



Jani Sainio

Istuinkiskoadapterin suunnittelu ja valmistus

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Ajoneuvotekniikka

Insinöörityö

15.2.2022

Tiivistelmä

Tekijä: Jani Sainio
Otsikko: Istuinkiskoadapterin suunnittelu ja valmistus
Sivumäärä: 22 sivua + 3 liitettä
Aika: 15.2.2022

Tutkinto: Insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma: Ajoneuvotekniikka
Ammatillinen pääaine: Ajoneuvosuunnittelu
Ohjaaja: Projektipäällikkö Joel Kontturi

Insinööriyössä suunniteltiin ja valmistettiin istuinkiskoadapteri, joka mahdollistaa kohdeajoneuvon istuimen vaihdon. Lisäksi selvitettiin adapterin käyttöä tieliikenteessä koskeva lainsäädäntö ja sen vaikutukset adapterin suunnitteluun.

Työssä lähdettiin liikkeelle lainsäädännön selvityksestä perehtymällä Finlex- ja Traficomien verkkosivustojen kautta ajoneuvon rakenteen muokkaamista koskevaan Suomen lainsäädäntöön. Selvityksen pohjalta voitiin todeta adapterin käytön tieliikenteessä olevan sallittua, kun ajoneuvo, johon adapteri on asennettu, käytetään ensin muutoskatsastuksessa ja adapterin sekä istuimen kiinnitys on Traficomien määräyksen ajoneuvon ja sen perävaunun rakenteen muuttamisesta kohdan 3.7 mukainen.

Suunnitteluprosessi aloitettiin kohdeajoneuvon istuinkiskon sekä korvaavan istuimen kiskon mittaamisesta. Mittaukset tehtiin perinteisillä mittatyövälineillä ja mittoja hyödynnettiin adapterin mallinnusprosessissa. Adapterin mallinnuksessa käytettiin Catia v5 -3D-mallinnusohjelmistoa ja sen toiminnallisuuksia. Mallinnuksen tavoitteena oli luoda parempi kuva tuotteesta sen kestävyuden määrittämistä ja valmistusta varten. Mallinnuksen jälkeen määritettiin adapterille varmuusluku siihen kohdistuvien kuormien ja valitun materiaalin myötörajan avulla. Varmuusluvun määrittämiseen käytettiin kolmea eri menetelmää realistisen arvon saamiseksi. Varmuusluvuksi saatiin 3,2 käytettävän materiaalin myötörajan suhteen suorittamalla FEM-analyysi Catian avulla.

Adapteri valmistettiin lopuksi laserleikkaamalla ja särmäämällä levyt, joista saadaan tehtyä halutun istuimen kiinnitykseen tarvittava kokoonpano. Tämä kokoonpano muuttaa istuimen kiinnityspisteiden sijaintia, jolloin istuimen vaihto on mahdollista. Insinööriyössä suoritettua lainsäädännön selvitystä ja käytettyjä suunnittelu- ja valmistusmenetelmiä voidaan hyödyntää vastaavanlaisen komponentin suunnittelu- ja valmistusprosessissa ottaen huomioon lainsäädännön vaikutusten erot kohdeajoneuvosta riippuen.

Avainsanat: suunnittelu, valmistus, 3D-mallinnus, lainsäädäntö

Abstract

Author: Jani Sainio
Title: Designing and Manufacturing of Seatrail Adapter
Number of Pages: 22 pages + 3 appendices
Date: 15 February 2022

Degree: Bachelor of Engineering
Degree Programme: Automotive Engineering
Professional Major: Automotive Design Engineering
Supervisors: Joel Kontturi, Project Manager

The objective of this Bachelor's thesis was to design and manufacture a seatrail adapter, that enables the installation of a seat made by a different manufacturer than the original. The objectives also included a study of the Finnish law regulation regarding modification of a vehicle used in traffic and the effects of this regulation in the design process.

The thesis began with a study of the law regulation using websites of Finlex and Traficom. On the basis of this study, it can be concluded that it is legal to use a seat-railadapter as long as the vehicle passes the Traficom inspection and meets the requirements set in section 3.7 of the Traficom regulation for modification the structure of a car or its trailer.

The design process begun with measuring the rails of the original and the replacement seat. The rails were measured using basic measurement tools and the taken measurements were applied in the 3D-modeling process. The modelling process was carried out using Catia v5 software and its different features. The objective of the 3D-modeling was to get a better vision of the adapter for both the manufacturing and the structural analysis. After modelling the structural analysis was started. For the analysis three different methods were used utilizing the loads applied to the adapter and the yield strength of selected manufacturing material. The goal of the analysis was to define a reliability number for the adapter. With FEM-analysis the goal was reached, and the number defined was three point two which was acceptable.

The adapter was manufactured utilizing laser cutting and press brake operating equipment. With this equipment two different shapes of steel plates were made and by connecting these plates the adapter was finished. The adapter changes the bolt position of the seatrails and enables the installation of a different seat. The legal study and the design process and the manufacturing methods of this thesis can be applied in similar projects considering the fact that the effects of legal regulations may differ between different vehicles.

Keywords: Product design, Manufacturing, 3D-modeling, Regulations

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Lainsäädäntö	1
3	Suunnittelu	3
3.1	Mittaukset	4
3.2	3D-mallinnus	5
3.3	Laskenta	7
4	Valmistusprosessi	18
5	Yhteenveto	20
	Lähteet	21

Liitteet

Liite 1: BMW:n levyn tekninen piirustus

Liite 2: Nissan levyn tekninen piirustus

Liite 3: Adapterikokoonpanon tekninen piirustus

Lyhenteet

gsd: Generative sheetmetal design, generoiva levymetalli suunnittelu

VKK: Vapaakappalekuvio

gsa: Generative structural analysis, generoiva rakenne analyysi

FEM: Finite element method, Määrittelevä elementti menetelmä

1 Johdanto

Insinööriyön tavoitteena on istuinkiskoadapterin suunnittelu ja valmistus, joka mahdollistaisi BMW:n valmistamien istuinten asennuksen K11-korimallin Nissan Micraan käyttömukavuuden parantamiseksi. Asennuksen toteuttamiseksi tarvitaan istuinkiskoille adapteri, koska ajoneuvon valmistajien istuinten kiinnitys poikkeaa toisistaan. Kyseiseen sovellukseen ei myöskään markkinoilta löytynyt valmista komponenttia, minkä seurauksena syntyi tarve sellaisen luomiselle.

Insinööriyö kattaa prosessin, joka piti sisällään lainsäädännön selvityksen, ole-massa olevien istuinkiskojen mittauksen, adapterin 3D-mallinnuksen, lujuuden laskennallisen määrittämisen ja adapterin valmistuksen. Insinööriyö käsittelee aiheen suppeasti ja yksittäisenä tapauksena tietyllä ajoneuvolle tietyllä istuimella. Työn sisältöä on kuitenkin mahdollista soveltaa vastaavanlaisen projektin toteutukseen. Adapterin suunnittelu- ja valmistusprosessi tarjosi myös insinööriyöntekijälle mahdollisuuden sekä kehittää omaa osaamistaan tuotteen suunnittelu- ja valmistusprosesseista.

2 Lainsäädäntö

Suunnittelu- ja valmistusprosessissa lähdettiin liikkeelle aihetta koskevan lainsäädännön selvittämiseksi, sillä ajoneuvo halutaan pitää tieliikennekäytössä istuinmuutoksen jälkeen. Koska adapteri tulee yksityiskäyttöön Suomen valtion sisällä, riitti, että selvitettiin Suomen lainsäädäntö tieliikennekäytössä olevan ajoneuvon muokkaamisesta istuinten osalta. Tämä lainsäädäntö käsitti insinööriyön tekohetkellä seuraavat lait ja asetukset:

- Ajoneuvolaki 82/2021
- Valtioneuvoston asetus ajoneuvoista 162/2021

- Liikenne- ja viestintäviraston määräys auton ja sen perävaunun rakenteen muuttamisesta
- E-säännöt 14 ja 17.

Edellä mainituista säädöksistä ja asetuksista keskityttiin tässä työssä kolmeen ensimmäiseen, sillä kohteena olevan ajoneuvon vuosimallista johtuen eivät E-säännöt 14 ja 17 vaikuta adapterin suunnitteluun ja valmistukseen. Mainittakoon kuitenkin, että vastaavan adapterin suunnittelussa 1.1.1998 jälkeen rekisteröityyn ajoneuvoon tulee adapterin täyttää myös E-sääntöjen vaatimukset.

Ajoneuvolain kolmas ja viides pykälä määräävät, että tieliikennekäytössä olevan ajoneuvon tulee olla turvallinen eikä siinä tule käyttää komponentteja, joita ei ole asianmukaisesti hyväksytty tieliikennekäyttöön. Saman lain pykälissä 7, 13 ja 44 määrätään kuitenkin Liikenne- ja viestintävirasto Traficomille valtuudet antaa tarkemmat määräykset ajoneuvon ja sen komponenttien rakenteen muokkauksen teknisistä vaatimuksista. Seitsemännessä pykälässä mainitaan myös Traficomien määräävään muutosten hyväksymisessä tarvittavista selvityksistä ja vaatimuksista soveltaen Ajoneuvolain pykälien 139 ja 144 määräämiä vaihtoehtoisia vaatimuksista. Ajoneuvolaista on hyvä tarkastella myös pykäläiä 143 ja 144, joissa määritellään muutoskatsastusvelvollisuus sekä vaatimuksenmukaisuuden osoittaminen. Pykälästä 143 tärkein huomio on kohdassa 1:

Ajoneuvon rakennetta on muutettu siten, että muutoksella on vähäistä suurempi vaikutus ajoneuvon turvallisuuteen tai päästöihin -
- (Ajoneuvolaki 2021: § 143).

Pykälässä 144 taas määrätään vaihtoehtoiseksi vaatimuksenmukaisuuden osoittamistavaksi muutoksen tekijän suorittamat laskelmat, mikäli ne kykenevät vakuuttamaan muutoskatsastuksen suorittajan muutoksen vaatimuksenmukaisuudesta. Valtioneuvoston asetuksessa ajoneuvoista löytyy liitteenä myös eri komponenttien muutosprosentit muutoskatsastuksessa, ja istuinten osalta tämä prosentti on 2.

Ajoneuvolain määräysten mukaisesti siirryttiin seuraavaksi tarkastelemaan Traficomien määräystä auton ja sen perävaunun rakenteen muuttamisesta. Traficomien määräyksen kohdassa 3.7 käsitellään istuinten vaihtoa, ja se on täten sovellettavissa myös adapteriin, jota käytetään istuinten kiinnittämiseen. Adapterin osalta olennaista kohdassa 3.7 on istuimen kiinnitystavan määrittäminen. Määräyksen mukaan kiinnitys tulee tehdä ruuvikiinnityksellä rakenteen läpi ja siinä tulee käyttää vähintään neljää lujusluokan 8.8 ja paksuudeltaan vähintään 8-millimetrisiä ruuveja. Kiinnitys tulee myös vahvistaa molemmin puolin rakennetta vähintään 3 mm paksulla pinta-alaltaan 40 cm²:n teräsaluslevyllä.

Adapterin suunnittelussa tulee siis lainsäädännön kannalta ottaa huomioon muutoskatsastus, vaatimuksenmukaisuuden osoittaminen ja kiinnitystapa. Tämän insinööriyön käsittelemässä tapauksessa vaatimustenmukaisuuden osoittamisen ei pitäisi olla ongelma, sillä istuimena tulee toimimaan neljä vuotta uudemman BMW:n istuin kuin kohteena oleva Nissan. Täten voidaan olettaa itse istuimen täyttävän kaikki valmistusajankohdan kriteerit. Lisäksi itse adapterista suoritetaan laskenta, joka osoittaa tuotteen kestävyysolosuhteiden olevan riittävät. Näiden tulisi Ajoneuvolain pykälän 144 kohtien 4 ja 6 pohjalta riittää muutoskatsastuksessa.

3 Suunnittelu

Lainsäädännön selvityksen jälkeen voitiin siirtyä itse adapterin suunnitteluun, kun tiedettiin lainsäädännön tuomat rajoitteet sekä tieliikennekäytön olevan mahdollista. Suunnittelu itsessään pitää sisällään Nissanin alkuperäisen istuinkiskon ja kiinnityspisteiden sekä BMW:n istuinkiskon mittaamisen mallinnusprosessia ja laskentaa varten. Lisäksi adapterin suunnitteluun kuului mittojen pohjalta itse 3D-mallien sekä teknisten piirustusten teko valmistusta varten. Edellä mainittujen ohella haluttiin myös suorittaa laskennallinen osuus, jolla määritetään ja varmistetaan valitun materiaalin kestävyys kyseisessä sovelluksessa.

3.1 Mittaukset

Mittaukset aloitettiin purkamalla kohdeajoneuvosta kuljettajan istuin, jotta päästiin paremmin käsiksi itse istuinkiskoon sekä sen kiinnityskohtiin. Istuimen irrottamisen jälkeen suoritettiin tarvittavat mittaukset käyttäen perinteisiä mittausvälineitä: mittanauhaa, kulmamittaa ja työntömittaa. Istuinkiskosta mitattiin kiinnityspisteiden koot, kiskojen pituus ja leveys sekä sisä- että ulkoreunoista ja istuinkiskon oikean takanurkan sekä etureunan taivutusten kulmien suuruudet. Alla havainnollistava kuva 1 alkuperäisen istuimen kiskosta.



Kuva 1. Nissanin istuinkisko

Alkuperäisen istuinkiskon mittauksen jälkeen siirryttiin mittaamaan BMW:n istuimen kiskoa (kuva 2). BMW:n kiskosta mitattiin samoja mittausvälineitä käyttämällä kiskojen pituus, leveys sisä- ja ulkoreunoista sekä kiinnityspisteiden koot ja paikat ulkoreunoista katsottuna. Koska BMW:n kiskojen ovat suorakulmion muotoisia, ei niistä tarvittu muita mittoja jatkoa varten. BMW:n istuin kuitenkin punnittiin vielä vaa'alla laskennan osuutta varten.



Kuva 2. BMW:n istuinrunko

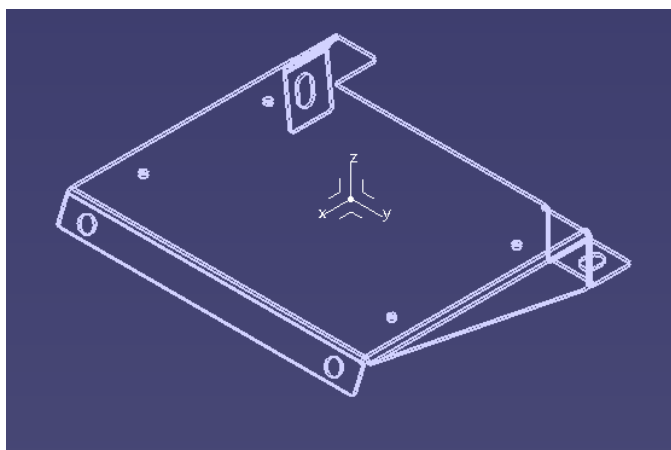
3.2 3D-mallinnus

3D-mallinnusprosessissa työvälineinä käytettiin mittauksien muistiinpanoja sekä CATIA V5 -3D-mallinnusohjelmaa ja sen generative sheetmetal design -toimintoa, josta jatkossa käytetään lyhennettä gsd. Mallinnusprosessissa lähdettiin liikkeelle ajatellen adapteria kokoonpanona ja määrittäen, mitä osia tämä kokoonpano tarvitsisi. Adapterin tulee muuttaa kuvassa 2 nähtävä levymainen kiinnityksen reikäjako kuvassa 1 nähtävään kolmiulotteiseen versioon. Mallintamisen helpottamiseksi päätettiin kokoonpanon koostuvan kahdesta erillisestä levystä, jotka myöhemmin kiinnitettäisiin toisiinsa.

Ensimmäinen levy on BMW:n reikäjaolla oleva suorakulmainen levy, jonka mallinnus on hyvin yksinkertaista. Avataan Catian gsd-toiminto ja luodaan sketch-toiminnolla rautalankamalli suorakulmaisesta levystä, joka on 480 mm leveä ja 395 mm pitkä eli BMW:n istuinrunkojen kiinnitysten mukainen. Levyn rautalankamalliin lisättiin vielä liitteen 1 mukaisesti kiinnitysreiät istuimen kiinnitystä sekä levyjen keskittämistä ja toisiinsa kiinnitystä varten. Lopuksi tehtiin mallista wall-toiminnolla 4 mm paksu levy, sillä Traficomien määräys ajoneuvon ja sen perävaunun rakenteen muokkauksesta asettaa istuimen kiinnityksessä käytettävän vahvikelevyn minimi paksuudeksi 3 mm (Auton ja sen perävaunun rakenteen

muuttaminen 2021: 15). Seuraavaksi siirryttiin hyödyntämään Catian drafting-toimintoa, jolla saadaan luotua 3D-mallin pohjalta tekninen piirustus, jota voidaan hyödyntää valmistuksessa. Drafting-toiminto mahdollistaa nopeahkon teknisen piirustuksen luomisen (liitteet 1–3).

BMW:n levymallin ja teknisen piirustuksen jälkeen oli Nissanin 3D-mallin luomisen vuoro. Nissanin levyn mallinnuksessa haasteeksi osoittautui alkuperäisen kiskon ja kiinnityspisteiden jäljentäminen sen muodon seurauksena. Valmistusta ajatellen oli tarve luoda levymäinen malli, josta saadaan mitat ja muoto taivutettavan aihion leikkausta varten. Tässä vaiheessa mallinnusprosessia päästiin hyödyntämään enemmän gsd:n ominaisuuksia. Mallinnus aloitettiin taas sketch-toiminnon puolella luomalla 420 mm leveä, 375 mm pitkä ja 4 mm paksu levy. Levystä poistettiin seuraavaksi cutout-toiminnolla ylimääräinen materiaali, minkä jälkeen luotiin halutut taivutukset wall on edge -toiminnolla ja mallinnettiin levy kokonaisuutena, jonka mitat saatiin kiskojen mittausten tuloksista laskennallisesti. Lopuksi lisättiin vielä kiinnitysreiät liitteen 2 sivun 3 mukaisesti sekä pyöristettiin terävät kulmat ja lisättiin taivutushellitykset. Taivutusten jälkeen oli Nissanin levyn 3D-malli valmis ja siitä tehtiin vielä tekninen piirustus drafting-toiminnon avulla (Liite 2).



Kuva 3. Nissanin levyn rautalankamalli

Mallintaessa haluttiin myös luoda adapterin kokoonpanosta malli, jotta hahmoitettaisiin lopullinen tuote paremmin ja voitaisiin helpottaa laskennan osuutta. Kokoonpanomalli saatiin luotua käyttämällä Catian assembly design -puolta. Assembly designin -puolella kokoonpanon luomisen vaiheet ovat hyvin yksinkertaiset. Ensin tuodaan halutut komponentit mallinnusohjelmaan, tässä tapauksessa BMW:n levyn malli ja Nissanin levyn malli. Haluttujen mallien syöttämisen jälkeen käytetään constraint-toimintoja sekä manipulation-toimintoa osien kiinnittämiseen toisiinsa. Kokoonpanoon haluttiin myös lisätä levyjen keskittämiin tarkoitettuja pultteja ja muttereita, jotka Catiassa saadaan lisättyä catalog browser -toiminnolla. Riittää, että ladataan kokoonpanoon yksi m10-pultti ja -mutteri, jotka voidaan copy ja paste -toiminnoilla moninkertaistaa, jotta saadaan tarvittava määrä. Lopuksi sijoitetaan myös pultit ja mutterit halutuille paikoilleen, jolloin saadaan liitteen 3 mukainen malli.

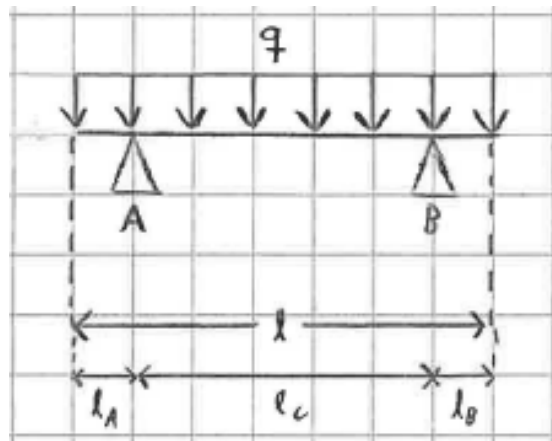
3.3 Laskenta

3D-mallien valmistumisen jälkeen siirryttiin suorittamaan insinööriyön laskennallista osuutta. Työn laskennan osuus sisälsi statiikkaa, lujuusoppia sekä FEM-analyysin, ja sen tavoitteena oli määrittää adapteriin kohdistuvat kuormat sekä materiaalin varmuuskertoimet näihin kuormiin verrattuna. Ajoneuvon rakenteisiin kohdistuu kolmentyyppisiä kuormia: staattisia, dynaamisia sekä mahdollisista onnettomuustilanteista aiheutuvia kuormia.

Staattisen kuorman adapterin tapauksessa aiheuttaa kuljettajan ja istuimen massa sekä normaali putoamiskiihtyvyys. Dynaaminen kuorma taas on erilaisien ajotilanteiden aiheuttamaa kuormaa, joka yleisesti määritettäisiin E-sääntöjen 14 ja 17 määrittämien testien ja/tai mittausten, muun muassa kolaritestin, avulla. Tämän insinööriyön yhteydessä mittausten tekeminen ei kuitenkaan ollut kustannussyistä mielekästä eikä aiheellista. Adapterin tullessa vain yksittäiskäyttöön riittää varmuuden määrittämiseen laskennallinen selvitys muutostarkastusta varten (Ajoneuvolaki 2021: § 144). Mittausten sijaan käytetään kuitenkin tutkimuskeskus VTT:n tiedotteesta saatua kerrointa ja määritetään dynaaminen

kuorma laskennallisesti (Putkipalkkien ja korkealujuuksisten terästen käyttö ajoneuvorakenteissa 1999: 16). Onnettomuustilanteita varten adapteria ei tarvitse mitoittaa, sillä edellä mainituissa tilanteissa suurin kuorma kohdistuu turvavyön kiinnityspisteisiin, jotka sijaitsevat BMW:n istuimessa ja Nissanin B-pilarissa eli niiden voidaan olettaa olevan jo mitoitettu kyseistä skenaariota varten ajoneuvon valmistajan toimesta. Sekä BMW:n E36-korinen että Nissanin K11 -korinen henkilöauto ovat olleet sarjatuotantotuotteita, jolloin niiden on täytynyt läpäistä E-sääntöjen 14 ja 17 mukaiset testit saadakseen tyyppihyväksynnät ja päästäkseen markkinoille näitä sääntöjä noudattavilla alueilla.

Laskenta aloitettiin kertaamalla statiikan ja lujuusopin perusteita eri lähteistä ja etsien kaavoja ja esimerkkejä, joita soveltaa adapterin lujuuden määrittämisessä. Aiheeseen perehtymisen ja alueen kertaamisen jälkeen päädyttiin laskenta aluksi suorittamaan verraten adapteria kahdesta pisteestä tuettuun palkkiin. Laskenta aloitettiin määrittämällä tunnetut muuttujat: massat, normaali puotamiskiihtyvyyt sekä etäisyydet palkin päästä päähän ja tukipisteisiin sekä tukipisteiden välillä. Muuttujien jälkeen piirrettiin adapterista vapaakappalekuviota eli VKK (kuva 4).



Kuva 4. VKK 1

Kuten kuvasta 5 huomataan, laskennassa oletetaan adapteriin kohdistuvan kuorman olevan tasaisesti jakautuva kuorma. Kuorma saadaan määritettyä,

hyödyntämällä Newtonin toista lakia F on yhtä kuin ma . Edellä olevassa kuvassa 5 kuorma on merkitty kuormitusiheyden symbolilla q , jonka arvo saataisiin määritettyä jakamalla kuorman F arvo palkin pituudella l . Tässä tapauksessa sille ei kuitenkaan ole tarvetta, sillä tasaisesti jakautuvat voimat käsitellään yleisesti muuttamalla ne yhdeksi voimaksi, tässä tapauksessa voimaksi F , joka saadaan suoraan Newtonin toisesta laista.

$$F = ma = (m_k + m_i) * g \quad (1)$$

F on kuorman aiheuttava voima

m on massa

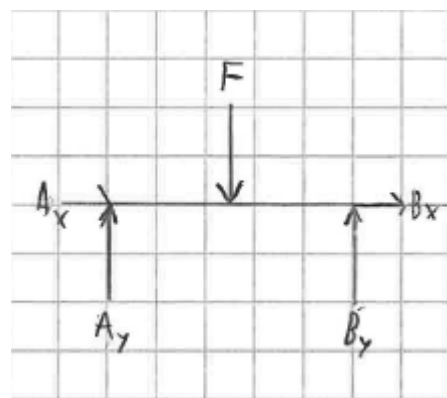
a on kiihtyvyys

m_k on kuljettajan massa

m_i on istuimen massa

g on normaali putoamiskiihtyvyys

Kuljettajan massan arvon voidaan arvioida kyseessä olevan ajoneuvon kokoluokan pohjalta sijoittuvan välille 70–120 kg. Lisäksi voidaan olettaa, ettei kuljettajan massa tule ylittämään 150 kg:aa. Istuimen massa taas on mittausvaiheessa selvitetty punnitsemalla istuin, jolloin sen massan arvoksi tuli 22,8 kg. Putoamiskiihtyvyyden arvo taas on luonnonvakio, ja se saadaan esimerkiksi MAOL-taulukot-kirjasta: $9,81 \text{ m/s}^2$ (Kairinen 2013: 70). Kun nämä arvot sijoitetaan kaavaan 1 saadaan voimalle F arvoksi noin 1700 N.



Kuva 5. VKK 2

Voiman F arvon määrittämisen jälkeen piirrettiin kuvan 6 mukainen VKK ja aloitettiin tasapainoyhtälöiden tekeminen. Todettakoon, ettei adapteriin kohdistu vaakasuuntaisia voimia, jolloin vaakasuuntaisten voimien summa on 0. Seuraavaksi määritettiin momentti tukipisteen A suhteen, jolloin saadaan momentin yhtälöstä selvitettyä tukivoima B .

$$M_A = -\frac{l_c}{2} * F + l_c * B_y = 0 \quad (2)$$

M_A on momentti tukipisteen A suhteen

l_c on tukipisteiden A ja B välinen etäisyys

B_y on tukipisteen B pystysuuntainen tukivoima

Kun yhtälö kirjoitetaan muotoon

$$B_y = (\frac{l_c}{2} * F) / l_c \quad (3)$$

saadaan B_y :n arvoksi 850 N. Tukireaktion B_y -arvon määrittämisen jälkeen voidaan kirjoittaa pystysuuntaisten voimien tasapainoyhtälö, josta saadaan selvitettyä puuttuva tukireaktion A_y -arvo.

$$F_y = A_y - F + B_y = 0 \quad (4)$$

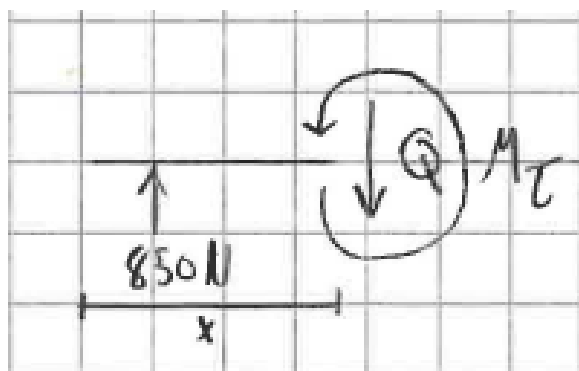
F_y on pystysuuntaisten voimien summa

A_y on tukipisteen A pystysuuntainen tukivoima

Kun yhtälö kirjoitetaan muotoon

$$A_y = F - B_y \quad (5)$$

ja sijoitetaan tunnettujen muuttujien F ja B_y arvot yhtälöön saadaan A_y :n arvoksi 850N. Tukireaktioiden määrittämisen jälkeen piirretään VKK, josta voidaan tarkastella adapteriin kohdistuvaa leikkausvoimaa.



Kuva 6. VKK, vasen puoli

Kun adapterista on piirretty kuvan 7 mukainen VKK voidaan määrittää kuvassa näkyville leikkausvoimalle Q ja taivutusmomentille M_τ arvot kirjoittamalla uudet tasapainoyhtälöt.

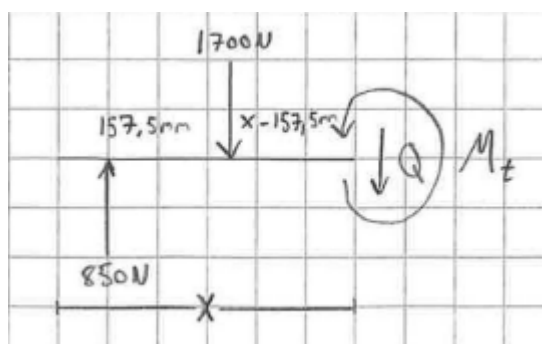
$$F_y = 850\text{ N} - Q = 0 \quad (6)$$

$$M_x = M_\tau - 850\text{ N} * X + 1700\text{ N} * (X - 157,5\text{ mm}) = 0 \quad (7)$$

Seuraavaksi kirjoitettiin yhtälö 7 muotoon

$$M_\tau = 850\text{ N} * X = 0 \quad (8)$$

Tämän jälkeen piirrettiin VKK, jossa näkyy adapterin tukipisteestä B katsottuna vasen puoli.



Kuva 7. VKK, B pisteestä vasemmalle

Sitten kirjoitettiin kuvan 8 VKK pohjalta taas tasapainoyhtälöt.

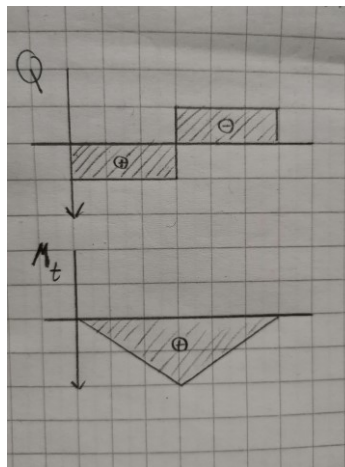
$$F_y = 850 \text{ N} - 1700 \text{ N} - Q = 0 \quad (9)$$

$$M_x = M_\tau - 850 \text{ N} * X + 1700 \text{ N} * (X - 157,5 \text{ mm}) = 0 \quad (10)$$

Sitten kirjoitetaan yhtälö 10 muotoon

$$M_\tau = 267750 \text{ Nmm} - 850 \text{ N} * X = 0 \quad (11)$$

Kuvien 7 ja 8 tasapainoyhtälöiden jälkeen voidaan todeta molempien leikkausvoimien Q arvoksi tulevan 850 N sekä määrittää taivutusmomentille M_τ arvot kohdissa $157,5 \text{ mm}$ ja 315 mm sijoittamalla yhtälöön 7 X :n arvoksi $157,5 \text{ mm}$ sekä yhtälöön 11 X :n arvoksi 315 mm . Näin saadaan M_τ arvoksi kohdassa $157,5 \text{ mm}$ $133\,875 \text{ Nmm}$ ja kohdassa 315 mm 0 Nmm . Seuraavaksi piirrettiin leikkausvoima ja taivutusmomentti kuvat.



Kuva 8. Leikkausvoima ja taivutusmomenttikuvio

Kuvioista voidaan todeta maksimileikkausvoiman Q sijoittuvan tukipisteiden A ja B välille sen arvon olevan 850 N, joka vaihtaa keskellä suuntaa. Vastaavasti voidaan myös todeta maksimitaivutusmomentin M_τ sijoittuvan adapterin keskelle ja sen arvon olevan noin 134 newtonmetriä. Seuraavaksi tarvitsi määrittää adapterille jäyhyysmomentti I_z sekä taivutusvastus W_z näiden arvojen määrittämistä varten tarvittiin seuraavat kaavat.

$$I_z = \frac{b \cdot h^3}{12} \quad (12)$$

b on suorakulmion lyhyemmän sivun pituus

h on suorakulmion pidemmän sivun pituus

$$W_z = \frac{b \cdot h^2}{6} \quad (13)$$

Kaava 12 on suorakulmion muotoisen poikkipinnan jäyhyysmomentin laskentaan ja kaava 13 taas on vastaavan profiilin taivutusvastuksen laskentaan. (Valtanen 2019: 31.) Kaavoihin 12 ja 13 tarvittavat arvot sijoittamalla saadaan jäyhyysmomentti I_z :lle arvoksi 36 864 000 mm⁴ sekä taivutusvastus W_z :n arvoksi 153 600 mm³. Jäyhyysmomentin ja taivutusvastuksen arvojen määrittämisen jälkeen pystyttiin laskemaan normaalijännityksen ja leikkausjännityksen kaavoista niiden arvot.

$$\sigma = \frac{M}{W} \quad (14)$$

σ on normaalijännitys

M on M_τ eli maksimi taivutusmomentin arvo

W on W_z eli taivutusvastus

$$\tau = \frac{F}{A} \quad (15)$$

τ on leikkausjännitys

F on adapterin kuorman aiheuttava voima

A on kuormitettava pinta-ala

Kaavoihin 14 ja 15 arvot sijoittamalla saadaan määritettyä normaalijännityksen arvoksi noin 0,87 N/mm² ja taivutusjännityksen arvoksi 0,0112 MPa. Seuraavaksi laskettiin selvitettyjen jännitysten avulla vertailujännitys, jota käytetään varmuusluvun määrittämisessä sallitun jännityksen arvona.

$$\sigma_{sall} = \sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_y^2 - \sigma_x * \sigma_y + 3\tau^2} \quad (16)$$

Kaavaan 16 tarvittavat arvot sijoittamalla saadaan vertailujännityksen arvoksi 0,87 MPa. Vertailujännityksen lisäksi tarvitaan varmuusluvun määrittämiseen käytettävän materiaalin myötörajan R_{eh} tai murtolujuusalueen arvo, jota käyttää kriittisen jännityksen σ_{kr} arvona. Tässä insinööriyössä valikoitui materiaaliksi Traficomien määräyksen pohjalta 4 mm paksu S355MC-teräslevy, jonka myötörajaa käytettiin laskennassa kriittisen jännityksen arvona (355 N/mm²).

$$\eta = \frac{\sigma_{kr}}{\sigma_{sall}} \quad (17)$$

η on varmuusluku

Kaavan 17 mukaisesti arvot sijoittamalla saadaan määritettyä varmuusluku η jonka arvo on 408. Todettakoon kuitenkin, että edellä määritettyä varmuuslukua voidaan soveltaa vain staattisen kuormituksen osalta, sillä dynaaminen kuormitus on arvoltaan vaihteleva. Tutkimuskeskus VTT on kuitenkin todennut tiedotteessaan putkirakenteiden ja korkealujuuksisten terästen käytössä ajoneuvorakenteissa dynaamisen kuormituksen osoittautuneen mittauksissa olevan noin 1,5–3,5 kertaa staattisen kuormituksen suuruinen (Putkipalkkien ja korkealujuuksisten terästen käyttö ajoneuvorakenteissa 1999: 16).

Tätä tietoa hyödyntämällä voimme määrittää dynaamisen kuormituksen laskennallisesti kaavan 17 avulla, kunhan σ_{sall} arvo kerrotaan 3,5:llä, jolloin saadaan varmuusluvuksi 136 dynaamisen kuormituksen osalta. Edellä olevan laskennan tuloksena saatujen varmuuslukujen ollessa epäilyttävät suuret päädyttiin tilannetta tarkastelemaan myös Niemen ja Kempin Hitsatun rakenteen suunnittelun perusteet -teoksesta löydettyä esimerkkiä soveltaen (Niemi & Kemppi 1993). Esimerkissä määritetään tasapaksun laatan ylärajakuorma ja siihen verraten varmuuskerroin. Ylärajakuorman määrittäminen aloitetaan määrittämällä laatan plastinen momentti m_p .

$$m_p = \frac{h^2}{4} * f_y \quad (18)$$

m_p on plastinen momentti

h on kappaleen paksuus

f_y on materiaalin murtoraja

Kaavaan 18 arvot sijoittamalla saadaan laatan plastisenmomentin arvoksi 1420 N/mm². Seuraavaksi määritettiin laatan elastinen momentti m_{el} .

$$m_{el} = \frac{h^2}{6} * f_y \quad (19)$$

Elastisen momentin määrittämisen jälkeen verrattiin esimerkin mukaisesti plastisen ja elastisen momentin arvoja toisiinsa jakamalla plastinen elastisella, jolloin huomataan kertoimeksi tulevan 1,5 tästä voidaan siis olettaa, että plastiseen muutokseen tarvittava voima on 1,5 kertaa suurempi kuin elastiseen. Toisaalta murtokuormaa vastaava momentti myötöviiviteorialla suorakaidelaatalle saadaan seuraavasti.

$$m_u = \frac{P_u * a * b}{8(1 + \frac{a}{b} + \frac{b}{a})} \quad (20)$$

m_u on murtokuorman momentti

P_u on yläraja kuorma

a on kappaleen leveys

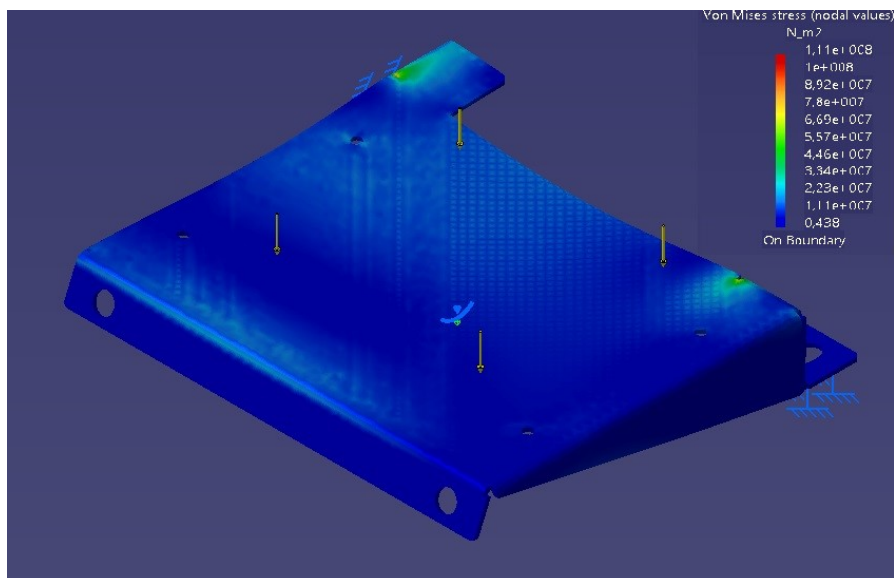
b on kappaleen pituus

Merkitsemällä $m_u = m_p$ saadaan kaavoista 20 ja 18 yhtälö, josta saadaan ratkaistua yläraja kuorman arvo.

$$P_u = \frac{m_p * 24}{a * b} \quad (21)$$

Kaavaan 21 arvot sijoittamalla saadaan yläraja kuorman arvoksi 0,18 N/mm² tai 180 kN/m². Yläraja kuorman määrittämisen jälkeen voidaan selvittää taas varmuuskertoimet vertaamalla isointa tiedossa olevaa kuormaa (1,7 kN/m²) raja kuormaan, jolloin saadaan staattiselle kuormituksella varmuusluvaksi 106 ja dynaamiselle (kerrotaan kuorma 3,5:llä) 30. Huomataan varmuuslukujen arvojen tulleen huomattavasti alemmas palkkiin verrattavissa olevaan laskentaan nähden Niemen esimerkkiä käyttäen.

Varmuuslukujen ollessa edelleen kuitenkin huomattavan korkeat päätettiin tehdä vielä Finite Element Method- eli FEM-malli Catiilla. FEM-analyysi saadaan Catiassa tehtyä hyödyntämällä edellä tehtyjä 3D-malleja ja Catian generative structural analysis-, lyhyesti gsa-toimintoa. FEM-analyysin tavoitteena on havainnollistaa kappaleeseen kohdistuvia rasituksia sekä niiden avulla määrittää kappaleelle varmuusluku valmistusmateriaalin mukaan. FEM-analyysi saadaan tehtyä määrittämällä gsa:n puolella kappaleen kiinnitys/tukipisteet clamp-toiminnolla sekä lisäämällä haluttu kuorma, tässä tapauksessa 1700 N, distributed force -toiminnolla. Lopuksi suoritetaan simulaatio compute-toiminnolla ja päästään tarkastelemaan kuvan 9 mukaisia tuloksia.



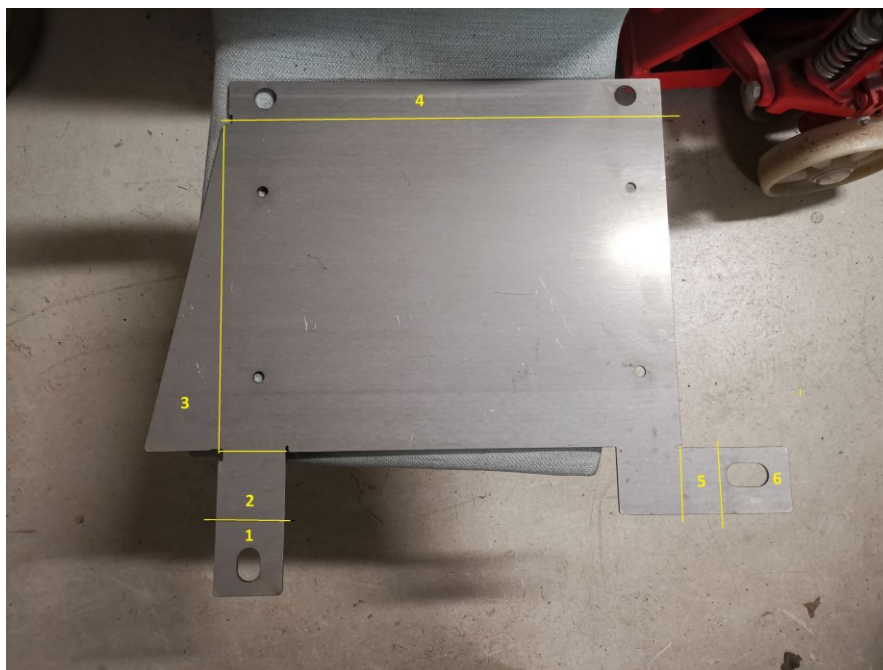
Kuva 9. Nissanin levyn rasituskuva

Kuten kuvasta yhdeksän huomataan, simulaation korkein tuottama rasitusarvo 1700 N:n kuormalla on 111 N/mm^2 ja lukema ilmenee ainoastaan takanurkkien taivutushellitysten alueella. Syynä edellä mainittuun voidaan olettaa Catian laskentatapa ja hellityksen muodon aiheuttama singulariteetti, jolloin Catia lähestyy laskiessaan ääretöntä lukua, ja tällöin rasituslukukin kasvaa singulariteettien alueella, toisin sanottuna terävässä kulmassa. Rasituslukua voidaan kuitenkin nyt hyödyntää varmuusluvun määrittämiseen yksinkertaisesti jakamalla valmistusmateriaalin myötörajan arvo eli 355 N/mm^2 , jolloin saadaan varmuusluvuksi realistisen kuuloinen 3,2. Voidaan siis suoritettun laskennan osalta todeta adapterin olevan riittävän kestävä siihen kohdistuviin kuormiin nähden, kun valmistusmateriaalina käytetään 4 mm paksua kylmämuovattavaa ainestandardin EN 10149-2 mukaista termomekaanisesti valssattua S355MC-hienoraeteräslevyä.

4 Valmistusprosessi

Adapterin valmistuksessa hyödynnettiin Metropolian resursseja sekä valmistusvälineitä. Työstömenetelmiksi valikoituivat laserleikkaus sekä särmäys kyseisten menetelmien tarkkuuden sekä käyttömahdollisuuden takia. Prosessi aloitettiin luomalla aiemmin tehtyjen 3D-mallien pohjalta Catiassa dxf-muotoon tallennetut tekniset piirustukset, jotka tarvittiin levyjen laserleikkausta varten. Seuraavaksi avattiin luodut dxf-tiedostot Prima powerin nexpress-ohjelmassa, jolla luotiin laserin työstöradat, määritettiin leikattavan levyn parametrit ja valittiin leikkauksessa käytettävä kaasu, joka tässä tapauksessa oli happi. Leikkauksen valmistelun jälkeen asetettiin leikattava levy paikalleen ja ajettiin leikkausohjelma läpi. Leikatuista levyistä hiottiin vielä reunat läpi nauhahiomakoneella, minkä jälkeen siirryttiin Nissanin reikäjaolla olevan levyn särmäykseen.

Särmäysprosessi aloitettiin miettimällä, missä järjestyksessä tarvittavat taivutukset olisivat viisainta tehdä. Taivutukset päädyttiin aloittamaan, L-kirjoimen muotoon halutusta takakannakkeesta ja ulkosivulle jäävästä kolmion muotoisesta vahvikkeesta. Nämä ovat 90 asteen kulmaan tulevia taivutuksia, jolloin noitiin hyödyntää osittain samoja särmäysparametrejä. 90 asteen kulmien jälkeen taivutettiin levyn etureuna ja särmäys viimeisteltiin taivuttamalla adapterin sisäreunaan jäävä takakannake. Sisäreunaan jäävä kannake päätettiin taivuttaa viimeisenä, koska ei oltu varmoja, mahtuuko kappale taipumaan käytössä olevalla särmäyslaitteella törmäämättä itse laitteeseen. Alla vielä havainnollistava kuva 10, jossa tehtävät taivutukset on numeroitu tekojärjestyksen mukaisesti.



Kuva 10. Taivutusjärjestys

Särmäysprosessin aikana vaihdettiin aina taivutettavan osuuden mukaan käytettävät ala- ja ylätyökalut sopivan levyisiksi sekä asetettiin laitteelle tarvittavat parametrit eli taivutettavan kohdan leveys, syvyys, haluttu kulma, taivutettavan materiaalin paksuus ja mahdollinen korjausarvo. Laitteelle tehtyjen muutosten jälkeen testattiin vielä asetukset pienemmällä testilevyllä ennen itse adapterinlevyn taivuttamista. Testauksen jälkeen tehtiin tarvittavat taivutukset ja saatiin tehtyä kuljettajan puolen adapterilevy, jonka jälkeen tehtiin vielä toiseen levyyn vastaavat taivutukset päinvastaisiin suuntiin, jolloin saatiin peilikuva eli apukuljettajan puoleinen adapterilevy. Valmistetuista levyistä saadaan adapterikoonpano, kun ne kiinnitetään toisiinsa rakenteen läpi ruuvaamalla. Adapterikoonpano tullaan vielä hitsaamaan pysyvästi kokoon sovituksen ja mahdollisten muokkausten jälkeen sekä pinnoittamaan.

Pinnoitusvaihtoehtoina voidaan harkita esimerkiksi pulverimaalausta tai sinkkipinnoitusta. Adapteri tullaan todennäköisesti pulverimaalaamaan, sillä pulverimaalauksen pinnanlaatu on yleensä parempi kuin sinkkipinnoituksella. Pulverimaalaus on myös näistä kahdesta ympäristöystävällisempi pinnoitusmenetelmä ja soveltuvampi adapterin käyttötarkoituksen huomioon ottaen.

5 Yhteenveto

Insinööriyössä suunniteltiin ja valmistettiin tieliikennekäyttöön soveltuva istuinkiskoadapteri ja lisäksi haluttiin kehittää työntekijän osaamista tuotteen suunnittelun ja valmistuksen osalta. Insinööriyössä selvitettiin istuinkiskoadapterin käyttöön tieliikenteessä liittyvä lainsäädäntö sekä se, miten se tulee ottaa huomioon adapterin suunnittelussa. Lainsäädännön selvityksen jälkeen aloitettiin adapterin suunnittelu mittaamalla olemassa olevat istuinkiskot kohdeajoneuvosta ja istuimesta. Istuinkiskojen mittausten pohjalta luotiin adapterista 3D-mallit, jotta saataisiin valmistettavasta kappaleesta parempi kuva sen lujuuden ja vaatimustenmukaisuuden osoittamista varten. 3D-mallien valmistumisen jälkeen siirryttiin määrittämään kappaleen lujuutta varmuusluvun avulla lainsäädännön pohjalta valitun materiaalin myötörajan suhteen. Lopuksi valmistettiin adapteri laserleikkaamalla aiemmin tehtyjen mallien mukaiset teräslevyt ja särmäämällä niistä Nissanin reikäjaolla olevat levyt haluttuun muotoon.

Insinööriyön tuloksena saatiin valmistettua haluttu adapteri ja selvitettyä sen tieliikenteessä käytön edellytykset. Insinööriyö ei kuitenkaan edennyt ilman ongelmia. Laskentaa suorittaessa osoittautui haastavaksi sovellettavan esimerkin löytäminen, ja aihetta päädyttiin tarkastelemaan kolmesta eri näkökulmasta, jotta päästäisiin mahdollisimman realistiseen lopputulokseen. Varmuuslukua määrittäessä jouduttiin myös aiemmin tehtyjä 3D-malleja muokkaamaan, jotta saatiin tehtyä FEM-analyysi.

Analyysin ja varmuusluvun määrittämisen jälkeen valmistettiin adapteri, jossa huomattiin sovitussvaiheessa olevan mittavirheitä, minkä seurauksena adapteri ei sellaisenaan ole käyttökelpoinen. Virheet ovat kuitenkin pieniä ja pienellä muokkauksella pystytään jo valmistettua adapteria hyödyntämään. Todettakoon kuitenkin, että virheiltä olisi voitu välttyä esimerkiksi skannaamalla alkuperäiset istuinkiskot perinteisen mittaamisen sijaan tai käyttämällä useampaa eri mittatyökalua ja vertaamalla niiden tuloksia keskenään. Insinööriyöstä saatiin kuitenkin hyvää kokemusta sekä adapteri, jota voidaan hyödyntää haluttuun käyttötarkoitukseen.

Lähteet

Ajoneuvolaki. 2021. 82/15.1.2021.

Auton ja sen perävaunun rakenteen muuttaminen. 2021. Verkkoaineisto. Traficom. < <https://www.traficom.fi/fi/> >. Päivitetty 1.3.2021. Luettu 26.5.2021.

Niemi, Erkki & Kemppi, Juha. 1993. Hitsatun rakenteen suunnittelun perusteet. Helsinki: Painatuskeskus Oy.

Errors in FEA and Understanding Singularities (Beginners' Guide). 2021. Verkkoaineisto. Simscale. < <https://www.simscale.com/> >. Päivitetty 14.6.2021. Luettu 8.2.2022.

Valtanen, Esko. 2019. Tekniikan taulukkokirja. 22., painos. Mikkeli: Genesis-Kirjat Oy.

E-sääntö 14. 2020. Verkkoaineisto. Unece. < <https://unece.org/> >. Päivitetty 23.7.2020. Luettu 7.1.2021.

E-sääntö 17. 2020. Verkkoaineisto. Unece. < <https://unece.org/> >. Päivitetty 11.6.2020. Luettu 7.1.2021.

Santaoja, Kari. 2011. Rasitusopin käsikirja lujuusopin lukijoille. 1., painos. Espoo: Sasata.

Kairinen, Kirsi. 2013. MAOL-Taulukot. 1., painos. Helsinki: Otava.

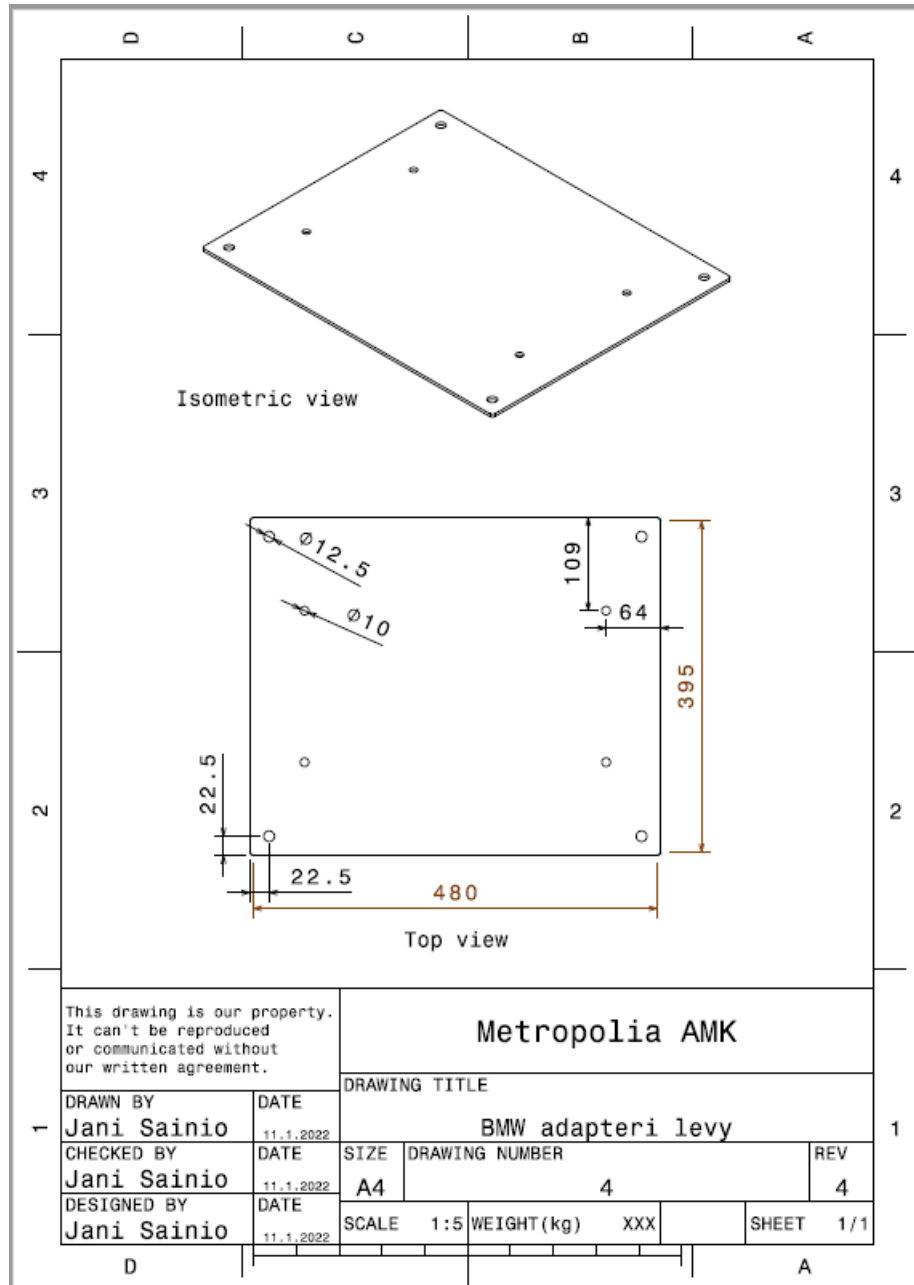
Putkipalkkien ja korkealujuuksisten terästen käyttö ajoneuvorakenteissa. 1999. Verkkoaineisto. VTT. < <https://cris.vtt.fi/> >. Päivitetty 1999. Luettu 16.11.2021

Singularities in Finite Element Models: Dealing with Red Spots. 2015. Verkkoaineisto. Comsol. < <https://www.comsol.com/> >. Päivitetty 3.6.2015. Luettu 8.2.2022.

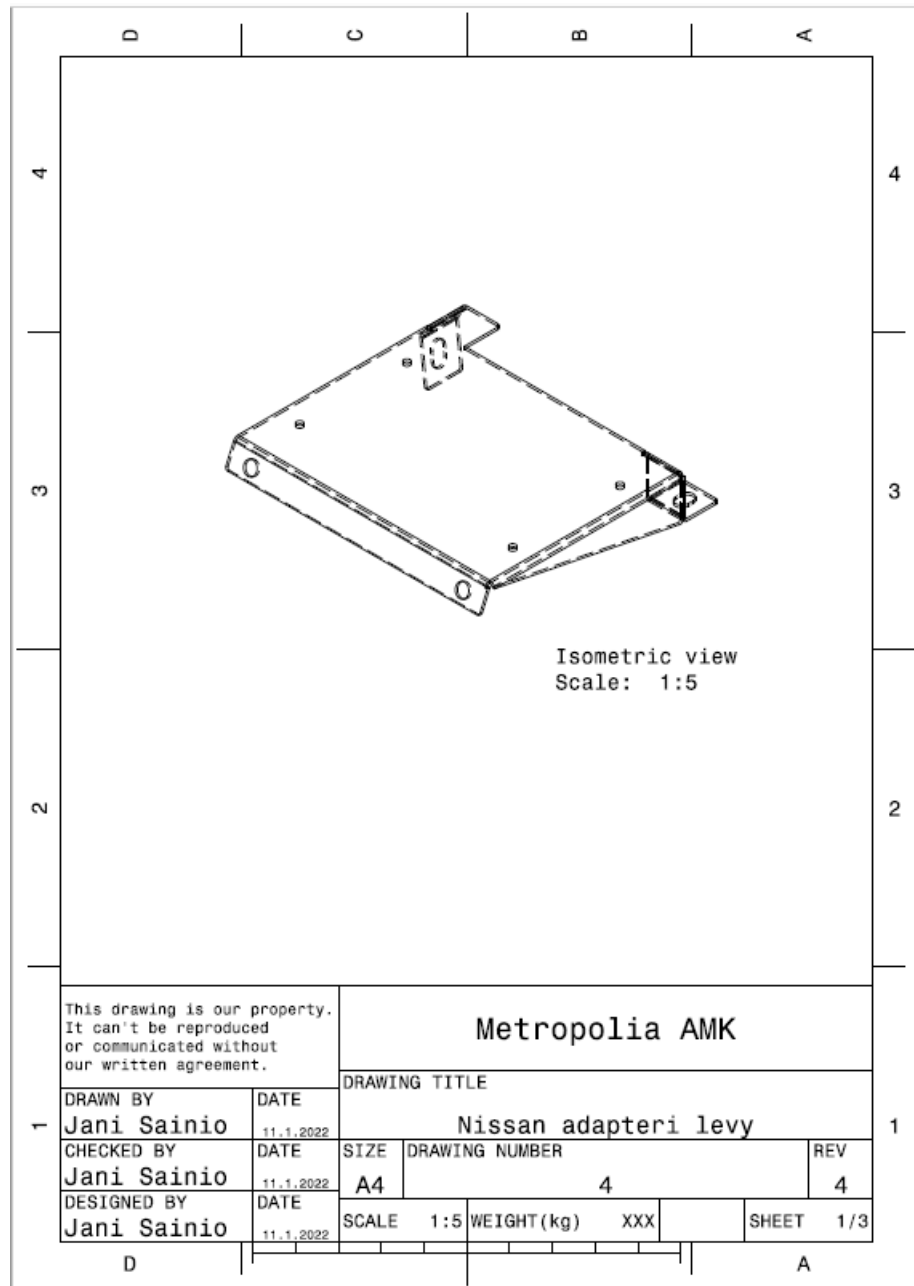
Sinkitys vai maalaus – Miksi suosimme pulverimaalausta teräksen pintakäsittelyssä?. 2020. Verkkoaineisto. Besthall. < <https://www.besthall.com/> >. Päivitetty 20.10.2020. Luettu 8.2.2022.

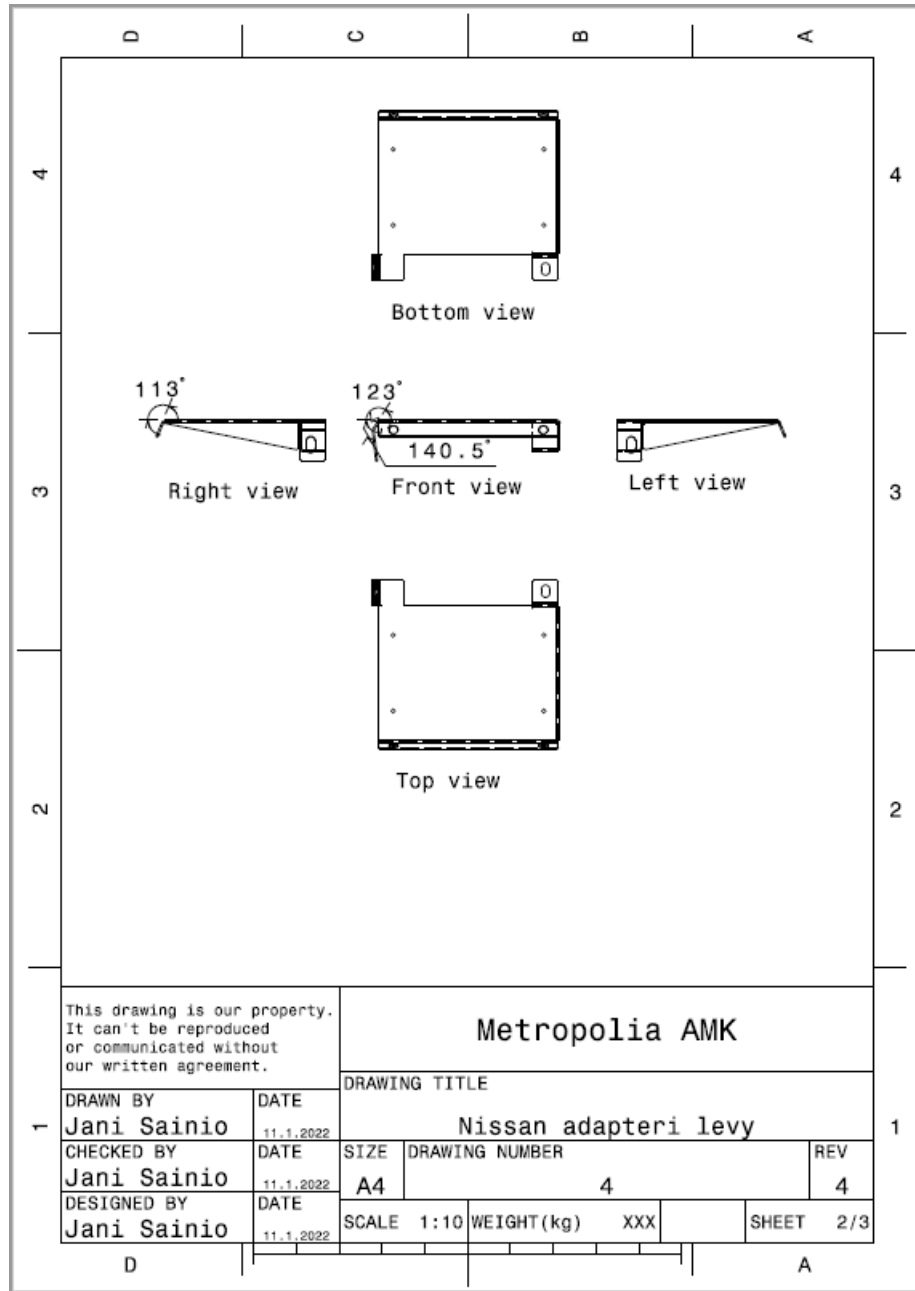
Valtioneuvoston asetus ajoneuvoista. 2021 162/25.2.2021.

BMW:n levyn tekninen piirustus



Nissanin levyn tekninen piirustus

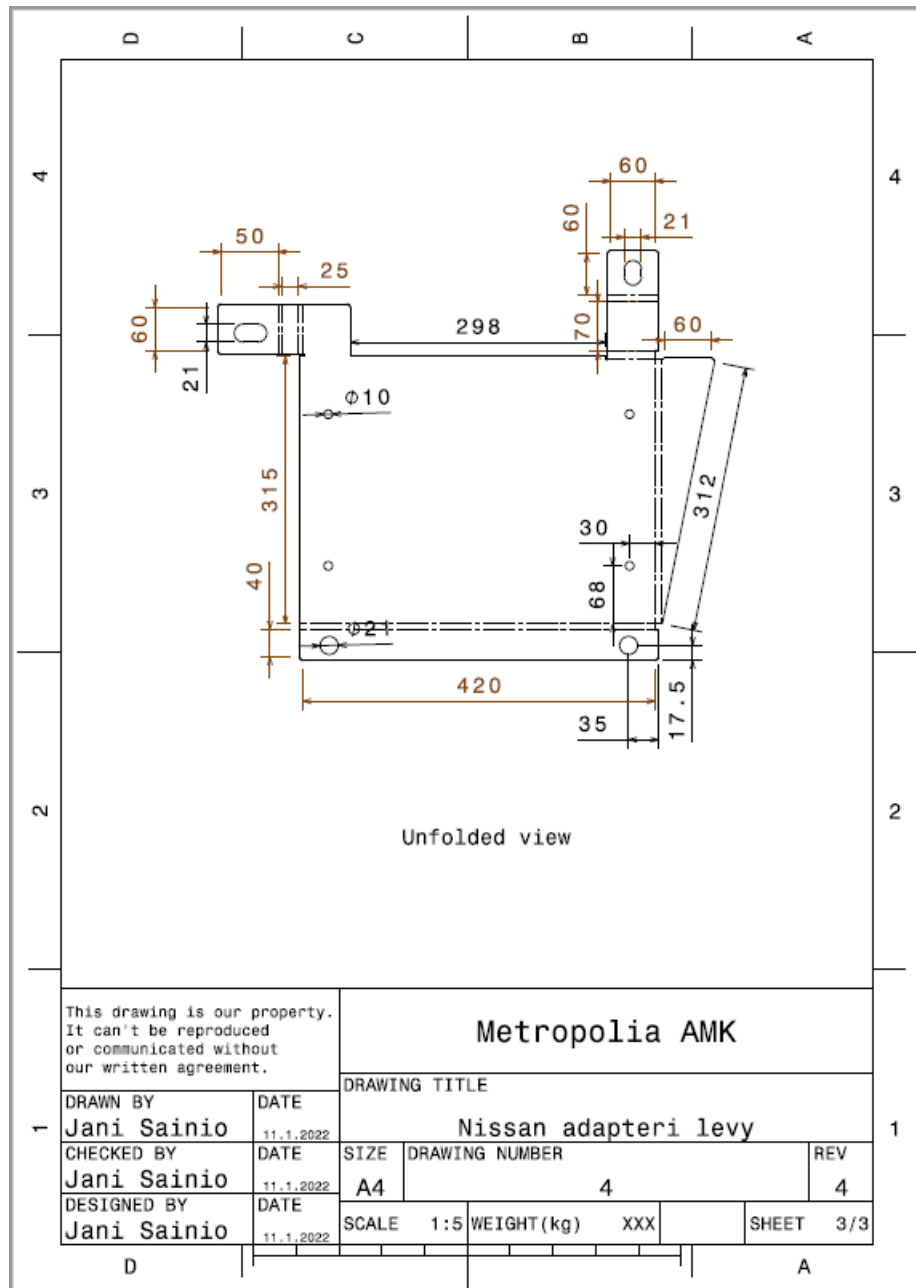




This drawing is our property.
It can't be reproduced
or communicated without
our written agreement.

Metropolia AMK

DRAWN BY Jani Sainio		DATE 11.1.2022		DRAWING TITLE Nissan adapteri levy		
CHECKED BY Jani Sainio	DATE 11.1.2022	SIZE A4	DRAWING NUMBER 4		REV 4	
DESIGNED BY Jani Sainio	DATE 11.1.2022	SCALE 1:10	WEIGHT(kg) XXX	SHEET 2/3		



This drawing is our property.
It can't be reproduced
or communicated without
our written agreement.

Metropolia AMK

DRAWN BY Jani Sainio		DATE 11.1.2022		DRAWING TITLE Nissan adapteri levy			
CHECKED BY Jani Sainio		DATE 11.1.2022		SIZE A4	DRAWING NUMBER 4	REV 4	
DESIGNED BY Jani Sainio		DATE 11.1.2022		SCALE 1:5	WEIGHT(kg) XXX	SHEET 3/3	

D

A

Adapteri kokoonpanon tekninen piirustus

