jamk.fi

Kasettiperävaunun 3D-mallintaminen

Mika Katajamäki

Opinnäytetyö
Toukokuu 2015

Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma
Tekniikan ja liikenteen ala

JYVÄSKYLÄN AMMATTIKORKEAKOULU
JAMK UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

JYVÄSKYLÄN AMMATTIKORKEAKOULU
JAMK UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Kuvailulehti

Tekijä(t)	Julkaisun laji	Päivämäärä
Katajamäki, Mika	Opinnäytetyö	30.05.2015
	Sivumäärä 32	Julkaisun kieli Suomi
		Verkkojulkaisulupa myönnetty: x

Työn nimi
Kasettiperävaunun 3D-mallintaminen

Koulutusohjelma
Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma

Työn ohjaaja(t)
Antti Henell
Petri Luosma

Toimeksiantaja(t)
Antti Väisänen,
Driving Team Oy.

Tiivistelmä

Opinnäytetyössä suunniteltiin neliakselinen kasettiperävaunu Driving Team Oy:lle, joka on kuljetusalan monitoimiyritys. Raskaankaluston painorajoja kasvatettiin vuonna 2013. Susien rajoitusten hyödyntäminen vaatii vähintään 4-akselisen perävaunun, joten siirtymäjakson loppuun, kesään 2018, mennessä suuri osa vanhoista 3-akselisista perävaunuista vaihdetaan tai muunnetaan 4-akselisiksi. Driving Team haluaa olla valmiina täyttämään tätä kysyntää tarjoamalla oman 4-akselisen perävaunun mallinsa.

Työssä laadittiin 3-akselisen perävaunun pohjalta 3D-malli, lujuuslaskelmat ja työpiirustukset 4-akselisesta perävaunusta. Käytetyt rakenneratkaisut pohjautuvat vanhassa 3-akselissa perävaunussa käytettyihin ja käytännössä toimiviksi todettuihin ratkaisuihin.

Avainsanat (asiasanat)
FEM, Kasettiperävaunu, 3D-mallintaminen.

Muut tiedot

JYVÄSKYLÄN AMMATTIKORKEAKOULU
JAMK UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Description

Author(s)	Type of publication	Date
Katajamäki, Mika	Bachelor's thesis	30.05.2015
		Language of publication: Finnish
	Number of pages 32	Permission for web publication: x

Title of publication
3D-modeling of transfer body dump truck trailer

Degree programme
Mechanical and Production Engineering

Tutor(s)
Antti Henell
Petri Luosma

Assigned by
Antti Väisänen,
Driving Team Oy.

Abstract

Objective of this thesis was to design a dump truck trailer for Driving Team Oy., a multi-function company in the transportation industry. Weight limits for commercial vehicles were raised in 2013. In order to utilize the higher weight limits, old commonly used 3-axle trailers have to be replaced or converted into 4-axle ones before June 2018. Driving Team wants to be ready to fill this demand by offering their own 4-axle trailer model.

Scope of the thesis includes 3D-modelling of the trailer, performing necessary strength calculations and finally creating drawings. Design is based on an old 3-axle trailer model with a design that's tested and proven functional in use.

Keywords/tags (subjects)
FEM, Transportation, 3D-modeling

Miscellaneous

Sisältö

1 Johdanto ... 3
1.1 Työn taustat ... 3
1.2 Driving Team Oy ... 3
2 Elementtimenetelmä ... 4
2.1 Menetelmän määritys ... 4
2.2 Käyttökohteet ... 5
3 Hitsaaminen ... 7
3.1 Hitsaamisen periaate ... 7
3.2 Yleisimmät hitsaustekniikat ... 7
4 Kasettiperävaunun rakenne ... 10
4.1 Alusta ... 10
4.2 Lava ... 11
5 Perävaunun suunnittelu ... 13
5.1 Lähtötiedot ... 13
5.2 Etuvaunu ... 13
5.3 Runko ... 16
5.4 Kasettilava ... 18
5.4.1 Lavan runko ... 18
5.4.2 Akselit ... 21
5.4.3 Hydraulisylinteri ... 23
6 Pohdinta ... 24
Lähteet ... 25
Liitteet ... 26
Liite 1: Multisteelin mekaaniset ominaisuudet ... 26
Liite 2: Pyörän kutistesovitteen mitoitus ... 27
Liite 3: Tapin työpiirustus ... 29
Liite 4: Suojapellin työpiirustus. ... 30
Liite 5: Korvakkeen hitsauspiirustus. ... 31
Liite 6. Korvakkeen kokoonpanopiirustus. ... 32

Kuviot

Kuvio 1. Pyöräkuormaajan puomin mallissa muodostettu elementtiverkko. 5
Kuvio 2. Rakenteen jännitysten visualisointi..... 6
Kuvio 3. Hitsauspuikko. Lisäainelangan päällä on kuonaa muodostava suojaaine. 9
Kuvio 4. Kasettiyhdistelmä 10
Kuvio 5. Etuvaunun 3D-malli 14
Kuvio 6. Etuvaunun jännitysanalyysi. 16
Kuvio 7. Rungon 3D-malli. 17
Kuvio 8. Rungon jännitysanalyysi. 18
Kuvio 9. Lavanrungon 3D-malli. 19
Kuvio 10. Lavan 3D-malli. 19
Kuvio 11. Lavanpohjan jännitysanalyysi. 20
Kuvio 12. Lavan seinien jännitysanalyysi. 21
Kuvio 13. Akselin jännitysanalyysi 22

1 Johdanto

1.1 Työn taustat

Vuonna 2013 muuttuneiden raskaankaluston painorajoitusten johdosta kuljetusalalla on tarve kaluston uudistamiseen. Muutoksella sallitaan ajoneuvoyhdistelmien kokonaispainon kasvattaminen akselimäärästä riippuen jopa 76 tonniin. Muutokseen sisältyy viiden vuoden siirtymäkausi, jona aikana sallitaan suuremmat akselipainot. Uusien rajoitusten mukaan 8-akselisen yhdistelmän suurin sallittu kokonaismassa nousee 68 tonniin ja 9-akselisen yhdistelmän 76 tonniin. Siirtymän aikana 7-akseliselle yhdistämälle sallitaan 64 tonnin kokonaismassa. (VnA 407/2013) Vanhat kasettiyhdistelmät ovat tyypillisesti 7-akselisia; 4-akselinen vetoauto ja 3-akselinen perävaunu. Jotta korotettuja painorajoituksia voidaan hyödyntää siirtymäkauden loputtua, pitää vanhat 3-akseliset perävaunut vaihtaa tai muuttaa 4-akselisiksi.

Tämän opinnäytetyön tehtävä oli luoda 3D-malli, työpiirustukset ja lujuuslaskelmat 4-akselisesta kasettiperävaunusta. Suunnittelutyön pohjana käytettiin vanhaa 3-akselista perävaunua, johon tehtiin tarvittavat muutokset kokonaispainon kasvattamiseksi uusien säännösten mukaiseksi. Työn toimeksiantaja oli Driving Team Oy. 3D-mallinnukseen ja työpiirustusten laatimiseen käytettiin SolidWorks-ohjelmistoa. Lujuuslaskenta suoritettiin sekä käsin laskentana että käyttäen SolidWorksin simulointitoimintoja.

1.2 Driving Team Oy

Driving Team Oy on suomalainen auto- ja kuljetusalan yritys. Yritys on perustettu vuonna 1966, ja nykyisellä nimellä se on toiminut vuodesta 2003 lähtien. Yrityksen kotipaikka on Iisalmessa. Alusta lähtien toimintaan ovat kuuluneet autokoulut, joita on nykyään Suomessa 14 paikkakunnalla sekä lisäksi Puolassa. Myöhemmin mukaan tulivat Ivecon myynti- ja huoltopalvelut Itä-Suomessa. Lisäksi konserniin kuuluu kaksi

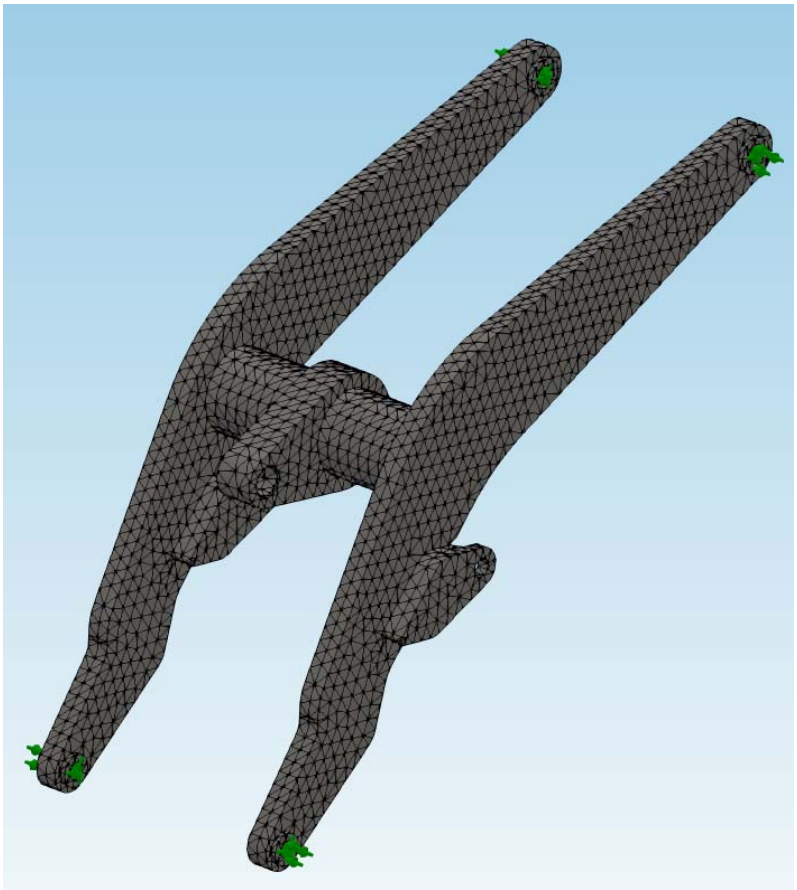
rengasliikettä. Nykyisellään konserni työllistää hieman yli sata henkilöä ja liikevaihto on noin 10 miljoonaa euroa. (Nousiainen 2014.)

2 Elementtimenetelmä

2.1 Menetelmän määritys

Elementtimenetelmä (FEM, Finite Element Method) on numeerinen laskentamenetelmä, jolla voidaan ratkaista sellaisia matemaattisia ongelmia, joiden ratkaiseminen analyyttisesti on erittäin monimutkaista tai jopa mahdotonta. Menetelmää käytetään mekaniikan ja fysiikan aloilla. Tyypillisiä sovelluksia ovat lujuuslaskenta, nesteiden virtauksen simulointi, lämmön johtumisen simulointi ja magneettikenttien simulointi. (Logan 2007, 1.)

Analyyttisiksi menetelmiksi kutsutaan sellaisia, joissa ongelma ratkaistaan algebrallisesti ja ratkaisu tuottaa oikean vastauksen rakenteen jokaisessa kohdassa. Analyyttisen ratkaisun löytäminen vaatii yleensä monimutkaisten differentiaaliyhtälöiden ratkaisemista ja joissain tapauksissa näitä yhtälöitä ei voida muodostaa ollenkaan. Elementtimenetelmässä kokonaisuus jaetaan rajallisen kokoiseksi ryhmäksi yksinkertaisia yhtälöitä, ts. elementeiksi, jotka approksimoivat ratkaisua rakenteen eri kohdissa. Elementtimenetelmällä saatava tulos on approksimaatio, ja tärkein sen tarkkuuteen vaikuttava tekijä on laskennassa käytettyjen elementtien määrä. Tarkka tulos vaatii yleensä niin suuren määrän elementtejä, että niiden käsin ratkaiseminen ei ole järkevää tai edes mahdollista. Tietokoneella suuretkin ongelmat voidaan ratkaista kohtuullisessa ajassa. Nykyaikaiset 3D-cad-ohjelmistot sisältävät usein sisäänrakennetut FEM-työkalut, jolloin suunnittelija pystyy nopeasti tarkistamaan tuotteen kestävyyden ja tekemään muutoksia tulosten perusteella suunnittelun ohessa, ilman että mallia tarvitse siirtää toiseen ohjelmaan. FEM-työkalujen avulla tuotteita on helppo optimoida esimerkiksi painon minimoimiseksi lujuutta vähentämättä. (Logan 2007, 1.)



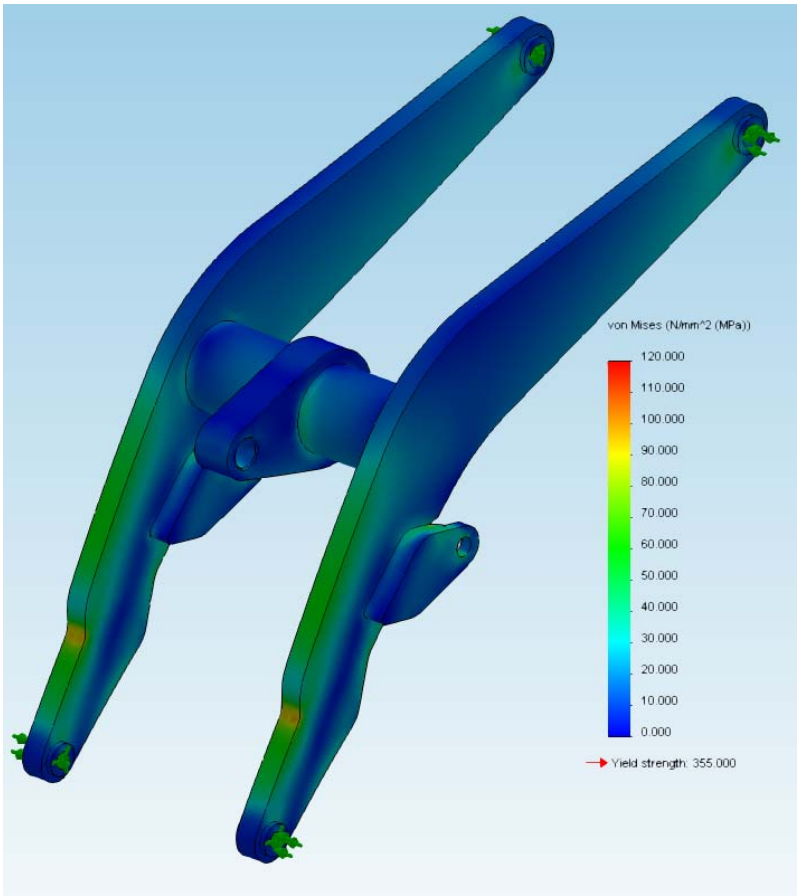
Kuvio 1. Pyöräkuormaajan puomin mallissa muodostettu elementtiverkko

2.2 Käyttökohteet

Solidworks 2014:n FEM-paketista löytyvät elementtimenetelmään perustuvat laskentatoiminnot staattisille kuormille, väsyttäville kuormille, plastiselle muodonmuutokselle, nurjahdukselle, lämmönjohtavuudelle, ominaisvärähtelylle ja paineastioiden suunnitteluun. Erillisenä lisäosana on saatavilla myös CFD (Computational Fluid Dynamics) eli virtaussimulointimoduuli. (Solidworks 2014.)

Lujuusanalyysi

Lujuuslaskennassa tarkasteltava rakenne pilkotaan elementtiverkoksi (ks. kuvio 1), jossa jokainen elementti kuvaa rakenteen paikallista jäykkyyttä, ja ratkaisuna saadaan annetun kuormituksen rakenteeseen aiheuttama muodonmuutoksen approksimaatio. Lasketusta muodonmuutoksesta voidaan ratkaista rakenteessa vaikuttavat jännitykset. (ks. kuvio 2.) (Logan 2007, 28.)



Kuvio 2. Rakenteen jännitysten visualisointi

Värähtely

Värähtelyanalyysi etsii rakenteen eri värähtelymoodeja ja niiden resonanssitaajuuksia. Tällä voidaan tarkistaa, ettei rakenne resonoi siihen kiinnitettävien värähtelylähteiden, kuten moottoreiden, kanssa. (Solidworks 2014.)

Väsyminen

Väsymisanalyysissä käytetään pohjana lujuusanalyysissä laskettuja jännityksiä. Jännitystiedon lisäksi lähtötietoja ovat kuormituksen vaihtelua kuvaavat tiedot sekä käytetyn materiaalin väsymis- eli SN-käyrä. Kuormitus voi olla sinimuotoista halutulla taajuudella tai se voi olla mittauksiin perustuva vaihteleva käyrä. Analyysi vertaa jännityksiä väsymiskäyrään ja laskee rakenteen kestoiän eri kohdissa. (Solidworks 2014.)

Lämpö ja virtaussimulointi

Lämpösimuloinnissa elementit kuvaavat rakenteen lämmönjohtavuutta. Lähtötietoina annetaan halutuille elementeille haluttu lämpötila tai lämpöteho. Analyysi ratkaisee lämmön johtumisen rakenteessa. Näin saadaan selville esimerkiksi lämpöhukan määrä. (Solidworks 2014.)

3 Hitsaaminen

3.1 Hitsaamisen periaate

Hitsaamisella tarkoitetaan aineen paikalliseen kuumentamiseen perustuvia liittämismenetelmiä. Yleisimmin hitsausta käytetään metallien ja joidenkin muovilaatujen liittämiseen. Hitsaamalla tehdyt liitokset ovat pysyviä, eikä niitä voi purkaa muuta rakennetta vahingoittamatta. (Grönlund 1990, 5.)

Eri hitsausmenetelmissä liittäminen tehdään joko paikallisesti sulattamalla liitettäviä kappaleita jolloin sulan jähmettyessä kappaleet liittyvät toisiinsa, taikka puristamalla kuumennettuja kappaleita toisiaan vasten, jolloin diffuusion avulla kappaleet liittyvät toisiinsa. Ensiksi mainittuja menetelmiä kutsutaan sulahitsaukseksi ja jälkimmäisiä puristushitsaukseksi. Lämmön lähteenä voidaan käyttää muun muassa sähkövirtaa, kaasuliekkiä taikka kitkaa. (Grönlund 1990, 23.)

3.2 Yleisimmät hitsaustekniikat

Sulahitsausmenetelmistä yleisimmät ovat eri kaarihitsausmenetelmät joissa ainetta sulatetaan valokaaren avulla. Yleisimpiä kaarihitsausmenetelmiä ovat MIG/MAG-, TIG-, puikko- ja jauhekaarihitsaus. Kaasuhitsauksessa lämmönlähteenä toimii kaasuliekki. Puristushitsaustekniikoista yleisimmät perustuvat vastushitsaukseen jossa yhteen puristettujen kappaleiden läpi johdetaan sähkövirta. Liitoksen sähkövastus saa sen lämpiämään kunnes osat liittyvät toisiinsa. Puristushitsausmenetelmiä ovat esimerkiksi pistehitsaus ja kiekkohitsaus. (Grönlund 1990, 23.) Niihin kuuluu myös monia erikoismenetelmiä jotka eivät ole tämän työn kannalta olennaisia.

MIG/MAG-hitsaus

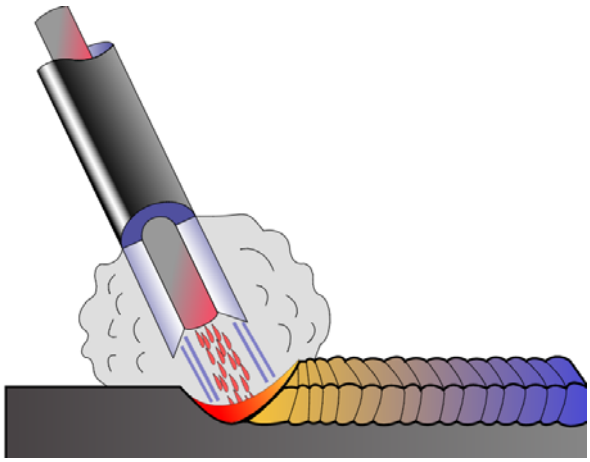
MIG/MAG-hitsauksessa hitsauselektrodina toimii ohut lanka joka hitsauksen edetessä sulaa ja lisää ainetta hitsisaumaan. Samalla hitsauspolttimen läpi syötetään kaasua, joka suojaa sulaa metallia ilman vaikutuksilta. MIG-hitsauksessa suojakaasu on inerttiä, eli se ei reagoi sulan metallin kanssa. Suojakaasuna käytetään argonia tai heliumia. MAG-hitsauksessa käytetään aktiivista suojakaasua, joka reagoi sulan metallin kanssa. Yleisin tällainen suojakaasu on hiilidioksidi. Koska lisäainetta syötetään jatkuvasti pitkältä kelalta, voidaan MIG- ja MAG-hitsauksella helposti hitsata pitkiä saumoja nopeasti ja keskeytymättä. (Grönlund 1990, 60.)

TIG-hitsaus

TIG-hitsauksessa elektrodina käytetään volframia, joka ei sula valokaaren vaikutuksesta. Tarvittaessa lisäainetta syötetään käsin erillisestä lisäainelangasta. Suojakaasuna käytetään inerttejä kaasuja volframielektrodin hapettumisen estämiseksi. TIG-hitsauksen etuja ovat suuri tarkkuus ja hyvin säädeltävä lämmöntuonti, jolloin ohuidenkin kappaleiden hitsaaminen onnistuu hyvin. Se on kuitenkin hitaampi kuin muut hitsaustekniikat. (Grönlund 1990, 85.)

Puikkohitsaus

Puikkohitsauksessa hitsauselektrodina toimii MIG-hitsauksen tapaan lisäainelanka. Puikkohitsauksessa lankaa ei kuitenkaan syötetä kelalta vaan se on lyhyenä puikkona, joka pitää vaihtaa puikon kuluttua loppuun. Puikkohitsauksessa ei käytetä suojakaasua, vaan hitsiä suojataan puikon päällä olevalla kuona-aineella, joka puikon sulaessa siirtyy hitsisulan päälle. (ks. Kuvio 3) Hitsin jähmettyessä se muodostaa sauman päälle kuonakerroksen, joka pitää poistaa hitsauksen jälkeen. Puikkohitsauksen etuina ovat laajalisäaine valikoima sekä laitteiston yksinkertaisuus, kun suojakaasua ei tarvita. (Grönlund 1990, 38.)



Kuvio 3. Hitsauspuikko. Lisäainelangan päällä on kuonaa muodostava suoja-aine (Marcel Ochal, PD)

Jauhekaarihitsaus

Jauhekaarihitsaus on automaattihitsausmenetelmä, jolla pystytään hitsaamaan pitkiä ja järeitä saumoja tehokkaasti. Elektrodina toimii lisäainelanka niin kuin MIG-hitsauksessa, mutta suojakaasun sijasta hitsiä suojataan kuonaa muodostavalla jauheella. Jauhekaarihitsauksella saavutetaan suuri tuottavuus suuria kappaleita hitsattaessa. (Grönlund 1990, 99.)

Pistehitsaus

Pistehitsauksessa hitsattava kappaleet puristetaan kahden kuparielektrodin väliin ja niiden läpi johdetaan sähkövirta, joka kuumentaa kappaleiden rajapinnan. Kappaleet liittyvät toisiinsa lämmön ja puristuksen yhteisvaikutuksesta. Pistehitsaus soveltuu ohutlevykappaleiden nopeaan liittämiseen, kun liitokselta ei vaadita suurta lujuutta. Hitsaustapahtuma kestää noin sekunnin. (Grönlund 1990, 113)

Kiekkohitsaus

Kiekkohitsaus muistuttaa pistehitsausta. Kiekkohitsauksessa kuparielektrodit ovat kiekonmuotoiset jolloin kappaleiden liikkuessa kiekkojen välistä syntyy pitkä yhtenäinen sauma, joka on pistehitsiä lujempi. (Grönlund 1990, 125)

4 Kasettiperävaunun rakenne

4.1 Kasettiyhdistelmä

Kasettiperävaunu on osa maansiirtoon tarkoitettua ajoneuvoyhdistelmää. (ks. kuvio 4) Se rakentuu alustasta ja sen päällä olevasta lavasta, joka voidaan tyhjentämistä varten siirtää vetoauton lavalle. Lavan siirtämistä vetoauton päälle sanotaan kasetoinniksi. Menetelmästä on se hyöty, että perävaunuun ei tarvitse asentaa omaa kippilaitetta ja perävaunu pystytään tyhjentämään myös sellaiseen paikkaan, johon ei koko ajoneuvoyhdistelmää pysty peruuttamaan.

Kuvio 4. Kasettiyhdistelmä (Erkki Piirainen, CC-BY-SA 3.0)

4.2 Alusta

Perävaunun alusta koostuu tyypillisesti kahdesta levyistä hitsatusta pitkittäispalkista ja näitä yhdistävistä poikkipalkeista. Pitkittäispalkkien tehtävä on kantaa kuorman

paino. Poikittaispalkit antavat perävaunulle vääntöjäykkyyttä. Takapäässä pitkittäispalkkien alle hitsataan jousituksen korvakkeet, joihin jouset ja akselit kiinnitetään. Kasettiperävaunuissa suositaan lehtijousia, sillä ilmajousituksen epävakaus vaikeuttaa kasetointia.

Etupäässä perävaunun alle tulee erillinen kääntyvä runko, jota kutsutaan etuvaunuksi. Etuvaunu kiinnitetään perävaunun alustaan kuulakehällä, joka sallii eturungon kääntyä vaakatasossa. Ilman tätä perävaunun kääntäminen olisi erittäin vaikeaa. Etuvaunun alle hitsataan samanlaiset korvakkeet jousitukselle kuin perävaunun takaosaankin. Etummaisissa korvakkeissa on kiinnitysreiät vetoaisalle. Kasettiperävaunussa vetoaisa tulee alemmaksi kuin muissa perävaunutyypeissä, jotta vetoauto pystyy peruuttamaan perävaunua vasten.

Kasettiperävaunut voidaan jakaa kahteen eri tyyppiin. Manuaali- eli letkukasetissa lava kytketään vetoauton hydrauliikkajärjestelmään ja siirretään lavassa kiinni olevan hydraulimoottorin avulla. Letkukasetti vaatii, että kuljettaja kytkee hydrauliikkaletkut käsin ennen kasetointia. Automaattikasetissa moottori on vetoauton lavassa. Kun vetoauto peruutetaan perävaunua vasten, kytkin yhdistää moottorin perävaunussa olevaan ketjuun, joka liikuttaa lavaa. Automaattikasetti parantaa tehokkuutta, sillä kuljettaja voi tehdä kasetoinnin ohjaamosta poistumatta. Perävaunun jarru- ja sähkökytkennät pitää kuitenkin irrottaa ja kytkeä käsin.

4.3 Lava

Lava on päältä avoin laatikko. Sekin alustan tavoin rakentuu kahdesta pitkittäispalkista ja niiden väliin hitsausta poikkipalkeista. Lavan alla pitkittäispalkeissa on kiinni pyörät. Letkukasetissa eri puolien pyörät ovat yhdistetty jäykillä akseleilla, jotta siirtomoottori vetää lavaa suorassa. Automaattikasetissa ei tyypillisesti käytetä jäykkiä akseleita painon säästämiseksi. Lavan takaseinää kutsutaan perälaudaksi. Se on saranoitu ylälaidasta ja alalaidassa on lukitusmekanismi, jonka kuljettaja pystyy kasetin ollessa vetoauton kyydissä laukaisemaan lavan tyhjentämiseksi.

Kuljetuksen aikana kasetti joko makaa perävaunun päällä tai vaihtoehtoisesti kasetti voi olla koko ajan pyörien päällä. Rungon päällä makaavaa kasettia kutsutaan makaavaksi kasetiksi. Se on vakaampi kuin koko ajan pyörien päällä oleva kasetti, mutta rakenteeltaan hieman monimutkaisempi,sillä se tarvitsee nostaa kiskoille ennen kasetointia. Nosto tapahtuu manuaalikasetissa lavan pohjassa olevan sylinterin avulla. Automaattikasetissa käytetään perävaunun alussa olevaa vetotankoa, joka kytkeytyy vetoauton lavassa olevaan sylinteriin. Joissain malleissa nosto onnistuu lavaa liikuttavan ketjun avulla.

5 Perävaunun suunnittelu

5.1 Lähtötiedot

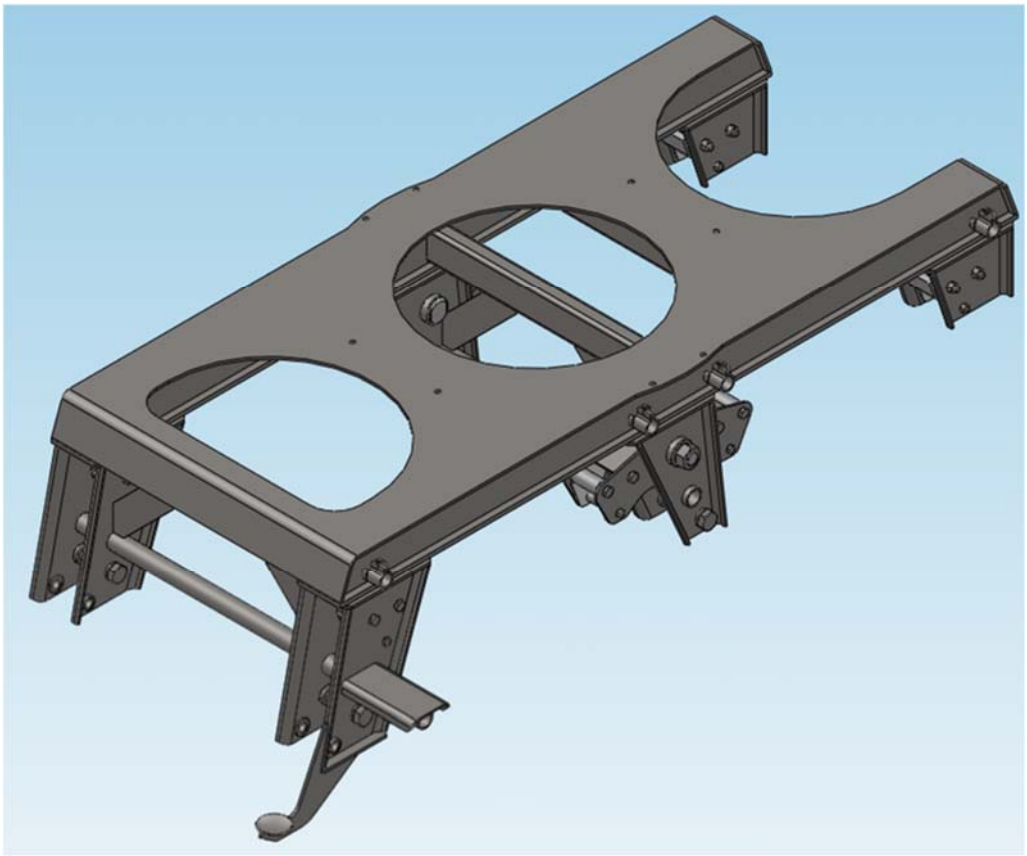
Tarkoituksena oli suunnitella 4-akselinen kasettiperävaunu. Suunnittelutyön pohjana käytettiin vanhaa 3-akselista perävaunua ja rakenne ratkaisut perustuvat pääosin siinä käytettyihin. Muutoksia tehtiin vaunun pituuteen ja runkopalkkien vahvuuksiin. Vetoaisa sekä akselit ja jarrut jätettiin suunnitteluntyön ulkopuolelle sillä ne ostetaan valmiina asiakkaan toiveiden mukaan. Materiaalina käytetään pääasiassa Ruukin valmistamaa multisteel-rakenneterästä. Ominaisuuksiltaan tämä vastaa S355J2-terästä. Multisteelin ominaisuudet ovat liitteessä 1. Rakenneteräksille keskimääräinen väsymisraja on noin puolet murtorajasta joka S355 teräkselle on 470 MPa. Täten väsymisraja on noin 235 MPa. (Airila, Ekman, Hautala, Martikka, Miettinen, Rinkinen Salonen. 1997, 23) Tämän johdosta suunnittelun tavoite jännityksenä käytettiin arvoa 200MPa.

Lain sallima suurin perävaunun telille kohdistuva paino saa olla 18 tonnia kun telin akseliväli on yli 1,3 metriä mutta vähemmän kuin 1,8 metriä (VnA 407/2013). Täten perävaunun kokonaispaino saa olla enintään 36 tonnia. Pidempää akseliväliä käyttämällä voi perävaunun kokonaispainoa vielä kasvattaa hieman, mutta se ei ole kannattavaa sillä koko yhdistelmän painoraja ei nouse ja akselivälin pidentäminen lisää renkaiden kulumista sekä huonontaa perävaunun ohjautuvuutta.

5.2 Etuvaunu

Perävaunun etuakselit kiinnitetään erilliseen etuvaunuun (ks. kuvio 5), joka on kiinnitetty runkoon niin, että se pääsee kääntymään vaakatasossa. Kiinnittämiseen käytetään kuulakehää, joka välittää voimat etuvaunusta perävaunun runkoon. Vetoaisa kiinnitetään etuvaunun etummaisiin korvakkeisiin. Etuvaunuun kohdistuu pystysuuntainen voima akseleista, käännöksissä syntyvä sivuttaisvoima, sekä vetoaisan välittämä pituussuuntainen voima vetoautosta.

Etuvaunun runko koostuu yhtenäisestä ylälevystä, neljästä uumalevystä, kahdesta alalevystä ja poikkipalkeista. Rungon leveys, akseliväli ja jousikorvakkeiden mitoitus määräytyy akselivalmistajien standardien mukaisesti, jotta perävaunuun voidaan helposti asentaa ostajan haluamat akselit. Jousien korvakkeet voidaan ostaa valmiina pakettina akselien ja jousien kanssa tai valmistaa itse. 3-akselisessa perävaunussa on vain yksi etuakseli, joten etuvaunua tuli pidentää toisen akselin lisäämiseksi. Samalla akseleiden väliin piti lisätä kuorman tasaaja joka jakaa kuorman tasaisesti molemmille akseleille. Tämä toteutetaan samanlaisella keinuvarrella kuin perävaunun takaosassakin.



Kuvio 5. Etuvaunun 3D-malli

Kuormattuna etuteliin kohdistuu enintään lain sallima 18 tonnin pystysuuntainen kuorma. Normaalisti lavan paino jakautuu tasaisesti etu- ja takatelin kesken. Kuitenkin kasetoidessa lava kulkee etutelin yli jolloin lähes sen kokopaino on hetkellisesti etutelillä. Sivuittaisvoimana suunnittelussa käytettiin akselivalmistajan ohjeistamaa

0,4 g:n suuruista sivuittaiskiihtyvyyttä. Vetoaisan kauttakulkeva pituussuuntaisen voiman nimellisarvo, eli D-arvo, saadaan EU-direktiivissä 94/20/EY määritellyllä laskentakaavalla:

$$D = g \cdot \frac{T \cdot R}{T + R}$$

jossa

g on painovoiman aiheuttama kiihtyvyys 9,81 m/s^2,

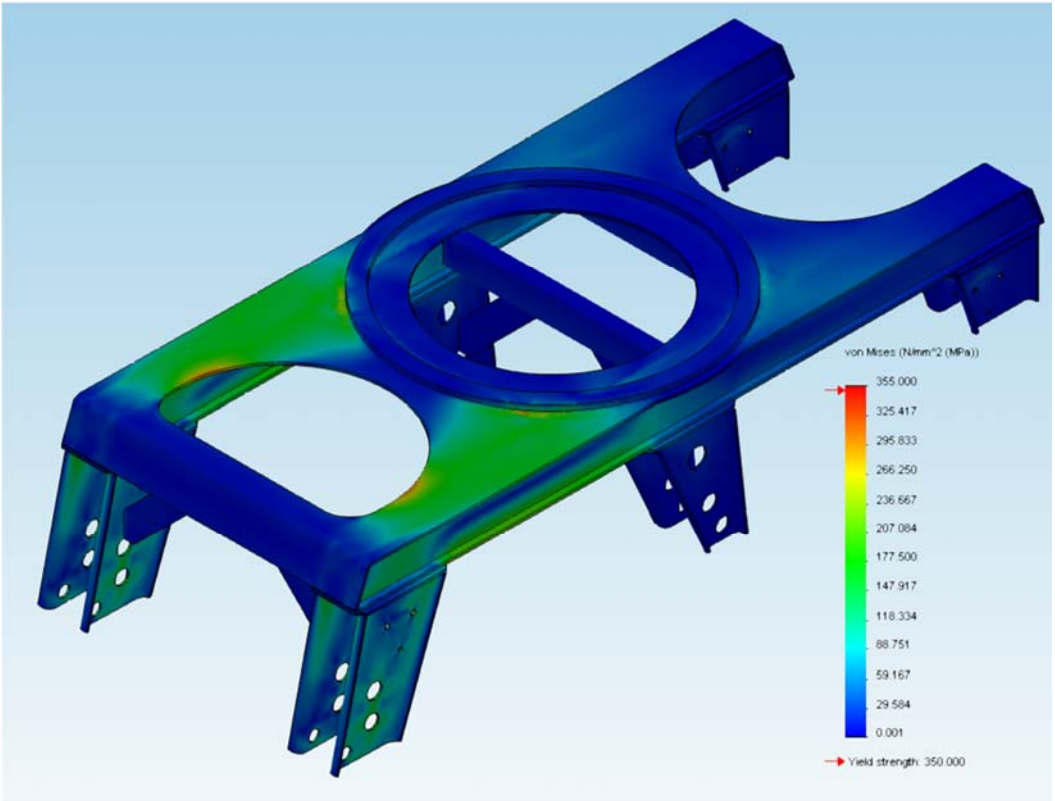
T on vetoauton suurin teknisesti sallittu massa,

R on perävaunun suurin teknisesti sallittu massa.

Viisiakselisen vetoauton suurin sallittu massa on 42 tonnia (VnA 407/2013). Täten D-arvoksi saadaan

$$D = 9{,}81 \frac{m}{s^2} \cdot \frac{42\,000\ kg \cdot 36\,000\ kg}{42\,000\ kg + 36\,000\ kg} = 190\ kN$$

FE-analyysissä etuvaunu tuettiin kuulakehän kohdalta liikkumattomaksi ja kuormat kohdistettiin jousien korvakkeisiin. Pystykuormassa ei huomioitu kasetoinnin aikana syntyvää lisäkuormaa sillä rakenteen kestävyyden kannalta vetoaisan pituussuuntainen voima on määräävä ja se ei vaikuta kasetoinnin aikana.

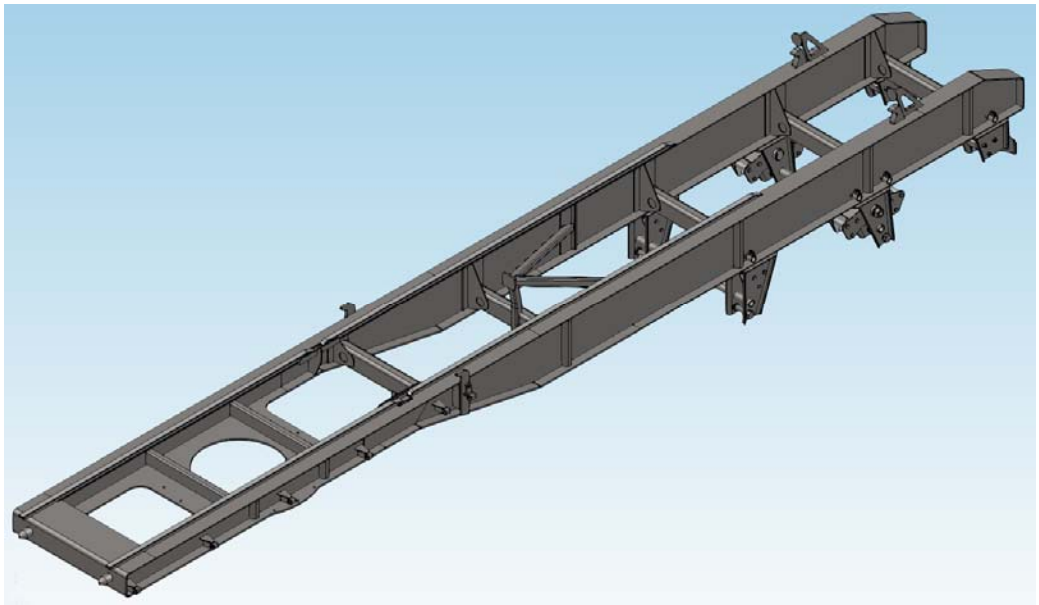


Kuvio 6. Etuvaunun jännitysanalyysi

Jännitystaso asettuu 180 MPa paikkeille, mikä on linjassa tavoitteeksi asetetun 200 MPa:n kanssa. Ylälevyssä ilmenee joitain jännityskeskittymiä mutta ne eivät vaaranna rakenteen kestävyyttä, ja koska ylälevyssä on puristusjännitystä, väsymisen vaara on pienempi.

5.3 Runko

Tässä työssä suunniteltu perävaunu on manuaalityyppinen. Piirustuksien pohjalta luodaan myöhemmin myös automaattiversio. Runko (ks. kuvio 7) koostuu kahdesta pitkittäispalkista, jotka kantavat pituus+ ja pystysuuntaiset kuormat. Sivupalkkeja yhdistävät poikittaispalkit, jotka antavat rungolle kiertojäykkyyttä. Sivupalkkien päälle tulevat kiskot, joita pitkin lavaa liikkuu, ja lukot, jotka estävät lavan liikkumisen perävaunua siirrettäessä. Rungon alle sen takaosaan hitsataan jousituksen korvakkeet, joihin akselin kiinnitetään, ja eteen kiinnitetään kuulakehä, joka yhdistää etuvaunun runkoon.



Kuvio 7. Rungon 3D-malli

Perävaunun omamassa on valmiina n. 6 tonnia, kun lavaa ei huomioida. Täten lavan ja kuorman yhteismassaksi saadaan 36 000 kg – 60 00kg = 30 000 kg. Alustava mitoitus tehtiin arvioimalla taivutusmomenttia rungon keskellä, kun telien väliin kohdistetaan lavan ja kuorman painoa vastaava jatkuva kuorma. Momentiksi saatiin

$$M = \frac{F \cdot L}{8} = \frac{30\,000\ kg \cdot 9{,}81 \frac{m}{s^2} \cdot 5{,}8\ m}{8} = 213{,}3\ kNm$$

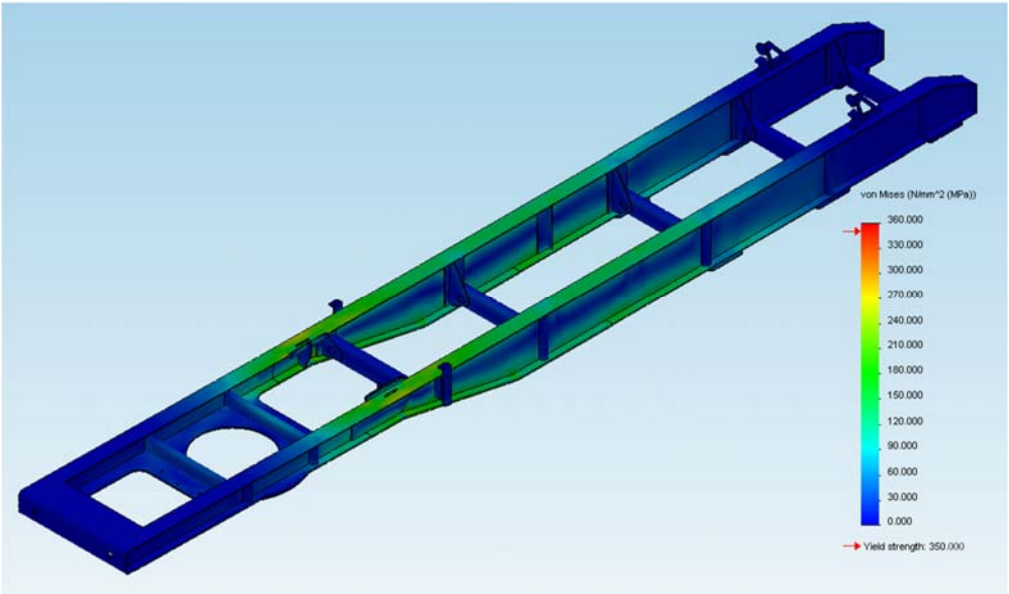
200 MPa tavoite jännityksellä tämä vaatii taivutusvastuksen

$$W_{req} = \frac{M}{\sigma} = \frac{213{,}3\ kNm}{200\ MPa} = 1{,}07 * 10^6\ mm^3$$

Kun runko tehdään 10 mm:n levystä ja laipat ovat 150 mm leveitä, pitää rungon olla vähintään 455 mm korkea.

Rungon kestävyyttä tarkasteltiin FE-menetelmällä. Analyysissä rungon malliin kohdistettiin lavan paikalle pystysuuntainen jatkuva kuorma sekä kuulakehän paikalle 190 kN:n pituussuuntainen vetovoima. Runko tuettiin pystysuunnassa kuulakehän kohdalta ja sekä pysty- että pituussuunnassa takatelin keskipisteen kohdalta. Analyysistä tuloksena (ks. kuvio 8) saatiin rungon heikoimmassa kohdassa, ylälevyssä olevan pyörän laippaa varten olevan uran ympäristössä, 200 MPa:n jännitysarvo. Uran kohdalle

muodostui 240 MPa:n jännitystihentymä. Todellisuudessa jännitykset ovat tätä pienemmät, sillä lava itsessään kantaa osan kuormasta.



Kuvio 8. Rungon jännitysanalyysi

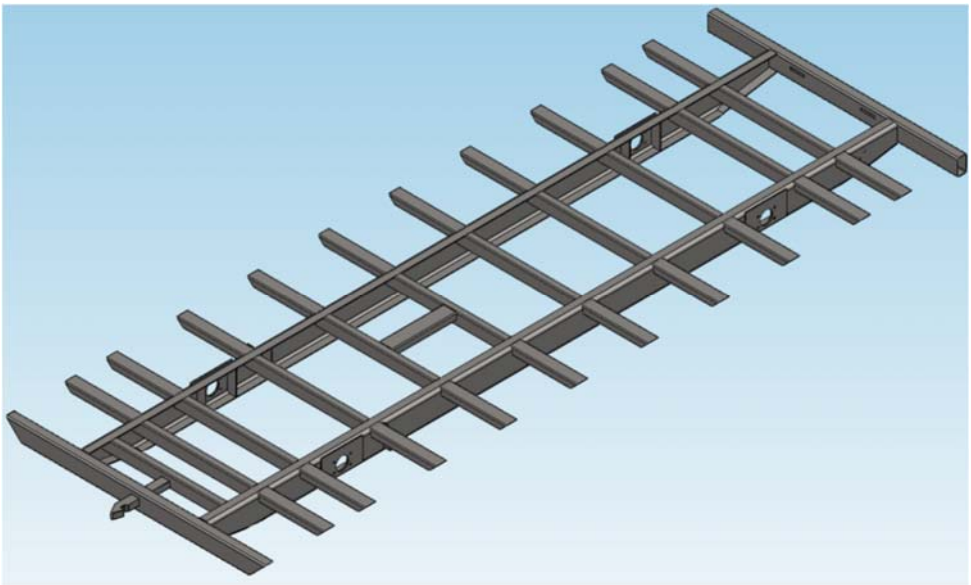
Akselit, jarrujärjestelmä ja vetoaisa jätettiin suunnittelutyön ulkopuolelle. Koska ne vaativat erilliset tyyppihyväksynnät, ei niitä ole järkevää valmistaa itse, vaan ne ostetaan valmiina paketteina. Suunnittelutyössä kuitenkin huomioitiin yhteensopivuus niiden kanssa.

5.4 Kasettilava

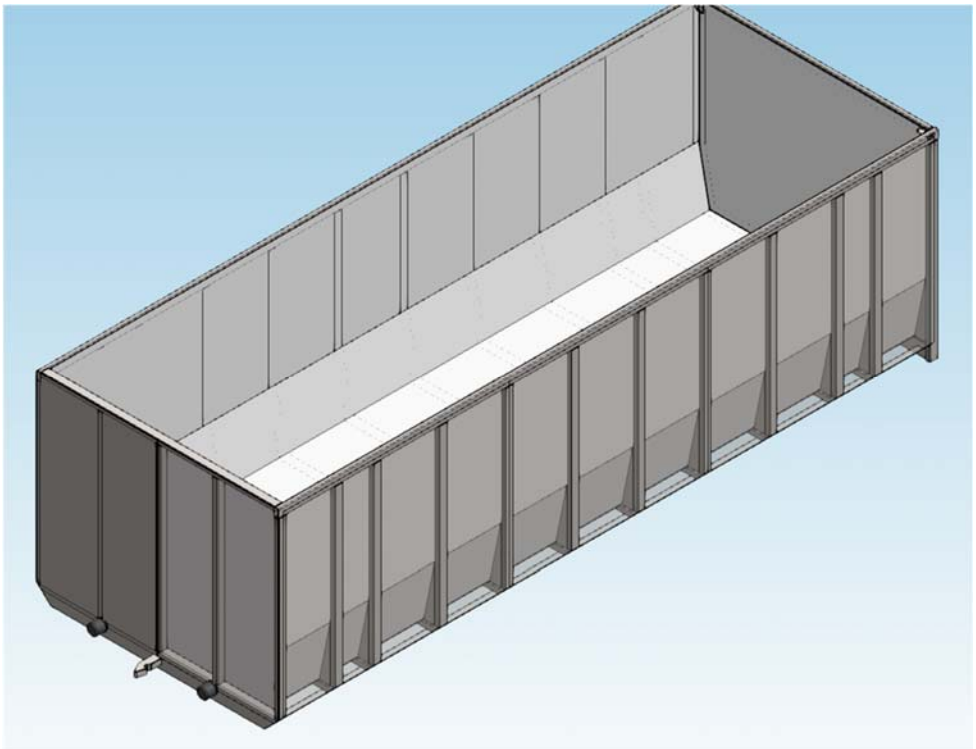
5.4.1 Lavan runko

Suunniteltu lava (ks. kuvio 10) on mitoiltaan suurin mikä on painorajan puitteissa järkevä valmistaa. Asiakkaan tarpeiden mukaan se voidaan valmistaa pienempänä. Lavan tilavuus on 20 m^3. Lavan tulee mahtua vetoauton lavan sisälle joten leveys on 2,2 m ja pituus 6m. Sisäkorkeus on tällöin 1,7 m. Lavan rakenne koostuu kahdesta pituussuuntaisesta C-profiilista, joita yhdistää rakenneputkista tehdyt poikkipalkit. (ks. kuvio 9) Lavan seinät on myös tehty rakenneputkista. Pohja ja seinälevyjen paksuudet määräytyvät lavan käyttökohteen mukaan. Hiekan ajossa pohjalevyksi riittää 4 mm ja

seiniksi 3 mm. Murskeen tai kivien kuljettaminen vaatii paksumpia levyjä. Kaivoskäytössä pohjalevy voi olla jopa 10 mm:n paksuinen.



Kuvio 9. Lavanrungon 3D-malli

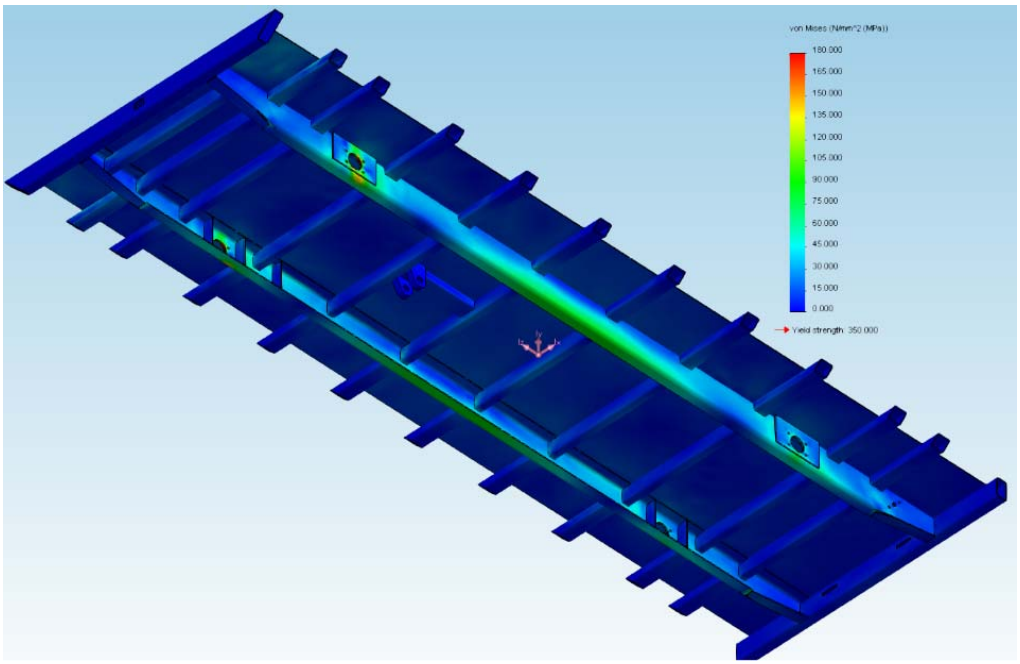


Kuvio 10. Lavan 3D-malli

Laskenta-aikojen hallitsemiseksi lavan FE-analyysi tehtiin useassa osassa. Ensimmäisenä tarkasteltiin lavan pohjaa. Pohjan pinta-ala on 11,3 m^2. Täydellä kuormalla lavan pohjaan vaikuttava paine on keskimäärin

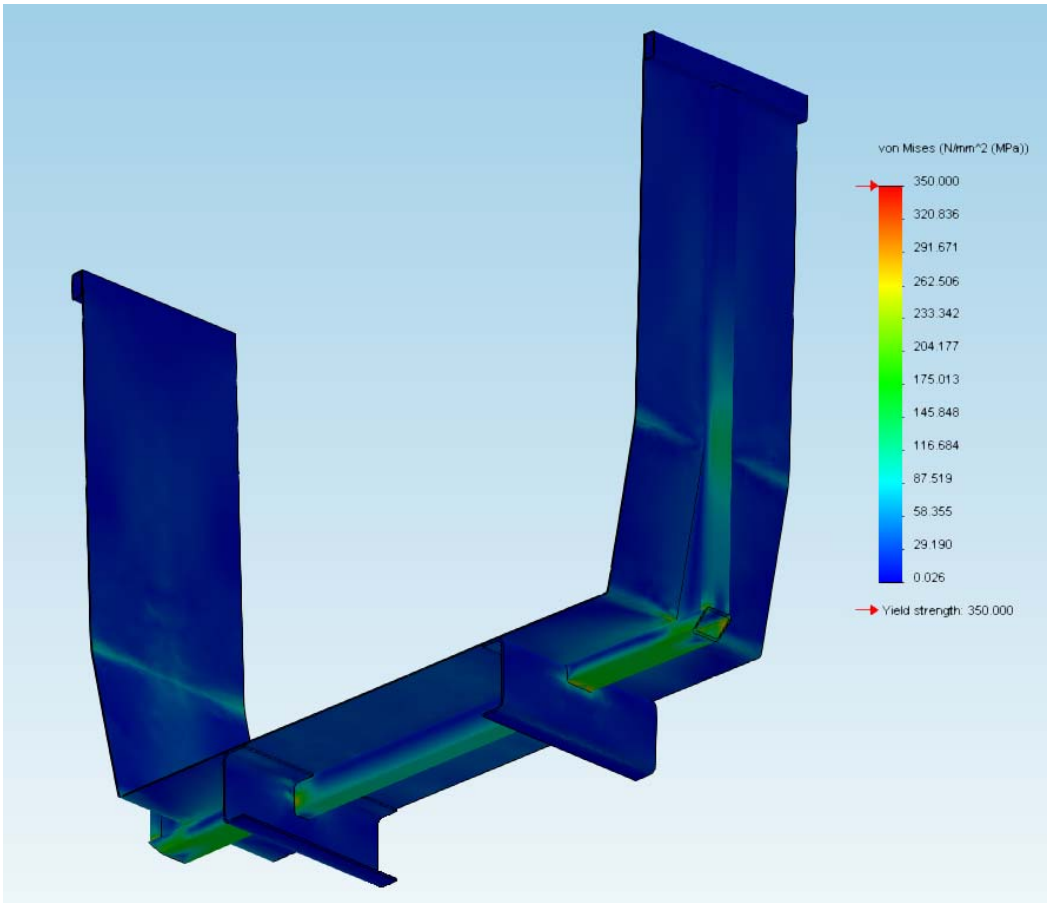
$$p = \frac{F}{A} = \frac{30\,000\ kg \cdot 9{,}81\,\frac{m}{s^2}}{11{,}3\ m^2} = 26{,}0\ kPa.$$

Lava tuettiin akselien kohdilta. Tuloksena (ks. kuvio 11) saatiin suurin jännitys lavan keskellä, 85 MPa ja taipuma 4 mm.



Kuvio 11. Lavanpohjan jännitysanalyysi

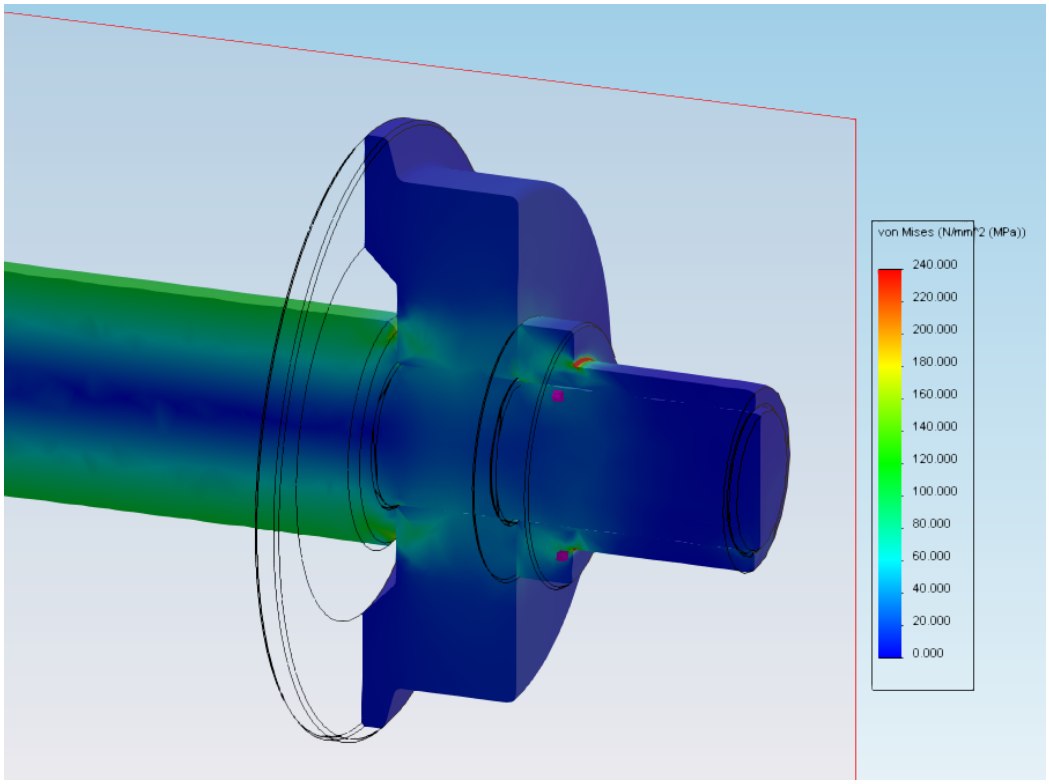
Seuraavaksi tarkasteltiin lavan laitoja. Tarkastelussa huomioitiin vain yksi pystypalkki ja sille kohdistuvat kuormat. (ks. kuvio 12) Todellisuudessa rakenne on vahvempi, sillä pystypalkit saavat yläpalkin kautta tukea myös yläpäästä. Lavan laitoihin vaikuttava paine arvioitiin kolmiomaiseksi, niin että laidan alareunassa se on samansuuruinen kuin lavan pohjaan vaikuttava paine ja laidan yläreunassa nolla.



Kuvio 12. Lavan seinien jännitysanalyysi

5.4.2 Akselit

Letkukasetti saa liikevoimansa hydraulimoottorista, joka pyörittää lavan pyöriä. Täten molempien puolien pyörien tulee olla samalla akselilla. Pyörissä (ks. kuvio 13) on laipat, jotta lava pysyy kiskoilla. Etummaisissa pyörissä laippa tulee kiskojen ulkopuolelle jotta lava pääsee laskeutumaan kuljetuksen ajaksi perävaunun runkoa vasten. Takimmaisissa pyörissä laippa on sisäpuolella, jotta pyörä pääsee vierimään kiskossa olevan loven yli käyttäen kiskojen sisäpuolella olevia apukiskoja. Pyörät kiinnitetään akseleille kutistussovitteella. Sovitteen mitoitus löytyy liitteestä 2. Pyörien ulkopuolelle akselinpäälle tulee karkaistu ja hiottu liukuholkki, joka suojaa akselia kulumiselta ja tarjoaa sileän liukupinnan. Akseli valmistetaan rakenneteräksestä, pyörät ja liukuholkit hiiletysteräksestä, jotta niihin saadaan kova kulumiselta suojaava pinta.



Kuvio 13. Akselin jännitysanalyysi

Akselilla käytetään pronssiliukulaakereita, koska ne ovat edullisia ja niiden kunnossapito on helppoa. Akselin pyörintä on ajoittaista ja suhteellisen hidasta, joten pronssilaakerit soveltuvat hyvin. Laakereiden mitoitus tehtiin Johnson-Metallin ohjeiden mukaisesti. Johnson-Metall ohjeistaa, että liukunopeuden ollessa pieni ja käyttö ajoittaista voidaan pintapaineeksi sallia puolet laakerimateriaalin myötölujuudesta. Laakeriksi valikoitui laipallinen JF 65x60-punametalliholkki, jonka sisähalkaisija on 65 mm ja pituus 60 mm. Tällöin pintapaineeksi saadaan

$$p = \frac{F}{n \cdot d \cdot L} = \frac{30\,000\ kg \cdot 9{,}81\,\frac{m}{s^2}}{4 \cdot 65\ mm \cdot 60\ mm} = 19\ MPa$$

mikä on selvästi alle puolet punametallin myötörajasta, joka on 110 MPa. (Johnson-Metall) Pintapaineen puolesta pienempikin laakeri olisi käynyt, mutta akselin geometriasta johtuen pienempi ei ollut järkevä ratkaisu.

5.4.3 Hydraulisylinteri

Koska lava makaa perävaunun runkoa vasten, täytyy se nostaa kiskoille, jotta se voidaan ajaa vetoauton kyytiin. Tämä tehdään lavan pohjaan asennetulla hydraulisylinterillä (ks. kuvio 14). Sylinteri asennetaan lavaan eikä perävaunuun, koska sylinteri voi jakaa lavan moottoreiden hydrauliikkaliitännät eikä perävaunuun tarvitse tehdä erillisiä liitäntöjä.

Jotta lava nousee kiskoille, pitää se työntää kiskojen päissä olevia ramppeja pitkin ylös. Ramppien kulma on 20 astetta. Tällöin tarvittava työntövoima on

$$F = 30\,000\ kg \cdot g \cdot \tan(20°) = 107\ kN.$$

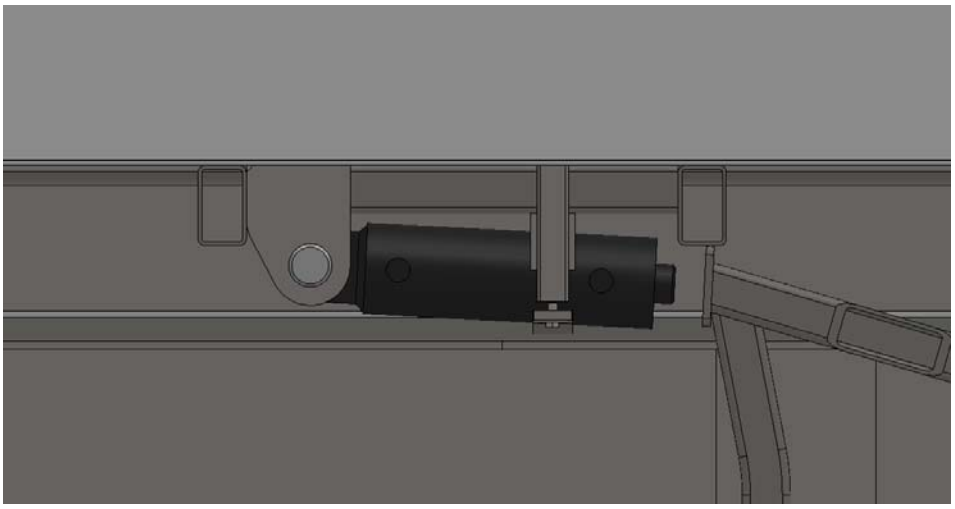
180 barin paineella tämä vaatii sylinterin pinta-alaksi

$$A = \frac{F}{p} = \frac{107\ kN}{180\ bar} = 5\,940\ mm^2,$$

joka vastaa halkaisijaa

$$D_{min} = \sqrt{\frac{4 \cdot A}{\pi}} = 87mm.$$

Sylinterin halkaisijaksi valittiin 100 mm ja varren halkaisijaksi 50 mm ja iskunpituudeksi 200 mm. Suurempi halkaisija antaa pelivaraa kitkan ja ylikuorman suhteen.



Kuvio 14. Nostosylinteri lavan pohjassa.

6 Pohdinta

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli suunnitella neliakselinen kasettiperävaunu täyttämään uusien määräysten luomaa tarvetta. Työssä luotiin 3D-malli, tarvittavat lujuuslaskut sekä työpiirustukset perävaunusta käyttäen SolidWorks-CAD-ohjelmistoa.

Suunnittelutyö perustuu vanhaan 3-akseliseen perävaunuun, joten työssä käytetyt rakenneratkaisut perustuvat käytännössä testattuihin ja toimiviksi todettuihin ratkaisuihin. Jatkossa perävaunun voisi kehittää muun muassa tutkimalla voisiko rungon painoa alentaa optimoimalla uumalevyn paksuutta.

Alkuperäisen aikataulun mukaan työ oli tarkoitus saada valmiiksi toukokuussa 2014. Työn aloittaminen kuitenkin viivästyi jonkin verran, sillä mallina käytetyn perävaunun vapautuminen mittauksia varten kesti odotettua pidempään. Viivästyksestä huolimatta suunnittelutyö valmistui aikataulussa. Raportin kirjoittamisessa loppui motivaation välillä kesken, minkä seurauksena raportin valmistuminen viivästyi vuodella.

Lähteet

VnA 407/2013. Valtioneuvoston asetus ajoneuvojen käytöstä tiellä annetun asetuksen muuttamisesta. Viitattu 5.2.2014. www.finlex.fi, ajantasainen lainsäädäntö.

94/20/EY. Direktiivi moottoriajoneuvojen ja niiden perävaunujen mekaanisista kytkinlaitteista sekä niiden kiinnittämisestä kyseisiin ajoneuvoihin. Viitattu 12.5.2014. eur-lex.europa.eu, EU-lainsäädäntö.

Nousiainen, A. 2014. Toimitusjohtaja. Driving Team Oy. Haastattelu 14.5.2014.

Logan, D. 2007. A First Course in the Finite Element Method. USA: Nelson

Solidworks 2014. Web-ohjekirja. Dassault Systèmes. Viitattu 29.11.2014. http://help.solidworks.com/2014/English/SolidWorks/sldworks/c_introduction_toplevel_topic.htm

Airila, M., Ekman K, Hautala, P., Martikka, H., Miettinen, J., Rinkinen, J. & Salonen, P. 1997. Koneenosien suunnittelu. Porvoo: WSOY.

Johnson-Metallin tuoteluettelo. N.d. Johnson-Metall. Viitattu 15.5.2014. http://www.johnson-metall.fi/pdf/JMetall_tuoteluettelo_low.pdf

Grönlund, E. 1991. Hitsaustekniikka. Helsinki: Otatieto

Calculation of fits according ISO 286. 2010. MESYS AG. Viitattu 7.5.2015. http://www.mesys.ch/calc/tolerances.fcgi?lang=en

Beek, A. N.d. Inteference Fit Calculator. Puristussovite laskuri. Viitattu 7.5.2015. http://www.tribology-abc.com/calculators/e3_8.htm

Ochal, M. 2011. Kaaviokuva puikkohitsauksesta. Viitattu 15.5.2015. http://commons.wikimedia.org/wiki/File:SMAW_area_diagram.svg

Piirainen, E. 2004. Valokuva kasettiyhdistelmästä. Viitattu 15.5.2015. http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Tielaitos_Sisu_dump_truck.JPG

Multisteelin mekaaniset ominaisuudet. 2013. Ruukki Oyj. Viitattu 15.5.2015. http://www.ruukki.fi/Teras/Kuumavalssatut-terakset/Rakenneterakset/Multisteel-rakenneterakset

Liitteet

Liite 1: Multisteelin mekaaniset ominaisuudet

Multisteel (Ruukki)

Multisteelin mekaaniset ominaisuudet

Myötölujuus R_{eH} N/mm² Vähintään Paksuus mm						Murtolujuus R_m N/mm² Paksuus mm			Murtovenymä A_5 % Poikittainen vähintään Paksuus mm [1]			Iskusitkeys Pitkittäinen vähintään t °C Charpy V J Paksuus mm [2]	
2-16	(16)-40	(40)-63	(63)-80	(80)-100	(100)-150	2-(3)	3-100	(100)-150	2-40	(40)-63	(63)-150	2-150	
355	345	335	325	315	295	510-680	470-630	450-600	20	19	18	-20	40

[1]) Alle 3 mm:n paksuisten nauhatuotteiden murtovenymä on ilmoitettu A_{80} -venymäarvona, vähintään 16 %.
[2]) Iskusitkeys on testattu Charpyn V-kokeella EN ISO 148-1:2010 mukaisesti. Vaadittu arvo 40 J tarkoittaa 10 x 10 vakiomuotoisilla pitkittäisillä koesauvoilla suoritettuja kokeita. Alle 10 mm:n paksuisten tuotteiden testauksessa koesauvan leveys vastaa levypaksuutta, ja vaaditut arvot laskevat suorassa suhteessa koesauvan pinta-alaan. Alle 6 mm:n paksuisille tuotteille ei tehdä iskukoetta.

Multisteel N:n mekaaniset ominaisuudet

Myötölujuus R_{eH} N/mm² Vähintään Paksuus mm					Murtolujuus R_m N/mm² Paksuus mm	Murtovenymä A_5 % Poikittainen vähintään Paksuus mm		Iskusitkeys Pitkittäinen vähintään t °C Charpy V J [1] Paksuus mm	
5-16	(16)-40	(40)-63	(63)-80	(80)-100	5-100	5-63	(63)-100	5-100	
355	345	335	325	315	470-630	22	21	-20	40

[1]) Iskusitkeys on testattu Charpyn V-kokeella EN ISO 148-1:2010 mukaisesti. Vaadittu arvo 40 J tarkoittaa 10 x 10 vakiomuotoisilla pitkittäisillä koesauvoilla suoritettuja kokeita. Alle 10 mm:n paksuisten tuotteiden testauksessa koesauvan leveys vastaa levypaksuutta, ja vaaditut arvot laskevat suorassa suhteessa koesauvan pinta-alaan. Alle 6 mm:n paksuisille tuotteille ei tehdä iskukoetta.

Kemiallinen koostumus. Multisteel ja Multisteel N

	Pitoisuus % (sulatusanalyysi)				
C Enintään	Si Enintään [1]	Mn enintään	P enintään	S enintään	Nb enintään
0.18	0.50	1.60	0.025	0.020	0.05

[1]) 2–13 mm:n paksuisten nauhatuotteiden piipitoisuus on 0,15 – 0,25 % hyvien kuumasinkitysominaisuuksien saavuttamiseksi. Typpeä (N) sitovia alkuaineita käytetään teräksen tiivistyksessä.

Multisteel ja Multisteel N. Hiiliekvivalentti CEV[1])

Tuote	Paksuus mm	CEV Keskimäärin	CEV Enintään
Levytuotteet	5 - 20	0.40	0.42
Levytuotteet	(20) - 40	0.42	0.44
Levytuotteet	(40) - 150	0.43	0.45
Nauhatuotteet [2])	2 - 15	0.40	0.43

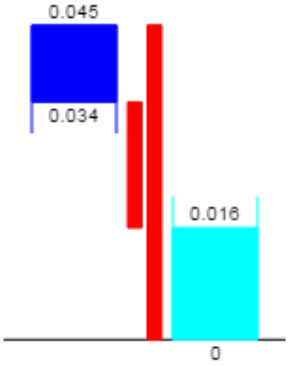
[1]) CEV = C + Mn/6 + (Cr + Mo + V)/5 + (Ni + Cu)/15
[2]) Vain Multisteel on saatavana nauhatuotteina.

Liite 2: Pyörän kutistesovitteen mitoitus

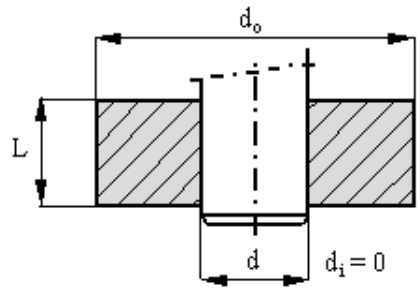
Eromitat (MESYS AG)

Calculation of fits according ISO 286 (2010)

Nominal size	D	50	mm
Tolerance hub		H 6	
Upper limit deviation	ES	0.016	mm
Lower limit deviation	EI	0	mm
Tolerance shaft		r 5	
Upper limit deviation	es	0.045	mm
Lower limit deviation	ei	0.034	mm
		Calculate	
		Interference fit	
Minimum interference	imin	0.018	mm
Maximum interference	imax	0.045	mm



Sovitelasku maksimi puristuksella (Beek, A).



d_i	0 mm	L	40 mm	E_i	210	GPa ν_i	0.3
d	50 mm	δ 1)	0.045 mm	E_o	210	GPa ν_o	0.3
d_o	150 mm	μ 2)	0.1				

Solve Reset Print

Interference pressure p	84 MPa	
Friction force F	52.78	kN
Transmission torque T	1319.47	Nm

Stresses	ring i		ring o	
	d_i	d	d	d_o
σ_t	-168 MPa	-84 MPa	105 MPa	21 MPa
σ_r	0 MPa	-84 MPa	-84 MPa	0 MPa
σ_e	168 MPa	84 MPa	164.02 MPa	21 MPa

Sovitelasku minimi puristuksella

d_i	0 mm	L	40 mm	E_i	210	GPa ν_i	0.3
d	50 mm	δ 1)	0.018 mm	E_o	210	GPa ν_o	0.3
d_o	150 mm	μ 2)	0.1				

Solve Reset Print (Default value bronze bushing, steel hub)

Interference pressure p	33.6 MPa	
Friction force F	21.11	kN
Transmission torque T	527.79	Nm

Stresses	ring i		ring o	
	d_i	d	d	d_o
σ_t	-67.2 MPa	-33.6 MPa	42 MPa	8.4 MPa
σ_r	0 MPa	-33.6 MPa	-33.6 MPa	0 MPa
σ_e	67.2 MPa	33.6 MPa	65.61 MPa	8.4 MPa