

Perttu Urpi

# **Vetolaitteen suunnittelu ja prototyypin valmistus**

Opinnäytetyö

Kevät 2013

Tekniikan yksikkö

Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma



SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU

## Opinnäytetyön tiivistelmä

Koulutusyksikkö: Tekniikka

Koulutusohjelma: Kone- ja tuotantotekniikka

Suuntautumisvaihtoehto: Kone- ja tuotantotekniikka

Tekijä: Perttu Urpi

Työn nimi: Vetolaitteen suunnittelu ja valmistus

Ohjaaja: Jukka Aarnio

Vuosi: 2013

Sivumäärä: 55

Liitteiden lukumäärä: 3

---

Tämä opinnäytetyö kertoo Ford Transit Customin suunniteltavasta EU-määräykset täyttävästä vetolaitteesta, josta valmistetaan myös prototyyppi.

Tämä työ on yksi Koneteknologiakeskus SeAMK -hankkeen (jäljempänä KTK) alaisuudessa tehdyistä projekteista. KTK on pääosin EU-rahoitteinen hanke, jonka tavoitteena on tuoda tutuiksi SeAMK:n palveluita Etelä-pohjanmaan eri teknologiayrityksille. Hankkeen tarkoituksena on aktivoida yrityksiä kehittämään heidän tuotteitaan ja rationalisoimaan heidän tuotantoaan.

Vetolaitteen suunnittelu Insinööritoimisto V-P Takalalle on jo toinen projekti samaan yritykseen. Eurox World on vetolaitteita henkilö- ja pakettiautoihin valmistavan yrityksen toiminimi.

Vetolaitteen suunnittelu ja valmistaminen vaati EU-määräysten tulkitsemista, jotka vetolaitteen on täytettävä ennen kuin se saa tarvittavien testien jälkeen tyyppihyväksynnän tieliikenteeseen. Vetolaitteen suunnittelu- ja valmistusprosessi suoritettiin Seinäjoen ammattikorkeakoulun konelaboratoriotiloissa.

Avainsanat: Ajoneuvot, FEM, suunnittelu.

SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

## **Thesis abstract**

Faculty: School of Technology

Degree programme: Mechanical and Production Engineering

Specialisation: Mechanical and Production Engineering

Author: Perttu Urpi

Title of thesis: Designing a pulling device and manufacturing the prototype

Supervisor: Jukka Aarnio

Year: 2013

Number of pages: 55

Number of appendices: 3

---

This Bachelor's Thesis features designing and manufacturing a pulling device prototype for a new Ford Transit Custom.

This work is one of the Machine Technology Center SeAMK projects (later MTCS). MTCS is mainly by the European Union financed project whose goals are to familiarize the services to all technology industries in South Ostrobothnia. The goals are to activate the companies to develop their products and rationalize their production.

The pulling device prototype is ordered by the Engineering office V-P Takala Oy which designs, manufactures and sells pulling devices for trucks and cars. Eurox World is their trade name. This is already the second assignment for this company which our MTCS project carries out.

Designing and manufacturing the device needed the interpretation of the EU regulations which the pulling device has to meet before it is ready for the type approval test and road traffic. Designing and manufacturing of the device took place in the machine laboratories of School of Technology of Seinäjoki University of Applied Sciences.

Keywords: Designing, FEM, vehicles.

## SISÄLTÖ

Opinnäytetyön tiivistelmä.....	2
Thesis abstract.....	3
SISÄLTÖ.....	4
Kuvio- ja taulukkoluettelo.....	6
Käytetyt termit ja lyhenteet .....	8
1 JOHDANTO .....	9
1.1 Koneteknologiakeskus SeAMK .....	9
1.2 Insinööritoimisto V-P Takala Oy .....	9
1.3 Työn taustaa .....	10
1.4 Työn tavoite .....	10
2 TIEDONHANKINTA .....	12
2.1 Tuotekehitysprosessi .....	12
2.2 DFMA-suunnittelu .....	17
2.2.1 Valmistusystävällinen suunnittelu (DFM) .....	19
2.2.2 Kokoonpanoystävällinen suunnittelu (DFA) .....	20
2.2.3 DFMA:n tavoitteet .....	20
2.3 Kokoonpanon mallintaminen .....	22
2.3.1 Botton-up-menetelmä .....	22
2.3.2 Top-down-menetelmä .....	23
2.4 FEM ja elementtimenetelmät.....	24
3 SUUNNITTELU JA VALMISTUS.....	26
3.1 Mittatiedot .....	26
3.2 E-säännön 55 mukainen suunnittelu .....	27
3.3 Astinlautakiinnitys.....	33
3.4 Vetolaitteen FEM-tarkastelu.....	36
3.5 Vetolaitteen valmistus .....	44
3.5.1 Osien poltto.....	45
3.5.2 Osien särmäys .....	46
3.5.3 Osien hitsaus .....	47
3.6 Vetolaitteen sovitus.....	49

4 TULOKSET .....	52
5 TARKASTELU .....	53
LÄHTEET .....	54
LIITTEET .....	55

## Kuvio- ja taulukkoluetelo

Kuvio 1. DFMA-prosessi. ....	18
Kuvio 2. Kokoonpanojen mallintamisen kaksi päälähestymistapaa. ....	23
Kuvio 3. Vanhan keskikiinnikkeen sovitus vetokuulan tarkan sijainnin mukaisesti. Puskuri tulee tielle.....	28
Kuvio 4. Ensimmäinen mallinnus ajoneuvon runkoon kiinnitettävästä sivuosasta.	29
Kuvio 5. Vetolaitteen ensimmäinen kokonaissuunnitelma. ....	30
Kuvio 6. Vetokuulan vapaa tila ja korkeus, sivukuva.....	30
Kuvio 7. Vetokuulan vapaa tila, pohjakuva. ....	31
Kuvio 8. Luokan A 50-1 standardinmukaisen laippatyyppisten kuulakytkimien mitat. ....	32
Kuvio 9. Astinlautan kiinnityslevy, yläasento. ....	34
Kuvio 10. Astinlautan kiinnityslevy, keskiasento. ....	34
Kuvio 11. Astinlautan kiinnityslevy, ala-asento.....	35
Kuvio 12. Vetokuulan keskipisteen korkeus maanpinnasta. ....	36
Kuvio 13. Vetolaitteen hitsauskokoonpanon muutokset FEM-tarkastelun jälkeen.	37
Kuvio 14. Testivoiman kohdistuskulmat. ....	39
Kuvio 15. Inventorin FEM-puoli, kuviossa punaisella kiinnityspisteet, keltaisella kuorma ja sen suunta.....	40
Kuvio 16. Kahden eri pinnan vuorovaikutussuhteet. ....	41
Kuvio 17. S-arvon tuottaman voiman vaikutukset vetolaitteeseen. ....	42
Kuvio 18. Dynaamisen testin mukainen testivoima, ensimmäinen kuvio. ....	43
Kuvio 19. Dynaamisen testin mukainen testivoima, toinen kuvio. ....	43
Kuvio 20. Vetolaitteen hitsauskokoonpano nimettyine osineen. ....	44
Kuvio 21. 8 mm:n levystä poltettujen osien levyranka, eli tulevat jätteet. ....	45
Kuvio 22. Sivuosan särmäyksen toinen vaihe.....	46
Kuvio 23. Kaikki vetolaitteen särmättävät osat valmiina.....	47
Kuvio 24. Sivuosat kiinnitettyinä hitsausjigeinä toimiviin tankoihin.....	48
Kuvio 25. Hitsattu vetolaittekokoonpano. ....	49
Kuvio 26. Vetolaitteen sovitus. ....	50
Kuvio 27. Vetolenkin mukana irrotettu tukirakennelma. ....	51
Kuvio 28. Ajoneuvoon asennettu vetolaitteproto, sivukuva. ....	52

Kuvio 29. Ajoneuvoon asennettu vetolaitteproto, takakuva.....	52
---	----

Taulukko 1. Standardinmukaisten laippatyypisten kuulakytkimien mitat (mm)....	32
---	----

## Käytetyt termit ja lyhenteet

<b>Autodesk Inventor</b>	Inventor on yksi monista 3D-suunnitteluohjelmista, jolla voi luoda virtuaalisia 3D-malleja melkein mistä tahansa tuotteesta. Ohjelmalla voi myös simuloida jollain tasolla suunniteltua laitetta ja tarkastella mallin teknisiä ominaisuuksia, kuten lujuusominaisuuksia.
<b>DFM</b>	Design for Manufacture, valmistusystävällinen suunnittelu.
<b>DFA</b>	Design for Assembly, kokoonpanoystävällinen suunnittelu.
<b>E-sääntö 55</b>	Yhdistyneiden kansakuntien Euroopan talouskomission (UNECE) sääntö nro 55 - Ajoneuvoyhdistelmien mekaanisten kytkinosien hyväksyntää koskevat yhdenmukaiset vaatimukset.
<b>FEM</b>	Finite Element Method. Numeerinen analyysi, jolla voidaan laskea ja löytää likimääräisratkaisuja matemaattisiin ongelmiin. Käytetään yleensä rakenteiden lujuustarkasteluiden apuna.



# 1 JOHDANTO

Tässä työssä esitellään EU-rahoitteisen Koneteknologiakeskus SeAMK -hankkeen alaisuudessa tehdyn vetolaitteen suunnittelu ja prototyypin valmistus -projektin eri vaiheet. Vetolaite suunnitellaan Ford Transit Custom -pakettiautoon Insinööritoimisto V-P Takala Oy:lle. Vetolaite tullaan suunnittelemaan EU-säännösten mukaisesti, jotta se voidaan tyyppihyväksyttää tieliikennekäyttöön. Suunnittelun tukena käytetään eri tuotekehitysprosessisuuntia, kuten valmistusystävällistä suunnittelua (DFM - Design for Manufacture).

## 1.1 Koneteknologiakeskus SeAMK

Koneteknologiakeskus SeAMK -hankkeen (jäljempänä KTK) tarkoituksena on tuoda KTK:n palvelut tutuiksi Etelä-Pohjanmaan teknologiateollisuudelle ja saada kehitettyä parempaa yhteistyötä yritysten ja SeAMK Tekniikan välille. Hankkeen tarkoituksena on saada yrityksiä kehittämään tuotteitaan ja tehostamaan tuotantoaan sekä saada edistettyä yritysten välistä yhteistyötä.

KTK on ESR-projekti, jota rahoittavat ELY-keskus, yritykset ja SeAMK. Projekti toteutetaan vuosina 2010–2013, jolloin pyritään ottamaan mukaan 35 kehittämis- haluista pk-yritystä Etelä-Pohjanmaan alueelta.

Tavoitteena on saada toteutettua useita kymmeniä yritysprojekteja ja tarkoitus on järjestää 15 teknologiaworkshopia sekä kolme seminaaria ajankohtaisista aihepiireistä konetekniikan alalta. (Koneteknologiakeskus SeAMK, [Viitattu 21.4.2013].)

## 1.2 Insinööritoimisto V-P Takala Oy

Insinööritoimisto V-P Takala Oy on työn tilaaja. Vetolaitteen suunnittelu prototyypin valmistus on toinen projekti KTK:ssa samalle yritykselle. Yritys suunnittelee, valmistaa ja myy vetolaitteita hyötyajoneuvoihin ja henkilöautoihin. Suurin tuoteryhmä heillä on kuumasinkityt vetolaitteet, lisäpuskurit ja astinlaudat. Eurox World on yrityksen toiminimi kaikissa ajoneuvojen varusteisiin liittyvässä toiminnassa.

Eurox-vetolaitteet valmistetaan Suomessa ja yrityksen tarkoituksena on edistää toiminnassaan suomalaisten yritysten yhteistyötä. Insinööritoimisto V-P Takala Oy:n omistaa Pellon Group Oy ja V-P Takalan perhe. Pellon-konsernin yrityksiä ovat emoyhtiön lisäksi Suomessa Datatech Oy ja Tenko Säästö Oy, Ruotsissa Ydre-Grinden Ab, Saksassa Pellon GmbH ja Puolassa Pellon Sp.zo.o. (Insinööritoimisto V-P Takala Oy, [Viitattu 21.4.2013].)

### **1.3 Työn taustaa**

Ensimmäisen asiakaskontakti oli 30.11.2012, jolloin selviteltiin vetolaiteprojektin yksityiskohtia. Asiakkaalle laadittiin tarjous vetolaiteprojektista, jonka johdosta asiakkaaseen oltiin yhteydessä uudestaan 7.1.2013. Uusi vetolaite oli tärkeä suunnitella, koska Ford Transit Customia suurempaan Ford Transitiin oli jo vetolaite, jota meni hyvin kaupaksi, mutta se ei sopinut tyyppihyväksytysti molempiin ajoneuvoihin.

Vetolaitteen suunnittelulle asetettiin vaatimuksiksi, että sen tulee täyttää E-säännön 55 mukaiset vaatimukset sekä valmistajan antamat mitat, jotta vetolaiteproto menisi hyväksytysti tyyppihyväksyntätesteistä läpi. Toivomuksena oli myös, että mahdollisimman paljon valmiita käytössä olevia komponentteja voitaisiin käyttää suunniteltavassa vetolaitteessa, jotta ei tarvitsisi tehdä montaa uutta osaa. Vanhojen osien käyttöä kuitenkin rajoittaa aina ajoneuvon mitat, että minkälainen vetolaitteesta tulisi.

### **1.4 Työn tavoite**

Työn tavoitteena on saada valmistettua asiakkaan tilauksen mukainen Ford Transit Custom -pakettiautoon sopiva vetolaite, joka täyttää EU-määräykset.

Varsinainen tilaus käsittää suunnittelun, mittatietojen selvittämisen, prototyypin valmistamisen, mittapiirustusten laatimisen, ilmoituslomakkeen laatimisen liikenteen turvallisuusvirasto Trafille sekä käyttöohjeen laatimisen vetolaitteen asennusta varten. Myös vetolaitteeseen kiinnitettävien astinlautojen kiinnitysosan sopivuus

oli huomioitava suunnittelun aikana. Astinlaudan kiinnitysosien suunnittelu ei kuitenkaan sisältynyt työhön. Tässä opinnäytetyössä käsitellään vain vetolaitteen suunnittelu- ja prototyypin valmistusvaihetta.

## 2 TIEDONHANKINTA

Työssä lähdekirjallisuutena käytettiin Timo Laakon ja ym. Tuotteen 3D-CAD-suunnittelu ja Karl T. Ulrich ja Steven D. Eppingerin Product Design and Development -kirjoja.

### 2.1 Tuotekehitysprosessi

Kirjassaan Laakko ja ym. (1998, 19) kertoo tuotekehitysprosessin vaiheista. Heidän mukaansa tuotteen suunnitteluun ja kaupallistamiseen liittyy monia vaiheita tai toimintoja sisältäviä tuotekehitysprosesseja, joiden tavoitteena on tuoteidean selvitys.

Tuotekehitysprosessin tarkoituksena on saada tuoteidea tuotteeksi markkinoille. Hyvässä tuotekehitysprosessissa tuotteen laatu kehittyy ja se yhdistää yrityksen eri toimintoja niin myynnistä, suunnittelusta kuin valmistuspuoleltakin (Laakko & ym. 1998, 19).

Laakon ja ym. (1998, 19–24) mukaan tuotekehitysprosessi voidaan jakaa vaiheisiin eri tavoin. Tässä työssä voidaan käyttää hyväksi järjestelmällisen tuotekehityksen ja tuotteen kokoonpanon huomioonottavan tuotesuunnittelun määritelmiä niitä omalla tavallaan mukaillen.

Järjestelmällinen tuotekehitysprosessi on jaettu neljään vaiheeseen (Laakko & ym. 1998, 19–20):

- esitutkimus. Tähän kuuluu tuoteohjelman suunnittelu ja tehtävän selvittely. Informaation hankinta on ensimmäinen vaihe, josta saadaan tuloksena vaatimuslista.
- luonnostelu. Luonnostelussa vahvistetaan ratkaisun periaate vaikutusrakenteen pohjalta. Tulos saadaan, kun yhdistellään sopivia vaikutusperiaatteita.
- kehittäely. Kehittelyvaiheessa vahvistetaan ratkaisun rakennemuoto lähtien liikkeelle vaikutusrakenteesta tai periaatteellisesta ratkaisusta.

- viimeistely. Viimeistelyssä teknisiä kokoonpanorakenteita täydennetään, kuten muotoja ja yksittäisosien mitoitus sekä valmistusteknisiä seikkoja.

Tähän listaan pitää vielä lisätä prototyypin testaus ja koestus, jotka kuuluvat olennaisesti tuotekehitystoimintaan. Prosessin aikana voidaan hakea uusia vaihtoehtoisia ratkaisuja useilla eri vaihtoehdoilla.

Pelkästään järjestelmällisen tuotekehitysprosessin vaiheiden otsikoita tarkastelemalla pääsee siihen tuotekehitysprosessin vaiheistukseen, mitä tässäkin työssä tarvitaan.

Tarvitaan esitutkimusta, jonka aikana otetaan selvää, mitä määräyksiä vetolaitteen suunnittelu vaatii. E-sääntö 55 määrää EU-tasolla sen, minkälainen mikä tahansa vetolaite pitää tieliikenteessä olla, että se on tyyppihyväksyttävissä ja sitä saa alkaa valmistamaan myyntiin. E-sääntö 55 määrää myös, minkälaiset tuotannolliset vaatimuksenmukaisuudet vetolaitevalmistajan tulee täyttää.

Esitutkimukseen voidaan myös lukea kaikki tieto, joka kerätään ajoneuvon valmistajalta, jota E-sääntö 55:ssä vaaditaan siihen, minkälaiset mitat vetolaitteen tulee täyttää.

Luonnosteluvaiheen aikana kerätään kaikki seuraavassa kehittelyvaiheessa tarvittava tieto asiakkaalta siitä, minkä viitekehyksen sisään vetolaite on suunniteltava, sekä mitkä ovat vaatimukset ja tarpeet vetolaitteen rakenteelle ja toiminnallisuudelle.

Kehittelyvaiheessa käytetään hyväksi esitutkimuksen ja luonnosteluvaiheen tietoja ja rakennetaan malli vetolaitteesta niiden määräämässä viitekehysessä.

Viimeistelyvaiheen aikana käydään läpi kaikki suunnitellut kohteet ja tarkastetaan niiden oikeellisuus kahden ensimmäisen vaiheen tietojen pohjalta. Kehittely- ja viimeistelyvaiheita pystytään myös hieman sekoittaa, koska on yleistä, että valmistusprosessin aikana tulee esille asioita, joita ei suunnittelupöydällä pysty ottamaan huomioon.

Koestukseen ja testaukseen luettaisiin prototyypin, eli vetolaitteen sovittaminen ajoneuvoon ja tyyppihyväksyntätesti Trafín hyväksymällä asiantuntijalla.

Tuotteen kokoonpanon huomioonottavassa tuotesuunnittelussa mietitään prosessia kahdella tasolla: koko tuotteen ja osien suunnittelun näkökulmasta. Konepajateollisuudessa kokoonpanotoimintojen osuus tuotteen valmistuskustannuksissa on merkittävä, puhutaan noin 20–40 %:n -osuuksista. Se, että saataisiin kokoonpanotoimintoja tehostettua, sovelletaan seuraavia yleisohjeita (Laakko & ym. 1998, 21):

- liitos- ja vastapintojen huolellinen suunnittelu ja sovitteiden valinta
- taloudellisesti valmistettavat toleranssit
- osakokoonpanot ja rakenneryhmät yhteneviksi
- sopivien työkalujen valinta ja onko tilaa työkalun käytölle?
- tarkistusten ja mittausten suorittamisen helppous
- kokoonpanon purkaminen tarvittaessa helposti käytettävissä olevilla työkaluilla.

Yleisohjeiden lisäksi pitää huomioida, että kokoonpantavuustarkistuksia pitäisi pystyä tekemään CAD-järjestelmän avulla useissa eri vaiheissa niin koko tuotteen kuin sen osienkin tasolla.

Laakko ja ym. (1998, 21) kertovat vielä edellä mainittujen tuotesuunnittelutapojen lisäksi kokoonpanoystävällisestä suunnittelusta (Design for Assembly, DFA). Sen keskeisiä asioita on kokoonpantavuuden analysointi, jonka on havaittu olevan viime vuosina tärkeä suunnittelun kehitysalue ja kilpailutekijä, jonka keinoin voi säästää säästöjä tuotteen valmistuskustannuksissa.

Tässä työssä huolellinen suunnittelu vaatii päämittojen tarkastelua ja sitä, että ne pysyvät annettujen toleranssien sisällä. E-sääntö 55 antaa vetolaitteelle monia määräyksiä, jotka pitää huomioida suunnittelun aikana. Kokoonpanon huomioonottavaa tuotesuunnittelua hyödyntäen on tärkeää saada tehtyä tuote joka on helppo, nopea ja tuotannollisesti tehokas valmistaa.

Vetolaitteet ovat rakenteeltaan suhteellisen yksinkertaisia muodoiltaan, että niiden määramittojen tarkastaminen lienee melko ongelmaton missä valmistuksen vaiheessa tahansa. Vetolaitteet kokoonpannaan suurimmaksi osaksi hitsaamalla, joten on huomioitavana mahdolliset hitsaamisen aikana tulevat teräsrakenteen muodonmuutokset, jotka voivat vaikuttaa määramittoihin.

Vetokuulaa ja vetolaitteeseen liitettäviä astinlautoja ei kokoonpanna hitsaamalla vaan ne kiinnitetään ruuvikiinnityksin. Vetokuula ja astinlautakiinnikkeet ovat valmiita komponentteja. Vetokuulan mitat määrää E-sääntö 55. Astinlautakiinnikkeen mitat tulevat asiakkaalta ja ne pitää ottaa huomioon vetolaitteen suunnittelussa.

Normaalien työkalujen käyttö niin asennuksessa kuin kokoonpanossa, tulee tuskin olemaan missään vaiheessa kynnskysymys.

Vetolaitteita tutkimalla pystyy huomaamaan, että ne ovat pääpiirteiltään melko yksinkertaisia tuotteita, ja että niiden suunnittelussa pystyy käyttämään symmetriaa hyväkseen. Asiakas määrittelee, että vetolaitteen komponentit tulisi rakentumaan pääosin 8 mm:n levymateriaalista valmiin 1700 mm:iä pitkän kehysputken ympärille. Tästä johtuen oli järkevää käyttää suunnittelussa suuntaa, jossa huomioidaan levytyöstökeskuksen sekä särmäyskoneen käyttö. Huomioitavana oli, että minkälaisia muotoja levytyöstökeskuksella pystyy tekemään ja minkälaisia muotoja särmäyskoneella on mahdollista kantata.

Ulrich ja Eppinger käsittelevät kirjassaan Product Design and Development (2008, 12–15) saman tyyllisiä tuotekehitysprosesseja kuin Laakko ja ym. (1998). Ulrich ja Eppinger kertovat yleisestä tuotekehitysprosessista, joka on järjestys askeleita tai aktiviteetteja, jonka yritys toimeenpanee saavuttaakseen suunniteltavan ja kaupallisen tuotteen. Jotkut askeleet ovat enemmän ajatustasolla toimivaa kuin fyysistä työtä. Jotkut yritykset noudattavat tarkkaa tuotekehitysprosessia ja jotkut eivät edes osaa kuvata omaa prosessiaan. Jotkut yritykset noudattavat monia eri prosesseja aina uuden projektin alkaessa.

Hyvin määritelty tuotesuunnitteluprosessi on Ulrich ja Eppingerin (2008, 12–15) mukaan hyödyllinen seuraavista syistä:

- laadun varmistus. Hyvin suunniteltu tuotesuunnitteluprosessi sisältää ennalta määrättyjä järkeviä tuotannollisia vaiheita, jotka varmistavat suunniteltavan tuotteen laadun.
- organisointi. Hyvä tuotesuunnitteluprosessi määrittelee kaikkien prosessissa mukana olleiden tehtävät niin tarkasti, että jokainen tietää kenen kanssa toimia.

- suunnittelu. Suunnitteluprosessi sisältää välietappeja joiden saavuttaminen ennalta määrättyssä aikataulussa ovat osa prosessia.
- johtaminen. Suunnitteluprosessi on kaikkien mukana olleiden tehokkuuden mittatikku. Vertaamalla todellisia tapahtumia saavutettuun suunniteltuun prosessiin johto voi tunnistaa ongelma-alueet.
- parantaminen. Organisaation suunnitteluprosessin huolellinen dokumentointi usein auttaa helpottamaan prosessin parantamisen mahdollisuudet.

Yleinen suunnitteluprosessi sisältää Ulrich:n ja Eppinger:n (2008, 13) mukaan kuusi vaihetta tiivistetysti:

- vaihe 0: Suunnittelu. Määritellään markkinasegmentit. Arvioidaan tuotearkkitehtuurit ja uudet teknologiat. Määritellään tuotteen rajoitteet ja tarantoimitusketjut.
- vaihe 1: Konseptikehitys. Kerätään asiakkaan tarpeet. Rakennetaan ja testataan tuoteprototyypit. Arvioidaan kustannukset ja selvitetään patenttiasiat.
- vaihe 2: Järjestelmätason suunnittelu. Kehityssuunnitelma tuotevaihtoehdoille ja -perheelle. Uudistetaan teollista muotoilua. Asetetaan tuotteen hintakatto.
- vaihe 3: Yksityiskohtainen suunnittelu. Kehitetään markkinointisuunnitelma. Valitaan materiaalit. Suunnitellaan työkalut.
- vaihe 4: Testaus ja parantelu. Mainostetaan tuotetta ja järjestetään kenttätestaus. Kestävyys ja suorituskykytestausta. Parannetaan valmistus ja tuotantoprosesseja.
- vaihe 5: Tuotannon ylösajo. Esituotantomallit valikoiduille asiakkaille. Arvioidaan ennakoarviot. Käynnistetään täysi tuotantoprosessi.

Ulrich ja Eppinger käsittelevät kirjassaan laajempaa tuotekehitysprosessia kuin tässä työssä on tarpeen. Laakko ja ym. (1998) kiteyttävät tuotekehitysprosessin kuvauksen paremmin.

Ulrichin ja Eppingerin määrittelemän hyvin määritellyn tuotekehitysprosessin mukaisesti suunniteltaessa tässä tuotteessa laadunvarmistus olisi tärkeää. Missään suunnittelun vaiheessa ei tule oikaistua. Kyseessä kuitenkin tuote, jonka tulee täyt-



tää EU-määräykset ja jota käytetään tieliikenteessä. Huonosti suunniteltu vetolaite voi särkyessään aiheuttaa suurta vaaraa liikenteessä.

Organisaation järjestely tämän tuotteen suunnitteluprosessin aikana rajoittunee asiakkaan ja yhden suunnittelijan välille.

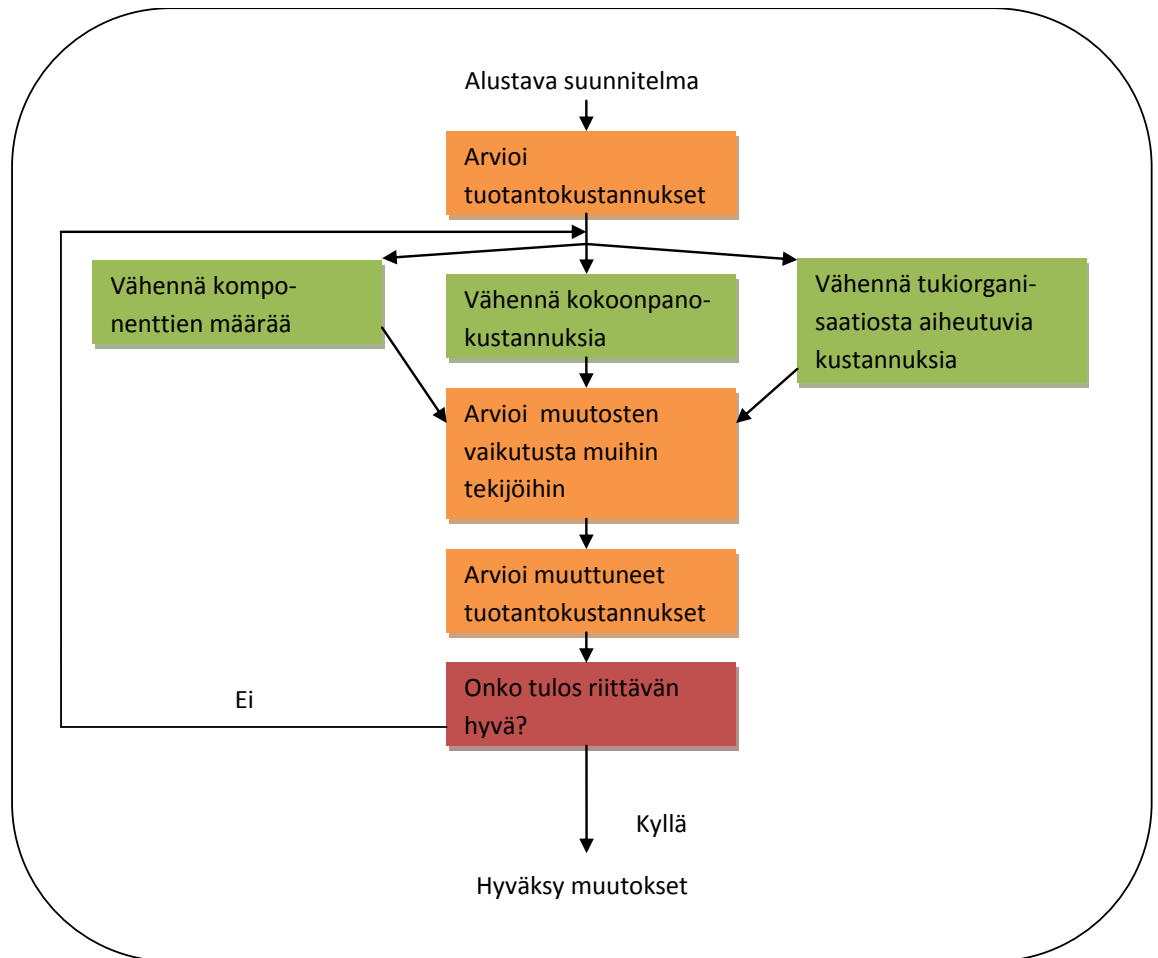
Tämän työn voi jakaa neljään välivaiheeseen. Ensimmäinen vaihe on ennakkotietojen kerääminen, toinen suunnittelu, kolmas prototyypin valmistaminen ja neljäs prototyypin sovitus ja dokumentointi.

Se, miten suunnittelu- ja tuotekehitysprosessin lopulta onnistuu, selviää käytännössä asiakkaan ja opinnäytetyöohjaajan palautteesta. Jokainen tuotekehitysprosessi on kuitenkin erilainen, tarkastellaan sitä asiakkaan tai tuotteen näkökulmasta.

Ulrichin ja Eppingerin suunnitteluprosessin vaiheita noudattamalla pystyy suoriutumaan vaativan ja suurenkin tuotteen tai tuoteperheen suunnitteluprosessista, mutta tätä työtä varten vaiheet ovat turhan laajat, jotta niiden käyttö olisi tehokasta ja kannattavaa.

## **2.2 DFMA-suunnittelu**

Laakko ja ym. (1998, 21) kertovat kokoonpanoystävällisestä suunnittelusta (Design for Assembly DFA). Laajemmin voidaan puhua DFMA-suunnittelusta (Design for Manufacturing and Assembly) eli valmistus- ja kokoonpanoystävällisestä suunnittelusta. Laakko ja ym. (1998, 184–185) kuvaavat DFMA-suunnittelua viitaten Ulrichin ja Eppingerin Product Design and Development -kirjaan. DFMA-prosessi kuvataan kuviossa 1.



Kuvio 1. DFMA-prosessi.

DFMA-prosessia voidaan soveltaa joko tuotekehitysvaiheessa olevaan prototyyppiin tai jo tuotannossa olevaan tuotteeseen, jota prosessin mittaan yritetään parantaa ja päästä mahdollisimman lähelle edullisinta kokonaisratkaisua. Prosessia käydään niin monta kertaa läpi, että tuotteeseen ollaan tyytyväisiä. (Laakko & ym. 1998, 185).

DFMA-suunnittelu käsittää kaksi osa-aluetta: valmistusystävällinen (DFM) ja kokoonpanoystävällinen suunnittelu (DFA). Molempia kuitenkin käytetään optimaalissa tilanteessa yhtä aikaa rinnakkain (Laakko & ym. 1998, 185–186).

### 2.2.1 Valmistusystävällinen suunnittelu (DFM)

Laakko ja ym. (1998, 186) kertovat, että valmistusystävällinen suunnittelu, eli DFM (Design for Manufacturing), pyrkii ottamaan tuotteen osien valmistettavuuteen vaikuttavat seikat huomioon tuotesuunnittelun aikana.

Valmistusprosessin aikana kustannuksia aiheutuu

- raaka-aineista
- työstä
- komponenteista
- laitteista
- työkaluista
- informaatiosta
- varastoinnista
- palveluista
- energiasta
- jätteistä

Nämä voidaan jakaa vielä kolmeen eri ryhmään: osien valmistuksesta aiheutuviin kustannuksiin, niiden kokoonpanosta aiheutuviin kustannuksiin ja yrityksen toiminnasta aiheutuviin kustannuksiin (Laakko & ym. 1998, 186).

Menettelyn aikana on pyrkimyksenä siis vähentää tuotteen osien määrää sekä alentamaan kokoonpanosta ja organisaatiosta aiheutuvia kustannuksia. Kustannusten minimointi perustuu valmistusprosessin ymmärtämiseen ja standardointiin. Poistetaan tuotteesta tarpeettoman tiukat toleranssit. Viimeistelyä ei tehdä piiloon jääville osille. Pyritään käyttämään standardoituja osia, jotta voidaan kasvattaa sarjoja ja minimoimaan työkaluihin meneviä kustannuksia. Tuote kannattaa myös valmistaa mahdollisimman vähin työvaihein ja tehdä suuria sarjoja (Laakko & ym. 1998, 185).

Tämänkin tuotteen kohdalla pyritään käyttämään valmiita komponentteja mahdollisimman paljon. Montaa osaa vetolaitteessa ei ole, mutta standardiosia tai jo valmiita komponentteja käyttämällä vältetään uusien osien suunnittelulta ja uusien osien mahdollisilta varastoinnin tuomilta kustannuksilta.

### 2.2.2 Kokoonpanoystävällinen suunnittelu (DFA)

Kokoonpanoystävällinen suunnittelu eli DFA (Design for Assembly) on tapa, jolla pyritään vähentämään osien kokoonpanosta aiheutuvia kustannuksia. Kokoonpanokustannusten vähentäminen perustuu lähinnä osien lukumäärän vähentämiseen ja komponenttien asennettavuuden helpottamiseen. Asennettavuuden parantamiseksi voidaan lisätä osiin symmetriaa, jotta oikean asennon hakeminen on helpompaa ja vähentää pintoja joiden mukaan osat pitää saada linjattua. Komponenttien tarpeellisuutta voidaan pohtia kolmen säännön kautta (Laakko & ym. 1998, 187):

- täytyykö osan liikkua muihin osiin nähden?
- täytyykö osan olla eri materiaalia kuin muut osat?
- täytyykö jossakin vaiheessa osa voida irrottaa asennuksen tai huollon vuoksi?

Jos osa ei täytä yhtään ehtoa, se saattaa olla integroitavissa muihin osiin.

Pääsääntöisesti vetolaitteet ovat symmetrisiä rakenteeltaan, joten jotkin komponentit voidaan suunnitella toistensa peilikuviksi. Käytettäessä levymateriaaleja pystytään kaksi identtistä levyosaa särmäämällä saada toistensa peilikuviksi samoilla särmäysasetuksilla ainoastaan kääntämällä kappale ympäri.

Suunniteltavaan vetolaitteeseen ei tule liikkuvia osia ja jokainen osa on käytännössä samaa materiaalia. Asennuksen tai huollon vuoksi vetolaitteeseen tulee asennusreiät, joten komponenttien tarpeellisuus säännöt täyttyvät.

### 2.2.3 DFMA:n tavoitteet

DFMA-prosessin tavoitteet voidaan tiivistää kymmeneen perussääntöön (Laakko & ym. 1998, 188):

1. Minimoi osien määrä
2. Minimoi kokoonpanossa toisiinsa asemoitavien pintojen määrä
3. Käytä top-down suunnittelua

4. Helpota osien paikalleen tuomista
5. Maksimi osien symmetria
6. Maksimoi osien yhteensopivuus
7. Optimoi osien käsiteltävyys
8. Vältä erillisiä lukituselementtejä
9. Käytä itse lukittuvia osia
10. Käytä modulaarista suunnittelua

DFMA-prosessin tavoitteet huomioon ottamalla voidaan valmiista vetolaitteista laskea niissä olevien osien määrä noin kymmeneen jättämällä standardiosat kuten pultit, mutterit ja prikat pois sekä mahdolliset lisäosat, kuten astinlaudat. Useampaa osaa on turha alkaa suunnitella. Vetolaitteessa käytetään valmista neliöputkesta valmistettavaa kehyspalkkikomponenttia, joten sen ympärille on helppo suunnitella osat, jotka voidaan asentaa oikeaan asentoon ja hitsata paikalleen. Symmetriaehdot täyttyvät ja osien yhteensopivuus on huomioituna.

Kuten jo aiemmin on mainittu, vetolaite tullaan pääosin kasaamaan hitsaamalla, joten sille rakennetaan hitsausjigi. Sen avulla hitsauskokonpano voidaan tehdä niin, etteivät päämitat pääse muuttumaan hitsaamisen jälkeen. Pelkän prototyypin rakentamista varten on kannattamatonta valmistaa järeää hitsausjigiä vaan on varmistettava muilla keinoin prototyypin mittatarkkuus hitsauskokoonpanossa. Koska vetolaite on jälkiasennettava, on siihen kuuluttava muutama ruuvikiinnitys ajoneuvoon asennuksen yhteydessä. Myös vetokuula tullaan asentamaan ruuvikiinnityksin.

Laakko ja ym. (1998, 188) mainitsevat vielä miten CAD-järjestelmissä on huomioitu valmistettavuus ja kokoonpantavuus. On olemassa DFM- ja DFA-sovelluksia, mutta ne toimivat lähinnä erillisinä ohjelmistoina. Toki nykyisissä CAD-ohjelmistoissa on valmiita komponenttikirjastoja ruuveille, putkipalkeille ja monille muille standardiosille, jotka nopeuttavat suunnittelua ja kokoonpanojen mallintamista. Paras olisi saada räätälöityä DFMA-järjestelmä johonkin yrityksen käyttämään CAD-järjestelmään, jolloin valmistettavuus ja kokoonpantavuuden huomioonottaminen saataisiin luonnolliseksi osaksi suunnittelutyötä.

## 2.3 Kokoonpanon mallintaminen

Kokoonpano koostuu joukosta komponentteja, jotka koottuina suorittavat järjestelmän toiminnon. Kokoonpanojen suunnitteluprosessi keskittyy lähinnä komponenttien ja alikokoonpanojen välisiin suhteisiin kuin yksittäisten kappaleiden suunnitteluun (Laakko & ym. 1998, 68)

Laakko ja ym. (1998, 68) jatkaa vielä, että perinteiset CAD-järjestelmät tukevat hyvin yksittäisten osien mallintamista, minkä takia kokoonpanot mallinnetaan valmiista komponenteista. Tämä ei kuitenkaan ole luonnollista tuotesuunnitteluprosessia, joka lähtee liikkeelle vaatimusten määrittelystä ja luonnostelusta.

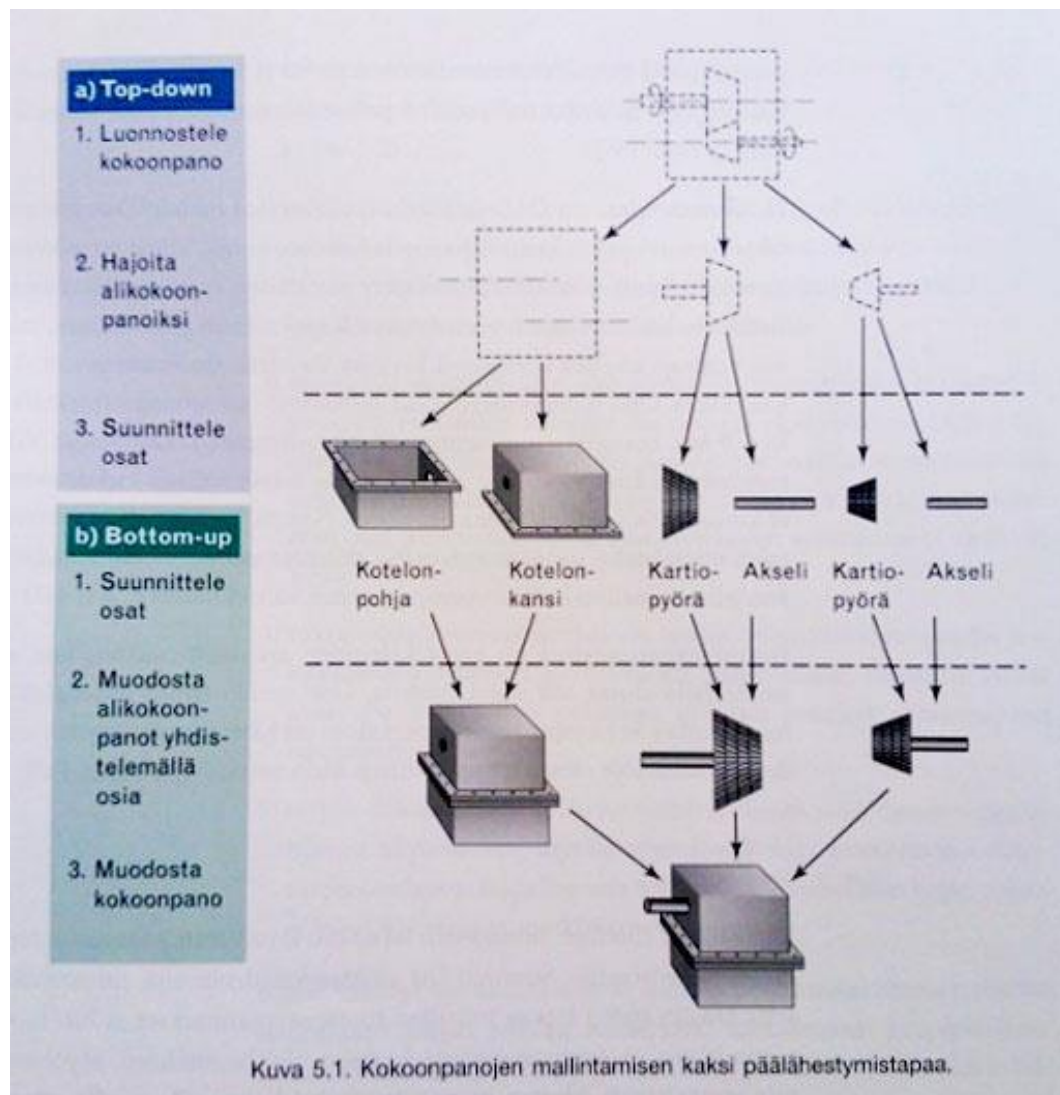
Vetolaitteen suunnittelussa lähdetään liikenteeseen suoraan kokoonpano-osista, koska on nähtävä minkälaiset rakenteet pystyvät mahtumaan ajoneuvon alle vetolaitetta varten tehtyihin kiinnityspisteisiin ja että väistetään muut ajoneuvon rakenteet. Aiempia vetolaitesuunnittelukuvia tarkastelemalla ja E-sääntöön 55 perehtymällä pystyy toteamaan, että tärkeässä roolissa ovat vetolaitteen nupin paikka suhteessa vetolaitteen kiinnityspisteisiin ja miten vetolaite on suunniteltava, että se mahtuu ajoneuvon alle osumatta esimerkiksi muovisiin puskureihin.

DFMA-prosessin tiivistetyssä kymmenessä perussäännössä ehdotetaan käyttämään top-down suunnittelua, mutta kokoonpanon mallintamisessa voidaan periaatteessa valita kaksi etenemissuuntaa, joista toinen on bottom-up-menetelmä (Kuvio 2). (Laakko & ym. 1998, 68)

### 2.3.1 Botton-up-menetelmä

Bottom-up-menetelmässä yksittäiset kokoonpanon osat ja alikokoonpanot täytyy olla täysin määritelty ennen kokoonpanon aloittamista. Tapa muistuttaa perinteistä CAD-järjestelmän tapaa luoda kokoonpanot. Menetelmässä kokoonpanomalli muodostetaan mallintamalla ensin kaikki kokoonpanoon kuuluvat osat yksitellen, minkä jälkeen niistä muodostetaan alikokoonpanot ja lopulta tuotteen kokoonpano (Laakko & ym. 1998, 68–70).

Tämä menetelmä on CAD-järjestelmien teknisten mahdollisuuksien takia perinteisempi tapa luoda kokoonpanoja. Bottom-up-menetelmä on hyvä tapa mallintaa tuote, kun ei tehdä alusta asti uutta tuotetta, tai suunnitellaan vain osa suuremmasta kokoonpanosta (Laakko & ym. 1998, 70).



Kuvio 2. Kokoonpanojen mallintamisen kaksi päälähestymistapaa (Laakko & ym. 1998, 69).

### 2.3.2 Top-down-menetelmä

Top-down-järjestys on tuotekehittelijän tapa luoda uusia tuotteita. Tuotekehittelijä alkaa ensin siitä mitä pitää saada valmiiksi ja alkaa pilkkoa kokonaisuutta pienim-

miksi kokonaisuuksiksi saaden lopulta yksityiskohtaiset osat määriteltäviä riittävän tarkasti (Laakko & ym. 1998, 68).

Mekaanisen tuotteen suunnittelu tapahtuu tavallisesti top-down-menetelmällä. Suunnittelija laatii käsitteellisen ja toiminnallisen tason tuotteesta vaatimuksineen ja tekee karkean yleisluonnoksen. Tämän jälkeen tarkennetaan luonnostasoa lujuuden, kustannusten, valmistettavuuden, huollettavuuden ja muiden näkökulmien asettamista näkökulmista. Tällaista CAD-järjestelmää on kuitenkin vaikea toteuttaa, jonka johdosta bottom-up-menetelmä on suositumpi (Laakko & ym. 1998, 70).

Näitä kahta menetelmää on luontevinta ehkäpä käyttää yhtä aikaa rinnakkain. Täytyy ajatella kokonaisuutta ja sovittaa siihen yksittäisiä komponentteja. Tilauksen pohjalta pystyy määrittelemään karkean yleisluonnoksen siitä, mitä pitää suunnitella. Tämän jälkeen pystytään tarkastelemaan jo valmiita yksittäisiä komponentteja, joiden ympärille vetolaite on hyvä suunnitella. Se, minkälaisista osista vetolaite koostuu, riippuu pitkälti siitä, minkälaisen mittojen sisään vetolaite tulee rakentua, eli mitkä ovat kiinnityspisteiden koordinaatit E-säännön 55 määritysten ja valmistajan määrittelemien mittapisteiden suhteen. Ajoneuvon ulkoiset mitat vaikuttavat tietysti myös suunnitteluun ja vetolaitteen muotoiluun.

## **2.4 FEM ja elementtimenetelmät**

Mallin FEM-analysointi on keskeinen osa tuotesuunnitteluprosessia varsinkin tällaisen vetolaitteen, koska se tulee tieliikennekäyttöön ja sillä vedetään suuria massoja. Vetolaitteen kestävyys on siis hyvä varmistaa. Tyypin hyväksyntätesteissä vetolaitteelle tullaan tekemään rasiustestejä, joita silmällä pitäen on hyvä tehdä ennakkoon testejä.

FEM-analysoinnin ajatuksena on varmistaa tuotteen suunnittelun oikeellisuus ja analyysijä käytetään lujuusteknisissä tarkasteluissa. Samalla menetelmällä voidaan toki myös suorittaa värähtely- ja virtausanalyysijä. Mallille voidaan tehdä periaatteessa kaikki ne analyysit, jotka ovat matemaattisesti ratkaistavissa fysikaalisia ehtoja käyttäen. (Laakko ja ym. 1998, 159).



FEM perustuu pienien elementtien käyttöön geometrian kuvaamisessa. Puhutaan mesh-verkosta. Analyyseja varten tarvitaan mallin geometrian lisäksi reunaehdot, kuormitukset ja materiaalitiedot. Elementtien tulee olla kaikkien kytkettynä toisiinsa ja laskennan tulee olla kohtuullisen yksinkertaista (Laakko & ym. 1998, 161). Puhutaan kuitenkin likimääräisestä menetelmästä, koska tällä menetelmällä ei voi ikinä saavuttaa absoluuttista tarkkuutta.

### 3 SUUNNITTELU JA VALMISTUS

#### 3.1 Mittatiedot

Kuten järjestelmällisen tuotekehitysprosessin alussa kuvataan ensimmäisenä vaiheena on esitutkimus. Tämän työn esitutkimuksena oli selvittää tarvittavat mitat vetolaitteen vetokuulan tarkalle paikalle. Mitat on oltava ajoneuvon valmistajan ilmoittamat, että vetolaite pystytään testata hyväksytysti tyyppihyväksyntätesteissä. Tarvittavien mittojen selvitys oli myös asiakkaan ehto suunnittelun aloittamiselle. Yhdistyneiden kansakuntien Euroopan talouskomission (UNECE) sääntö nro 55 - Ajoneuvoyhdistelmien mekaanisten kytkinosien hyväksyntää koskevat yhdenmukaiset vaatimukset (lyhyemmin E-sääntö 55) on se EU-säännös, jonka mukaan vetolaitteet on suunniteltava, jotta ne ovat tieliikennekäyttöön sopivia. E-sääntö 55 määrittelee muun muassa miten mekaanisten kytkinlaitteille haetaan hyväksyntää ja mitkä ovat kytkinlaitteiden yleiset vaatimukset.

Ensimmäiseksi maahantuojaalta pyydettiin tarvittavia mittapiirustuksia vetolaitteen suunnittelua varten, mutta heidän mukaansa Ford Werke GmbH ei niitä luovuta. On kuitenkin selvää, että valmistajan on annettava päämitat, ennen kuin sopivan vetolaitteen pystyy suunnittelemaan ja valmistamaan tyyppihyväksyntää varten. Testeihin vääränlaista vetolaitetta ei ole syytä lähettää, koska se olisi turha kustannuserä. E-sääntö 55:n sivun L 227/45 kohta 3.1.3 ja 3.1.4 määrittelee tarkasti, että ajoneuvon vetovalmistajan on ilmoitettava kaikki tarvittavat tiedot hinauslaitevalmistajalle eli tässä tapauksessa vetolaitteen suunnittelijalle. Tarkka teksti kuuluu seuraavasti:

3.1.3 Ajoneuvon valmistaja määrittää kiinnityspisteiden sijainnit vetokuulan ja kiinnityskorvakkeen kiinnittämiseksi (ks. tämän säännön 5.3.2 kohta).

3.1.4 Testaukseen toimitetuissa laitteissa on oltava kaikki osat ja rakenteelliset yksityiskohdat, joilla voi olla vaikutusta lujuuteen (esimerkiksi sähkörasialevy tai merkinnät). Testattavan näytteen on sisällettävä kaikki osat niihin kohtiin saakka, joista laite kiinnitetään ajoneuvoon. Ajoneuvon valmistaja ilmoittaa vetokuulan ja kytkinkuulan asennuspisteiden geometrisen aseman suhteessa referenssiiviivaan, ja se ilmoitetaan testausselesteessä. Kaikki kiinnityspisteiden suhteelliset

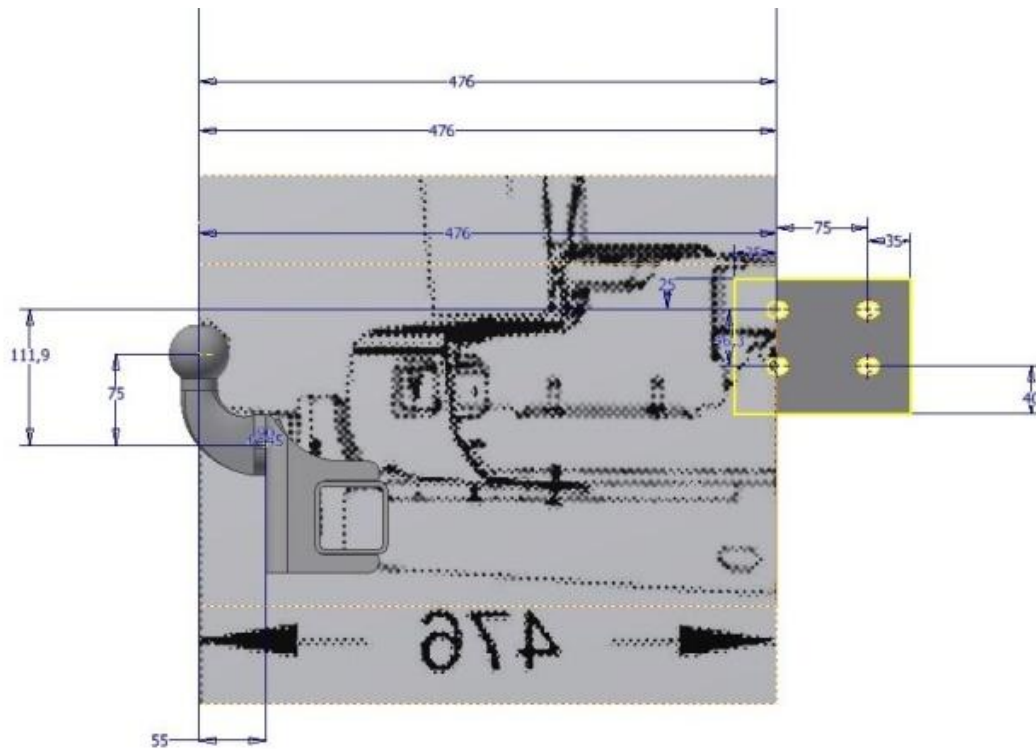
asemat suhteessa referenssiiviivaan, jota varten vetoajoneuvon valmistaja ilmoittaa kaikki tarvittavat tiedot hinauslaitevalmistajalle, toistetaan testipenkissä (E-sääntö 55, [Viitattu 21.4.2013], 45)

Järjestelmällisen tuotekehitysprosessin luonnosteluvaihetta, eli tässä vetolaitteen suunnittelua, saatiin aloitettua vasta noin kahden kuukauden odottamisen jälkeen, kunnes tarvittavat mittatiedot viimein saapuivat maahantuojalta.

### **3.2 E-säännön 55 mukainen suunnittelu**

Itse vetolaitteen mallinnus tehtiin Autodesk Inventor -ohjelmaa käyttäen. Ensimmäisten vetolaitelahmotelmien ollessa valmiina, asiakkaan kanssa sovittiin tapaaminen, jolloin tarkasteltiin miten vetolaite tulee rakentua. Asiakkaalla oli muutamia vakiokomponentteja joiden ympärille uudetkin vetolaitteet oli hyvä saada toimimaan mahdollisuuksien mukaan. Tämä tukee myös DFM-suunnittelun periaatteita. Yhtenä huomioitava asiana oli saada asiakkaan vetolaitteissaan käyttämä astinlautakiinnitys sopimaan vetolaitteeseen. Mahdollisesti myös jo vanhempaan Transit:iin suunniteltua keskikiinnikettä, johon vetokuula kiinnitetään, oli hyvä saada käytettyä hyväksi.

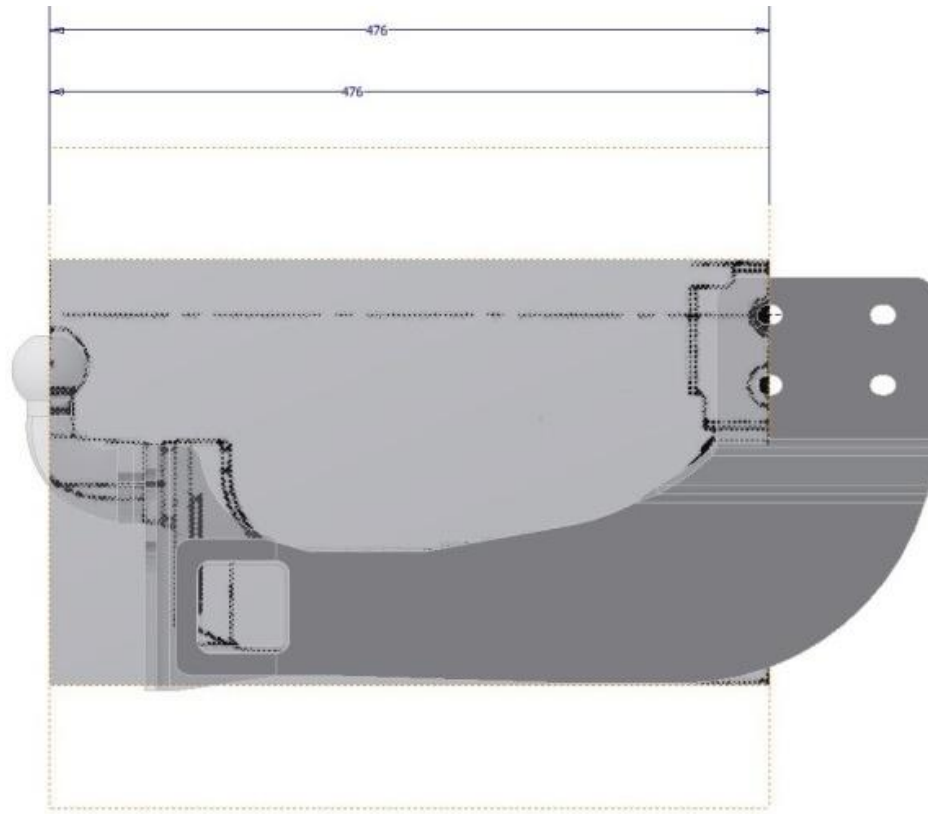
Piirrettyjen suunnitelmien pohjalta kävi selväksi, että suunniteltavaan vetolaitteeseen oli kuitenkin tehtävä täysin uusi keskikiinnike. Vetokuulan paikkaa ei saa oikeaksi vanhalla keskikiinnikkeellä, ellei puskuriin tehtäisi reikiä. Ensimmäiseen malliin kokeiltiin kahtakin entuudestaan käytössä olevaa keskikiinnikettä, mutta kuviosta 3 näkee, että ajoneuvon puskuri tulee tielle.



Kuvio 3. Vanhan keskikiinnikkeen sovitus vetokuulan tarkan sijainnin mukaisesti. Puskuri tulee tielle.

Suunnittelun apuna olivat valmistajalta saadut mittapiirustukset, joista selvisi myös ajoneuvon poikkileikkausprofiili, jonka mukaan sovitettiin suunniteltu vetolaite päämittojen sisään. Tärkeimmät ja huomioitavat mitat olivat valmistajan antamat kiinnityspisteiden paikat sekä niiden suhteen tuleva vetokuulan paikka.

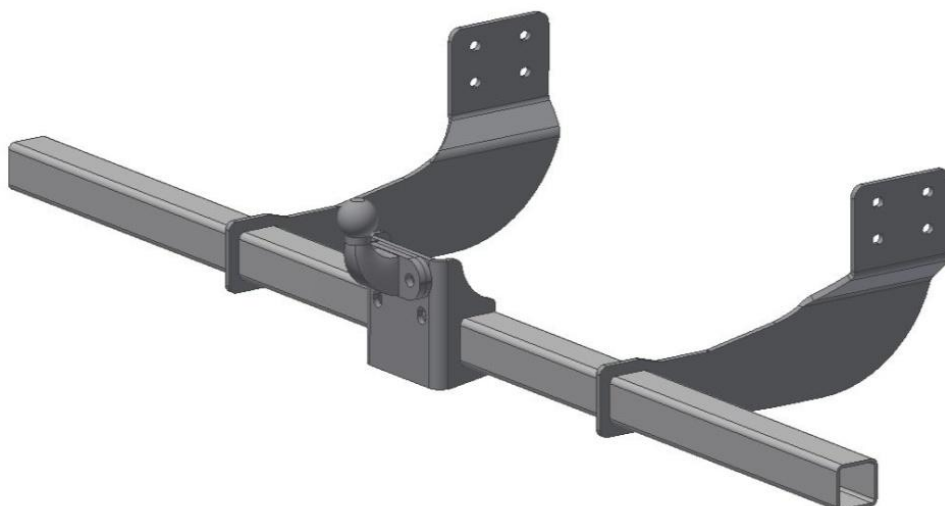
Uusi keskikiinnike suunniteltiin, jonka mukaan sovitettiin vakiokomponenttina käytettävä 60 x 60 x 4 profiiliputki. Alkuperäistä vetolaitteen profiilia oli hyvä mukailta, koska se väistää sopivasti ajoneuvon rakenteet (Kuvio 4).



Kuvio 4. Ensimmäinen mallinnus ajoneuvon runkoon kiinnitettävästä sivuosasta.

Ensimmäinen vetolaitteen suunnitelma oli valmis (Kuvio 5). Suunnitelman avulla pystyttiin hahmottamaan, miten vetolaitteeseen tullaan kiinnittämään tarvittavat astinlaudat. Niiden suunnittelemisen ei kuulunut työhön, mutta niitä tultaisiin kuitenkin käyttämään ja niiden sovitus oli huomioitava.

Kuvion 5 mukaisesta vetolaitteesta on hyvä myös huomata miten DFMA:n tavoitteita on käytetty hyväksi. Osien määrä on pidetty mahdollisimman minimissä. Sivuosat ja keskiosa on suunniteltu niin, että ne on helppo asentaa hitsauskokoonpanossa paikoilleen. Symmetriaa on myös käytetty hyväksi suunnittelun, osien valmistamisen ja kokoonpanon nopeuttamiseksi (osien nimet käyvät selviksi kuviosta 20).



Kuvio 5. Vetolaitteen ensimmäinen kokonaissuunnitelma.

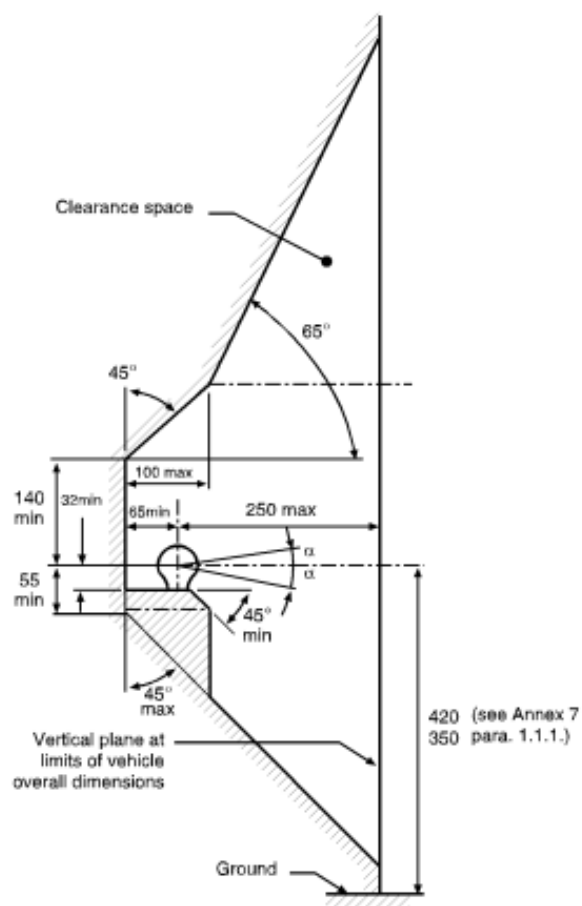


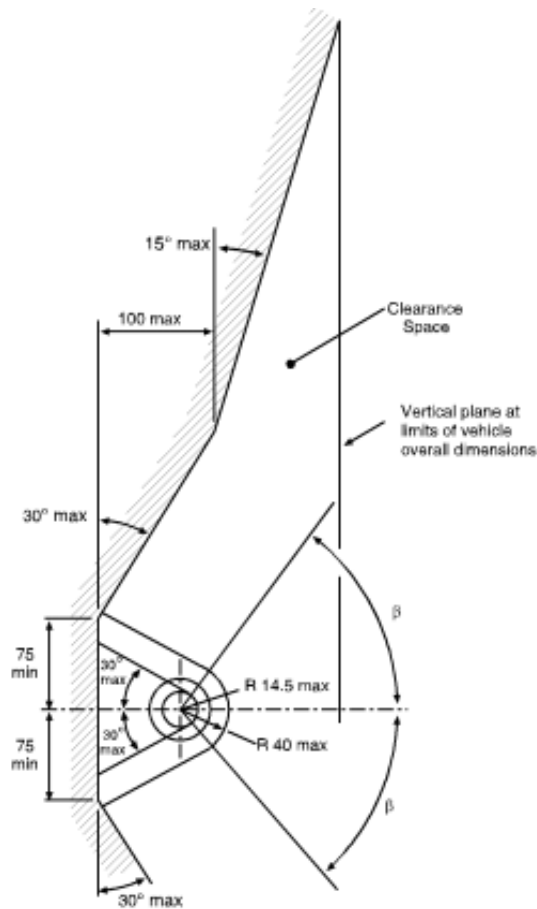
Figure 25 (a)

Clearance space for, and height of, coupling ball - side view

Kuvio 6. Vetokuulan vapaa tila ja korkeus, sivukuva (Regulation No. 55, [Viitattu 21.4.2013], 75).

Suomenkielinen E-sääntö 55 sisältää kuvan sivulla L 227/56, jossa määritellään vetolaitteen vetokuulan vapaa tila. Parempi ja yksiselitteinen kuva löytyy samaisen säännön englanninkielisestä painoksesta (Regulation No. 55) sivulta 75 ja 76 (Kuvio 6 ja 7).

Kuviosta 6 selviää, että vapaa tila vetokuulan keskiöstä lähimpään seinämään on 65 mm. Tässä vetolaitteessa käytetään asiakkaan toimittamaa vetokuulaa, jossa on erilliset kiinnityskorvakkeet. Vetokuula kuuluu luokan A 50-X ei-standardinmukaisiin halkaisijaltaan 50 mm:n vetokuuliin (E-sääntö 55, 3).



**Figure 25 (b)**

Clearance space for coupling ball - plan view

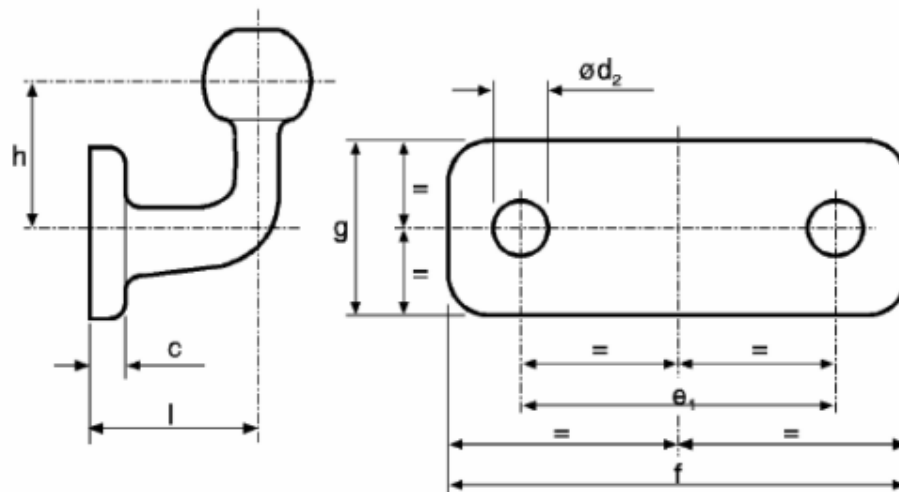
Kuvio 7. Vetokuulan vapaa tila, pohjakuva (Regulation No. 55, [Viitattu 21.4.2013], 76).

E-säännön 55 sivun L 227/20 kuvan 3 (Kuvio 8) ja sivun L 227/21 taulukko 2 (Taulukko 1) määrittelee luokan A 50-1 kuulakytkimen mitat. Vaikka nyt käytössä on ei-standardinmukainen kuulakytkin (A 50-X), niin käytössä oleva kytkin oli silti sa-

moissa toleranssien sisällä olevissa mitoissa kuin luokan A 50-1 kuulakytkin. Suunniteltavaan vetolaitteeseen tuleva kuulakytkin oli siis kuvion 8:n mittoihin verrattuna melko samankokoinen. Mitta  $h$  on 75 mm:ä ja mitta  $l$  55 mm:ä.

Kuva 3

Luokan A50-1 standardinmukaisten laippatyypisten kuulakytkimien mitat (ks. taulukko 2)



Kuvio 8. Luokan A 50-1 standardinmukaisen laippatyypisten kuulakytkimien mitat (E-sääntö 55, [Viitattu 21.4.2013], 20).

Taulukko 1. Standardinmukaisten laippatyypisten kuulakytkimien mitat (mm) (E-sääntö 55, [Viitattu 21.4.2013], 21).

Taulukko 2

Standardinmukaisten laippatyypisten kuulakytkimien mitat (mm), ks.kuvat 3 ja 4

Luokka	A50-1	A50-2, A50-4	A50-3, A50-5	Huom.
$e_1$	90	83	120	$\pm 0,5$
$e_2$	—	56	55	$\pm 0,5$
$d_2$	17	10,5	15	H13
$f$	130	110	155	$\pm 6,0 - 0$
$g$	50	85	90	$\pm 6,0 - 0$
$c$	15	15	15	suurin
$l$	55	110	120	$\pm 5,0$
$h$	70	80	80	$\pm 5,0$



Taulukon 1, edellä mainittuja käytössä olevan kuulakytkimen mittoja sekä kuvion 6 määrääviä vapaantilan mittoja tarkastelemalla pystyy toteamaan, että kuulakytkimen alle pitää tulla 10 mm korotuslevy, jotta E-säännön 55 mukaiset määräykset täyttyvät käytettävän kuulakytkimen osalta. Pelkkää kuulakytkintä käyttämällä vapaa tilaksi jäisi vain 55 mm:ä, mutta korotuspalalla saadaan aikaiseksi vaadittu 65 mm:in vapaa tila.

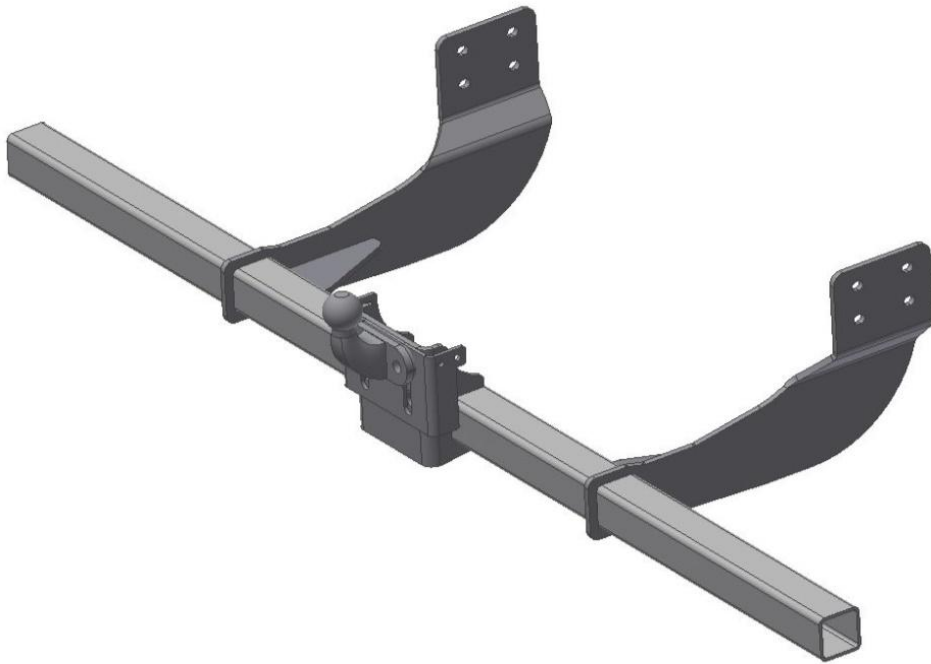
### **3.3 Astinlautakiinnitys**

Asiakas toimitti mallikappaleen astinlautakiinnitysosasta, joka olisi saatava sopimaan suunniteltavan vetolaitteen kanssa. Keskiosasta oli huomioitava ettei se ole liian leveä, jotta astinlaudan kiinnityslevy sopisi paikalleen.

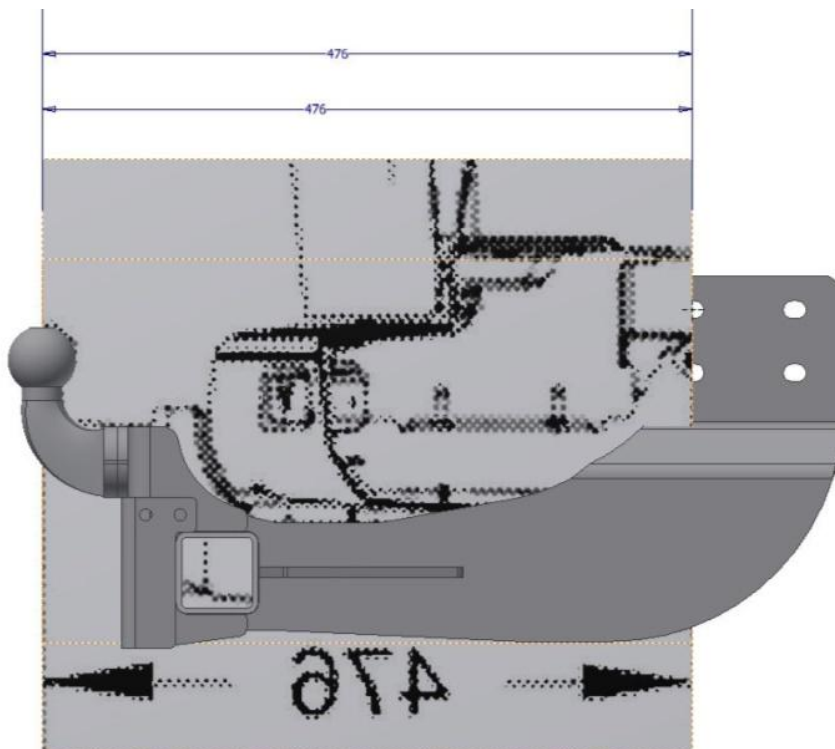
Tarkoituksena oli saada kiinnityslevy joko kuulakytkimen alle tai niin, että sen kiinnitysreikien lähellä oleva kulma tulee lepäämään 60 x 60 x 4 profiiliputkea vasten.

Kiinnityslevy sopi vetolaitteeseen periaatteessa kolmeen eri korkeuteen (Kuvio 9, 10 ja 11). Se, miten asiakas sen haluaa asentaa, tai mitkä ovat lopulliset astinlaudan korkeudet suhteessa maanpintaan, ovat lopulta loppukäyttäjistä kiinni.

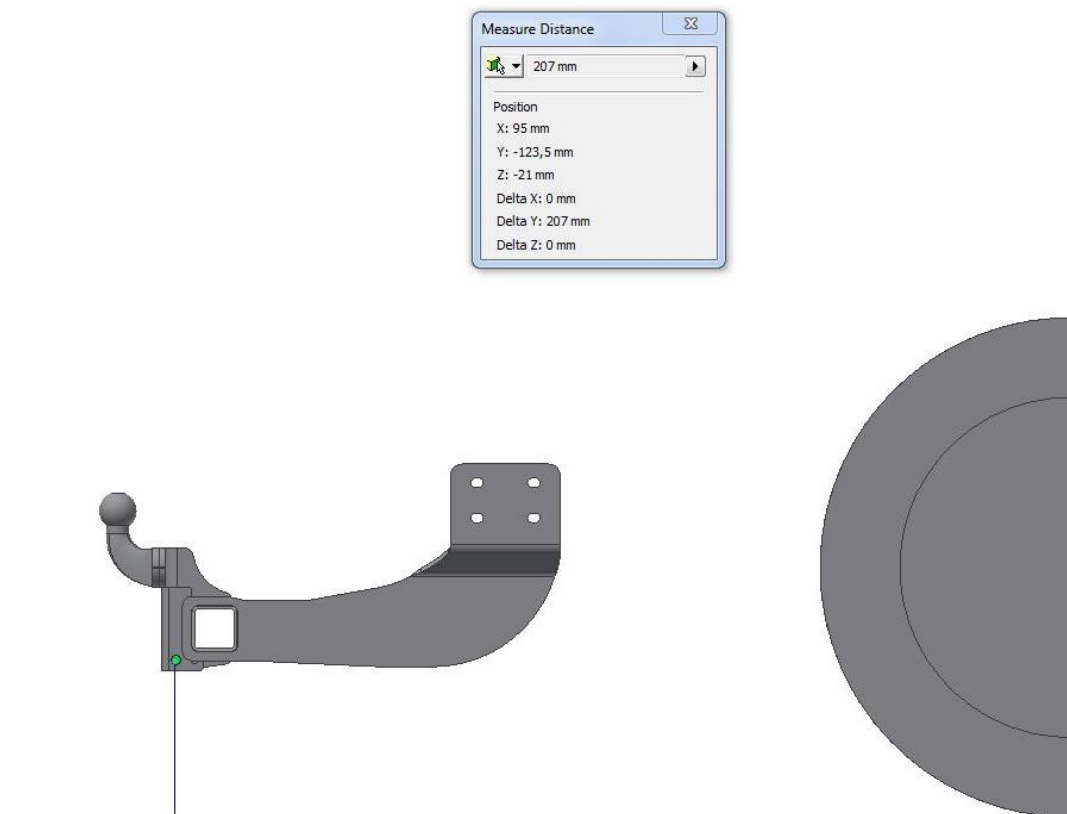
Astinlaudan saisi asennettua kolmeen eri korkeuteen niin, että korkeimmillaan sen kiinnitysreiät olisivat noin 344 mm:in, keskiasennossaan 292 mm:in ja matalimmillaan 207 mm:in korkeudella. Alin asento kuitenkin karsiutui pois, koska pistoke-rauta tulee lopulta sen tielle.



Kuvio 9. Astinlautan kiinnityslevy, yläasento.

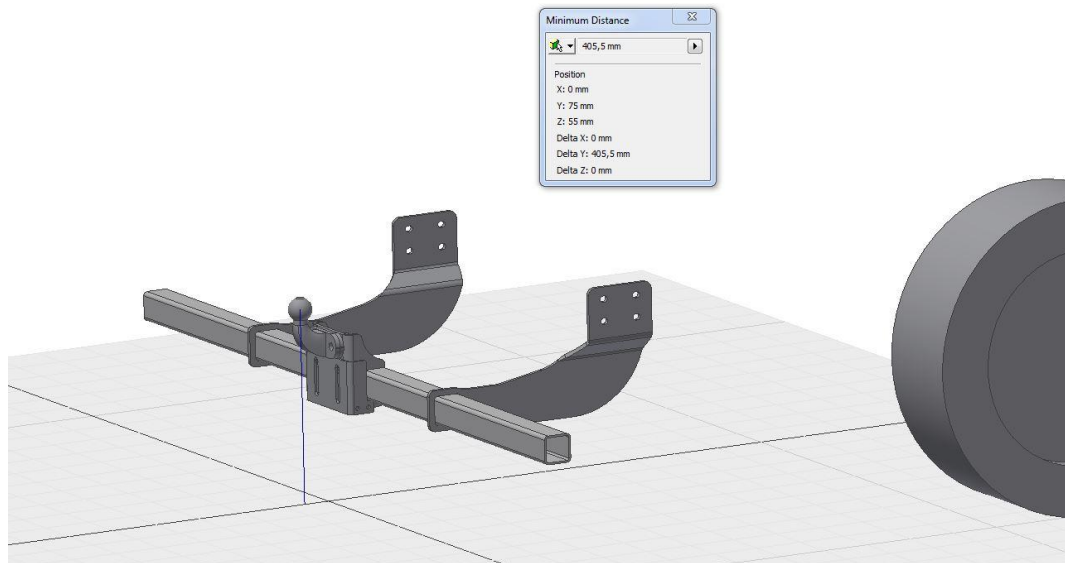


Kuvio 10. Astinlautan kiinnityslevy, keskiasento.



Kuvio 11. Astinlaudan kiinnityslevy, ala-asento.

E-sääntö 55 määrää millä korkeudella vetolaitteen kuulan tulee olla maanpinnasta. Kuviosta 6 pystyy näkemään, että vaihteluväli tulee olla 420 mm ja 350 mm:n välillä. Tämä täytyy toteutua myös silloin, kun vetoajoneuvo on lastattuna suurimpaan sallittuun akseleille jaettuun massaun (E-sääntö 55, L 227/61, kohdat 3 ja 3.1). Eli käytännössä silloin, kun ajoneuvo on lastattu maksimi kantavuuteensa.



Kuvio 12. Vetokuulan keskipisteen korkeus maanpinnasta.

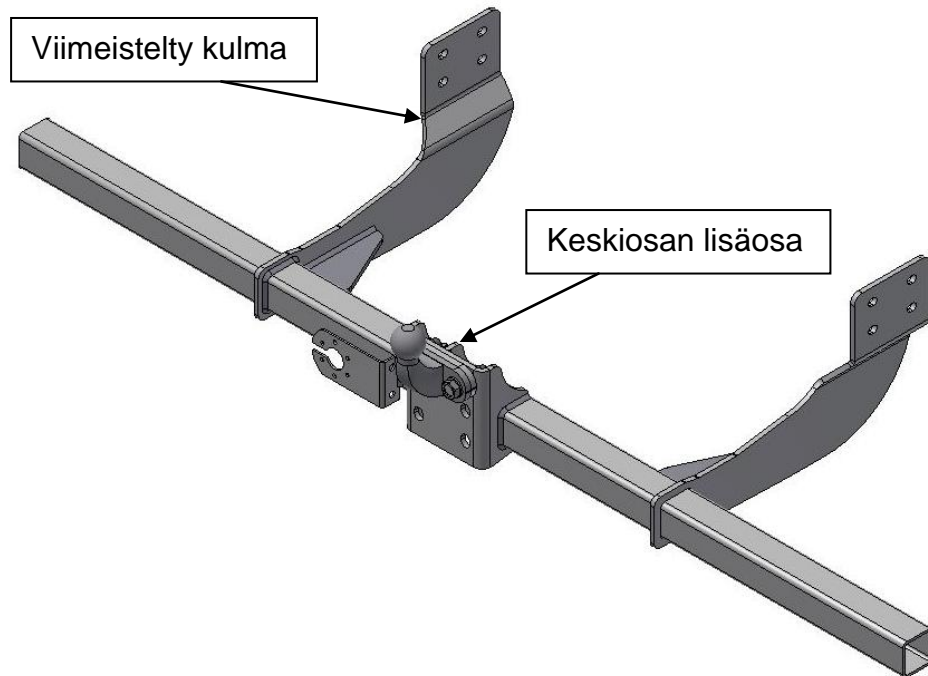
Kuviosta 12 nähdään, että vetokuulan keskipisteen korkeus maan pinnasta tulee noin 405 mm:iin, joka näiltä osin täyttäisi suunnitteluvaiheessa E-sääntö 55:n määrittelyt.

Vaikka suunnittelun tässä vaiheessa osat ovat melko valmiit, pystyy toteamaan, että DFMA:n tavoitteen top-down suunnittelua ei olla täysin pystytty toteuttamaan, vaan bottom-up-menetelmää on käytetty enemmän. Osat suunniteltiin yksitellen ja sijoitettiin paikoilleen. Valmistajan antamat kiinnityspisteiden mitat sekä vetokuulan tarkka paikka rajoittivat osien mitoitus ja antoivat lopulliset rajaehdot osien sijoittelulle.

### 3.4 Vetolaitteen FEM-tarkastelu.

Kuten Laakko ja ym. (1998, 159) kertovat niin FEM-analysointi on keskeinen osa tuotesuunnitteluprosessia. Ennen kuin tästä vetolaitteesta pystyy tekemään FEM-tarkasteluja Inventorilla, pitää siitä tehdä hitsauskokoontaminen. Vain tällä tapaa pystyy toteamaan realistisemmin kaikki rasitukset, joita myös hitsausaumoille tulee. Myös pultit, mutterit ja prikät kuuluvat kokoonpanoon ja FEM-tarkasteluun, joita käytetään muun muassa vetokuulan kiinnittämisessä. Muutaman FEM-tarkasteluajon jälkeen viimeisteltiin osien mitoituksia niin, että suurimmat terävät

kulmat poistettiin vetolaitteen sivuosista, joihin rasitukset voisivat vaikuttaa negatiivisesti. Keskiosaan lisättiin myös lisäosa keskelle, jotta keskiosan korkea muoto kestäisi mahdolliset rasitukset paremmin (Kuvio 13).



Kuvio 13. Vetolaitteen hitsauskokoontalon muutokset FEM-tarkastelun jälkeen.

Vetolaitteen FEM-tarkastelussa ei tarvitse ottaa huomioon astinautojen kiinnikettä, koska se ei tule vaikuttamaan itse vetolaitteen lujuuteen. E-sääntö 55 määrää minkälaisia kuormia vetolaitteen on kestävä tai tarkemmin ottaen minkälaiset dynaamiset testit vetolaitteelle tehdään.

E-säännön 55 sivun L227/5 kohdassa 2.11, 2.11.1 ja 2.11.3 määritellään:

2.11 Ominaisarvot  $D$ ,  $D_c$ ,  $S$ ,  $V$  ja  $U$  määritellään seuraavasti:

2.11.1  $D$ - tai  $D_c$ -arvo on vetoajoneuvon ja perävaunun välisen vaakasuuntaisen voiman teoreettinen viitevoima, ja sitä käytetään vaakasuuntaisten voimien laskentaperustana dynaamisissa testeissä.

Pystysuuntaisia kantokuormia välittämään soveltumattomille mekaanisille kytkinlaitteille arvo on seuraava:

$$D = g \frac{T \times R}{T + R} kN$$

...

T on vetoajoneuvon suurin teknisesti sallittu massa tonneina. Soveltuvissa tapauksissa tähän sisältyy keskiakseliperävaunun aiheuttama pystysuuntainen kuorma.

R on täysperävaunun, jonka vetoaisa voi liikkua vapaasti pystytasossa, tai puoliperävaunun suurin teknisesti sallittu massa tonneina (1).

...

g on painovoimasta aiheutunut kiihtyvyys (arvoksi otettu 9,81 m/s<sup>2</sup>).

...

S on kuten se määritellään kohdassa 2.11.3.

...

2.11.3 S-arvo on se pystysuuntainen massa kiloina, jonka 2.13 kohdan mukainen keskiakseliperävaunu, jonka massa on suurin teknisesti sallittu, aiheuttaa kytkimelle staattisissa olosuhteissa (1).

(1) Massat T ja R ja suurin teknisesti sallittu massa voivat olla suuremmat kuin kansallisen lainsäädännön mukainen suurin sallittu massa (E-sääntö 55, [Viitattu 21.4.2013], 5).

Ja sivulla L 227/8 mekaanisen kytkinlaitteen tai -osan hyväksynnän hakemisessa kohdissa 3.2.3 lukee, että:

3.2.3 tiedot arvoista D, D<sub>c</sub>, S, V ja U soveltuvin osin kohdan 2.11 mukaisesti

Luokan A kiinnityskorvakkeiden osalta on ilmoitettava vetoajoneuvon ja perävaunun suurimmat sallitut massat sekä vetokuulaan kohdistuva suurin sallittu staattinen pystysuuntainen kuorma vetoajoneuvon valmistajan ohjeiden mukaan (E-sääntö 55, [Viitattu 21.4.2013], 8).

Ja sivun L 227/45 kohdassa 3.1.5 lukee:

3.1.5 Testipenkkiin kiinnitetty näyte testataan vaihtuvalla kuormalla, joka kohdistuu kuulaan kuvissa 21 ja 22 esitetyssä kulmassa.

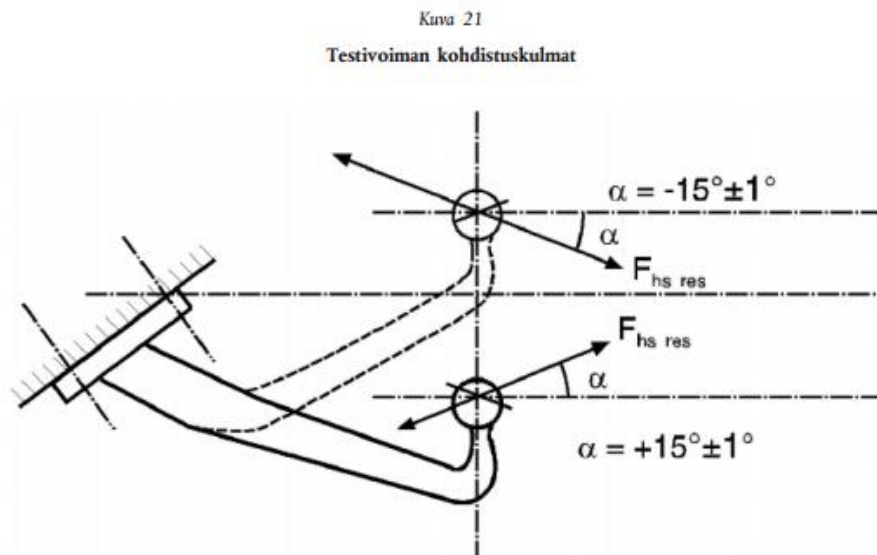
Testauskulman suunnan määrää kuulan keskiön kautta kulkevan vaakasuuntaisen referenssiviivan ja kytkinlaitteen sen kiinnityspisteen kautta, joka on lähimmistä kiinnityspisteistä ylin vaakatasossa mitattuna, kulkevan vaakaviivan sijainti toisiinsa nähden pystysuunnassa. Jos kiinnityspiste on vaakasuuntaisen referenssiviivan yläpuolella, testi suoritetaan kulmassa  $\alpha = +15^\circ \pm 1^\circ$ , ja jos piste on viivan alapuolella kulmassa  $\alpha = -15^\circ \pm 1^\circ$  (ks. kuva 21). Testauskulman määrittämisessä käytetään niitä kiinnityspisteitä, jotka ajoneuvon valmistaja on ilmoittanut ja jotka välittävät suurimmat vetovoimat vetoajoneuvon rakenteeseen.

...

Dynaaminen testi on suoritettava seuraavalla testivoimalla:

$$F_{hs\ res} = \pm 0,6 D$$

Ja sivun L 227/46 kuva 21



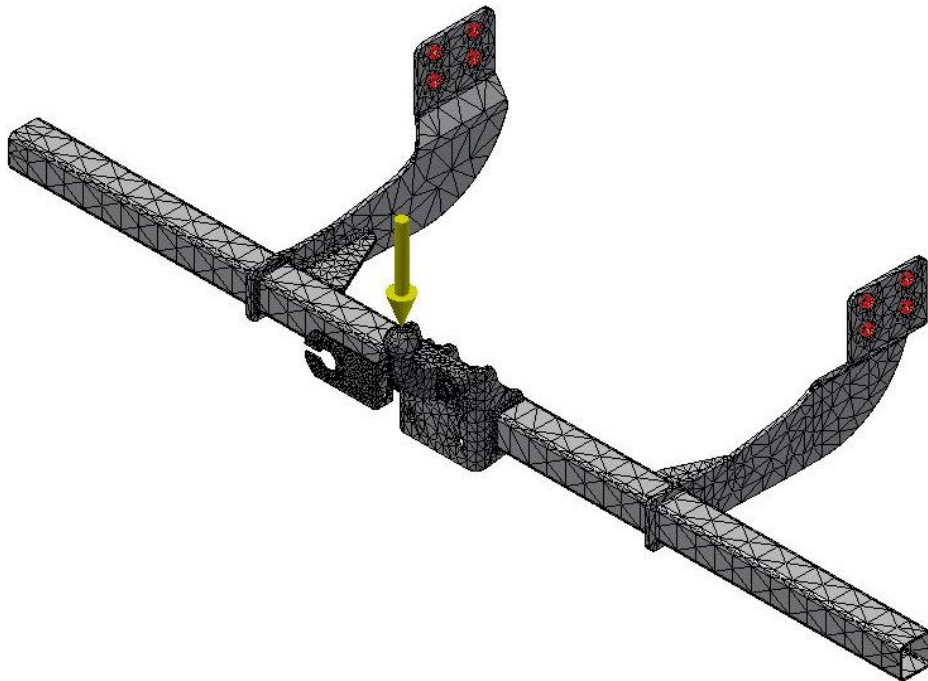
Huom.: Referenssiviivan kanssa yhdensuuntainen viiva kulkee sen ylimmän ja lähimmän pisteen keskustan kautta, josta kiinnityskorvake kiinnitetään ajoneuvoon (ks. kohta 3.1.5).

Kuvio 14. Testivoiman kohdistuskulmat (E-sääntö 55, [Viitattu 21.4.2013], 46).

Edellä esitettyjen E-sääntö 55 kohtien mukaisesti tämän vetolaitteen FEM-tarkasteluun ja myös ilmoituslomakkeen (LIITE 1 ja 2) täyttämistä varten tarvitaan valmistajalta tiedot D-arvon laskemiseen, jotka selviävät ajoneuvon suurimmista sallituista massoista. Vetoajoneuvon valmistaja myös määrittelee suurimman S-arvon ajoneuvon kiinnitettävään vetolaitteeseen.

Fordin antamista mittakuvista selviää myös lähin ja ylin kiinnityspiste suhteessa vetokuulan keskipisteen kautta kulkevaan vaakasuuntaiseen referenssiiviivaan. Kiinnityspiste on tässä tapauksessa vaakasuuntaan piirretyn viivan yläpuolella, eli dynaaminen testi tehdään  $+15^{\circ} \pm 1^{\circ}$  kulmassa vetokuulaan nähden (Kuvio 14).

Fordin antamien tietojen perusteella D-arvoksi tulee E-säännön 55 kohdan 2.11.1 ensimmäisellä kaavalla 14,91 kN ja S-arvoksi Ford määrittelee 112 kg. Ensimmäiset FEM-tarkastelut tehtiin näiden arvojen mukaisesti.



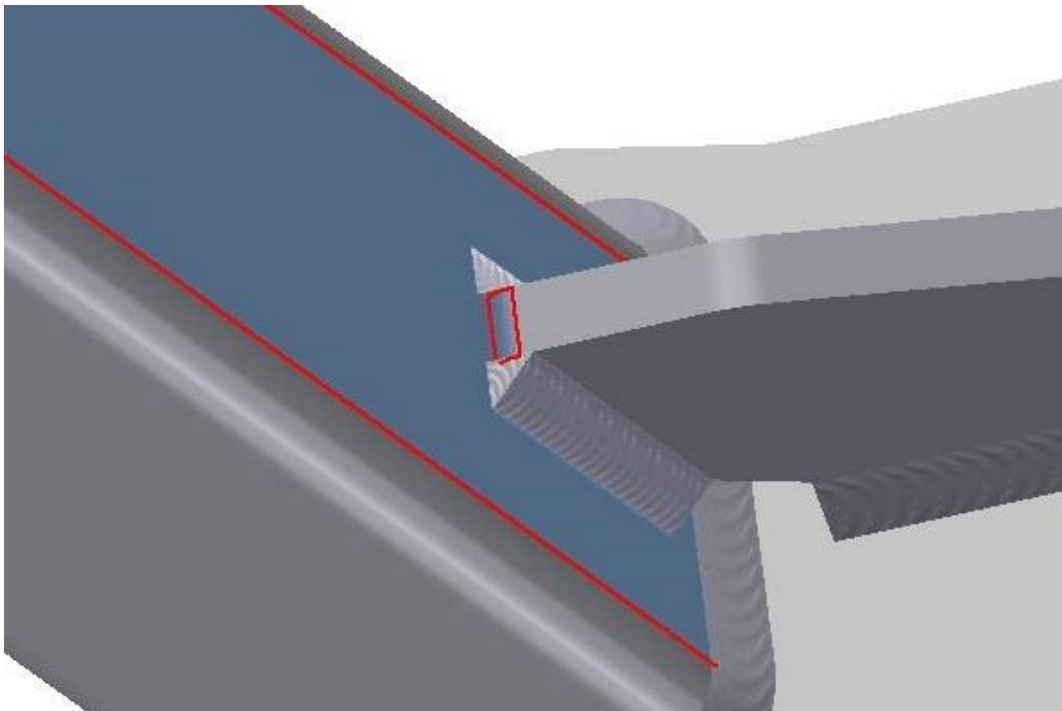
Kuvio 15. Inventorin FEM-puoli, kuviossa punaisella kiinnityspisteet, keltaisella kuorma ja sen suunta.

Vietäessä malli Inventorin FEM-puolelle ensimmäinen työ on määrittellä materiaalit, määrätä kiinteät kiinnityspisteet, generoida mesh-verkko rakenteeseen, määrittää



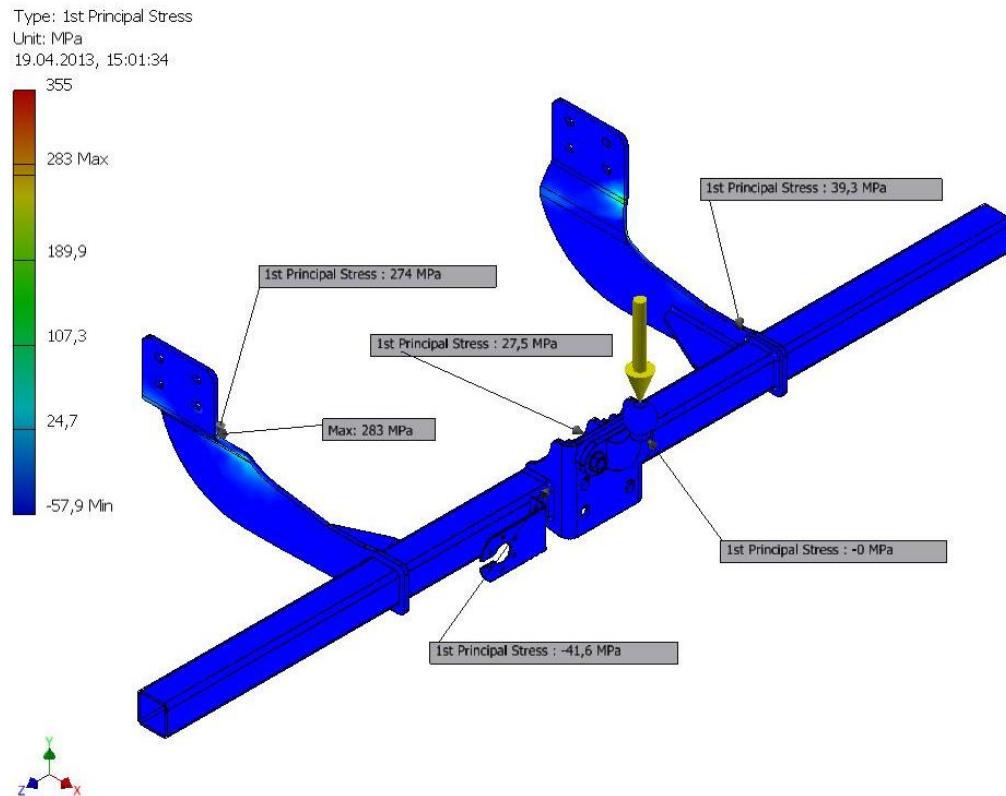
rakenteeseen vaikuttavat voimat ja suunnat sekä määrittellä eri kappaleiden väliset vuorovaikutussuhteet. Kuvioista 15 näkyy generoitu mesh-verkko, joka jakaa jokaisen kappaleen pieniin kolmioihin, joiden avulla ohjelma laskee jännitykset jokaiselle pisteelle ja niiden vuorovaikutussuhteet toisiinsa nähden. Punaisella ovat kiinnityspisteet, jotka eivät liiku mallintamisen aikana. Keltaisella on voima ja nuolen kärki näyttää suunnan, minne voima vaikuttaa.

Pintojen vuorovaikutussuhdetarkastelussa pitää olla tarkkana, että malli toimisi oikein. Malli generoituu automaattisesti niin, että jokainen pinta joka on asetettu CAD-mallissa vastakkain, toimii mallissa niin kuin se olisi samaa yhtenäistä materiaalia. Kuvioista 16 voi huomata esimerkkinä, että neliöputken ja kulmatuen kaksi pintaa olisivat toimineet yhtenä kappaleena, ellei niitä olisi käsin muutettu toisistaan irrallisiksi pinnoiksi. Myös kulmatuen ja neliöputken vastakkaiset pinnat pitää irrottaa toisistaan erilleen. Tässä tapauksessa ainoana kantavana pintana toimii hitsaussauma. Hitsaussauman tunkeumaa ei ole huomioitu.



Kuvio 16. Kahden eri pinnan vuorovaikutussuhteet.

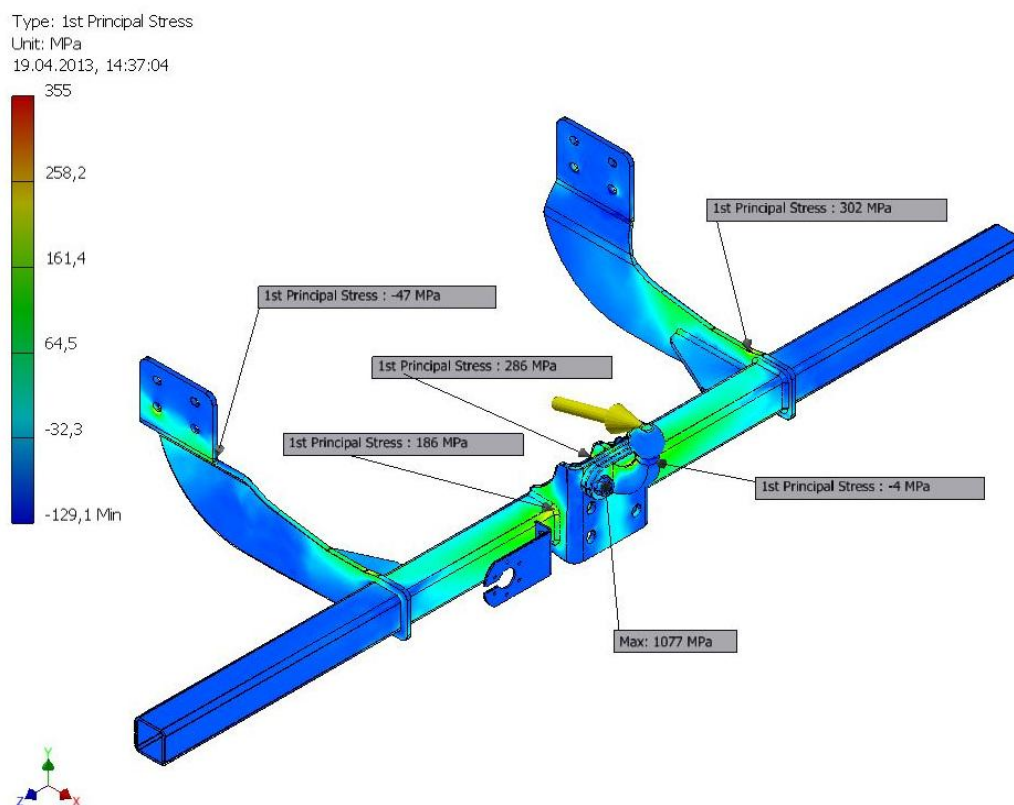
Kuvion 15 ja 17 mukaisesti testattiin S-arvon määräämä 112 kg:n massa ja miten hyvin vetolaite sen kestää. Jokaisessa testissä käytettiin varmuuskertoimena 2:sta, joten nuolen suuntaan tuleva voima oli 2197 N ( $112 \text{ kg} \times 9,81 \text{ m/s}^2 \times 2$ ).



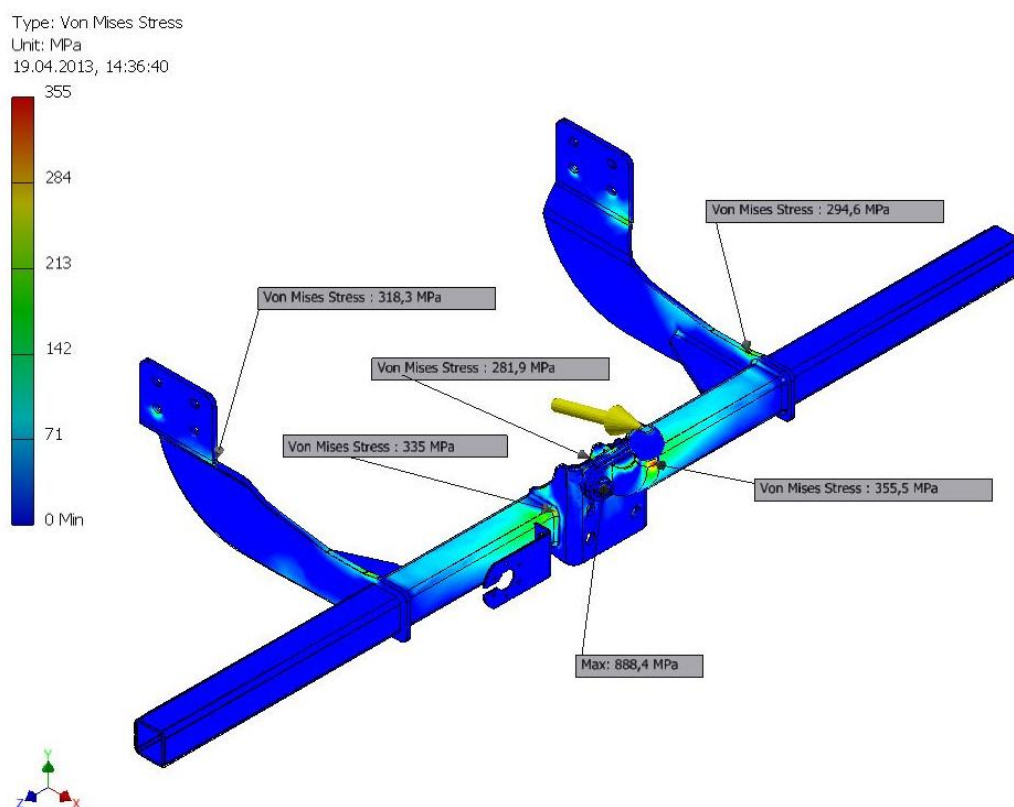
Kuvio 17. S-arvon tuottaman voiman vaikutukset vetolaitteeseen.

Kuviosta 17 nähdään, että suurin jännitys on 274 MPa, joten ollaan turvallisella puolella, koska vetolaitteessa käytetään myötölujuudeltaan 355 MPa:n terästä.

Seuraava testi tehtiin dynaamisen testin mukaisesti. Voimana käytettiin dynaamisessa testissä käytettävää E-säännön 55 kohdan 3.1.5 määriteltyä  $0,6 \times D$  voimaa varmuuskertoimella 2, eli 17 892 N ( $0,6 \times 14\,910 \text{ N} \times 2$ ) ja voiman suuntana on kuvion 14 alempi tapaus.



Kuvio 18. Dynaamisen testin mukainen testivoima, ensimmäinen kuvio.

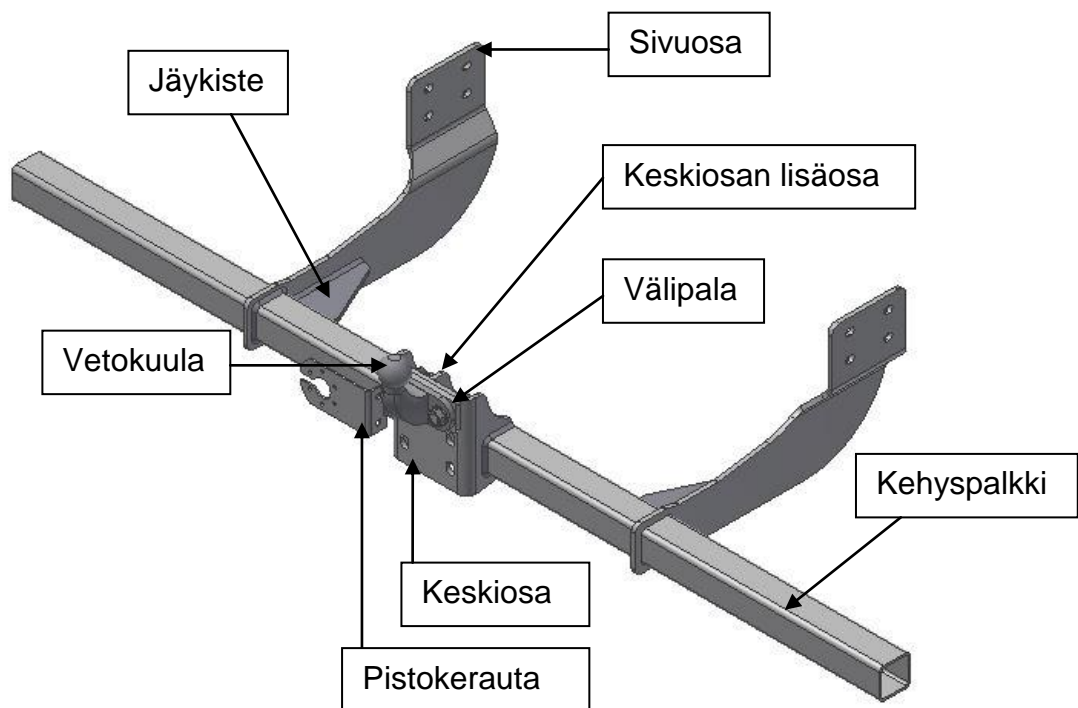


Kuvio 19. Dynaamisen testin mukainen testivoima, toinen kuvio.

Kuviosta 18 ja 19 näkee, että rakenne kestää rasituksen hyvin, koska suurin rasitus tulee vetokuulan kiinnityspulttiin. Testin perusteella vetokuulakytkimen kiinnityspultteina olisi hyvä käyttää luokan 12.9 pultteja, koska niiden myötölujuus on maksimissaan 1080 MPa ( $1200 \text{ MPa} \times 0,9$ ). Testin mukainen suurin jännitys on 1077 MPa. Varmuuskerroin on kuitenkin 2, joten voi olettaa, että pykälää alemman lujuusluokan pulteillakaan ei olisi ongelmia. Lujuusluokan 10.9 pultit antavat 900 MPa:n myötölujuudellaan varmuuskertoimeksi 1,6.

### 3.5 Vetolaitteen valmistus

Vetolaite valmistettiin Seinäjoen ammattikorkeakoulun tiloissa konelaboratorion työstökoneita käyttäen. Vetolaite on pääosin levyateriaalia valmistettu vetokuulaa ja 60 x 60 x 4 profiiliputkesta sahattavaa kehyspalkkia lukuun ottamatta (Kuvio 20).



Kuvio 20. Vetolaitteen hitsauskokoontaminen nimettyine osineen.

### 3.5.1 Osien poltto

Ennen osien valmistusvaihetta vetolaitteen 3D-mallista tehtiin riittävät mittakuvat päämittoineen, että hitsauskokoontaminen oli mahdollista tehdä. Levyosista (sivuosa, keskiosa, keskiosan lisäosa, jäykiste, pistokeräuta; Kuvio 20) tehtiin levityskuvat ja DXF-tiedostotyyppin muunnokset. Levityskuvista saadaan mitat särmäämistä varten ja DXF-tiedostot pystytään viedä JETCAM-ohjelmistoon.

JETCAM-ohjelmalla tehdään jokaiselle osalle erikseen polttoradat levytyöstökeskusta varten ja yleensä vähintään kahteen eri kulmaan, jotta sijoitteluvaiheessa osat pystytään sovittamaan mahdollisimman edullisesti levyn käytön kannalta. DFM-suunnittelun mukaan osa valmistusprosessin kustannuksista kuitenkin koostuu juuri jätteistä (Kuvio 21). Koska levyosia oli kahta eri paksuutta, 3 mm (pistokeräuta) ja 8 mm (muut levyosat), niin sijoitteluohjelmia tehtiin kaksi.



Kuvio 21. 8 mm:n levystä poltettujen osien levyranka, eli tulevat jätteet.



### 3.5.2 Osien särmäys

Neljään osaan tuli särmäykset. DFA-suunnittelua silmällä pitäen jo suunnitteluvaiheessa hyväksi käytetty symmetria auttoi särmäämisessä, koska yhdellä ohjelmalla voitiin särmätä kaksi osaa, tai saman osan kaksi eri puolta (Kuvio 22).



Kuvio 22. Sivuosan särmäyksen toinen vaihe.

Särmäämisessä ylä- ja alatyökalun yhteensopivuus levypaksuuden kanssa on huomioitava. Särmäysohjelmaa tehtäessä useampikin asia on otettava huomioon, mutta pääpiirteiltään riittää, kunhan asettaa oikeat työkalutiedot ja levyn paksuuden materiaalitietoineen, syöttää särmättävän osan leveyden särmäyskohdasta sekä särmäysmitan. On kaksi tapaa antaa särmäysmitta, eli voidaan antaa joko haluttu särmäysmitta taitetun kulman reunasta levyn taitetun kulman taakse (ns. särmätty valmismitta, miten särmäykset CAD-ohjelmaan yleensä mitoitetaan) tai antamalla tarkka mitta särmäyskohdan keskelle. 45 asteen kulmia särmätessä on helpompaa käyttää jälkimmäistä tapaa.

### 3.5.3 Osien hitsaus

Särmäämisen jälkeen osat ovat hitsaamista vaille valmiit (Kuvio 23). Vetolaitteessa ei ollut sivuosien ulkoleveyden suhteen kuin yksi mitta, jonka piti olla tarkka. Muut mitat tulevat oikeiksi sovittamalla osat joko keskelle kokoonpanoa tai oikeisiin uriinsa, jotka määräytyvät osien muodoista.



Kuvio 23. Kaikki vetolaitteen särmättävät osat valmiina.

Hitsausjigiksi valmistettiin kaksi tankoa, joiden päihin tehtiin kierteet pultteja varten. Tangot kiinnitettiin sivuosien väliin varmistamaan sivuosien leveys hitsaamisen jälkeen (Kuvio 24).



Kuvio 24. Sivuosat kiinnitettyinä hitsausjigeinä toimiviin tankoihin.

Sivuosien paikalleen sovittamisen ja hitsaamisen jälkeen hitsattiin keskiosaan keskiosan lisäosa ja tämä kokonaisuus täsmälleen kehyspalkin keskelle (Kuvio 25). Pistokerauta hitsattiin vasta vetolaitteen autoon sovittamisen jälkeen.

Ainoa osa, joka tehtiin koneistamalla, oli 10 mm paksu välipala, joka tulee keskiosan ja vetokuulan väliin, jotta E-säännön 55 määräämät mitat täyttyisivät vetokuulan sijainnin vapaantilan suhteen.





Kuvio 25. Hitsattu vetolaitetekoonpano.

### 3.6 Vetolaitteen sovitus

Kuten Laakon ja ym. (1998, 19–20) järjestelmällisen tuotekehitysprosessin kuvauksessa puhutaan oleellisesti tuotekehitystoimintaan kuuluvasta prototyypin testauksesta, niin testattiin prototyyppi myös tässä työssä. Ennen sovitusta ajoneuvoon

vetolaitteeseen kiinnitettiin vetokuula välipaloiheen. Ford Transit Custom saatiin muutamaksi tunniksi käyttöön J. Rinta-Joupilta ja sovitus suoritettiin SeAMK:n autolaboratoriotiloissa Törnävällä. Etukäteen oli tiedossa, että mahdollisesti autossa kiinteästi kiinni oleva vetolenkki, joka sijaitsee alkuperäisen vetolaitteen vasemmalla puolella, saattaa olla hieman suunnitellun vetolaitteen tiellä. Vetolenkkiä ei ole Fordin antamissa mittakuvissa, joten ilman sovitusta vetolenkin sijoittumista protolaitteen suhteen on hankalaa. Asiakas kuitenkin kertoi, että vetolenkki poistetaan vetolaitteasennuksessa, joten sen sijoittumista ei ollut syytä enempää miettiä.



Kuvio 26. Vetolaitteen sovitus.

Sovituksessa ilmeni, että vetolenkki oli hieman vetolaitteen tiellä (Kuvio 26). Vetolenkki näkyy kuvion 26 vasemman sivuosan kiinnityskohdan vasemmalla puolen puskurin ja kehyspalkin välissä. Asiakas oletti vetolenkin olevan helpommin irrotettavissa, mutta se lähti vain tukirakennelman (Kuvio 27) mukana irti. Se myös muuttaa vetolaitteen sivuosien lopullista leveyttä hieman, koska rakenteen U-profiilit tulevat ajoneuvon rungon ympärille, mihin kohtaan vetolaitte asennetaan.

Tukirakennelma on kiinnitettynä ajoneuvossa oleviin neljään vetolaitteen kiinnitysrei'istä (per puoli) kahteen alempaan. Tästä johtuen alkuperäisessäkin vetolaitteessa oli kiinteät prikat ylempien kiinnitysreikien ulkopuolella niin, että ne vastaavat ajoneuvon kiinnitysreikien runkoon. Fordin alkuperäinen vetolaitte oli käytännössä annettuja mittapiirustusmittoja kapeampi. Pelkästään Fordin antamien mittakuvien mukaan valmistettu vetolaitte olisi siis hieman liian leveä asentaa tukirakennelman kanssa.



Kuvio 27. Vetolenkin mukana irrotettu tukirakennelma.

Tukirakennelma olisi ilmeisesti hyvä olla ajoneuvossa kiinnitettynä, joten ratkaisuna on joko tehdä vetolaite 800 mm leveällä kehyspalkilla, jotta vetolaite väistää vetolenkin. Tai, että asennuksessa muokataan vetolenkkiä niin, että vetolaite sopii paikalleen 1700 mm leveällä kehyspalkilla. Vetolenkki kuitenkin jäi vain marginaalisesti kehyspalkin tielle.

Asiakkaan mielestä nykyinen prototyyppi oli valmis ja se pystyttäisiin lähettää tyyppihyväksyntätesteihin. Vetolenkkiä tultaisiin muokkaamaan vetolaitteen asennuksen yhteydessä.

## 4 TULOKSET

Suunnittelun tuloksena oli Ford Transit Customiin sopiva vetolaitteprototyyppi, joka täyttää Fordin antama mitat sekä EU-määräykset E-säännön 55 mukaisesti.

Suunnitelmien pohjalta valmistettu vetolaitteprototyyppi oli malliltaan juuri sellainen, että se sopi ajoneuvoon juuri niin, että mitään ylimääräisiä aukkoja ei tarvinnut tehdä ajoneuvon muovipuskureihin vetolaitteen osien tieltä (Kuvio 28 ja 29).



Kuvio 28. Ajoneuvoon asennettu vetolaitteproto, sivukuva.



Kuvio 29. Ajoneuvoon asennettu vetolaitteproto, takakuva.

## 5 TARKASTELU

Työn tavoitteena oli saada valmistettua asiakkaan tilauksen mukainen Ford Transit Custom -pakettiautoon sopiva vetolaite, joka täyttää EU-määräykset. Varsinainen asiakkaan tilaus oli laajempi kuin tässä työssä keskityttiin.

Työssä onnistuttiin kaikin puolin hyvin. Suunnitteluvaiheessa eniten aikaa ja työtä vaati E-säännön 55 tulkitseminen ja vetolaitetta koskevien pykälien huomioon ottaminen. Tarvittavien mittapiirustusten odotus ajoneuvon valmistajalta vei myös aikaa. Trafin ja valmistajan kanssa yhteisymmärrykseen pääseminen tiettyjen mittojen suhteen vei myös useita päiviä. Itse vetolaitteen mallintaminen Inventor-ohjelmalla oli suoraviivaista eikä siinä ilmennyt suurempia ongelmia. Tarkkuutta vaati vain valmistajan antamien mittojen sisällä pysyminen.

Prototyypin valmistusvaiheessa ei ollut suurempia ongelmia. Osia vetolaitteessa ei ollut niin montaa, että niiden kanssa olisi pystynyt tekemään virheitä. Ainoastaan keskikiinnike piti valmistaa kolmeen kertaan särmäämisessä tapahtuneiden mittapoikkeamien takia.

Vetolaitteen valmis prototyyppi sopi ajoneuvoon pienten asennusmuutosten jälkeen ja oli asiakkaan mielestä sopiva tyyppihyväksyntätesteihin.

## LÄHTEET

E-sääntö 55. [Verkkodokumentti]. [Viitattu 21.4.2013]. Saatavana:<http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2010:227:0001:0061:FI:PDF>

Insinööritoimisto V-P Takala Oy. [Verkkosivu]. [Viitattu 21.4.2013]. Saatavana: <http://www.instotakala.com/>

Koneteknologiakeskus SeAMK. [Verkkosivu]. [Viitattu 21.4.2013]. Saatavana: <http://www.seamk.fi/koneteknologiakeskus>

Laakko T., Sukuvaara A., Borgman J., Simolin T., Björkstrad R., Konkola M., Tuomi J. & Kaikonen H. 1998. Tuotteen 3D\_CAD-suunnittelu. Porvoo: WSOY.

Regulation No. 55. [Verkkodokumentti]. [Viitattu 21.4.2013]. Saatavana: <http://www.unece.org/fileadmin/DAM/trans/main/wp29/wp29regs/r055r1e.pdf>

Ulrich K. & Eppinger S. 2008. Product Design and Development. 4<sup>th</sup> ed. New York: The McGraw-Hill Companies, Inc.

## LIITTEET



LIITE 2

ILMOITUS

(enimmäiskoko: A4 (210 × 297 mm))



Antaja: Viranomaisen nimi:

.....  
 .....  
 .....

Aihe: Ajoneuvotyyppin <sup>(2)</sup>: HYVÄKSYNNÄN MYÖNTÄMINEN  
 HYVÄKSYNNÄN LAAJENTAMINEN  
 HYVÄKSYNNÄN EPÄÄMINEN  
 HYVÄKSYNNÄN PERUUTTAMINEN  
 TUOTANNON LOPETTAMINEN

mekaanisen kytkinlaitteen tai -osan asennuksen osalta säännön nro 55 mukaisesti

Hyväksyntänumero: ..... Laajentamisen numero: .....

1. Ajoneuvon kaupp nimi tai tavaramerkki:
2. Ajoneuvon tyyppi:
3. Valmistajan nimi ja osoite:
4. Tarvittaessa valmistajan edustajan nimi ja osoite:
5. Ajoneuvon luokka (esim. M1, N1):
6. Ajoneuvon suurin sallittu massa: ..... kg  
 Suurimman sallitun ajoneuvon massan jakutuminen aksleille:  
 Vedettävän perävaunun suurin sallittu massa: ..... kg  
 Suurin sallittu kytkinkuulaan kohdistuva staattinen massa: ..... kg  
 Ajoneuvon suurin massa ajokunnossa mukaan luettuna korirakenne, jäähdytysneste, öljyt, polttoaine, työkalut ja vararengas (jos toimitetaan) mutta ilman kuljettajaa: ..... kg
7. D ..... kN D<sub>c</sub> ..... kN S ..... kg  
 U ..... tonnia V ..... kN
8. Ohjeet kytkinlaitteen tai osan tyyppin asentamiseksi ajoneuvoon ja valokuvat tai piirustukset kiinnityspisteistä:
9. Tiedot mahdollisten vahvistus- tai välisien asennuksesta kytkinlaitteen tai -osan kiinnittämistä varten:
10. Mekaanisen kytkinlaitteen tai osan kaupp nimi tai tavaramerkki ja hyväksyntänumero:
11. Kytkinlaitteen tai -osan tyyppi ja luokka:
12. Päivä, jona laite on toimitettu hyväksyttäväksi:
13. Hyväksyntätietien suorittamisesta vastaava tekninen tutkimuslaitos:
14. Testaussesteen päiväys:
15. Testaussesteen numero:
16. Hyväksyntämerkin sijainti:
17. Hyväksynnän laajentamisen syy(t):
18. Hyväksyntä myönnetty/evätty/peruutettu/hyväksyntää laajennettu <sup>(2)</sup>:
19. Paikka:
20. Päiväys:
21. Allekirjoitus:
22. Tämän ilmoituksen liitteenä on luettelo hyväksynnän myöntäneen hallinnollisen yksikön haltuun annetuista asiakirjoista, jotka ovat pyynnöstä saatavissa.

<sup>(1)</sup> Hyväksynnän myöntäneen/hyväksyntää laajentaneen/hyväksynnän evänneen/hyväksynnän peruuttaneen maan tunnusnumero (ks. säännössä olevat hyväksyntää koskevat määräykset).

<sup>(2)</sup> Tarpeeton yliviivataan.



10. Ohjeet kytkinlaitteen tai osan tyyppin asentamiseksi ajoneuvoon ja valmistajan toimittamat valokuvat tai piirustukset kiinnityspisteistä: .....
11. Tiedot mahdollisten vahvistus- tai välisosien asennuksesta kytkinlaitteen tai osan kiinnittämistä varten: .....
12. Lisätiedot mikäli kytkinlaitteen tai osan käyttö on rajoitettu tiettyihin ajoneuvotyyppihin (ks. liite 5, kohta 3.4). .....
13. Luokan K koukkutyyppisten kytkimien osalta tiedot kyseiseen koukkutyyppiin sopivista vetosilmukoista: .....
14. Testauselosteen päiväys: .....
15. Testauselosteen numero: .....
16. Hyväksyntämerkin sijainti: .....
17. Hyväksynnän laajentamisen syy(t): .....
18. Hyväksyntä myönnetty/eväty/peruutettu/hyväksyntää laajennettu <sup>(2)</sup>: .....
19. Paikka: .....
20. Päiväys: .....
21. Allekirjoitus: .....
22. Tämän ilmoituksen liitteenä on luettelo hyväksynnän myöntäneen hallinnollisen yksikön haltuun annetuista asiakirjoista, jotka ovat pyynnöstä saatavissa.

---

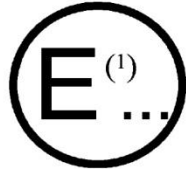
<sup>(1)</sup> Hyväksynnän myöntäneen / hyväksyntää laajentaneen / hyväksynnän evänneen / hyväksynnän peruuttaneen maan tunnusnumero (ks. säännössä olevat hyväksyntää koskevat määräykset).

<sup>(2)</sup> Tarpeeton yliviivataan.

## LIITE 1

## ILMOITUS

(enimmäiskoko: A4 (210 × 297 mm))



Antaja: Viranomaisen nimi:

.....

.....

.....

Aihe: Mekaanisen kytkinlaitteen tai osan tyyppin <sup>(2)</sup>: HYVÄKSYNNÄN MYÖNTÄMINEN  
 HYVÄKSYNNÄN LAAJENTAMINEN  
 HYVÄKSYNNÄN EPÄÄMINEN  
 HYVÄKSYNNÄN PERUUTTAMINEN  
 TUOTANNON LOPETTAMINEN

säännön nro 55 mukaisesti

Hyväksyntänumero: ..... Laajentamisen numero: .....

1. Laitteen tai osan kaupan nimi tai tavaramerkki: .....
2. Valmistajan laitteen tai osan tyyppille antama nimi: .....
3. Valmistajan nimi ja osoite: .....
4. Tarvittaessa valmistajan edustajan nimi ja osoite: .....
5. Muiden toimittajien nimet tai tavaramerkit, jotka esiintyvät laitteessa tai osassa: .....
6. Tuotannon vaatimustenmukaisuudesta vastaavan yrityksen tai elimen nimi ja osoite: .....
7. Päivä, jona laite on toimitettu hyväksyttäväksi: .....
8. Hyväksyntätestien suorittamisesta vastaava tekninen tutkimuslaitos: .....
9. Lyhyt kuvaus: .....
- 9.1. Laitteen tai osan tyyppi ja luokka: .....
- 9.2. Ominaisarvot: .....
 

9.2.1. Pääarvot:
 

D ..... kN D<sub>c</sub> ..... kN S ..... kg  
 U ..... tonnia V ..... kN  
 Vaihtoehtoiset arvot:
 

D ..... kN D<sub>c</sub> ..... kN S ..... kg  
 U ..... tonnia V ..... kN
- 9.3. Luokan A mekaanisen kytkinlaitteen tai osan, myös kiinnityskorvakkeen, arvot:
 

Ajoneuvon valmistajan sallima suurin ajoneuvon massa: ..... kg  
 Suurimman sallitun ajoneuvon massan jakutuminen akselleille:
 

Ajoneuvon valmistajan sallima suurin vedettävän perävaunun massa: ..... kg  
 Ajoneuvon valmistajan sallima suurin kytkinkuulaan kohdistuva staattinen massa: ..... kg  
 Ajoneuvon suurin massa ajokunnossa mukaan luettuna korirakenne, jäähdytysneste, öljyt, polttoaine, työkalut ja vararengas (jos toimitetaan) mutta ilman kuljettajaa: ..... kg  
 Kuormitus, jolla M1-luokan ajoneuvon mekaanisen kytkinlaitteen vetokuulan korkeus on mitattava (ks. liite 7, lisäys 1, kohta 2) .....