (Inspecta Group 2013)

Hyväksyttävän CE-merkinnän edellytyksenä on käytettävä joko eurooppalaisen harmonisoidun tuotestandardin (hEN) julkaisuja, joissa määritellään tuotekohtaiset edellytykset ominaisuusvaatimuksille sekä laadunvalvonta- ja koemenettelyille, tai eurooppalaisen teknisen hyväksynnän (ETA) julkaisuja. Vaatimustenmukaisuus tulee todentaa valmistajan antamalla vaatimustenmukaisuusvakuutuksella sekä yleisesti

hyväksytyin arviointilaitoksen (Inspecta Group 2013) myöntämällä vaatimustenmukaisuustodistuksella. (CE-merkittyjen rakennustuotteiden oikea käyttö 2010, 8.) Liikennemerkkien tapauksessa valmistaja kokoaa tuotteistaan saavutettujen CE-merkintöjen suoritusluokista asiakirjan, joka on oltava asiakkaan ja tarkastajan nähtävissä.

Laatukäsikirja on yksi näistä yrityksessä nähtävillä oltavista asiakirjoista. Sen valmistelu on Infralle yksi tehtävistä ennen CE-prosessin alkamista. CE-merkinnän prosessi dokumentoidaan laatukäsikirjaan. Opinnäytetyössä keskityttiin myös keräämään Infran tarvitsemia liitteitä laatukäsikirjaan. Näitä liitteitä olivat materiaalitodistukset, laskenta- ja testaustulokset, valmistuspiirustukset ja 3D-mallit. Laatukäsikirjan tarkastaa Suomessa Inspecta. (Inspecta Group 2013.)

2.1 Tarkastus ja valvonta

CE-merkittyjen tuotteiden laadunvalvonta todistetaan myyjän ja kolmannen osapuolen (Inspecta Group 2013) suorittamilla toimenpiteillä, joita on määritelty harmonisoiduissa tuotestandardeissa. Vaaditut toimenpiteet vaihtelevat tuoteryhmittäin. Toimenpiteitä ovat esimerkiksi hyväksyntää hakevien tahojen laadunvalvonta, tuotetestaus ja dokumentointi. Tuotteen on vastattava täysin valmistajan saamia suoritusluokkia myös jälleenmyyjän myydessä tuotetta. Liikennemerkkien tapauksessa tämä tarkoittaa koko merkkikokonaisuuden koskemattomuuden todistamista. Luonnollisesti tämä ei vaikuta asennukseen käytettävän putken pituuteen, kunhan käytetty putki vastaa muilta osin Tiehallinnon asetuksia ja ohjeita. (Liikennevirasto 2013)

2.2 Inspecta

”Inspecta on Pohjois-Euroopan johtava tarkastus-, testaus-, sertifiointi-, konsultointi- ja koulutusalan palveluyritys, jonka toimipisteitä sijaitsee seitsemässä maassa: Suomessa, Ruotsissa, Norjassa, Tanskassa, Latviassa, Virossa ja Liettuassa. Vuotuinen liikevaihto on 176 M €. Inspectan pääomistaja (71,5 %) on 3i, kansainvälinen sijoittaja, joka keskittyy yritysjärjestelyihin, infrastruktuurisijoituksiin ja velkajärjestelyihin. 3i on listattu Lontoon pörssissä vuodesta 1994. Inspectan vähemmistöomistajat ovat ICG-rahastot sekä yrityksen toimiva johto.” (Inspecta Group 2013.).

Suomessa Inspectalla on EU:n valtuutus toimia ylimpänä tarkastajana CE-merkintöjen tarkastuksessa. Inspecta suorittaa myös CE-merkinnän vaatimaa testausta ja raportointia myyntipalveluna. Näiden lisäksi Inspectan valikoimaan kuuluu järjestelmä-, tuote- ja henkilöstösertifiointi sekä FI-merkkiin liittyvät palvelut. Inspecta myöntää myös tuotesertifikaatteja ja varmistaa tuotannon laatua.

3 LIIKENNEMERKKIKOKONAISUUS

Liikennemerkkikokonaisuus koostuu seuraavista osista: liikennemerkin perustukset, liikennemerkiputki ja liikennemerkki. Liikennemerkki sisältää liikennemerkkikalvon, liikennemerkkikilven ja kiinnikkeen asennustarvikkeineen. Opinnäytetyössä keskityttiin liikennemerkkikokonaisuuden maanpäälliseen osuuteen, eikä merkin perustuksiin otettu kantaa. Jokaisessa testi- ja laskentatapauksessa liikennemerkin perustukset oletettiin työssä pettämättömiksi, joten testaus ja laskenta suuntautuivat liikennemerkin putken, kilven ja kiinnikkeen ominaisuuksien määrittämiseen. Myöskin liikennemerkin kalvo on jätetty työssä tarkastelun ulkopuolelle, koska sillä oli hyväksyty CE-merkintä, eivätkä sen ominaisuudet vaikuttaneet muiden osien mekaanisiin ominaisuuksiin.

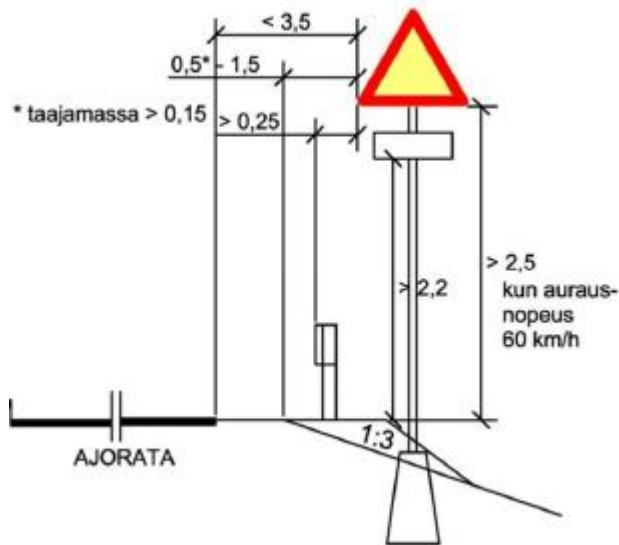
3.1 Rakenne

Liikennemerkkitolppa on halkaisijaltaan 60 mm ja 2 mm seinämävahvuudella varustettua kuumasinkittyä rakenneterästä. Tätä paksumpia tolppia on tarvittaessa mahdollista käyttää, mutta silloin tolppaan on sijoitettava kiinnikkeen juureen törmäyksestä taipuva tai murtuva nivel. Tolpan korkeus arvioidaan tapauskohtaisesti, mutta alimman liikennemerkin alareunan on oltava vähintään 2 metrin korkeudessa, jos merkki sijaitsee tien luiskassa ja vähintään 2,2 metrin korkeudella, jos merkki sijaitsee jalankulku- ja pyöriteillä tai välikaistoilla (Kuva 1). Tällöin vältetään törmäyksiltä merkin reunan kanssa. (Liikennevirasto 2013.)

Liikennemerkkikilpi on 3 mm:n paksuista alumiinia. Sen koko määräytyy kyseisen tiestön nopeusrajoituksen mukaan. Infran tapauksessa tiestön nopeusrajoitus ei saavuta 80 km/h nopeutta, jolloin käytetään keskikoon tai pienen koon merkkejä. Tällöin suuret merkit, kuten 900 mm:n STOP-merkki sekä pyöreät ja neliönmuotoiset merkit jäivät tarkastelun ulkopuolelle. Ainoa taajamanopeuksissa käytetty 900 mm:n merkki on kärkikolmio eli väistämiselvöllisyyttä osoittava merkki. Muut merkit ovat sivun pituudeltaan 640 mm tai sitä pienempiä.

Liikennemerkkikilpi kiinnitetään liikennemerkiputkeen kiinnikkeellä, joka kuuluu samaan kokonaisuuteen kilven kanssa. Liikennemerkkikalvon läpäisevissä kilpien kiinnityksissä käytetään ruostumattomia teräsruuveja ja kalvon puolella

neopreeniprikkoja. Kiinnikkeessä ja koko liikennemerkkikokonaisuudessa korroosion torjunta arvioidaan SFS-ENV 1993-1-1, Eurocode 3 mukaan. Kuumasinkitystä koskevat vaatimukset ovat standardissa EN-ISO 1461. (Liikennevirasto 2013.)



Kuva 1 Liikennemerkin asennusohje (Liikennevirasto. 2013. Liikennemerkkien rakenne ja pystytys)

3.2 Muovikiinnike

Muovikiinnike (kuva 2) on valmistettu rilsamidista eli lasikuituvahvistetusta polyamidista. Rilsamidi on suunniteltu nimenomaisesti ruiskuvalamiseen ja se sopii ominaisuuksiltaan hyvin kiinnikekäyttöön. Liikennemerkkikiinnike altistuu monenlaisille kuluttaville voimille, kuten sään vaihteluille, auringonvalolle, liikennemerkin kannattelusta aiheutuvalle staattiselle kuormalle sekä erilaisille dynaamisille kuormille, kuten tuulelle ja lumenaurauksesta aiheutuvalle lumikuormalle. (Liikennevirasto 2013).

Muovin erityisominaisuudet on listattuna liitteissä tarkemmin, mutta sieltä voi nostaa esiin murtolujuuden 120MPa, joka vastaa lähes täysin toisena kiinnikemateriaalina käytettyä silumiinia (AlSi12). Muovikiinnike on silumiinikiinnikkeeseen verrattuna asentajaystävällisempi, koska muovilla on matalampi kitkakerroin teräksisen liikennemerkkitolpan kanssa. Muovi on lisäksi edullisempaa valmistaa ja sitä kautta myös edullisempaa kuin silumiini. Myös muovin keveys on suuri etu silumiiniin nähden.

Työn kannalta ainoa etu silumiinisessa kiinnikkeessä oli silumiinikiinnikkeen helpompi mallintaminen ja lujuuslaskenta johtuen laskenta- ja mallinnusohjelman metallisten rakenteiden kirjastosta. Muovi jouduttiin työssä mallintamaan ja lisäämään laskentaohjelmaan täysin manuaalisesti.

Toinen materiaalivaihtoehto muoville on teräs. Teräksen ehdoton etu on teräskiinnikkeen valmis CE-hyväksyntä, mekaaninen kestävyys, helpompi laskenta ja mallinnus johtuen rakenneteräksen yleisyydestä sekä materiaalin helppo saatavuus. Teräs kuitenkin poissuljettiin Infran toimesta sen hinnan ja vaikean asennettavuuden johdosta.

Muovikiinnike (kuva 2) muodostuu kahdesta kappaleesta, jotka kiristetään muovikiinnikkeen korvakkeista liikennemerkkiputken ympärille kahdella M8-pultilla. Kiinnikkeen toiseen puoliskoon kiinnitetään liikennemerkkikilpi M6-ruuveilla, joille kiinnikkeessä on valmiina reiät ja joissa on muoviin upotettuna M6-mutteri-insertit. Kiinnikkeen vastakappaleen ainoa tehtävä on jäykistää rakenne putkea vasten M8-pultteja kiristettäessä. Ensimmäisenä tuloksena opinnäytetyöprosessissa valmistajaa pyydettiin vaihtamaan kiinnikkeen kaikki pultit kuumasinkittyyn teräkseen, kuten standardi velvoittaa (SFS-EN 12899-1, 36). Ennen tätä mutterit olivat sähkösinkittyjä.



Kuva 2 Muovikiinnike (Samuli Ilmonen 2014)

4 LIIKENNEMERKKIEN TESTAUS

Liikennemerkkien testaus on tarkkaan valvottua toimintaa. Suomessa testausta valvoo Inspecta Oy, joka on saanut valtuutuksen tehtävään EU:lta (Inspecta Group 2013). Johtuen vaaditusta suuresta tarkkuudesta työssä ei voitu suorittaa testausta TAMK:n materiaalienkoetuslaboratoriossa. TAMK:lla on kolme eritasoista vetokonetta, mutta suurin este muodostui kalibroinnin puutteesta.

Tampereen alueella sijaitsee lukuisia eri materiaalienkoetuslaboratorioita, mutta niistä yksikään ei täyttänyt kaikkia vaadittuja ominaisuuksia. Suurin ongelma muodostui kalibroinnista. Kiinnikkeen eri testit kattoivat tilanteita 40 Newtonista aina 8000 Newtoniin asti. Testaukseen soveltuvaa laitteistoa ollut saatavilla, sillä se vaati useampaa eri voimakkuudella ja kalibroinnilla varustettua konetta. Myös Inspectan asettama vaatimus sertifikaatista tai Inspectan työntekijän osallistumisesta kokeeseen asetti omat rajoitteensa. Näiden seikkojen lisäksi yksi tärkeä kriteeri oli raha. Inspectan osallistuminen olisi nostanut kustannuksia huomattavasti.

Lopulta ainoaksi mahdollisuudeksi muodostui VTT Expert Service -palvelu Espoossa. Tämä myös käytännössä tarkoitti, että työssä ei voitu osallistua materiaalin koetukseen aikataulullisista ja logistisista syistä. Testauksen alkuvalmistelu ja suunnittelu oli kuitenkin osa opinnäytetyöprosessia.

Testauksen nopeuttamiseksi ja kustannusten minimoimiseksi työssä päätettiin suorittaa testit pelkästään kiinnikkeelle. Kiinnike oli ainoa todellinen kysymysmerkki laskentaohjelma Ansyskella suoritettavalle laskennalle. Tolppa on nimittäin hyvin dokumentoitua rakenneterästä samoin kuin alumiinista valmistettu kilpi. Kaikista kappaleista toimitettiin materiaalitodistukset. Valitettavasti suunnittelupiirustuksia, 3D-malleja tai muitakaan valmistusdokumentteja ei ollut saatavilla yhdestäkään osasta, joten niiden valmistelu päättyi yhdeksi työn osa-alueeksi.

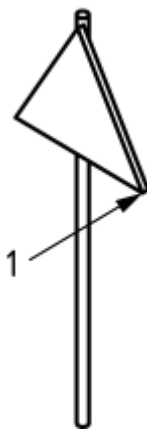
Liikennemerkin kalvolle ei suoritettu standardin testausta osana työtä, koska se oli CE-hyväksytty. Valitettavasti CE-hyväksyntä ei edistänyt liikennemerkkikilven testausta, koska standardin mukaan kilpi ja kiinnike ovat samaa rakennetta. Tampereen Infran tapauksessa vaihdettu kiinnike merkitsi siis täysin uutta hyväksymisprosessia koko

merkille (Inspecta Group 2013). Tämän periaatteen takana on ajatus siitä, että kiinnike muodostaa kilvelle tukirakenteen, joka joko auttaa kilpeä kestävämpään suurempia kuormia tai hankaloittaa entisestään kilven kestävyyttä. Käytännössä tähän vaikuttaa kiinnikkeen kilpeä vasten asettuva pinta-ala, sen muoto, sekä kiinnikkeen pehmeys/kovuus.

4.1 Kiinnikkeen testaus standardissa

Erilaisia testejä standardista löytyy neljä. Jokainen testi esittää erilaista tilannetta, joka rasittaa liikennemerkkiä. Yhdessä nämä eri tilanteet kattavat kaikki liikennemerkin rasittumistilanteet, jotka tulee ottaa liikennemerkin suunnittelussa huomioon. Alla on kuvattu kierto-, vääntö- ja veto/puristuskokeet.

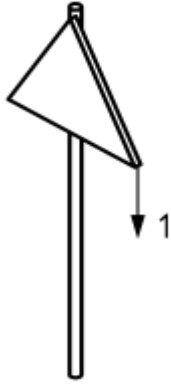
Kiertokoe (Kuva 3) mallintaa tilannetta, jossa liikennemerkkiin kohdistuu hetkellinen voima aivan kyltin reunaan. Tämän tyyppisiä voimia ovat esimerkiksi törmäykset, kuten kuorma-auton sivupeilin osuminen merkkiin. Kokeessa ei testattu laskennassa käytetyllä 150 N voimalla, vaan selvitettiin kiinnikkeen suurinta arvoa, jolla kiinnike vielä pysyi paikallaan, eikä lähtenyt kääntymään liikennemerkiputkea pitkin. Saavutettu tulos oli 73 ± 10 Nm. Tulos saavutettiin, kun kiinnikkeen pultit olivat kiristetty 20 Nm voimakkuudella.



Kuva 3 Kiertokoe (SFS-EN 12899-1 s. 64 kierto)

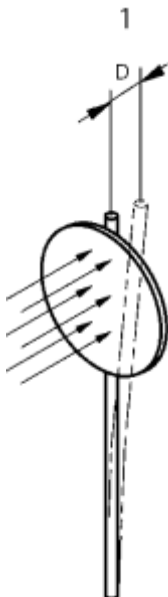
Vääntökoe (Kuva 4) mallintaa tapausta, jossa liikennemerkin kulmaan kohdistuu äkillinen vertikaalinen voima. Näitä tilanteita ovat esimerkiksi ilkivalta. Kuten

vääntökokeessakin, niin testeissä ei käytetty standardin 150 N kuormaa vaan testeissä selvitettiin kiinnikkeen raja-arvoa jolloin tapahtuu murtuminen. Tähän päädyttiin, koska työssä haluttiin suuri varmuus käytetyn laskennan tarkkuudelle ja siihen auttoi tieto kiinnikkeen maksimikestävydestä.



Kuva 4 Vääntökoe (SFS-EN 12899-1 s. 64 vääntö)

Veto/puristuskoe (Kuva 5) mallintaa tapausta, jossa tuuli työntää liikennemerkkiä merkin etu- tai takapuolelta. Tällöin merkkiin ja kiinnikkeeseen muodostuu joko vetoa tai työntöä. Standardissa oli tälle kokeelle kymmenen eri luokkaa, mutta kokeessa päädyttiin testaamaan kiinnikkeen murtumispiste vedossa. Syy, miksi työssä testattiin veto/puristus-tapauksesta VTT:llä vain veto, oli se, että veto on puristus/veto-parista kiinnikkeelle selkeästi vaikeampi tapaus. Vahvistusta tälle päätökselle tuli myös testauksessa auttaneelta opettajalta.



Kuva 5 Veto/puristuskoe (SFS-EN 12899-1 s. 55 puristus/veto)

Näiden kolmen lisäksi koesarjaan kuuluu koe, jossa testataan kuorma, jolla liikennemerkin kiinnike alkaa valua liikennemerkiputkea pitkin alaspäin. Standardissa koe kuvataan seuraavasti: ”Kiinnikkeiden testausmenettely: Liikennemerkin ja pylvään tai pylvaiden yhdistelmä asennetaan pystyasentoon ja siihen kohdistetaan pystysuora pistekuorma. Todetaan kilven liukuminen pylvään vartta pitkin.” (SFS-EN 12899-1 s. 34 kohta: 5.4.4.5) Kokeessa haettiin suurin kuorma, jolla kiinnike pysyy liikkumatta pylvästä vasten. Tämänkin kokeen käytännön sovellus on ilkeältä. Itse liikennemerkki on rakenteeltaan suhteellisen kevyt, joten se ei aseta suurta vaatimusta kiinnikkeelle.

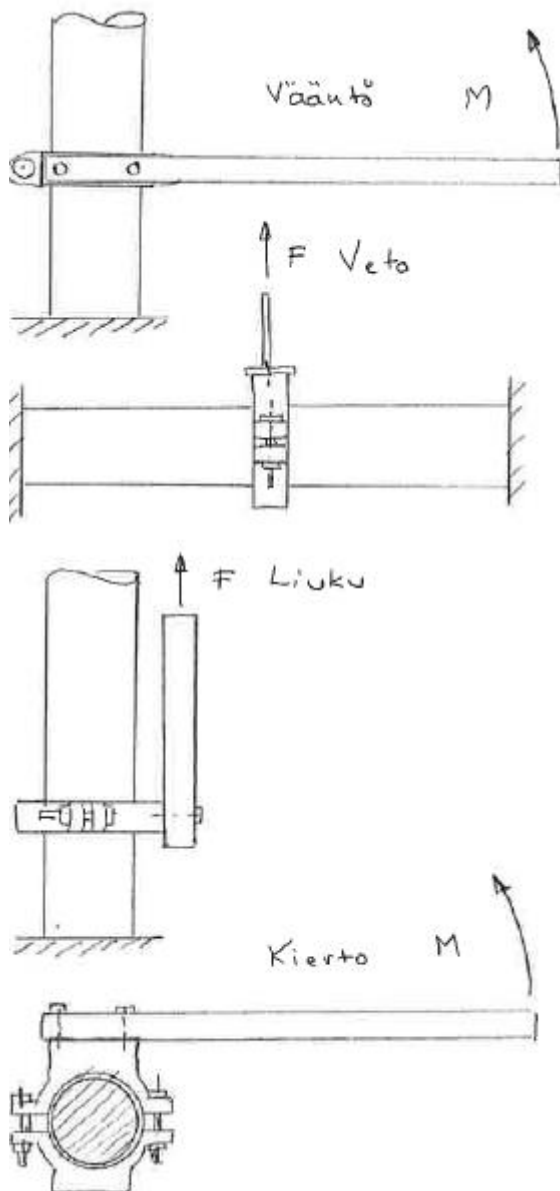
4.2 Kiinnikkeen testaus

Standardin tapausten pohjalta työssä valittiin neljä erilaista testiä (Kuva 6). Jokainen testi toistettiin kolmeen kertaan, jotta kokeessa voitiin varmistua tulosten yhtenäisyydestä ja poissuljettiin yksittäisen virheellisen kappaleen aiheuttama vääristymä tuloksissa. Standardissa ei ollut mainintaa kokeiden toistamisesta, mutta työn kannalta katsottiin toistamisen olevan oleellista luotettavuuden saavuttamiseksi.

Kokeeseen valikoidut kiinnikkeet oli valittu sattumanvaraisesti Infran tuotannon tiloista, eikä niitä valmistettu erikseen koetta varten. Kiinnikkeen valmistaja ei myöskään ollut etukäteen tietoinen, että kiinnikkeille oltaisiin suorittamassa testejä ennen kuin kiinnikkeet oli jo toimitettu Infran tiloihin. Infra ei valikoinut kiinnikkeitä itse, vaan ne nostettiin suoraan Infran tuotantotilojen kiinnikelaatikosta ja toimitettiin VTT:lle.

4.3 Testaustilanne

Kuvassa 6 on esitetty kaikki testit, jotka liikennemerkeille suoritettiin. Kuvassa näkyy liikennemerkkiputki ja sen ympärillä kiinnike. Kiinnikkeeseen rakennettiin VTT:n toimesta jokaiseen testiin tarvittava kiinnitys, johon testattu voima kohdistettiin. Jokaisessa tilanteessa liikennemerkkitolppa oli asennettu kiinteäksi osaksi testauskoneen runkoa. Valitettavasti VTT ei dokumentoinut koejärjestelyä tarkemmin, kuten esimerkiksi mittoja tai käytettyä voimaa.



Kuva 6 Testaustapaukset (VTT Testausseloste nro VTT-S-01596-14. 2014)

4.3.1 Taivutuskoe

Kokeessa (Kuva 7) liikennemerkkitolppa on asetettu kiinteästi testikoneen runkoon kiinni. Liikennemerkki on kiristetty 5 Nm voimakkuudella kiinni tolppaan ja kiinnikkeeseen on asennettu varsi, johon vetokoneen voima kohdistuu nivelen avulla. VTT:n tarkasti mittaama varren pituus saadaan vetokoneen lukeman avulla muunnettua suoraan vääntömomentiksi. Valitettavasti VTT ei dokumentoinut koejärjestelyä tarkemmin, kuten esimerkiksi vipuvarsiensa pituuksia tai käytettyä voimaa. Kokeessa veto lopetettiin ensimmäiseen merkkiin kiinnikkeen rikkoutumisesta.



Kuva 7 Kiinnikkeen taivutuskoe (Karl Holmström 2014)

4.3.2 Liukumakoe

Kokeessa (Kuva 8) liikennemerkkitolppa on asennettu kiinteästi kiinni vetokoneen runkoon. Liikennemerkkikiinnike on asennettu tolppaan 20 Nm voimakkuudella ja vetokoneen veto kohdistuu suoraan kiinnikkeen pulttikiinnitykseen. Koe mallintaa suoraan standardista poimittua testiä (SFS-EN 12899-1), jossa mitataan kiinnikkeen kitkaa putkeen nähden. Koe lopetettiin heti, kun kiinnike alkoi luistaa tolppaa pitkin eli kun kiinnikkeen ja tolpan kitkaraja saavutettiin.



Kuva 8 Kiinnikkeen vetoliukumakoe putkea pitkin (Karl Holmström 2014)

4.3.3 Vetokoe

Kokeessa (Kuva 9) liikennemerkkitolppa on asennettu molemmista päistään kiinteästi vetokoneeseen. Kiinnike on kiristetty tolpan ympärille 5 Nm voimakkuudella, ja vetokoneen veto kohdistuu suoraan kiinnikkeen pultteihin. Tämä koe vastaa täysin standardin tilannetta, jossa tuuli tulee liikennemerkin takaa ja rasittaa kiinnikettä. Koe lopetettiin ensimmäiseen merkkiin kiinnikkeen pettämisestä.



Kuva 9 Kiinnikkeen vetokoe (Karl Holmström 2014)

4.3.4 Kiertokoe

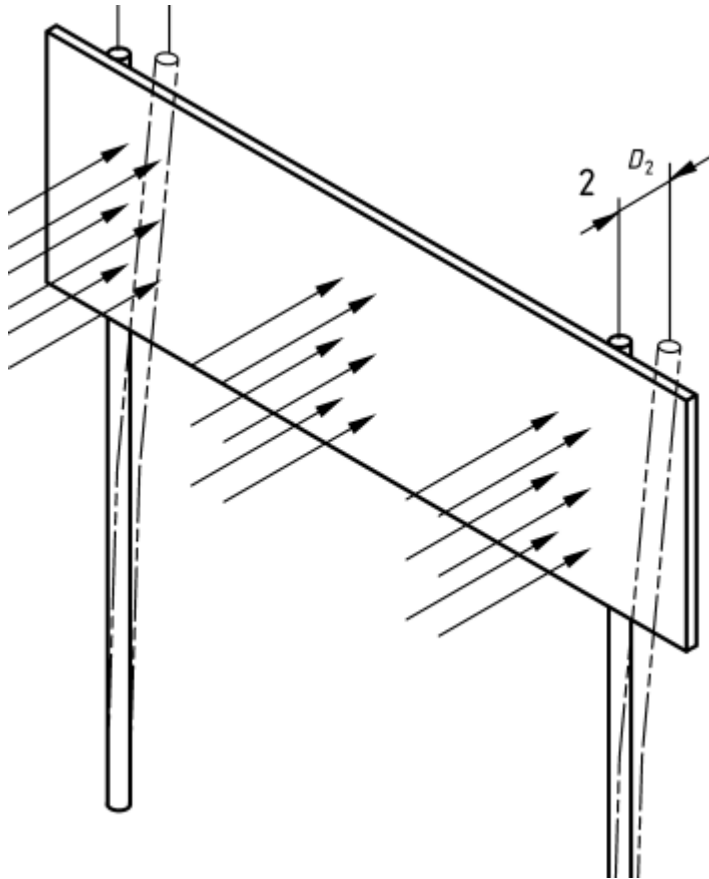
Viimeisessä kokeessa (Kuva 10) liikennemerkitolppa on asennettu kiinteästi vetokoneeseen. Kiinnike on kiristetty 20 Nm voimakkuudella tolpan ympärille, ja kiinnikkeeseen on asennettu varsi johon vetokoneen voima kohdistuu vetoliinan avulla. Tarkasti mitattu varren pituus saadaan vetokoneen lukeman avulla suoraan muunnettua vääntömomentiksi. Kokeessa veto lopetettiin ensimmäiseen merkkiin kiinnikkeen luistamisesta tolppaan nähden. Tässä kokeessa kyseenalaistettiin käytetty vetoliina, mutta VTT vakuutti liinan antaman tuloksen vastaavan täysin kokeen etukäteisasetelmaa. Valitettavasti VTT ei dokumentoinut koejärjestelyä tarkemmin, kuten esimerkiksi vipuvarsiensa pituuksia tai käytettyä voimaa.



Kuva 10 Kiinnikkeen kiertokoe (Karl Holmström 2014)

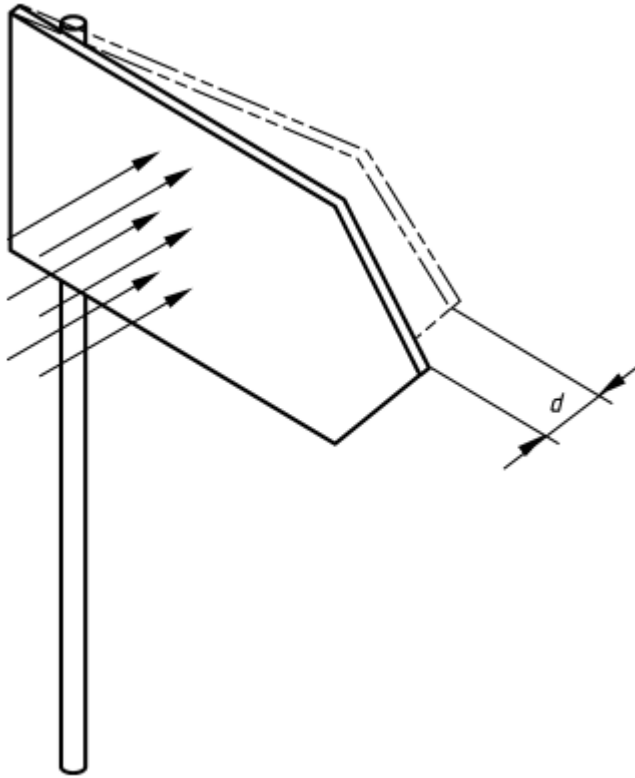
4.4 Testauksen pohdinta

Kiinnikkeen testaus auttoi poissulkemaan vaikeampien tapauksien, kuten kahden tolpan liikennemerkkien (Kuva 11) sekä epäsymmetristen liikennemerkkien testauksen (Kuva 12). Koska kiinnikkeen ominaisuudet voitiin tällöin todentaa pitävästi, vaikeammissa tapauksissa riittää pelkästään laskennalla suoritettu varmennus. Toisaalta testauksen toistettavuus kärsi merkittävästi ulkopuolisen tahon käyttämisen johdosta.



Kuva 11 Kahden tolpan tapaus (SFS-EN 12899-1 s. 60)

Kahden tolpan tapaukset eivät eronneet yhden tolpan vastaavista tapauksista. Tämän vuoksi niiden laskeminen oli paljon kustannustehokkaampaa verrattuna käytännön testaamiseen. Erilaisia kahden tolpan tapauksia oli työssä kuitenkin käytännössä vain yksi eli 480x2200 mm kyltti. Tämä kyltti oli pinta-alaltaan suurin kahden tolpan tapaus, joten sen saavuttamat tulokset olivat suoraan siirrettävissä pienempiin tapauksiin. Pienempien kylttien mahdollisesti saavuttama parempi luokka ei ollut työn kannalta oleellista.



Kuva 12 Epäsymmetrinen kilpi (SFS-EN 12899-1 s. 59 opastekilpi)

Epäsymmetrisen kilven tapauksen ratkaiseminen laskennallisesti helpottui, koska testauksen jälkeen oli tiedossa kiinnikkeiden pitovoima. Pitovoiman avulla pystyttiin ratkaisemaan suoraan, aiheuttaako merkkiin kohdistuva voima kiinnikkeen pyörähdystä. Tämän jälkeen työssä voitiin keskittyä itse kilven rasitukseen, jotka saatiin syötettyä suoraan laskentaohjelmaan.

4.5 Testauksen tulokset

Työssä suoritettujen testien perusteella M8-pulttien kiristysmomentin tulee olla 5 Nm-20 Nm välillä. 20 Nm (kuva 13) on tiukin suositeltava kiristys tilanteisiin, joissa liikennemerkkin oletetaan altistuvan kovalle kiertäville tai vertikaalisille voimille. 20 Nm kiristyksellä kitka on liikennemerkkiputkea vasten jo niin kova, että on olettavaa rakenteen pettävän muualta kokonaisuudesta ennen kuin kiinnikkeen liukuminen muodostaa havaittavaa ongelmaa. 5 Nm (kuva 14) kiristyksellä kiinnike puolestaan saavuttaa suurimman kestävyys suorassa vedossa tai liikennemerkkiä taivutettaessa. Varsinkin kiertokokeessa hyväksyty tulos saavutetaan vain tiukimmalla kiristyksellä. Tällöin kiinnikkeen kierähtämiskynnys on 146 ± 20 Nm (Taulukko 1). Levein testattu kyltti oli 900 mm leveä kolmio. Tällöin testissä käytetty 150 N voima saa vipuvarreksi

45 cm eli vääntöä syntyy 67,5 Nm. Tämän testin tarkoitus on esittää tilannetta, jossa liikennemerkkiin kohdistuu törmäys esimerkiksi ohiajavasta kuorma-auton peilistä. Tässäkin tilanteessa on kuitenkin kääntöpuolena vaara, että kiinnike on niin kestävä, että pyörähtämisen sijaan aiheutuu suurempia vahinkoja kyltille tai kylttiin törmänneeseen kappaleeseen. Näistä vaihtoehdoista kiinnikkeen kääntäminen takaisin oikeaan asentoon on aineellisesti mitaten kaikkein edullisin tilanne.



Kuva 13 Kiinnikkeen kiristys 20 Nm



Kuva 14 Kiinnikkeen kiristys 5 Nm

Nämä tulokset (Taulukko 1) vahvistivat oletuksen muovikiinnikkeen rakenteellisesta kestävydestä liikennemerkkikäytössä. Kaikki saavutetut arvot ovat niin korkeita, että rajoittavaksi tekijäksi muodostuu ennemmin itse liikennemerkki ja sen perustukset kuin liikennemerkkikiinnike. Tuloksia tulkittaessa on myös otettava huomioon, että testaus koskee yhtä kiinnikettä, kun yleensä kiinnikkeitä on vähintään kaksi kappaletta jokaisessa liikennemermissä.

Liikennemerkki kestää esimerkiksi suoraa vetoa tai puristusta yhden keskikokoisen perheauton verran eli 15000 ± 600 N, ja merkissä saisi roikkua yhteensä 4400 ± 200 N voimalla ennen kuin kiinnike alkaisi edes liukua putken suuntaisesti. Tämä tarkoittaisi n. neljää aikuista ihmistä (~400 kg). Putken suuntaan liukumista mittaavan testin ja standardin käyttötarkoitus on juuri mallintaa ilkeältäan liittyvää kuormitusta. Itse merkin paino on kaikissa tilanteissa hyvin maltillinen. Vääntöä mittaava testi osoitti myös, että kiinnike kestää huomattavaa kuormaa ennen murtumistaan. Normaalisissa kahden kiinnikkeen asennuksessa kuorma saa olla jopa 420 ± 20 Nm. Käytännössä tämä tarkoittaa yhtä n.80kg ihmistä roikkumassa 0,5 m mittaisessa kyltissä. (Taulukko 1).

Taulukko 1 Muovikiinnikkeen kokeiden tulokset (VTT Testauseloste nro VTT-S-01596-14. 2014)

Koe	Tulos
Vääntö: kiristys 5 Nm	210 ± 10 Nm
Suora veto ulospäin putkesta: kiristys 5 Nm	7500 ± 300 N
Liukuvoima putken suuntaan: kiristys 5 Nm	1250 ± 50 N
Liukuvoima putken suuntaan: kiristys 20 Nm	2200 ± 100 N
Kierto putken ympäri: kiristys 5 Nm	33 ± 13 Nm
Kierto putken ympäri: kiristys 20 Nm	73 ± 10 Nm

Laskentaa käsittelevässä luvussa (luku 5) huomataan, että liikennemerkin kyltti on paljon suuremmassa vaarassa kuorman alla kuin liikennemerkin kiinnike. Vaikka itse kiinnikekin on monessa tilanteessa lähellä myötörajaa, kyseessä on systemaattisesti tapaus, jossa myötörajaa lähellä oleva alue on äärimmäisen pieni pistemäinen kohta.

Näissä pisteissä myötörajan ylittyminen tarkoittaa käytännössä tilannetta, jossa hyvin pistemäisesti ylitetään myötöraja. Tällä ei ole kiinnikkeen kestävyyteen käytännön merkitystä.

5 LIIKENNEMERKKIEN LUJUUSLASKENTA

Liikennemerkkien käytännön testauksen jälkeen opinnäytetyössä siirryttiin standardinmukaisuuden todistamiseen. Johtuen jo todetusta testauksen moninaisuudesta ja laskennan painottamisesta todistamisprosessissa, päädyttiin laskennassa käyttämään Ansys 14.5.7 -ohjelmaa (Ohjelman kotisivu).

5.1 Mallinnus

Liikennemerkkien mallinnuksessa käytettiin Autodesk Inventor Professional 2013 -ohjelmaa (Ohjelman kotisivu). Ohjelma valittiin, sillä sen tiedettiin soveltuvan hyvin liikennemerkkien ja kiinnikkeiden mallinnukseen ja lisäksi ohjelmasta oli siirrettävissä 3D-malli suoraan Ansys-laskentaohjelmaan. Aluksi liikennemerkkikyltit ja -pylväät mallinnettiin liikenneviraston ohjeiden mukaisesti (Liikennevirasto 2013), koska niistä ei ollut olemassa valmiita 3D-malleja eikä piirustuksia. Mallinnettavia liikennemerkkikylttejä oli yhteensä 10 kappaletta: 600 mm ja 900 mm kolmio, 400 mm ja 640 mm ympyrä, 400 mm, 600 mm ja 640 mm neliö, 600 mm STOP-merkki, sekä 400 mm ja 600 mm kärkineliö. Liikennemerkkikyltit olivat 3 millimetrin paksuisia. Liikennemerkkipylväs oli halkaisijaltaan 60,3 millimetriä ja pituudeltaan 2,5 metriä, lisäksi pylvään seinämäpaksuus oli 2 millimetriä. Laskenta rajattiin koskemaan vain yhtä pylväskokoa ja yhtä kiinniketyyppiä.

Tämän jälkeen siirryttiin muovikiinnikkeiden mallinnukseen. Myöskään muovikiinnikkeestä ei löytynyt piirustuksia eikä 3D-malleja, joten kiinnikkeen molemmat puoliskot mallinnettiin Inventorilla (Liite 1a ja 1b). Kiinnikkeen mitat selvitettiin työntömitalla. Pultteja ja muttereita ei mallinnettu, sillä yhtenä laskennan oletuksena oli, etteivät kiinnikkeet kierrä putken ympäri. Täten Ansys:lla kiinnikkeen alapinnan ja putken välille luotiin kontakti, jolloin pultit ja mutterit eivät vaikuttaneet laskentaan. Tämä vähensi myös elementtien ja elementtisolmujen määrää, joka osoittautui laskentavaiheessa järkeväksi päätökseksi.

Lopuksi siirryttiin Inventorin kokoonpanotilaan, jossa luotiin kokoonpanoja liikennemerkkeille. Jokaiselle liikennemerkkikokonaisuudelle tehtiin oma kokoonpano,

jossa oli liikennemerkkikyltti, pylväs sekä kiinnikkeiden molemmat puolet. Kokoonpanot tallennettiin step-muodossa, joka on mahdollista tuoda suoraan Ansysiin.

5.2 FEM

Elementtimenetelmä eli FEM-laskenta (Finite Element Method) perustuu matriisilaskentaan. Laskentamenetelminä käytetään yleisimmin siirtymämenetelmää, mutta myös voima- ja sekamenetelmät ovat mahdollisia. Elementtimenetelmää voidaan hyödyntää muun muassa tutkittaessa rakenteiden mekaniikkaa, lämmönsiirtoa ja virtauksia, akustiikkaa, sähkötekniikkaa ja lääketiedettä (Logan 2007, 15).

Elementtimenetelmän yleisimmät käyttökohteet mekaniikassa ovat kuormitusten jännitysten tarkastelu sekä kappaleiden siirtymät ja venymät. Elementtimenetelmän ensimmäiset käyttökohteet olivat lentokoneiteollisuudessa 1960-luvulla (Oulun yliopisto 2012, 7). Elementtimenetelmää hyödynnetään nykyisin laajasti keventämään testausta tai korvaamaan se jopa kokonaan.

FEM-rakenne jaetaan laskennassa pieniin tarkasteltaviin osiin, joita kutsutaan elementeiksi. Nämä osat muodostavat kokonaisuuden, jota taas kutsutaan elementtiverkoksi. Elementit yhdistyvät toisiinsa pisteissä eli solmuissa. Elementtimenetelmässä tehdään siis 3D-malli mallinnusohjelmassa tai FEM-ohjelman omalla geometria-toiminnolla, jonka jälkeen muodostetaan elementtiverkko. Verkkoa on mahdollista tihentää kohdista, joihin oletetaan vaikuttavan suurimmat jännitykset. Tiheämpi verkko antaa elementtiteorian mukaisesti tarkemmat tulokset (Hietikko 2004, 149).

Elementtimenetelmällä laskettaessa hyödynnetään useimmiten valmisohjelmistoja. Käyttäjän vastuulle jää kertoa ohjelmalle, kuinka rakenne jaetaan elementteihin eli kuinka elementtiverkko muodostetaan. Tämä tehdään valitsemalla verkon tiheys ja elementtityyppi. Verkotuksen jälkeen syötetään ohjelmaan materiaalin tiedot, kuormitukset, tuennat ja muut reunaehdot. Materiaalitiedoista ohjelma tarvitsee laskentaa varten kappaleen tiheyden, kimmokertoimen, Poissonin vakion sekä myötö- ja murtolujuuden.

Näillä tiedoilla ohjelma muodostaa jäykkyysmatriisin kullekin elementille ja sijoittelusummaa ne koko rakenteen jäykkyysmatriisiksi. Sen jälkeen ohjelma ratkaisee tuntemattomat solmupistesiiirtymät sekä laskee niistä jännitysjakaumia. (Oulun yliopisto 2012, 18.)

5.3 Laskennan vaiheet

Laskenta on tässä tutkimuksessa suoritettu standardin SFS-EN 12899-1 mukaisesti. Laskennat suoritettiin 10 merkille, joista 640 mm ympyrämerkin laskenta esitellään tässä opinnäytetyössä. Muiden merkkien laskentavaiheita sekä -tuloksia voi kysyä Tampereen Infralta. Laskenta suoritettiin Ansys Workbench-ohjelmistolla. Laskenta aloitettiin liikennemerkkien kokoonpanojen step-muotojen siirroilla Ansysiin. Lujuuslaskennan suurimman haasteen asetti eri tapausten suuri määrä. Jokainen tapaus tuli laskea jokaisella eri WL-luokalla (wind load), jolloin saatiin selville suurin luokka, jonka liikennemerkki kestää.

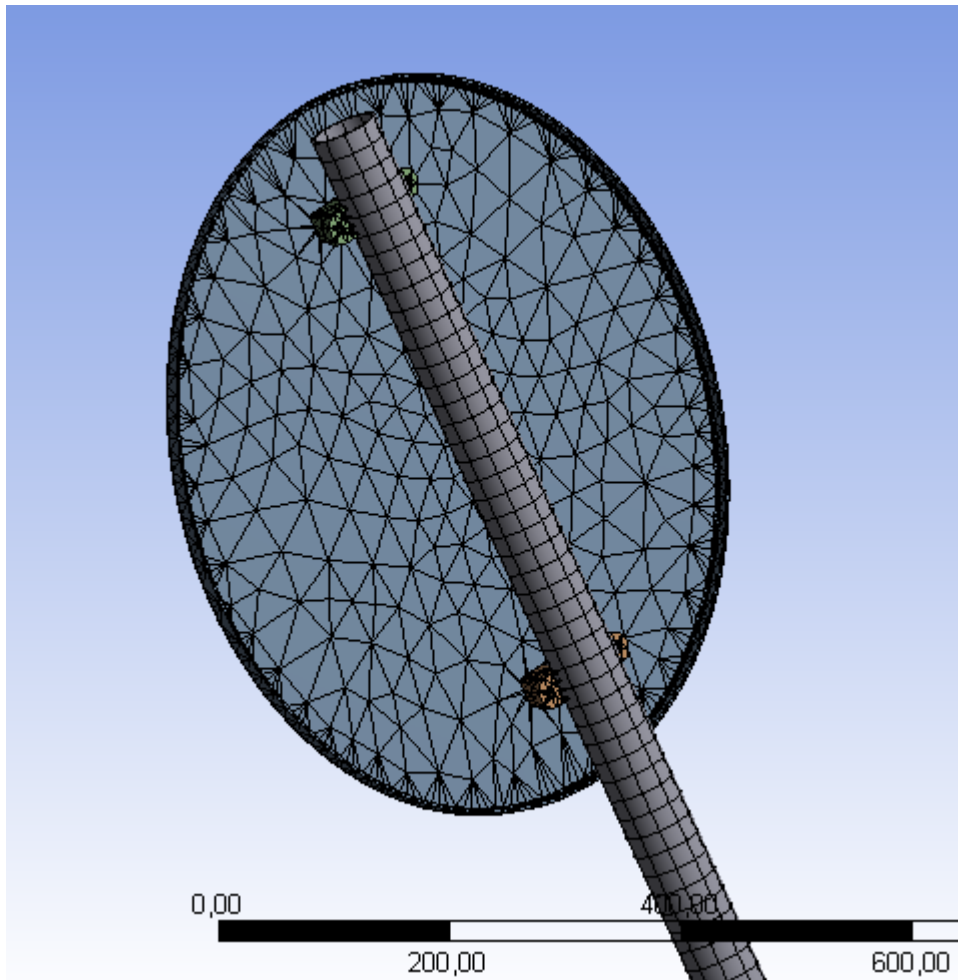
Erilaisia luokkia oli kussakin tapauksessa kymmenen erilaista (WL1-WL9 hyväksytyt ja WL0 ei määritetty). Erilaisia tapauksia oli jokaiselle merkille neljä. Nämä tapaukset olivat tuulikuorma, dynaaminen tuulikuorma, pystypistekuorma ja vaakapistekuorma.

Dynaaminen lumikuorma jätettiin Tampereen Infran kanssa tehdyllä päätöksellä pois laskemisen piiristä, koska dynaamisen lumikuorman nolla-arvo, eli ei määritetty -arvo, riitti merkin hyväksymiselle. Dynaamisen lumikuorman luokka olisi myös jäänyt useammalla merkillä nollaan luokan haastavuuden johdosta. Pääasiallinen syy määrittämisen pois jättämiselle oli Tampereen alueen matala aurasnopeus, jonka vuoksi kylteille ei juuri muodostu aurauksesta aiheutuvaa lumikuormaa. Infran mukaan lumen aurauksen kuormia syntyy vasta, kun lumenaurausnopeus ylittää 80km/h nopeuden. Tampereen alueella kaikki näin korkealla nopeusrajoituksella varustetut tiet sijaitsevat valtakunnallisen tiestön alueella.

5.3.1 Elementtiverkko ja laskennan vaiheet

Ympyrämuotoiselle liikennemerkillä muodostettiin elementtiverkko elementtikoolla 38 mm. Tällöin elementtejä oli kappaleessa 11394 kappaletta ja solmuja 29108 kappaletta.

Elementtikokoa ei ollut tarpeen tihentää missään kohtaa kylttiä, koska merkki on kantattu, jolloin kuormitus jakautuu melko tasaisesti kantin alueelle. Solmujen määrää on koulun lisenssissä rajoitettu 30 000 kappaleeseen, joten elementin koko piti tehdä melko suureksi (Kuva 15).

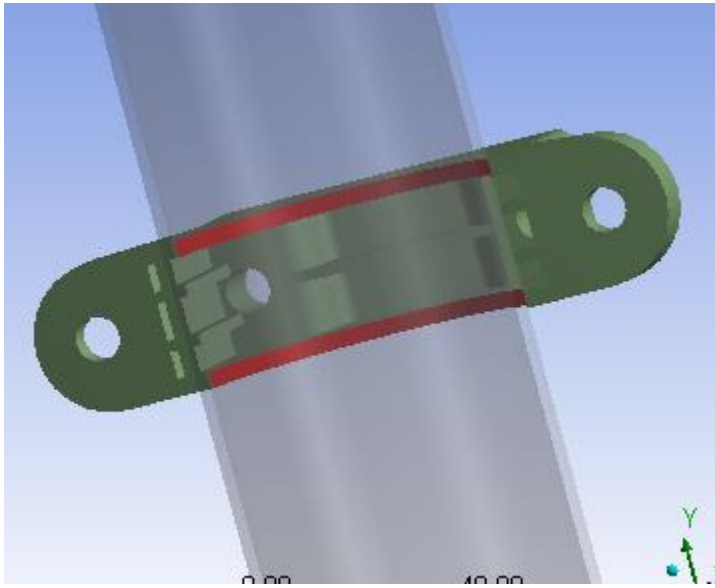


Kuva 15 Ympyrän elementtiverkko

Seuraavaksi ohjelmaan syötettiin materiaalitiedot. Ohjelmaan syötettiin kyltin, pylvään ja kiinnikkeen tiheys, kimmokerroin, Poissonin vakio, sekä myötö- ja murtolujuus. Kyltti on alumiinia ja sen tiedot ilmenevät materiaalitodistuksesta (kts. Liite 2). Pylväs on terästä S355J2H (Pylvään materiaalitodistus) ja kiinnike on lasivahvisteista muovia (Muovin materiaalitodistus A ja muovin materiaalitodistus B). Kyltin ja pylvään Tampereen Infralle toimittaa NormiOpaste Oy.

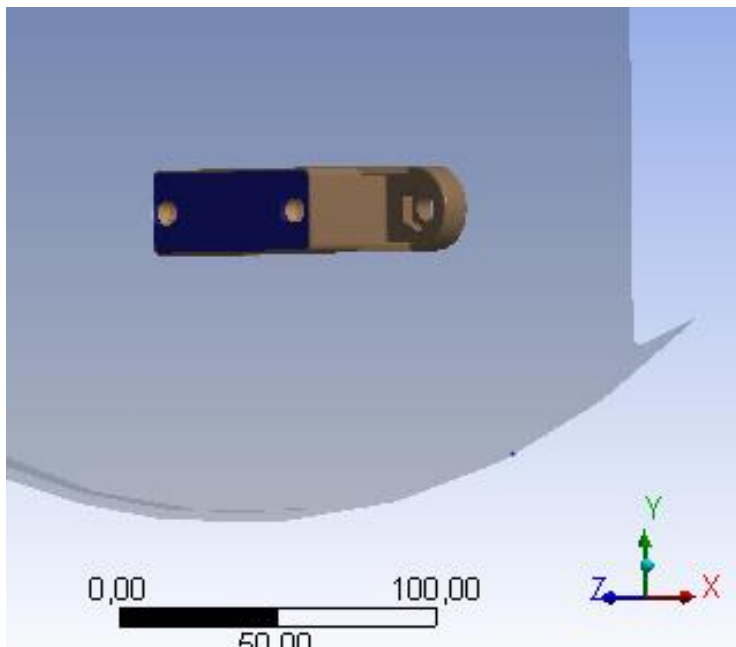
5.3.2 Kontaktit

Kiinnikkeet laitettiin pylvään kanssa kontaktiin sisäpinnoilta, kuten näkyy kuvassa 16 ja kuvassa 17.



Kuva 16 Kiinnikkeen ja putken välinen kontakti

Kiinnikkeen kaksi sisäpintaa, jotka on merkattu kuvassa punaisella, kiinnitettiin pylvään pintaan, joka on merkattu harmaalla värillä.



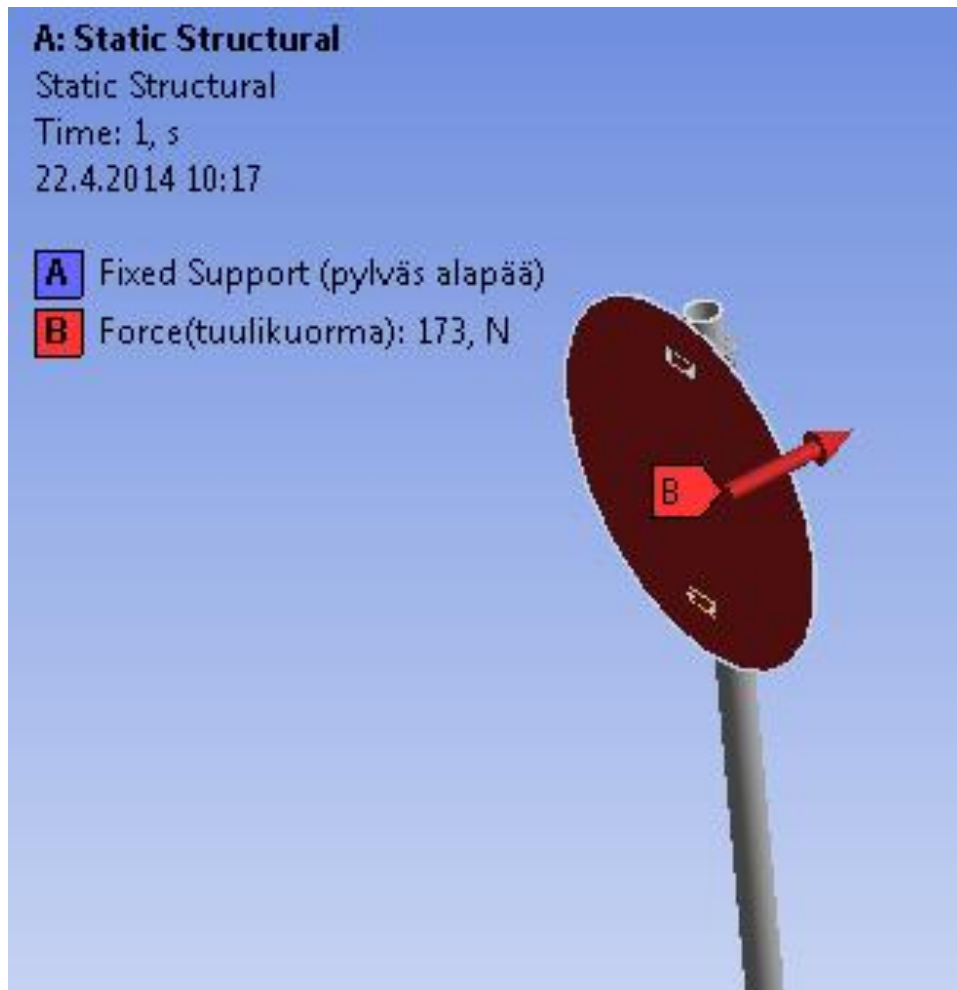
Kuva 17 Kyltin ja kiinnikkeen välinen kontakti

Kiinnikkeen tasainen sivu, joka on kuvassa 17 sinisellä, laitettiin kontaktiin kyltin kanssa, joka on kuvassa harmaalla värillä. Tämä kontakti pyrkii simuloimaan todennukaista tilannetta, jossa kyltti kiinnitetään kiinnikkeisiin pulteilla. Tällöin kyltti

puristuu kiinnikkeeseen koko pinnalta. Tätä kontaktitapaa käytimme jokaiselle merkille. Kiinnike kiinnitettiin vertailun vuoksi kylttiin myös reikien reunoista, mutta siirtymissä ja jännityksissä ei havaittu edelliseen tilanteeseen nähden käytännön eroa, joten pysyimme alkuperäisessä kontaktitapauksessa.

5.3.3 Kuormitukset ja tuennat

Hetkellisiä ja pysyviä muodonmuutoksia tutkittaessa tuulikuorma kohdistuu merkin pintaan kohtisuorasti (Kuva 18). Liikennemerkki on tuettu pylvään pohjasta kiinni alustaan fixed support -toiminnolla.



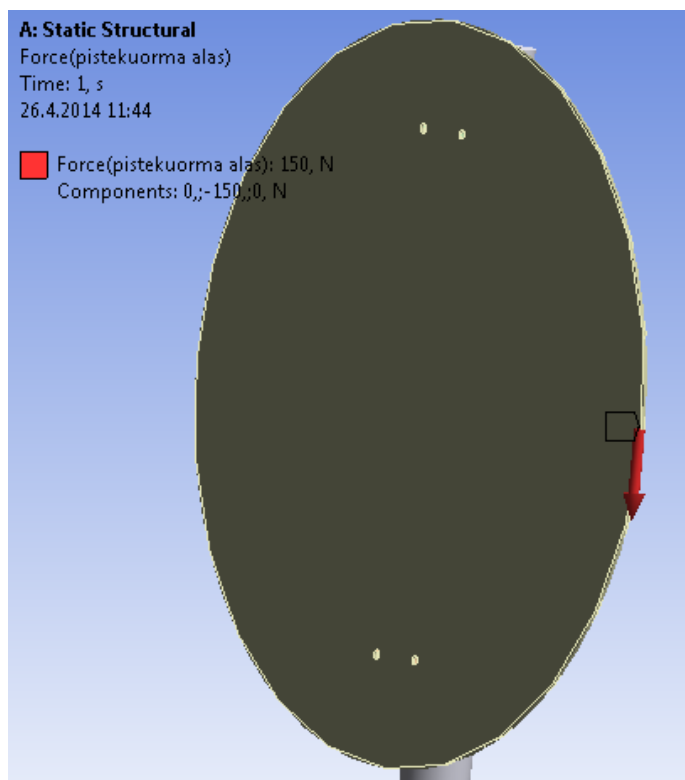
Kuva 18 Tuulikuorma ja tuenta

Hetkellisiä muodonmuutoksia tarkasteltaessa tutkitaan pylvään ja kyltin muodonmuutoksia. Muodonmuutosluokat löytyvät liitteestä 3. Kyltin taipumaa

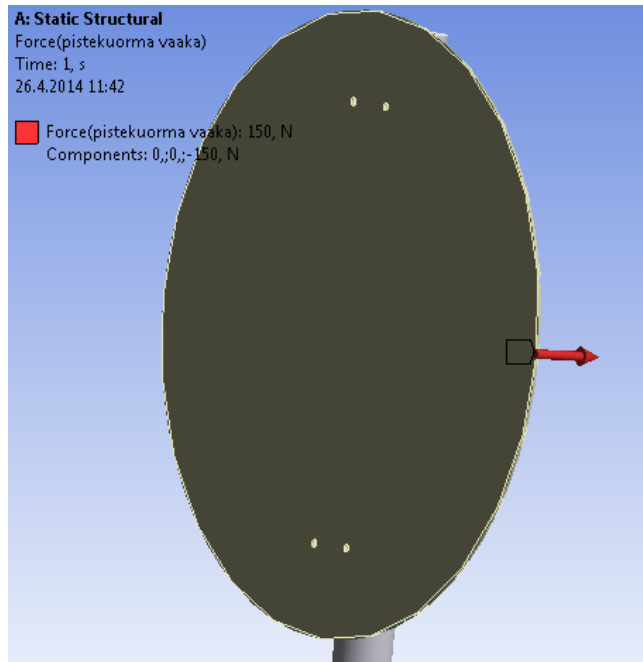
tutkittaessa koko pylväs on tuettu tiukasti paikoilleen fixed supportilla, jolloin ainoastaan kyltti taipuu tuulikuorman voimasta.

Pysyvissä muodonmuutoksissa kappaleiden on pysyttävä kimmoisuuden rajoissa eli ne eivät saa ylittää myötörajoja. Tämä koskee pysyvien muodonmuutosten tuuli- ja pistekuormia. Eri materiaaleille on olemassa omat varmuuskertoimensa (kts. Liite 4). Levymäisille kappaleille käytetään vakiovarmuuskerrointa 1,2 (kts. SFS-EN 12899-1, 22). Käytettävät tuulikuormat löytyvät liitteestä 5.

Pysty- ja vaakapistekuormassa voima kohdistuu kappaleen reunaan (Kuva 19 ja Kuva 20) (SFS-EN 12899-1). Pylväs tuetaan alustaan sen alareunasta. Pistekuormaluokat löytyvät liitteestä 5. Pisteet, joihin tuuli- ja pistekuormat testeissä kohdistetaan löytyvät standardin SFS-EN 12899-1 liitteestä A.



Kuva 19 Pystypistekuorma



Kuva 20 Vaakapistekuorma

5.4 Tulokset

Laskennassa optimoitiin laskettavien tapausten määrää. 900 mm kolmio kattoi myös 600 mm:n kolmio, koska suuremman pinta-alansa vuoksi se oli laskennan kannalta haastavampi tapaus. Samoin 640 mm ympyrä, 640 mm neliö ja 600 mm kärkineliö kattoivat pinta-alaltaan pienempien merkkien laskennat. Myös kiinnikkeiden antama tuki merkeille oli heikompaa suurempien merkkien kohdalla, joten merkkien niputtamisessa ei ollut ongelmaa.

5.4.1 Hetkelliset muodonmuutokset

Hetkellisiä muodonmuutoksia laskettaessa selvitettiin kyltin ja pylvään taipumaa. Kilven suurin hetkellinen muodonmuutos määriteltiin pisteessä, jossa se on suurin. Pylvään suurin taipuma löytyy pylvään päästä. Hetkellisiä tuulikuormia laskettaessa tuulikuorma kerrotaan luvulla 0,56, joka syntyy, kun 50 vuoden tuulennopeuksista redusoidaan yhden vuoden tuulennopeudet. Tuulikuormaa laskettaessa täytyy ottaa huomioon levymäisille liikennemerkeille käytettävä vakiokerroin 1,2. Osittaisia varmuuskertoimia ei oteta huomioon laskettaessa hetkellisiä muodonmuutoksia. Tuulikuorman määrittämiseen tarvitaan vielä kyltin pinta-ala ja WL-luokka (kts. Liite 5).

Kyltin pinta-alat saimme määritettyä niiden mallinnusvaiheessa Inventorin Inspect-välilehdellä. Pinta-alan määrittämiseen käytimme area-työkalua. (SFS-EN 12899-1)

Tällöin saadaan tuulikuormalle kaava hetkellisten muodonmuutosten tapauksissa:

Kaava 1 Tuulikuorman laskeminen hetkellisessä muodonmuutoksessa

$WL - luokka * 0,56 * 1,2 * kyltin\ pinta\ ala$

,jossa

WL on tuulikuormaluokka

0,56 on yhden vuoden redusoitu tuulikuorma

1,2 on kerroin levymäisille liikennemerkeille

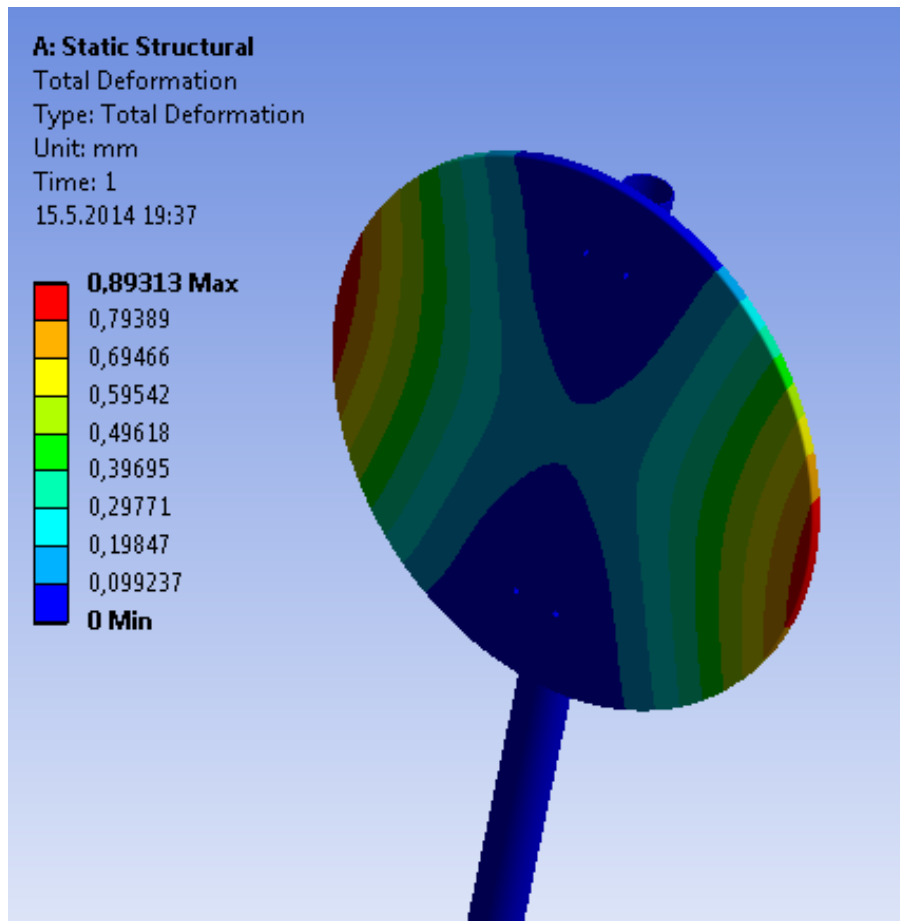
Kaavasta saimme laskettua jokaiselle merkille tuulikuorman hetkellisten muodonmuutosten tapauksiin (WL1-WL9):

Taulukko 2 Hetkellisten muodonmuutosten tuulikuormat

	900 mm kolmio (0,348 m ²)	600 mm STOP (0,298 m ²)	640 mm neliö (0,4096m ²)	640 mm ympyrä (0,3215 m ²)	600 mm kärkineliö (0,360 m ²)
WL 1	94 N	80 N	110 N	86 N	97 N
WL 2	140 N	120 N	165 N	130 N	145 N
WL 3	187 N	160 N	220 N	173 N	194 N
WL 4	210 N	180 N	248 N	194 N	218 N
WL 5	234 N	200 N	275 N	216 N	242 N
WL 6	281 N	240 N	330 N	259 N	290 N
WL 7	327 N	280 N	385 N	302 N	339 N
WL 8	351 N	300 N	413 N	324 N	363 N
WL 9	374 N	320 N	440 N	346 N	387 N

Testattavaksi tuulikuormaksi 640 mm ympyrälle valittiin WL3, sillä suuremmilla tuulikuormilla jännitykset kasvoivat liian suuriksi pysyvissä muodonmuutoksissa. Yllä

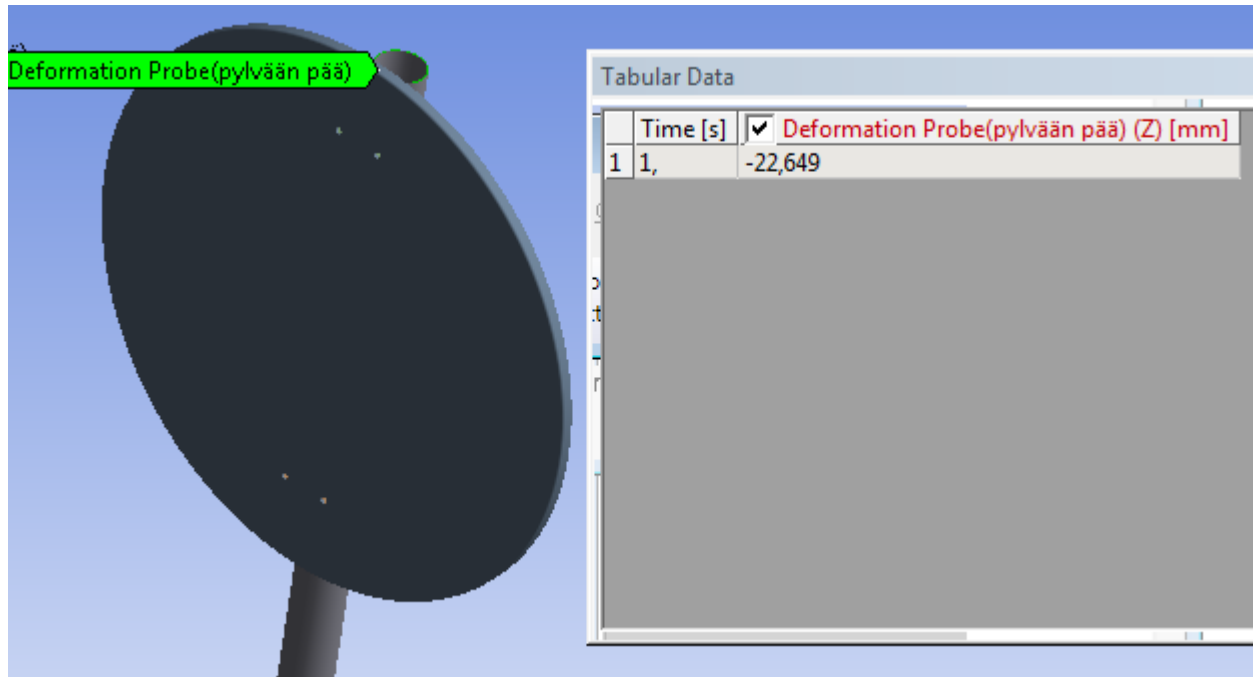
olevasta taulukosta näemme, että tuulikuorma on WL3-tuulikuormalla tällöin 173 N. Tällä tuulikuormalla kyltti taipuu 0,9 mm (Kuva 21).



Kuva 21 Kyltin siirtymät

Kuvassa 20 pylväs on tuettu jäykästi paikoilleen, joten vain kyltti taipuu tuulen voimasta. Kyltti taipuu eniten sivureunoista, koska kiinnikkeet tulevat enemmän ylä- ja alareunaa. Ympyrän reunan kanttaus estää tehokkaasti kyltin taipumista, joten taipuma jää melko pieneksi.

Pylvään siirtymää laskettaessa pylväs on kiinnitetty alareunastaan alustaan, joten pylvään päähän sen siirtymä on suurin. Pylvään päähän laitettiin Ansys-ohjelmassa deformation probe, joka ilmoittaa pylvään pään siirtymän. Pylvään pää taipuu 22,6 mm tuulikuorman vaikutuksesta (Kuva 22).



Kuva 22 Pylvään taipuma

5.4.2 Pysyvät muodonmuutokset

Pysyviä muodonmuutoksia laskettaessa selvitettiin kyltin, pylvään ja kiinnikkeiden jännityksiä. Pysyviä muodonmuutoksia laskettaessa jännitysten oli pysyttävä kimmoisuuden rajoissa eli ne eivät saa ylittää myötörajoja. Kyltin myötöraja on 161,1 MPa (Liite 2), pylvään myötöraja on 355 MPa (Pylvään materiaalitodistus) ja kiinnikkeen myötöraja on 110 MPa (Muovin materiaalitodistus A ja B).

Pysyvien muodonmuutosten tuulikuormaa laskettaessa pitää ottaa huomioon levymäisten liikennemerkkien muotokerroin 1,2 ja osakohtainen varmuuskerroin $paf1$ (Liite 4). Laskentaan tarvitaan myös kyltin pinta-ala ja WL-luokka. Jännityksiä tarkasteltaessa on otettava huomioon materiaaliikohtaiset varmuuskertoimet, jotka löytyvät liitteestä 4. Kiinnikkeen varmuuskerroin on 1,5, kyltin 1,15 ja pylvään 1,05. (SFS EN 12899-1)

Tällöin saadaan tuulikuormalle kaava pysyvien muodonmuutosten tapauksessa:

Kaava 2 Tuulikuorman laskeminen hetkellisessä muodonmuutoksessa

$WL - luokka * 1,2 * paf1 * kyltin\ pinta-ala$

,jossa

WL on tuulikuormaluokka

1,2 on kerroin levymäisille liikennemerkkeille

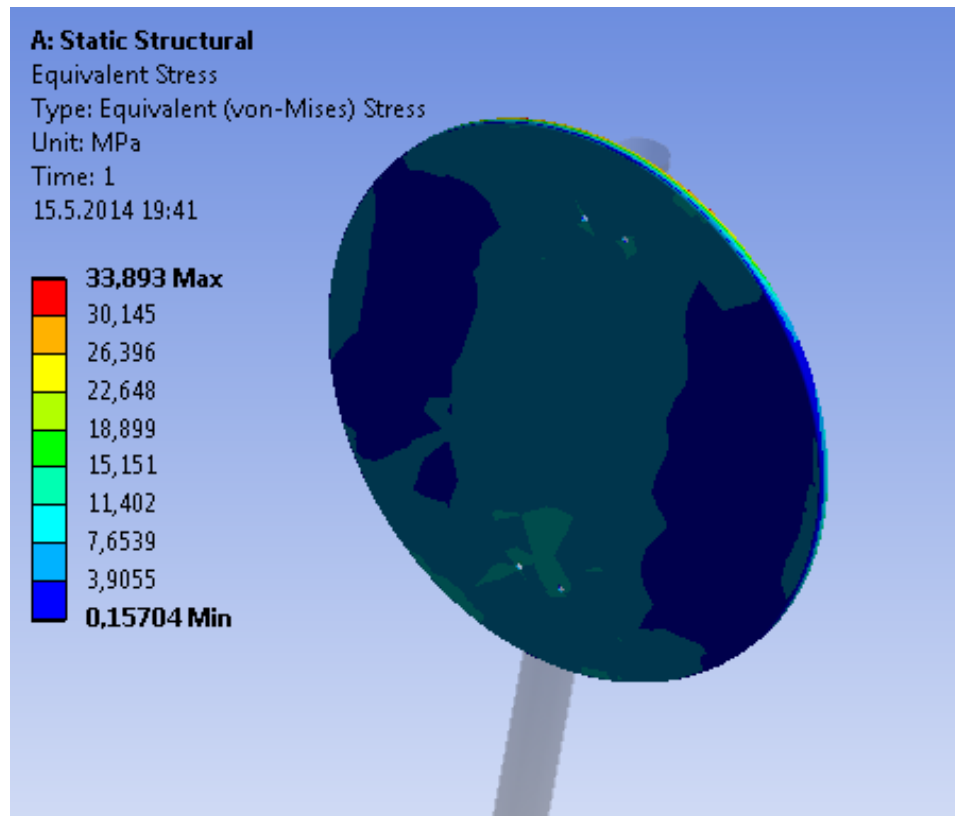
paf1 on osakohtainen varmuuskerroin

Kaavasta saimme laskettua jokaiselle merkille tuulikuorman pysyvien muodonmuutosten tapauksiin (WL1-WL9):

Taulukko 3 Pysyvien muodonmuutosten tuulikuormat

	900 mm kolmio (0,348 m ²)	600 mm STOP (0,298 m ²)	640 mm neliö (0,4096m ²)	640 mm ympyrä (0,3215 m ²)	600 mm kärkineliö (0,360 m ²)
WL 1	270,6 N	231,7 N	318,5 N	250,0 N	280,0 N
WL 2	405,9 N	347,6 N	477,8 N	375,0 N	420,0 N
WL 3	541,2 N	463,5 N	637,0 N	500,0 N	560,0 N
WL 4	608,9 N	521,4 N	716,6 N	562,5 N	629,9 N
WL 5	676,5 N	579,3 N	796,3 N	623,0 N	699,8 N
WL 6	811,8 N	695,2 N	955,5 N	750,0 N	839,8 N
WL 7	947,1 N	811,0 N	1 115,0 N	875,0 N	979,8 N
WL 8	1 015,0 N	867,0 N	1 194,0 N	937,5 N	1 050,0 N
WL 9	1 082,0 N	926,9 N	1 274 N	1 000 N	1 120 N

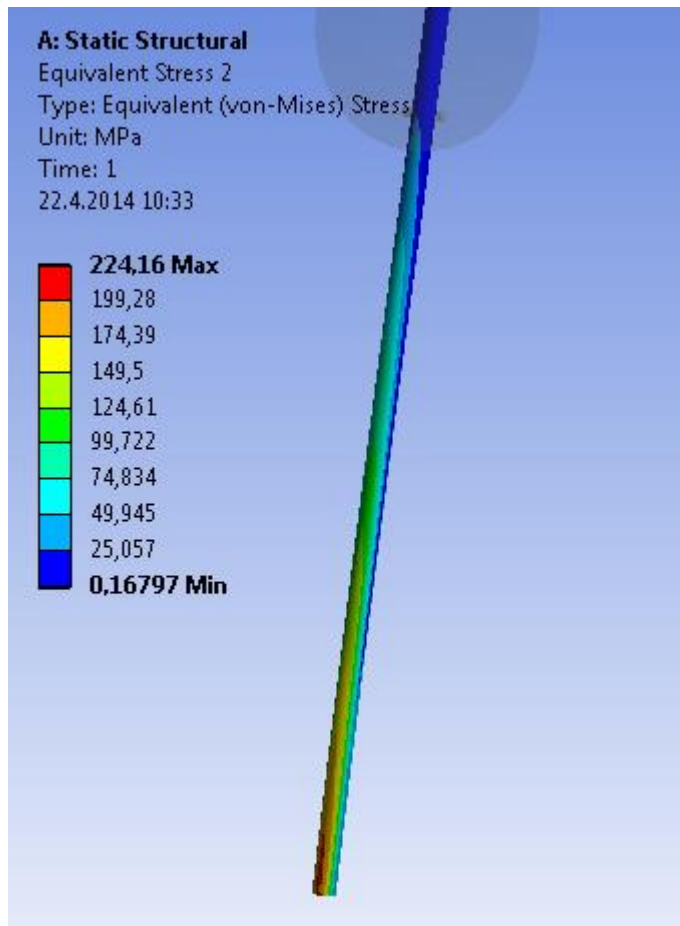
Käytettäväksi tuulikuormaksi valittiin WL3, joka oli suuruudeltaan 541,21 N. Se valittiin, koska se oli suurin kuorma, jonka liikennemerkkikokonaisuus kesti myötörajoja ylittämättä. Tällä tuulikuormalla kyltin jännitykseksi muodostui 33,9 MPa (Kuva 23).



Kuva 23 Kyltin jännitykset

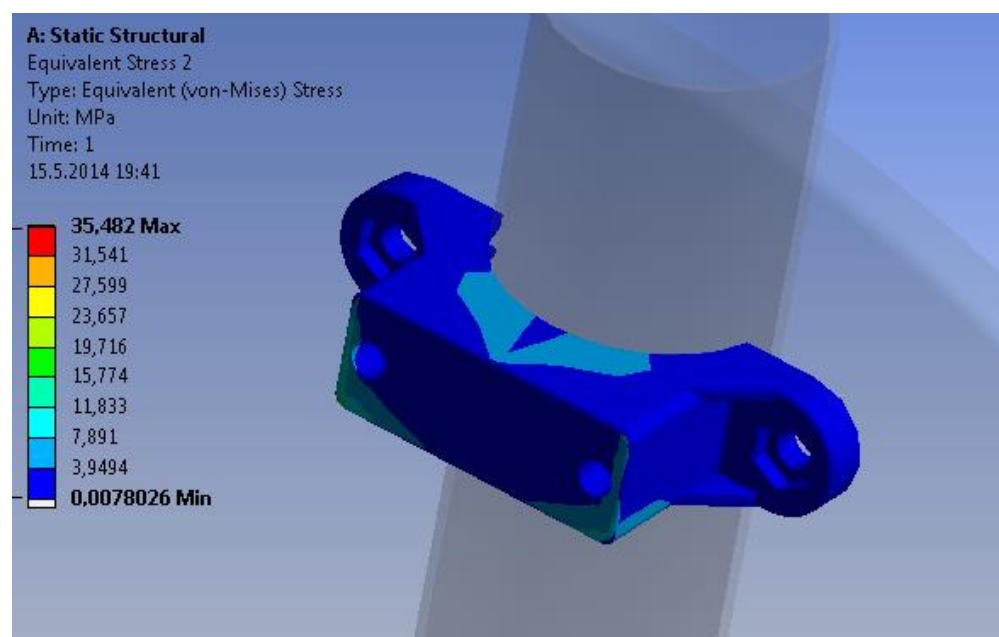
Kyltin jännitykset muodostuivat kyltin kantille merkin yläreunaan. Pylväs oli tuettuna alareunastaan.

Pylvään jännitykset muodostuivat aivan pylvään alaosaan. Pylvään jännitykseksi muodostui 224,2 MPa (Kuva 24).



Kuva 24 Pylvään jännitykset

Kiinnikkeen jännitykseksi muodostui 35,5 MPa (Kuva 25). Suurimmat jännitykset kohdistuivat kiinnikkeen reunaan, koska kyltti puristui sitä vasten taipuessaan.



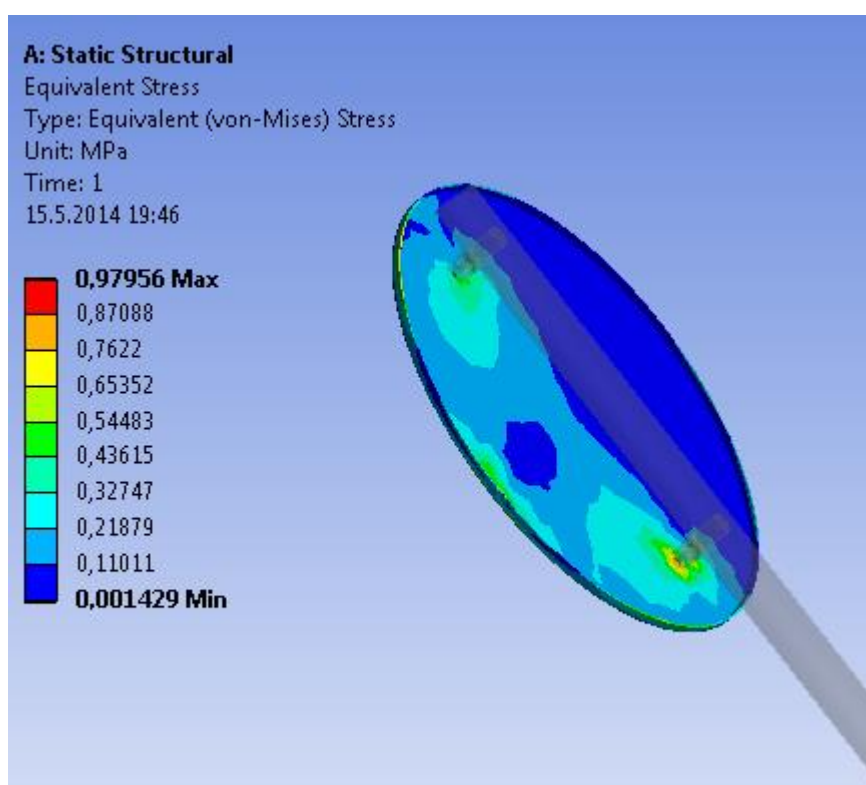
Kuva 25 Kiinnikkeen jännitys

5.4.3 Pistekuormat

Pistekuormissa jännitykset kyltille, pylväälle ja kiinnikkeille eivät myöskään saaneet ylittää myötörajaa. Osakohtaiset varmuuskertoimet (Liite 4) oli otettava huomioon. Kylttiin vaikuttavat pistekuormat löytyvät liitteestä 5. Pistekuormat lasketaan samaan tapaan kuin pysyvien muodonmuutosten tapaus eli materiaalikohtaiset varmuuskertoimet huomioidaan (Liite 4). Pistekuormilla pyritään simuloimaan tosielämän tilanteita, kuten pieniä kolhuja liikenteestä tai yleisesti ilkivaltaa. Pistekuormat jaetaan pysty- ja vaakapistekuormiin. Kaikki pistekuormat laskettiin pistekuormalla PL1.

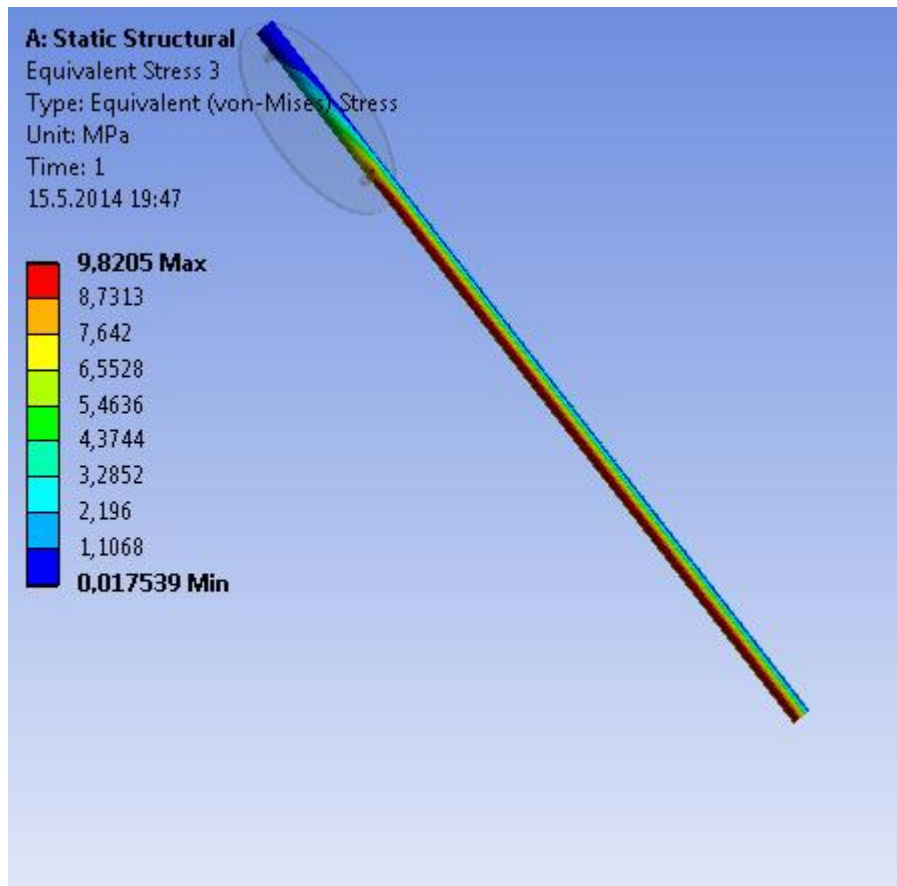
5.4.4 Pystypistekuorma

Pystypistekuorma kuvaa esimerkiksi tilannetta, jossa henkilö roikkuu liikennemerkissä tai vetää sitä muuten alaspäin. Pystypistekuormituksen sijainnin näet kuvasta 19. Pystypistekuorman tapauksessa jännitykset muodostuivat kylttiin hyvin vaatimattomiksi verrattuna vaakapistekuormaan. Kylttiin muodostunut jännitys oli suuruudeltaan 0,98 MPa ja suurimmillaan kyltissä kiinnikkeen nurkan kohdalla (Kuva 26).



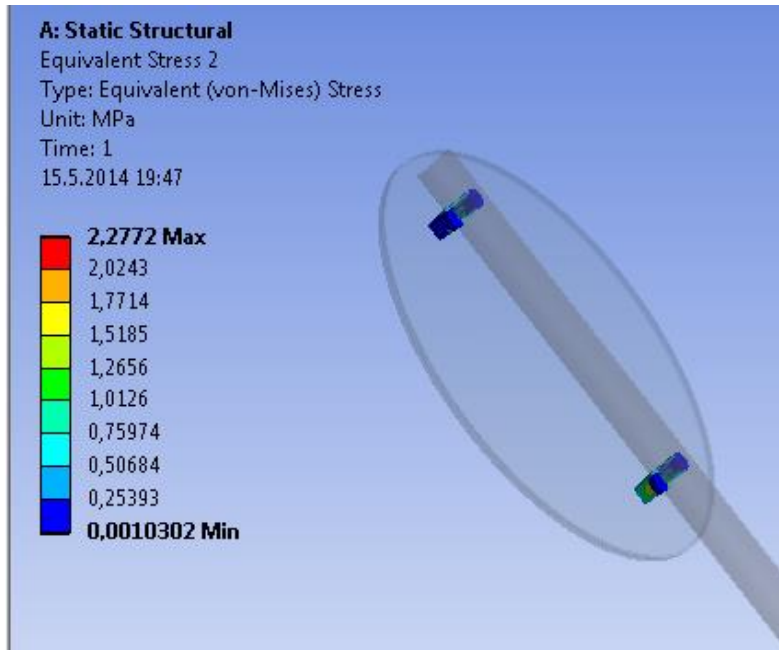
Kuva 26 Kyllin jännitykset

Pylvääseen kohdistunut jännitys oli suuruudeltaan 9,8 MPa. Suurin jännitys kohdistui pystypistevoiman puolelle, jolta pylväs puristui (Kuva 27). Tämä rasitus ei ole pylväälle mitenkään merkittävä.



Kuva 27 Pylvään jännitykset

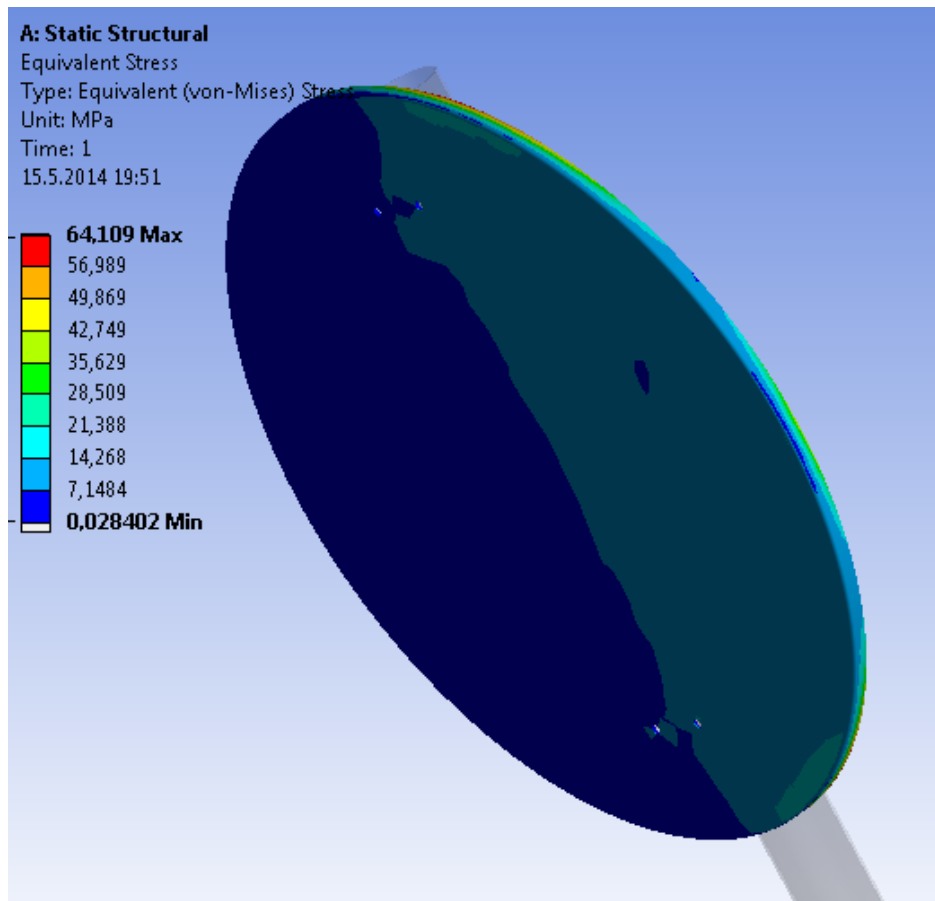
Kiinnikkeisiin kohdistui jännitykseksi 2,28 MPa, joka kohdistui pääasiassa alempaan kiinnikkeeseen (Kuva 28).



Kuva 28 Kiinnikkeen jännitys

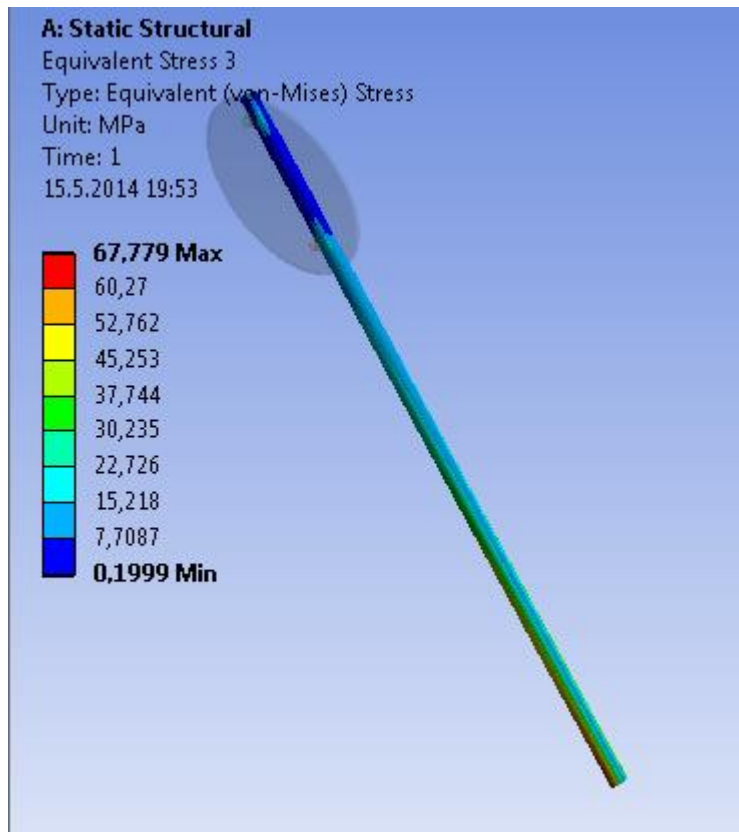
5.4.5 Vaakapistekuorma

Vaakapistekuorma oli jännityksille haastavampi tapaus kuin pystypistekuorma. Vaakapistekuorma kuvaa arkielämän tilannetta, jossa esimerkiksi kuorma-auton peili osuisi aivan kiinnikkeen reunaan. Vaakapistekuorman sijainti näkyy kuvassa 20. Jännitys kohdistui pääasiassa kyltin kantiin puristuksena. Suurin jännitys oli kyltillä 64,1MPa (Kuva 29).



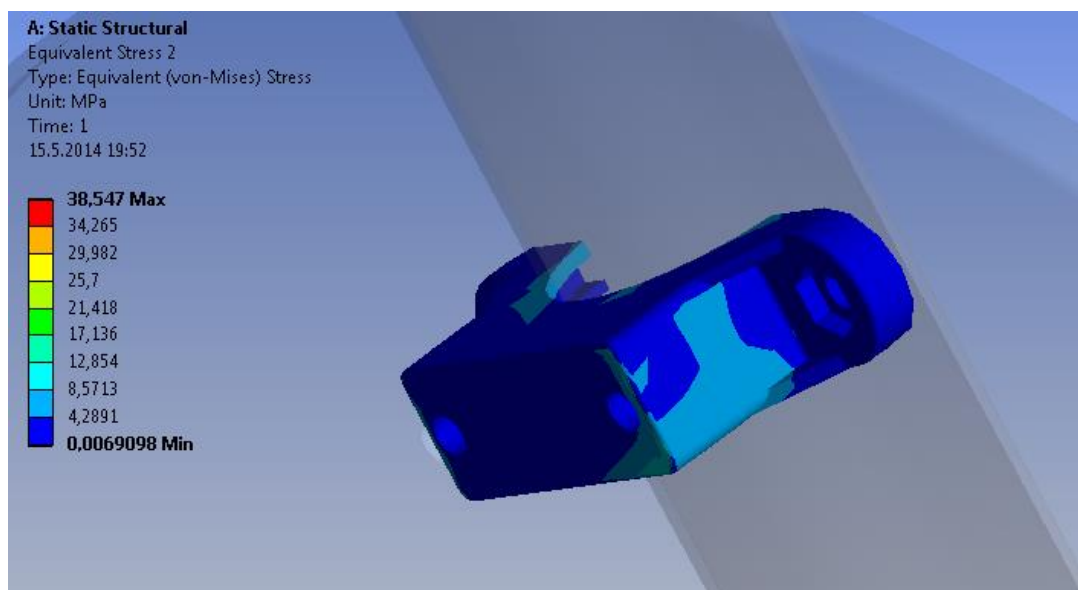
Kuva 29 Kyltin jännitykset

Pylvään suurimmaksi jännitykseksi muodostui 67,8MPa. Jännityshuippu on pylvään alareunassa (Kuva 30).



Kuva 30 Pylvään jännitykset

Kiinnikkeeseen muodostui 38,5MPa jännitys. Se kohdistui kiinnikkeen nurkkaan. Ympyrän kantti säästi tehokkaasti kiinnikettä suuremmalta jännityspiikiltä (Kuva 31).



Kuva 31 Kiinnikkeen jännitykset

6 POHDINTA

Tampereen Infran antama toimeksianto liikennemerkkien testauksesta ja todistamisesta osoittautui oletettua haastavammaksi tehtäväksi. Työn suurimpia haasteita olivat laajat standardit, joissa oli huomattavasti viittauksia standardin sisällä ja standardista toiseen. Esimerkiksi teräsrakenteiden ja kiinnityselementtien piti täyttää standardin EN 1993-1-1 vaatimukset, joka lisäsi työn vaatimustasoa.

Lisähaasteen laskentaan toi laskennan ja testauksen asettaminen eri asemaan standardissa. Eri osien varmuuskertoimet vaikeuttivat liikennemerkkien läpäisyä laskennassa. Esimerkiksi kiinnikkeen varmuuskerroin 1,5 on varsin suuri laskettaessa materiaaliin kohdistuvia jännityksiä. Tätä ongelmaa ei olisi ollut käytännön testeissä. Myöskään kiinnikkeeseen kohdistuneet hyvin pistemäiset jännitykset, pysyvien muodonmuutosten tapauksessa, eivät olisi tulleet edes ilmi käytännön testeissä.

Myös standardin vaakapistekuorman testit oli määritelty haasteellisiksi, sillä harva merkki täytti edes helpoimman eli PL1 pistekuorman vaatimuksia. Sama ongelma havaittiin myös muilla liikennemerkkivalmistajilla. Muiden valmistajien testit eivät kuitenkaan ole Infralle tehdyn laskennan kanssa vertailukelpoisia, sillä liikennemerkeissä käytetään eri osia. Vertailu antaa kuitenkin jonkinasteista suuntaa vaakapistekuormatestin haastavuudesta muihin testeihin verrattuna. Standardissa ei myöskään mainittu liikennemerkkipylväälle pituutta. Tämä tarkoittaa käytännössä sitä, että tapaukset tulisi testata kaikilla käytetyillä pylvään pituuksilla. Tampereen Infran tapauksessa laskenta rajattiin koskemaan 2,5 metrin pylvään pituutta.

Työn kohteena ollut muovikiinnike kuitenkin vakuutti ominaisuuksillaan. Kiinnike kestää esimerkiksi suoraa vetoa tai puristusta yhden keskikokoisen perheauton verran eli 15000 ± 600 N, ja merkissä saisi roikkua yhteensä 4400 ± 200 N voimalla ennen kuin kiinnike alkaisi edes liukua putken suuntaisesti. Tämä tarkoittaisi noin neljää aikuista ihmistä (~400kg). Putken suuntaan liukumista mittaavan testin ja standardin käyttötarkoitus on juuri mallintaa ilkivaltaan liittyvää kuormitusta, joten kiinnikkeen voi katsoa täyttävän käyttötarkoituksensa hyvin.

Testauksen tiukat ja muuttuvat rajoitteet lisäsivät työssä kulunutta aikaa merkittävästi. Testauksen valmistuttua itse työ lähti kuitenkin etenemään hyvin ja laskentaan kului vain kolmannes siitä ajasta, joka käytettiin testauksen valmisteluun. Testaukseen käytetty VTT osoitti myös ammattimaisuutensa nopealla ja tarkalla toiminnallaan, vaikka VTT:hen otettiin yhteyttä vasta aivan viime metreillä. Alun perin testauksen suorittajaksi suunniteltu TAMK ei vastannut laitteistoltaan standardin vaatimuksia, mutta tarjosi työlle paljon suunnitteluapua.

VTT:n käyttäminen toisaalta laski opinnäytetyön toistettavuutta ja painoarvoa, koska työlle tärkeää tietoa hukkuu matkalle. Tämä ei kuitenkaan ollut VTT:n syy. Oman osallistumisen tärkeyttä testeihin ei osattu arvostaa työssä tarpeeksi korkealle. Fyysinen paikallaolo olisi ollut opinnäytetyölle ensiarvoisen tärkeää.

Kehityskohtina työlle on testauksen dokumentoinnin tärkeyden korostaminen itse tulosten ohella. Hyvin dokumentoitu testi voidaan uusida, jos tulokset arveluttavat, mutta huonosti dokumentoidussa työssä testauksen toistaminen on mahdotonta. Testitilanteen muuttuessa myös tulosten vertaaminen vaikeutuu ja asettuu erilaiseen asemaan, kuin jos dokumentteja voisi vertailla keskenään kattavasti. Dokumentoinnilla myös todistetaan työssä käytetyn standardista poikkeavan testauksen vertailukelpoisuus standardin testauksen kanssa. Tällöin myös testauksen luotettavien tulosten arvovalta kärsii siirryttäessä laskentaan. Laskentaa ei voi siinä tapauksessa myöskään pitää niin arvovaltaisena, kuin se olisi ollut kattavasti dokumentoidun testauksen yhteydessä. Tällöin liikaa työn arvovallasta lepää itse testauksen suorittaneen tahon varassa, vaikka standardiluokitus perustuikin täysin kattavaan laskentaan.

Opinnäytetyö opetti projektitöissä tarvittavaa ajanhallintaa ja suunnitelmallisuutta. Useat ongelmat eri vaiheissa olivat niin spesifejä, että vastauksia oli mahdoton saada yleisestä alan kirjallisuudesta tai aikaisemmista vastaavista töistä. Opinnäytetyö opetti suurta itsekriittisyyttä ja tarkkuutta omaan itsenäiseen tekemiseen.

Työn valmistumisen jälkeen ei kuitenkaan ole vielä selvää, saako Infra omille liikennemerkeilleen CE-hyväksyntää. Liikennemerkkistandardi on myös muuttumassa jälleen vuoden 2015 alusta niin, että työssä testatut kiinnikkeet muuttuvat tarpeettomiksi. Uudessa vuoden 2015 ohjeistuksessa kielletään liikennemerkin kalvon

puhkaiseminen kaikissa tapauksissa ja työssä testattu kiinnikkeen toimintaperiaate perustuu juuri tähän tapaan asentaa liikennemerkki.

LÄHTEET

Ansys Workbench 14.5.7, ohjelman kotisivu. Luettu 28.5.2014.

Saatavissa osoitteessa:

<http://www.ansys.com/Products/Workflow+Technology/ANSYS+Workbench+Platform>

Autodesk Inventor Professional 2014, ohjelman kotisivu. Luettu 28.5.2014. Saatavissa

osoitteessa: <http://www.autodesk.com/products/autodesk-inventor-family/overview>

CE-merkittyjen rakennustuotteiden oikea käyttö. 2010. Rakennusmedia Oy

Hietikko, E. 2004. Palkki, Lujuuslaskennan perusteet. Kuopio: Otava

Inspecta Group. 2013. <http://www.inspecta.com/fi/>

Logan D.L. 2007. A First Course in the Finite Element Method, Fourth Edition.

[Verkkokirja]. Canada: Nelson, a division of Thompson Canada. Luettu 28.5.2014.

Saatavissa osoitteessa:

http://www.cengagebrain.com.mx/shop/content/logan52986_0534552986_02.01_chapter01.pdf

Oulun yliopisto. 2012. 461033A Elementtimenetelmät I –

461034A Elementtimenetelmät II luentomateriaali 2012–2013. Luettu 28.5.2014.

Saatavissa osoitteessa:

http://me.oulu.fi/files/tx_opetus/113/1346655249_fem_luennot.pdf

Liikennevirasto. 2013. Liikennemerkkien rakenne ja pystytys. Liikenneviraston ohjeita

20 · 2013. Luettu 15.5.2014. Saatavissa osoitteessa:

http://www2.liikennevirasto.fi/julkaisut/pdf3/lo_2013-20_liikennemerkkien_rakenne_web.pdf

Muovin materiaalitodistus A. Luettu 28.5.2014 Saatavissa osoitteessa:

<http://www.materialdatacenter.com/ms/en/Rilsamid/Arkema/Rilsamid%C2%AE+AZM+30+O+TLD/4f0f9018/6604>

Muovin materiaalitodistus B. Luettu 28.5.2014. Saatavissa osoitteessa

<http://www.campusplastics.com/campus/en/datasheet/Rilsamid%C2%AE+AZM+30+O+TLD/ARKEMA/179/4f0f9018>

Pylvään materiaalitodistus. Luettu 28.5.2014. Saatavissa osoitteessa:

<http://www.s-k->

[h.com/media/de/Service/Werkstoffblaetter_englisch/Dickwand__Hohlprofile/Hollow_section_acc._to_10210.pdf](http://www.s-k-h.com/media/de/Service/Werkstoffblaetter_englisch/Dickwand__Hohlprofile/Hollow_section_acc._to_10210.pdf)

SFS-EN 12899-1. 2008. Suomen standardisoimisliitto.

SFS käsikirja 2010; CE- merkintä 2010; CE- merkintä 2011

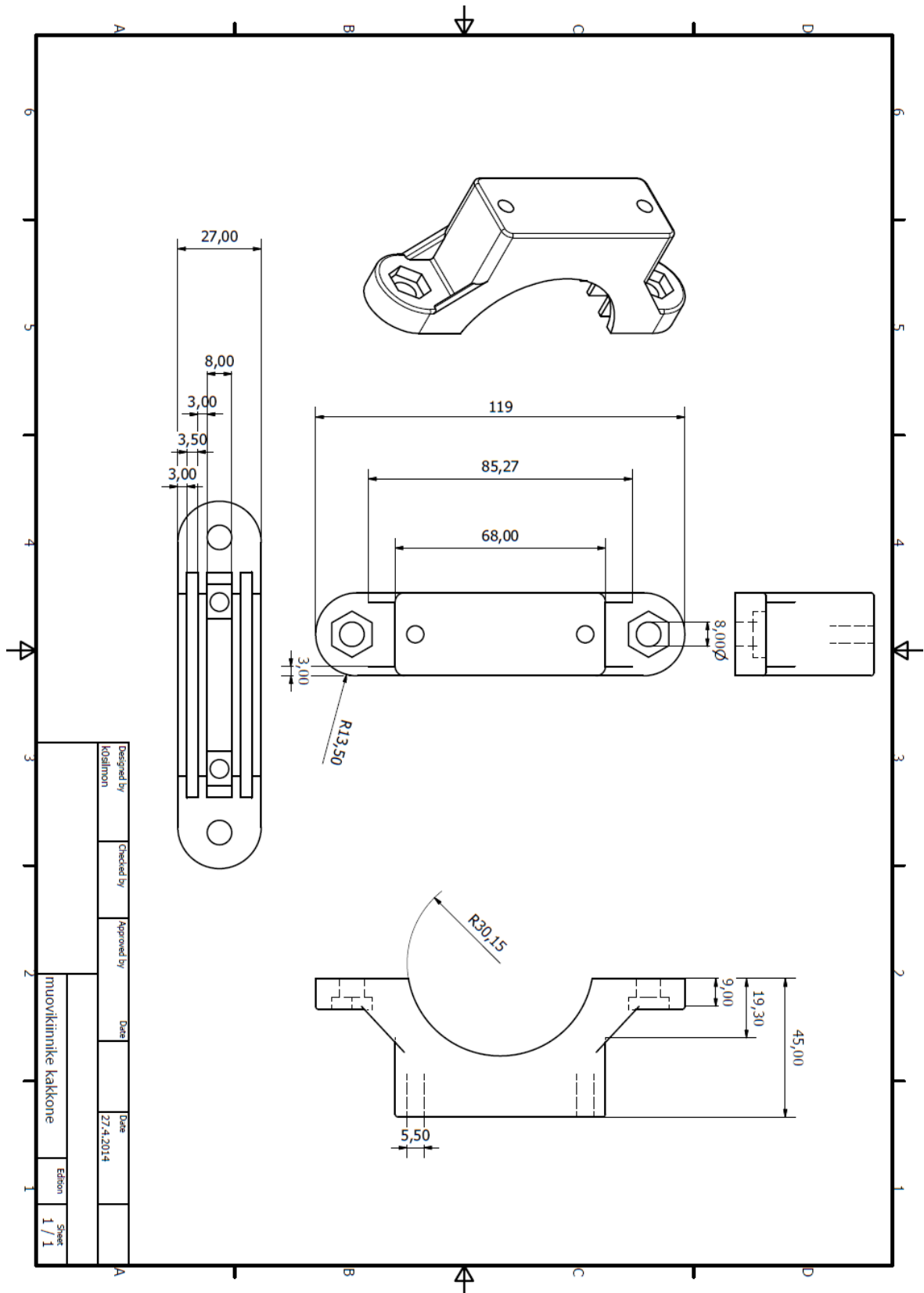
Turvallisuus- ja kemikaalivirasto (Tukes). Luettu 28.5.2014.

<http://www.tukes.fi/fi/Toimialat/Kuluttajaturvallisuus/CE-merkki/>

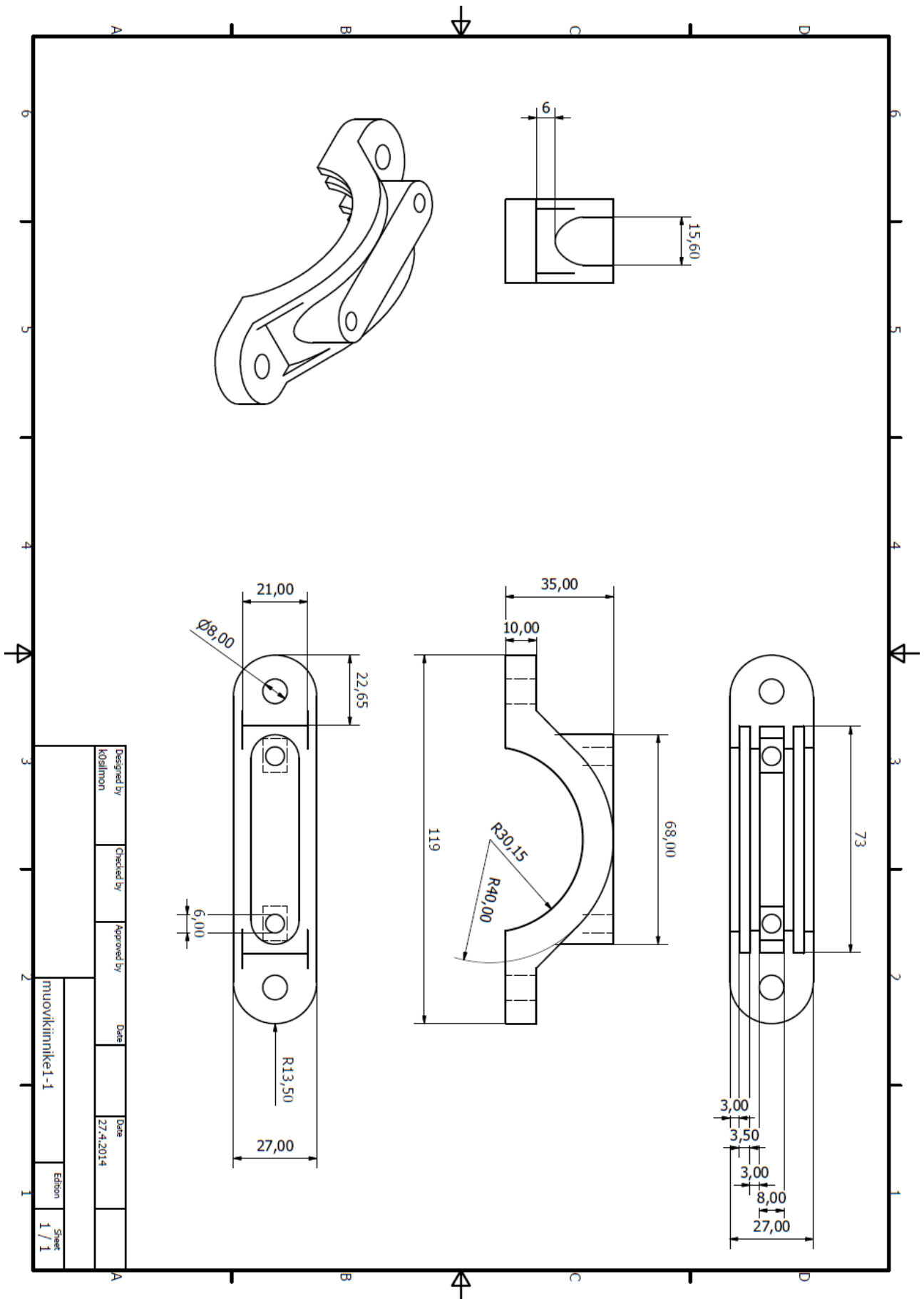
VTT Testausseloste nro VTT-S-01596-14. 2014

LIITTEET

Liite 1a Muovikiinnike osa 1



Liite 1b Muovikiinnike osa 2



Liite 2 Alumiinin materiaalitodistus (NormiOpaste Oy)

INSPECTION CERTIFICATE

sapa:

Page 1

Our reference: **ULSISA JCSHEIM** Date: **2013/07/15** Certificate no: **341916**

Customer: **RUUKKI ST. STEEL & ALUMINIUM OY** Our order no: **509365 01** Material description / Dimension: **Al strip EN AW 4017 Temper H14**
c/o RPC RUUKKI POLSKA SP. ZOO
KŁ. WOLOMSKA 18
51-116 WROCLAW
POLAND 3,0000 * 778,00

Customer order number: **4500544455** Customer part number: **225048** Our part no: **225048** Specification:

STRUCTURE

Coil no Charge no
P28887 FA208043

CHEMICAL COMPOSITION %

	Si	Fe	Cu	EN-AW 4017		Mn	Mg	Zn	Al
Min	0,6		0,10	0,6	0,30			0,2	REST
Max	1,6	0,7	0,50	1,2	0,50				
FA208043	0,55	0,41	0,23	0,85	0,22			0,17	

MECHANICAL PROPERTIES etc - test results

	Yield- str. N/mm2	Tensile str. N/mm2	Elonga- tion A50%
Min			
Max			
P28887			
3	143,0	178,3	3,7
2	141,1	174,5	2,9

RUUKKI



01613122

*** End of certificate ***

AL 01 07 11 08 17

We hereby certify that the material described above complies with the terms of the order contract/specification.

Postal address: **Gränges Sweden AB** Phone: **+46-122-833 99** Fax: **+46-122-833 99**
S-612 81 Finnping
Sweden

Liite 3 Muodonmuutosluokat

Taulukko 4 Suurin hetkellinen muodonmuutos -taipuma (Lähde: SFS-EN 12899-1)

Luokka	Taipuma mm x m ⁻¹
TDB0	Arvoa ei ole määritelty
TDB1	2
TDB2	5
TDB3	10
TDB4	25
TDB5	50
TDB6	100

Liite 4. Varmuuskertoimet

Taulukko 5 Kuormakohtaiset varmuuskertoimet (Lähde: SFS-EN 12899-1)

PAF-luokka	Tuuli, dynaamiset lumi- ja pistekuormat	Omapaino
PAF1	1,35	1,2
PAF2	1,50	1,35

Taulukko 6 Materiaalikohtaiset varmuuskertoimet (Lähde: SFS-EN 12899-1)

Materiaali	Varmuuserroin
Teräs	1,05
Alumiini	1,15
Puu	1,35
Kuituvahvisteinen muovi	1,50
Muovit	1,80

Liite 5 Luokitukset

Taulukko 7 Tuulikuormat (Lähde: SFS-EN 12899-1)

Luokka	Tuulikuorma $\text{kN} \cdot \text{m}^{-2}$
WL0	Arvoa ei ole määritelty
WL1	0,40
WL2	0,60
WL3	0,80
WL4	0,90
WL5	1,00
WL6	1,20
WL7	1,40
WL8	1,50
WL9	1,60

Taulukko 8 Pistekuormat (Lähde: SFS-EN 12899-1)

Luokka	Pistekuorma kN
PL0	Arvoa ei ole määritelty
PL1	0,15
PL2	0,30
PL3	0,50
PL4	0,75
PL5	1,00