

KARELIA-AMMATTIKORKEAKOULU  
Kone- ja tuotantotekniikka

Ari Lukkarinen

JÄYSTEENPOISTOHIHNA JYRSINKONEELLE

Opinnäytetyö  
Joulukuu 2015



**OPINNÄYTETYÖ**  
**Joulukuu 2015**  
**Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma**  
Tikkarinne 9  
80220 JOENSUU

Tekijä(t)  
Ari Lukkarinen

Nimeke  
Jäysteenpoistohihna jyrsinkoneelle

Toimeksiantaja  
Vierumäen Metalli OY

**Tiivistelmä**

Tässä opinnäytetyössä ideoidaan ja suunnitellaan jäysteenpoistohihna jyrsinkoneelle. Opinnäytetyön on toimeksiantanut Vierumäen Metalli Oy, jonka konepajalla kyseinen jyrsinkone on.

Opinnäytetyö sisältää ideoinnin lisäksi 3d-mallinnuksen analyysin, kattavan selityksen rakenteesta mittoineen sekä laskuja koneen toiminnan kannalta kriittisistä komponenteista.

Jäysteenpoistohihna on tarpeellinen jyrsinkoneen yhteyteen, sillä ilman sitä metallijätettä kertyy jyrsinkoneen ympäristöön haitaten työskentelyä.

Suunnitelman ja laskujen perusteella koneen mekaaninen kesto tulee olemaan huomattavasti suurempi, kuin sitä tullaan arvion mukaan kuormittamaan.

Kieli

suomi

Sivuja 25

Liitteet 1

Asiasanat

konetekniikka, mekaniikkasuunnittelu, liukuhihna, jätteenpoisto



**THESIS**  
**December 2015**  
**Degree Programme in Mechanical**  
**And Production Engineering**  
Tikkarinne 9  
80220 JOENSUU  
FINLAND

Author (s)  
Ari Lukkarinen

Title  
Conveyor of metal fin for a milling machine

Commissioned by  
Vierumäen Metalli Oy

Abstract

In this thesis a composition and a design for a conveyor of metal fin for a milling machine will be made. The thesis was commissioned by Vierumäen Metalli Oy. the owner of the workshop in which the milling machine is.

In addition to the composition, this thesis contains an analysis of the 3d-modeling, a comprehensive description of the structure with the measurements and calculations of the critical components concerning the operation of the conveyor.

The conveyor is necessary because without it the surroundings of the milling machine will be filled with metal fin which complicates the work on the milling machine.

According to the design and calculations the conveyor will be significantly stronger than the estimated load requires.

Language

Pages 25

Finnish

Appendices 1

Keywords

machine engineering, mechanical design, conveyor, scrap removal

# Sisältö

|     |  |    |
|-----|--|----|
| 1   | Johdanto .....   | 5  |
| 2   | Metallijäysteenpoistokoneen tarpeellisuuden toteaminen ..... | 6  |
| 3   | Metallijätteenpoistokoneen ideointia .....                   | 7  |
| 3.1 | Ideointi.....  | 7  |
| 3.2 | Jyrsinkone ja sen ympäristö .....                            | 10 |
| 4   | Suunnittelu .....  | 13 |
| 4.1 | Mitat ja rakenne .....                                       | 13 |
| 4.2 | Mallinnus ja analyysi .....                                  | 16 |
| 5   | Lujuuslaskuja.....   | 20 |
| 5.1 | Laskuja peruskuormalla.....                                  | 20 |
| 5.2 | Laskuja suurella kuormalla .....                             | 21 |
| 5.3 | Laskuja maksimi- ja minimiarvoille.....                      | 21 |
| 5.4 | Laskujen analysointia.....                                   | 23 |
| 6   | Pohdinta.....  | 24 |
|     | Lähteet .....  | 25 |

## Liitteet

Liite 1      Analyysin tulosikkuna

# 1 Johdanto

Vierumäen Metalli Oy antoi opinnäytetyön aiheeksi suunnitella metallijäysteenpoistokoneen konehallillaan olevalle jyrskoneelle ollessani siellä työharjoittelussa. Tässä opinnäytetyössä ideoidaan sekä suunnitellaan kone tähän tarkoitukseen.

Opinnäytetyö on ongelmanratkaisutyyppinen lähtökohtaisesti, koska siinä pyritään ratkaisemaan käytännön ongelma. Se pyrkii nopeuttamaan jyrskoneen työprosessia automatisoimalla siihen liittyvän osion. Nopeuttamisen lisäksi se myös helpottaa työskentelyä, koska fyysinen kuormittavuus vähenee työkoneen ympäristön siivouksen automatisoituessa.

## **2 Metallijäysteenpoistokoneen tarpeellisuuden toteaminen**

Vierumäen Metalli Oy:llä on konehallillaan jysinkone, jonka yhteydessä ei ole konetta poistamaan metallintyöstössä syntyvää metallijätettä, vaan se pitää poistaa manuaalisesti. Yleensä tämä toimenpide tapahtuu käsiharjan ja ilmaletkun kanssa niin, että itse jysinpöytä saadaan puhtaaksi. Jäysteet ovat tällöin lattialla ja ne pitää lakaista ja lapioida erikseen siirrettävälle jätelavalle.

Tämä prosessi on jokseenkin aikaavievää ja jysinkoneella työskentely pitää lopettaa metallijätteen siivoamisen ajaksi. Jysinkoneen käyttöajan maksimoimiseksi halutaan täten osittain automatisoida metallijätteen siivoaminen jysinkoneen luota ja tämä opinnäytetyö sisältää suunnitelman kyseisestä laitteesta.

## 3 Metallijäysteenpoistokoneen ideointia

### 3.1 Ideointi

Jyrsinkoneella on ympärillään tilaa, johon voi sijoittaa metallijätettä poistavan laitteen. Koska jyrsinkonetta käytetään sen etupuolella, missä hallintalaitteet ja muut koneen käyttöön liittyvät artikkelit sijaitsevat, ei metallijätteenpoistokonetta ole järkevää sijoittaa jyrsinkoneen etupuolelle. Jyrsinkoneen pöytäosa liikkuu koneen toimiessa sivuttaissuunnassa vasemmalle ja oikealle, sekä korkeussuunnassa ylös ja alas. Täten ei metallijätteenpoistokonetta voida myöskään sijoittaa jyrsinkoneen vasemmalle, oikealle, ylä-, taikka alapuolelle. Ainoaksi järkeväksi kiinteäksi metallijätteenpoistokoneen sijoituspaikaksi todettakoon siis jyrsinkoneen takapuolinen alue. Jyrsinkoneen taakse on helppo lakaista käsiharjalla ja puhaltaa ilmaletkulla metallijätettä, joka on jäänyt jyrsinkoneen päälle. Jyrsinkoneen pöydän ja muun laitteiston välissä, jyrsinpöydän takana tosin on väli, jonne metallijätettä kertyy myös nykyisellä jyrsinpöydänsiivoamismetodilla. Tämä väli täytyy myös saada puhtaaksi, ettei sinne jäävä metallijäte hankaloita tai estä jyrsinkoneen toimintaa.

Jyrsinkoneen muodon perusteella ideaalein metallijätteenpoistokone voisi olla liukuhihna. Jyrsinpöydän ja sen takana olevan laitteiston väliin se tosin ei mahdu kovin helposti, joten sinne voisi laittaa viiston tason, josta metallijäte valuisi liukuhihnalle. Taso tulee sijoittaa osittain metallijätteenpoistohihnan yläpuolelle, jotta metallijätettä ei valuisi lattialle. Itse liukuhihnan on tarkoitus kuljettaa jätettä siirrettävälle roskalavalle.

Liukuhihnan metallijäysteen vastaanottavan tason tulee olla matalammalla tasolla kuin jyrsinpöydän työstötaso alimmassa asennossa, jotta metallijätteen lakaistus liukuhihnalle olisi mahdollista. Jotta liukuhihnalle voisi mahdollistaa mahdollisimman paljon metallijätettä, voi itse hihnaosan sijoittaa suoraan mahdollisimman matalalle ja sen sivuille voi laittaa metallilevystä muotoillut reu-naseinämät. Jyrsinkoneen puoleinen seinämä täytyy jättää sen verran matalaksi, että metallijätteen voi helposti lakaista ja puhaltaa liukuhihnalle, kun taas sen

vastapuoleisesta seinästä tulee tehdä korkeampi, jottei metallijäte lennä sen yli lattialle. Liukuhihnasta tulee tehdä ainakin kahdesta kohtaa nivelöity, jotta metallijätteen saa siirrettävälle jätelavalle ja ettei siitä tule liian korkea.

Liukuhihnan materiaaliksi sopii parhaiten kumimatto, sillä se joustaa hyvin ja siinä ei ole rakoja. Kumimaton rakenteissa tulee olla poikittaistukia, jotta se olisi tukeva poikkisuunnassa, mutta taipuisi hihnan nivelien kohdalta. Metallilevyistä tehty telaketjumainen liukuhihna olisi liian vaivalloinen käytännöllisyyttä ajatellen, sillä sitä tulisi öljytää säännöllisesti ja levyosoiden väliin voisi joutua metallijäystä, joka taas vuorostaan voisi vaikeuttaa hihnan liikkuvuutta.

Liukuhihnan päihin ja nivelten keskelle tulee täyslevyiset rullapyörät, joiden varassa kumimatto pääasiallisesti pysyy. Hihnan nivelöityihin kohtiin tulee laittaa pyörät nivelien sisäpuolille, jotta hihna pysyy kireällä. Ne eivät kuitenkaan voi olla koko hihnan levyiset, että metallijäte pääsee etenemään liukuhihnaa pitkin. Apupyörien eteen voidaan pistää ohjaimet, ettei metallijätettä mene niiden väliin tai niiden alta, joka saattaisi vahingoittaa kumimattoa. Kumimaton tulee olla poikittaissuunnassa jäykkä, jottei se pääse hyppäämään apupyörien ylitse.

Hihnan loppupäähän tulee laittaa kiristysmekanismi ja kaikki täysmittaiset rullapyörät tulee voida irrottaa kumimaton vaihtamista varten. Tämä onnistunee niin, että reunaseinämissä on rullapyörien kiinnityskohdista hahlot aivan levyn reunoihin asti. Kiristysmekanismiksi voidaan laittaa hahlonmukaisesti kulkevat pitkät ruuvit, jotka ovat kiinni hihnarullan akseleissa, ja joiden toisessa päässä on mutterit sekä prikat, jotka ovat hahlon päissä kiinteästi.

Sekä apupyöriin että täysmittaisiin rullapyöriin tulee laittaa laakerit, jotta ne pyörivät helposti. Hihnarulliin voidaan asentaa laakerit molempiin päihin, koska ne ulottuvat rungon molemmille seinämille. Koska apupyörät ovat kiinni vain toisella puolella runkoa, tulee ne kiinnittää seinämään läpimenevillä pulteilla ja niille asentaa laakerit molemmille puolin seinämää. Laakereiden runkoon kiinnitystä varten tulee seinämiin laittaa sovitteet, joihin laakerit mahtuvat sisään.

Teräslevyseinämät voidaan kiinnittää toisiinsa terästangoilla rakenteiden aivan ylä- ja alaosassa. Näin ne eivät ole edessä keskeisillä paikoilla. Toiselle puolelle rungosta voidaan terästangot kiinnittää hitsaamalla, mutta toinen puoli tulee kiinnittää pultein, että kone on mahdollista purkaa.

Liukuhinnan loppupäähän voidaan laittaa myös lisävarusteeksi harja, joka pyyhkii kumimattoon mahdollisesti jostain syystä kiinnijääviä metallijäysteitä. Tällä varmistetaan, ettei metallijäyستettä kerry koneen toiminnan kannalta kriittisiin paikkoihin.

Metallinjätteenpoistohihnaan tulee myös asentaa moottori, jotta hihna voisi pyöriä. Parhaiten tarkoitukseen sopii sähkömoottori, koska se ei tarvitse polttoainetta ja konepajalla on helposti sähköä saatavilla. Koneen tasapainottamiseksi parhaimmaksi sijoituspaikaksi valikoituu sen alkupää, jonka rullapyörän yhteyteen tulee moottori sijoittaa. Moottorille tulee myös tehdä asianmukaiset kiinnitysrakenteet. Moottorin virtakytkintä ja nopeuden säätöä tulee vetää piuhat jyr-sinkoneen hallintalaitteiden lähetyville. Hätäkytkin tulee sijoittaa johonkin helposti saavutettavissa olevaan paikkaan.

### 3.2 Jyrsinkone ja sen ympäristö

Metallijäysteenpoistokone tulee kuvissa 1 ja 2 olevan jyrsinkoneen yhteyteen. Jyrsinkone on merkiltään Correa MOD. A25.30. Sen yhteydessä on Heidenhein TNC 155 -ohjaus.



Kuva 1. Correa-jyrsinkone vasemmalta etualalta kuvattuna (Kuva: Ari Lukkarinen).



Kuva 2. Jyrsinkone oikealta etualalta kuvattuna (Kuva: Ari Lukkarinen)

Huomattavaa on se, miten metallijätettä kertyy jyrsinkoneen edustalle metallijäysteenpoistokoneen puuttuessa (kuvat 3 ja 4). Tämä vaikeuttaa koneen ympärillä työskentelyä ja metallijätteen manuaalisesti siivoaminen vie arvokasta työaikaa. Metallijäysteenpoistokoneen arvioitu optimaalinen sijoituspaikka näkyy kuvassa 3. Kuvassa 4 taas näkyy jyrsinkoneen pöydän ja moottorin välinen alue, johon tulee pellistä valmistettava liuska, jota pitkin kyseiseen väliin muuten joutuva metallijäyste pääsee liukumaan liukuhihnalle.



Kuva 3. Correa-jyrsinkone vasemmalta taka-alalta kuvattuna (Kuva: Ari Lukkarinen)



Kuva 4. Lähikuva jyrsinkoneen pöydän ja moottorin välistä. (Kuva: Ari Lukkarinen)

## 4 Suunnittelu

### 4.1 Mitat ja rakenne

Metallijätteenpoistokoneen sivuseiniksi tulee viiden millimetrin paksuisen teräslevyn. Sitä on yleisesti saatavilla ja sen kestävyys voidaan arvioida tarkoitukseen hyvinkin riittäväksi. Koneen leveydeksi tulee 715 millimetriä sivuseinien ulkopinnoilta mitattuna. Kokonaispituudeksi tulee 2700 millimetriä ja korkeudeksi 1000 millimetriä. Seinämän lattiaa vasten tulevan osan pituudeksi tulee 2000 millimetriä ja alkuosan yläreunojen pituudeksi 1800 millimetriä. Loppuosan nousuksi tulee 600 millimetriä, jotta sen alle mahtuu siirrettävä jätelava. Sen pituudeksi alareunassa tulee 400 millimetriä ja yläreunassa 600 millimetriä. Takaseinämään tulee 200 millimetriä korkeampi reuna, kuin etuseinämään yläreunan matalampaan osaan. Näin estetään metallijätteen lentäminen takaseinämän yli.

Seinämien kulmiin tulee 20 millimetrin pyöristykset turvallisuuden vuoksi. Sisäkulmien pyöristyksiksi tulee 50 millimetriä. Poikkeuksena alakulmiin tulee vain 5 millimetrin pyöristykset. Niihin ei tarvitse niin suuria pyöristyksiä kuin muualle, sillä ne ovat vain lähinnä koneen siirtämisen helpottamista varten.

Hihnarullien ja apupyörien kiinnityskohtien kohdalle tulee porata reiät akselien läpituonteja varten sekä kulmiin tukitankojen pulttikiinnitystä varten. Hihnarullien akseleiden läpituonteja varten porataan 45 millimetriset reiät ja apupyörien 25 millimetriset. Alatason oikean hihnarullan kiinnityskohdaksi tulee 200 millimetriä oikeasta reunasta ja vasemman 1500 millimetriä. Näiden reikien korkeudeksi tulee 200 millimetriä alareunasta, jotta hihnarullat mahtuvat pyörimään helposti, vaikka niiden alle joutuisi jonkin verran metallijäystettä. Ylätason hihnarullien kiinnityskohdiksi tulee oikealle 350 millimetriä vasemmasta reunasta ja vasemman hihnarullan säätöhahlon loppupää 150 millimetrin päähän sivuseinämän reunasta. Nämä tulevat 300 millimetrin päähän sivuseinämän yläreunasta. Apupyörien kiinnityskohdiksi tulee 1600 millimetriä oikeasta reunasta ja 350 millimetriä alareunasta sekä 500 millimetriä vasemmasta reunasta ja 450 millimetriä yläreunasta.

Hihnarullien akseleiden läpituontien kohdalle tulee hitsata kiinnikkeet 55 millimetrin halkaisijaiselle laakerille ja apupyörien kiinnityspulttien läpituontien kohdalle 26 millimetriset. Apupyörien reikien kohdalle tulee kiinnikkeet seinämän molemmin puolin, kun taas hihnarullan reikien kohdalle vain seinämän ulkopuolelle. Kiinnikkeet voidaan valmistaa teräsputkesta, joiden sisähalkaisijat ovat 55 millimetriä ja 42 millimetriä. Säädetävän hihnarullan hahlon loppupäähän tulee kiinnittää puoliksi sahatun 55 millimetrisen putkiprofiilin 13 millimetriä pitkä pala. Sen jatkeeksi hahlon ylä- ja alapuolelle kiinnitetään 13 millimetriä leveät, 5 millimetriä paksut, sivuseinän reunaan asti ulottuvat teräspalat, joihin laakerit tukeutuvat.

Hihnarullien rakenteeksi valitsin 30 millimetriä paksun terästangon akselia varten ja 200 millimetriä paksun, 2 millimetrin seinämäisen teräsputken rullan ulkopintaa varten. Nämä osat hitsataan yhteen aiemmin mainitulla 5 millimetrin teräslevyllä, joka tulee hieman metalliputken sisään optimaalisen hitsisauman saavuttamiseksi. Akseleiden päähän tulee M35 kiereet, jotta laakerit voidaan kiinnittää akselin päihin.

Moottoriin kiinnitulevan hihnarullan moottorin puoleisesta akselistä tulee tehdä 150 millimetriä pidempi, että sen saa yhdistettyä moottoriin. Sen ja moottorin väliin tulee kytkin. Tähän tarkoitukseen sopinee jäykkä akseliliitos, kuten kuori-kytkin DIN 115 (SKS Mekaniikka Oy 2015).

Apupyörien rakenteeksi tulee 60 millimetriä pitkä teräsputki 100 millimetrin halkaisijalla ja 2 millimetrin seinämällä hitsattuna 2 millimetrin teräslevyyn. Tähän liitokseen tulee samanlainen hitsausauma, kuin hihnarulliin, mutta hieman syvemmällä upotuksella, koska apupyörillä on laakerit myös seinämän sisäpuolella. Apupyörät kiinnitetään M20-pulteilla ja lukkomuttereilla.

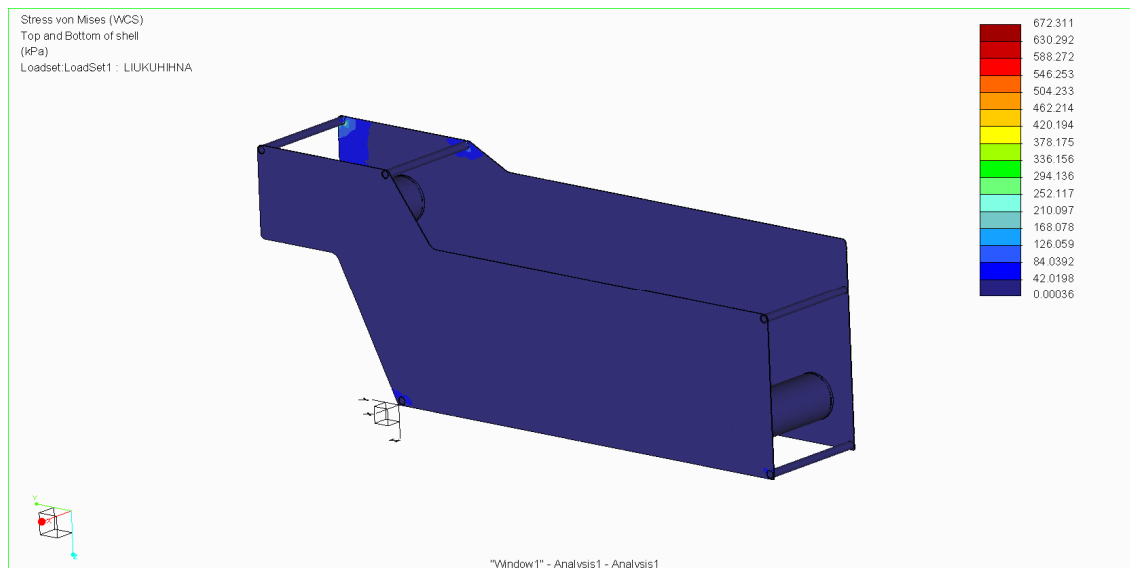
Laakereiksi apupyörille voidaan pistää laakerit urakuulakaakeri 6004 -sarjasta 20 millimetrin keskireiällä ja hihnarullille 6006 -sarjasta 30 millimetrin reiällä. Apupyörien laakerit ovat 12 millimetriä leveät ja ulkohalkaisijaltaan 42 millimetriä paksut. Hihnapyörien laakerit taas ovat 13 millimetriä leveät ja 55 millimetriä paksut ulkohalkaisijaltaan. (Tampereen Laakerikeskus 2015)

Itse liukuhihnaksi jäysteenpoistokoneelle voidaan laittaa uritettua kumimattoa. Tällaisella matolla on hyvä poikittaisjäykkyys, mutta se taipuisi hyvin hihnarullien kohdilla. Lisäksi näihin uriin on helppo lisätä ylimääräisiä poikittaistukia tarvittaessa. (Muovikum Oy 2015)

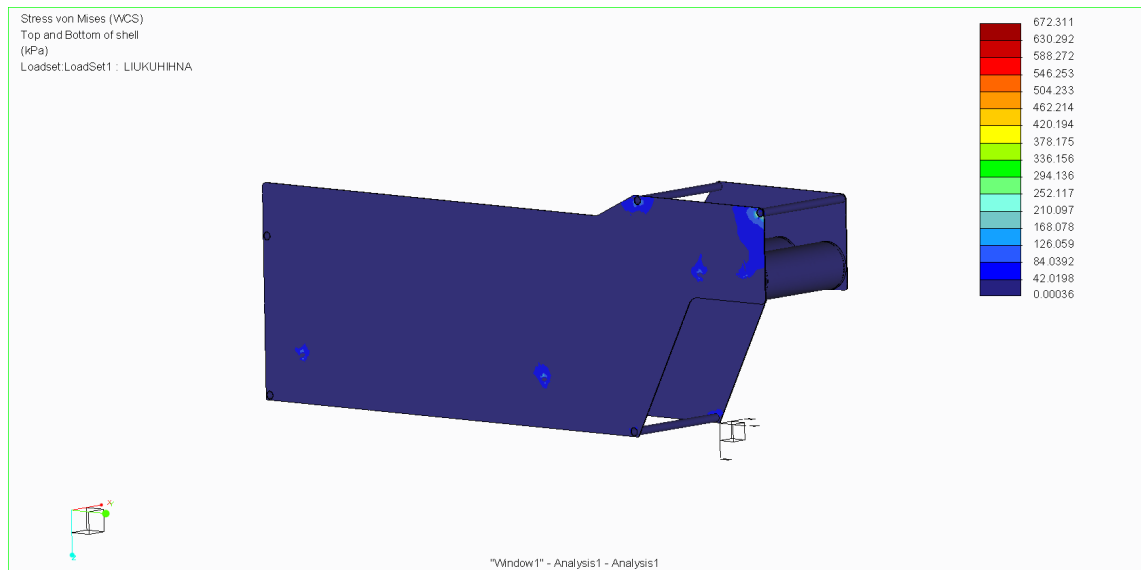
Jäysteenpoistokoneen rungon poikittaistuiksi tulee 30 millimetrin paksuista terästankoa, jonka toiset päät hitsataan rungon seinämään kiinni ja toisiin päihin tehdään M30 kierteet, joilla ne tulevat vastapuoleiseen runkoseinämään kiinni. Tankojen pituudeksi tulee 800 millimetriä, joista kierteytetään 100 millimetriä. Näin saadaan muttereille hyvin säätövaraa tarvittaessa. Muttereina käytetään nylon-lukollisia muttereita.

## 4.2 Mallinnus ja analyysi

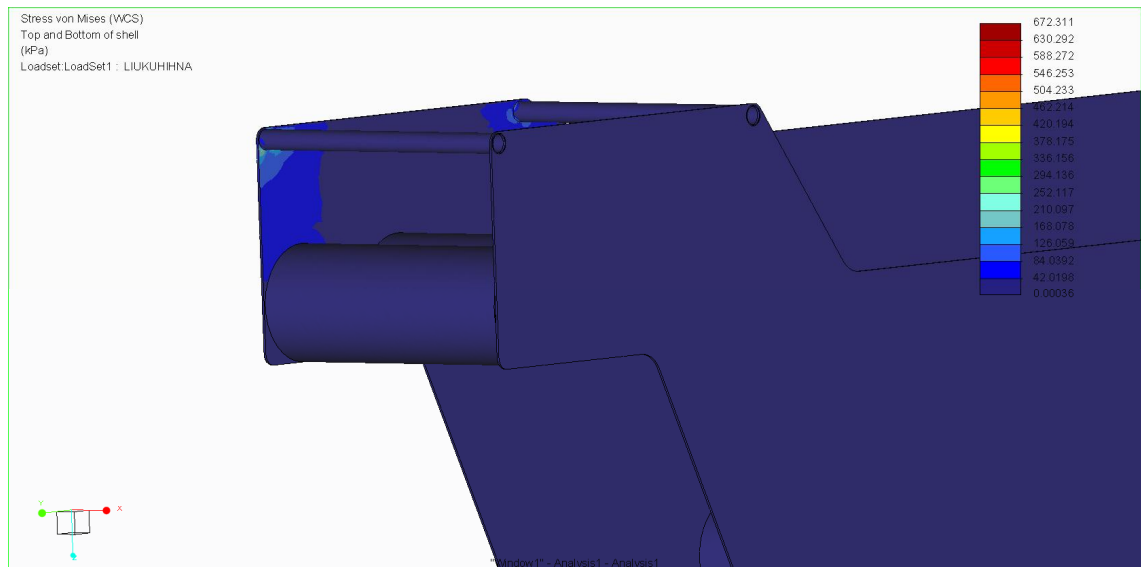
Ideoinnin pohjalta on mallinnettu 3d-mallinnusohjelmalla raakaversion, ns. palikkamallin metallijätteenpoistokoneesta. Tästä palikkamallista taas ajettiin analyysyjä, jotta saataisiin jonkinlainen kuva siitä, millaisia voimia koneeseen kohdistuu. Hihnan alaosan on asetettu vasemmanpuoleiseen hihnarullaan kaksi kertaa suuremman voiman, koska sen kohdalla on todennäköisimmin eniten kuormaa koneen ollessa käytössä. Mallinnuksesta on ajettu kaksi eri analyysiä, joista ensimmäisessä kuormaksi oli asetettu kohtuullinen, suurin piirtein realistinen arvio siitä, kuinka suuri kuorma koneeseen kohdistuu. Kullakin hihnarullalla on 10 Newtonin kuorma, paitsi aiemmin mainitulla rullalla, jolla on 20 Newtonin kuorma. Toisessa analyysissä kuormaksi sen sijaan oli asetettu huomattavasti yläkanttiin arvioitu kuorma, että nähdään millaisia voimia koneeseen kohdistuu ylikuormalla. Ylikuormaksi on määritetty 100-kertaiset kuormat, eli 2000 Newtonia alatason vasemmalla hihnarullalla ja 1000 Newtonia muilla hihnarullilla.



Kuva 5. Metallijätteenpoistokoneen rungon mallinnuksesta ajettu analyysi kuvattuna oikealta etualalta.

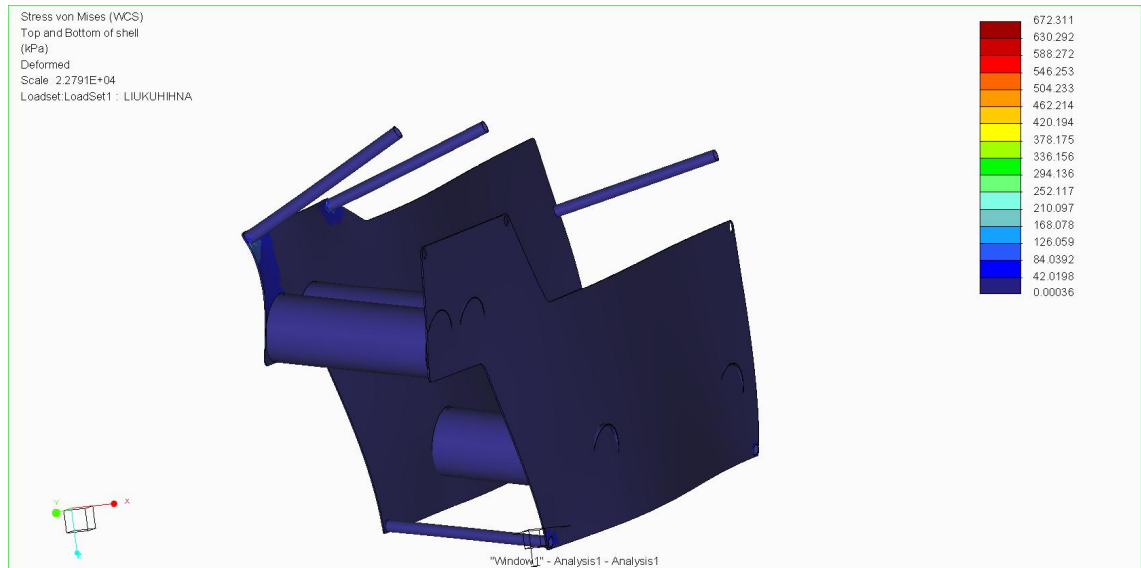


Kuva 6. Rungon analyysi kuvattuna vasemmalta taka-alalta.



Kuva 7. Lähikuva hihnan loppupäästä.

Analyysin perusteella (kuvat 5, 6 ja 7) voidaan todeta, että koneen runkorakenteissa maksimijännitys (von Mises) on noin 672 kPa. Rungon sivuseinämiin kohdistuu jännitystä eniten hihnarullien sekä sivuseinämiä välisten tukitankojen kiinnityskohtiin.

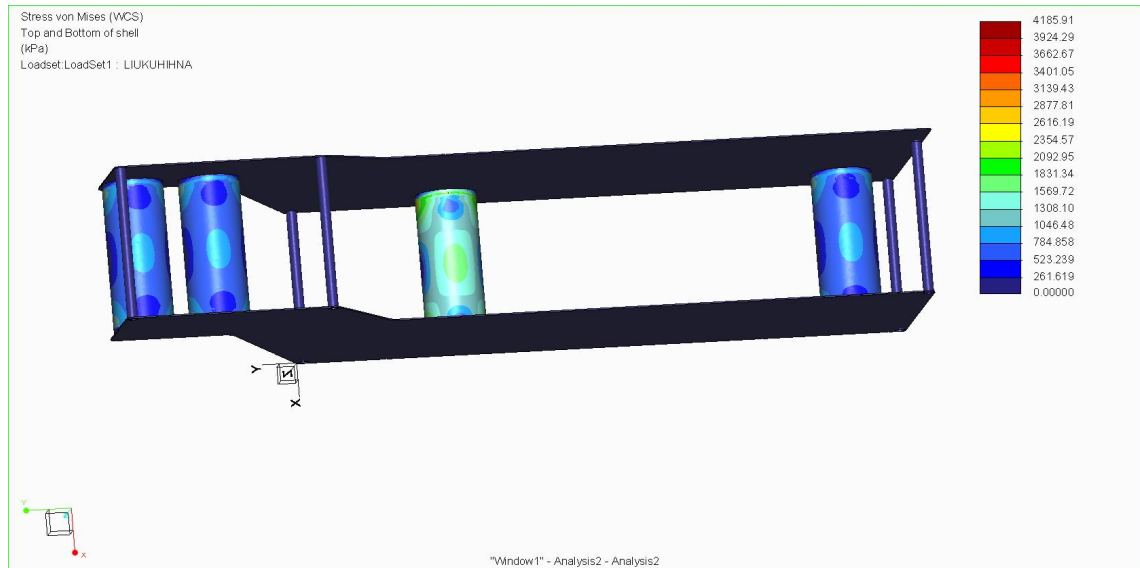


Kuva 8. Kuva liioitelluilla taipumilla.

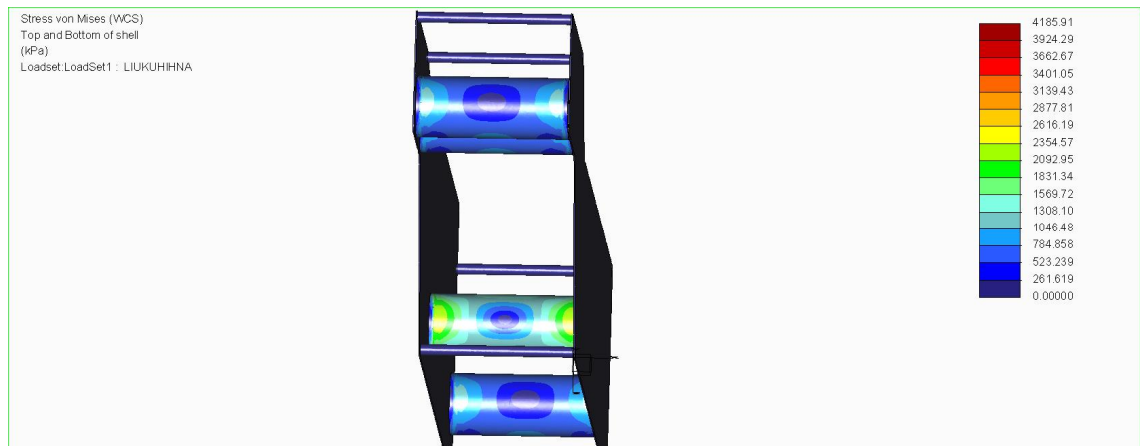


Kuva 9. Liioitellut taipumat eri kulmasta.

Analyysin ominaisuuksista mukaan lisäämällä liioitellut taipumat (kuvat 8 ja 9), saadaan käsitys, mihin suuntaan metallijäysteenpoistokoneen runko lähtisi vääntymään.



Kuva 10. Analyysi 100-kertaisella kuormalla ylhäältä päin kuvattuna.



Kuva 11. 100-kertaisen kuorman analyysi vasemmalta kuvattuna.

Toisesta analyysistä paljastuu, että 100-kertaisella kuormalla runkorakenteiden maksimijännitys olisi hieman alle 4,2 MPa.

## 5 Lujuuslaskuja

### 5.1 Laskuja peruskuormalla

Hihnarullan massa:

$$\begin{aligned} & (700\text{mm} \cdot (\pi \cdot (100\text{mm})^2 - \pi \cdot (98\text{mm})^2) + (2 \cdot \pi \cdot (98\text{mm})^2 \cdot 5\text{mm}) + \\ & (2 \cdot (28\text{mm} + 30\text{mm} + 5\text{mm} + 5\text{mm}) \cdot (\pi \cdot (15\text{mm})^2)) + \\ & ((7850\text{kg/m}^3 \cdot 9,81\text{m/s}^2) / 10^9\text{mm}^3/\text{m}^3) = 316 \text{ N} \end{aligned}$$

Rungon seinämien leikkausjännitys:

$$T = Q/A = F/2A = (10\text{N} + (316\text{N}/2)) / (2 \cdot 200\text{mm} \cdot 5\text{mm}) = 0,084 \text{ MPa} = 84 \text{ kPa}$$

Rungon seinämien normaalijännitys:

$$\sigma = N/A = (10\text{N} + 316\text{N}/2) / (5\text{mm} \cdot 55\text{mm}) = 0,611 \text{ MPa} = 611 \text{ kPa}$$

Hihnarullan akselin leikkausjännitys:

$$T = F/A = (10\text{N} + 316\text{N}/2) / (\pi \cdot (15\text{mm})^2) = 0,237 \text{ MPa} = 237 \text{ kPa}$$

Hihnarullan suurin taipuma:

$$\begin{aligned} v_{\max} &= (5q_0 \cdot L^4) / (384 \cdot EI) = (5 \cdot 20\text{N} \cdot (700\text{mm})^4) / (384 \cdot 211\text{GPa} \cdot 20 \cdot 10^4\text{mm}^4) \\ &= 1,48 \cdot 10^{-6} \text{ mm} \end{aligned}$$

Hihnarullan putkiprofiilin leikkausjännitys:

$$T = F/A = 10\text{N} / (\pi \cdot (100\text{mm})^2 - \pi \cdot (98\text{mm})^2) = 0,008 \text{ MPa} = 8 \text{ kPa}$$

Apupyörän pultin leikkausjännitys:

$$T = F/A = 10\text{N} / (\pi \cdot (10\text{mm})^2) = 0,0318 \text{ MPa} = 31,8\text{kPa}$$

## 5.2 Laskuja suurella kuormalla

Rungon seinämien leikkausjännitys:

$$T = Q/A = F/2A = 1316\text{N}/(2 \cdot 200\text{mm} \cdot 5\text{mm}) = 0,66 \text{ MPa} = 660 \text{ kPa}$$

Rungon seinämien normaalijännitys:

$$\sigma = N/A = 1316\text{N}/(5\text{mm} \cdot 55\text{mm}) = 4,8 \text{ MPa}$$

Hihnarullan akselin leikkausjännitys:

$$T = F/A = 1316\text{N}/(\pi \cdot (15\text{mm})^2) = 1,9 \text{ MPa}$$

Hihnarullan suurin taipuma:

$$v_{\max} = (5q_0 \cdot L^4)/(384 \cdot EI) = (5 \cdot 2000\text{N} \cdot (700\text{mm})^4)/(384 \cdot 211\text{GPa} \cdot 20 \cdot 10^4\text{mm}^4) \\ = 1,48 \cdot 10^{-4} \text{ mm}$$

Hihnarullan putkiprofiilin leikkausjännitys:

$$T = F/A = 1000\text{N}/(\pi \cdot (100\text{mm})^2 - \pi \cdot (98\text{mm})^2) = 0,8 \text{ MPa} = 800 \text{ kPa}$$

Apupyörän pultin leikkausjännitys:

$$T = F/A = 1000\text{N}/(\pi \cdot (10\text{mm})^2) = 3,2 \text{ MPa}$$

## 5.3 Laskuja maksimi- ja minimiarvoille

Rungon seinämien minimipaksuus:

$$(10\text{N} + 316\text{N}/2)/(2 \cdot 200\text{mm} \cdot 156,7\text{MPa}) = 0,0027 \text{ mm} = 2,7 \cdot 10^{-3} \text{ mm}$$

$$(10\text{N} + 316\text{N}/2)/(55\text{mm} \cdot 156,7\text{MPa}) = 0,020 \text{ mm} = 2,0 \cdot 10^{-2} \text{ mm}$$

Hihnarullan akselin minimipaksuus:

$$r = ((10\text{N} + 316\text{N}/2)/(\pi \cdot 156,7\text{MPa}))^{0.5} = 0,58 \text{ mm}$$

$$d = 2r = 1,16 \text{ mm}$$

Hihnarullan jännitysmomentti moottorin akselilla:

Maksimijännitys varmuuskertoimella:

$$T_{\max} = R_e/n = 235 \text{ MPa}/1,5 = 156,7 \text{ MPa}$$

Suurin sallittu leikkausvoima akselilla:

$$T_{\max} = F/A = 156,7 \text{ MPa} \cdot (\pi(15 \text{ mm})^2) = 110771 \text{ N}$$

Maksimivoima akselilla:

$$F_{\max} = M \cdot L = 250 \text{ Nm}/0,15 \text{ m} = 1667 \text{ N}$$

Moottorin suurin sallittu vääntö:

$$M_{\max} = (T_{\max}/F_{\max}) \cdot M_{\text{moottori}} = (110771 \text{ N}/1667 \text{ N}) \cdot 250 \text{ Nm} = 16615 \text{ Nm} = 16,6 \text{ kNm}$$

Moottorin suurin sallittu teho:

$$W_{\max} = (T_{\max}/F_{\max}) \cdot W_{\text{moottori}} = (110771 \text{ N}/1667 \text{ N}) \cdot 2,3 \text{ kW} = 153 \text{ kW}$$

Rungon seinämien maksimikuorma:

$$F = AT/2 = 2 \cdot 200 \text{ mm} \cdot 5 \text{ mm} \cdot (156,7 \text{ MPa}/2) = 156700 \text{ N} = 156,7 \text{ kN}$$

$$N = A\sigma = 5 \text{ mm} \cdot 30 \text{ mm} \cdot (156,7 \text{ MPa}/2) = 11752,5 \text{ N} = 11,8 \text{ kN}$$

Hihnarullien maksimikuorma:

$$F = AT/2 = \pi \cdot (15 \text{ mm})^2 \cdot (156,7 \text{ MPa}/2) = 55382,4 \text{ N} = 55,4 \text{ kN}$$

$$F = AT/2 = (\pi \cdot (100 \text{ mm})^2 - \pi \cdot (98 \text{ mm})^2) \cdot (156,7 \text{ MPa}/2) = 97472,9 \text{ N} = 97,5 \text{ kN}$$

Apupyörän pultin maksimikuorma:

$$F = AT/2 = \pi \cdot (10 \text{ mm})^2 \cdot (156,7 \text{ MPa}/2) = 24,6 \text{ kN}$$

## 5.4 Laskujen analysointia

Laskujen perusteella voidaan todeta, että kestävyys kannalta sekä normaalilla, että huomattavasti normaalia suuremmalla kuormalla koneen valittujen komponenttien mitat ovat enemmän kuin riittävät. Kuten jo normaalikuorman perusteella voitiin arvata, niin se ei aiheuta kovinkaan suuria jännityksiä tai taipumia koneen rakenteisiin.

Maksimiarvoja laskettaessa on varmuuskertoimeksi valittu 1,5. Tämä on kuitenkin jokseenkin tarpeetonta, koska luultavasti konetta ei tulla koskaan niin paljoa rasittamaan.

Moottorin tehona laskuissa on käytetty 2,3 kilowattia ja vääntönä 250 newtonmetriä, sillä koneeseen tulevan moottorin tehon ja väännön ovat ilmoitettu olevan tätä luokkaa.

Rungon seinämissä normaalikuormalla jännityksinä esiintyvät 84 kPa ja 611 kPa ovat huomattavasti pienemmät kuin suurin sallittu jännitys 156,7 MPa. Myös satakertaisella kuormalla 4,8 MPa:n ja 660 kPa:n jännitykset jäävät varsin kohtuullisiksi. Hihnarullan normaalikuorman leikkausjännitykset 237 kPa ja 8 kPa, kuin myös suuremman kuorman 1,9 MPa ja 800 kPa jäävät myös huomattavasti alhaisemmaksi kuin suurin sallittu jännitys. Apupyörien jännitykset 31,8kPa ja 3,2 MPa ovat hieman muitten osien jännityksiä suurempia, mutta jäävät silti suurimman sallitun jännityksen alle.

Laskuissa on käytetty kaavoja kirjasta Lujuusopin perusteet. (Outinen, Salmi & Vulli 2007)

## 6 Pohdinta

Suunnitelmat ja laskut vaikuttavat onnistuneilta viitekehukseen suhteutettuna. Opinnäytetyön tavoite on saavutettu, eli jäysteenpoistokone on saatu suunniteltua. Tämän suunnitelman perusteella on mahdollista rakentaa jäysteenpoistokone jyrsinkoneen yhteyteen.

Opinnäytetyön toteutuksessa käytettiin koulussa lujuusopin ja statiikan kursseilla opittujen laskukaavojen käyttöä sekä 3d-mallinnusohjelmalla mallintamista ja mallinnuksen analysointia. Opinnäytetyön lähtökohta oli ongelmanratkaisullinen. Voidaan todeta, että ongelma on saatu ratkaistua, kun jäysteenpoistoon on nyt suunniteltu menetelmä.

Opinnäytetyössä on pyritty täyttämään eettiset vaatimukset. Kaikki teksti on itse kirjoitettua ja kuvat sekä mallinnukset itse kuvattuja ja luotuja. Luotettavuus on myös huomioitu. Esimerkiksi laskuja laskiessa on koetettu ottaa mahdollisimman paljon asioita huomioon.

Oppimisprosessi opinnäytetyön aikana on ollut kohtalaista. Ilmiselvästi ensimmäistä opinnäytetyötä tehdessä on opittu sellaista kirjoittamaan ja tuntemaan, millaisia asioita siihen tulee sisällyttää. Ammatillinen kasvu taas pitää sisällään sitä, että on opittu ottamaan huomioon asioita, joita koneiden suunnittelussa esiintyy, esimerkiksi, kuinka suuria komponentteja tulee suunnitella toisen koneen yhteyteen tulevaan laitteeseen. Tämä on kohtalaisen keskeinen asia mekaniikkasuunnittelussa.

Jatkokehittämissideana voisi olla esimerkiksi, kuinka automatisoidaan myös jyrsinpöydän puhdistus metallijäysteestä, että ne menisivät automaattisesti liukuhihnalle ja kuinka täyden jätelavan voisi tyhjentää. Jyrsinkoneen pöydän puhdistuksessa voitaisiin käyttää jonkinlaista robottikättä, jossa on ilmaletku ja harja. Näillä robottikäsi suorittaisi rutiinipuhdistuksen ja siirtäisi jyrsinjäysteet liukuhihnalle nappia painamalla. Jätelavalla taas voisi olla painontunnistin ja kiskot, joita pitkin se kävisi tyhjentämässä itsensä konehallin ulkopuolelle.

## Lähteet

Muovikum Oy. 2015. Kumimatto urilla (sälematto).

<http://www.sisustusmuovikum.fi/tuotteet/matot/kumimatto-urilla-salematto.html>

Outinen H., Salmi T. & Vulli P. 2007. Lujuusopin perusteet. Tampere: Pressus Oy

SKS Mekaniikka Oy. 2015. SKS Kytkimet ja akseliliitokset.

[http://www.sks.fi/www/sivut/F07711067A71B9D4C2257AFC0022037A/\\$FILE/SKS\\_Kytkimet%20ja%20akseliliitokset.pdf](http://www.sks.fi/www/sivut/F07711067A71B9D4C2257AFC0022037A/$FILE/SKS_Kytkimet%20ja%20akseliliitokset.pdf)

Tampereen Laakerikeskus. 2015. Urakuulalaakeri 6004.

<http://www.tampereenlaakerikeskus.com/tuotteet.html?id=21/4417>

Tampereen Laakerikeskus. 2015. Urakuulalaakeri 6006.

<http://www.tampereenlaakerikeskus.com/tuotteet.html?id=21/4419>

## Analyysin tulostus

| Run Status (Analysis1.rpt) Not Running  |                 | Run Status (Analysis1.rpt) Not Running |                 |                   |          |          |                  |          |          |          |             |             |             |   |  |          |          |          |             |             |             |          |          |          |             |             |             |
|---|-----------------|--|-----------------|-------------------|----------|----------|------------------|----------|----------|----------|-------------|-------------|-------------|---|--|----------|----------|----------|-------------|-------------|-------------|----------|----------|----------|-------------|-------------|-------------|
| Summary   | Log Checkpoints | Summary                                | Log Checkpoints |                   |          |          |                  |          |          |          |             |             |             |   |  |          |          |          |             |             |             |          |          |          |             |             |             |
| Creo Simulate Structure Version P-10-29:spg<br>Summary for Design Study "Analysis1"<br>Mon Nov 09, 2015 13:46:00  |                 |  |                 |                   |          |          |                  |          |          |          |             |             |             |   |  |          |          |          |             |             |             |          |          |          |             |             |             |
| <b>Run Settings</b><br>Memory allocation for block solver: 512.0  |                 |  |                 |                   |          |          |                  |          |          |          |             |             |             |   |  |          |          |          |             |             |             |          |          |          |             |             |             |
| <b>Parallel Processing Status</b><br>Parallel task limit for current run: 4<br>Parallel task limit for current platform: 64<br>Number of processors detected automatically: 4<br>Checking the model before creating elements...<br>These checks take into account the fact that AutoGEM will automatically create elements in volumes with material properties, on surfaces with shell properties, and on curves with beam section properties.<br>Generate elements automatically.<br>Checking the model after creating elements...<br>No errors were found in the model.<br>Creo Simulate Structure Model Summary  |                 |  |                 |                   |          |          |                  |          |          |          |             |             |             |   |  |          |          |          |             |             |             |          |          |          |             |             |             |
| <b>Principal System of Units: millimeter Kilogram Sec (mmKs)</b><br><br>Length: mm<br>Mass: kg<br>Time: sec<br>Temperature: C<br><br><b>Model Type: Three Dimensional</b><br><br>Points: 26921<br>Edges: 133594<br>Faces: 186422<br><br>Springs: 0<br>Masses: 0<br>Beams: 0<br>Shells: 13393<br>Solids: 79757<br><br>Elements: 93150  |                 |  |                 |                   |          |          |                  |          |          |          |             |             |             |   |  |          |          |          |             |             |             |          |          |          |             |             |             |
| <b>Standard Design Study</b><br><b>Static Analysis "Analysis1":</b><br><br>Convergence Method: Single-Pass Adaptive<br>Plotting Grid: 4<br><br>Convergence Loop Log: (13:47:54)<br><br>>> Pass 1 <<<br>Calculating Element Equations (13:47:58)<br>Total Number of Equations: 1624356<br>Maximum Edge Order: 3<br>Solving Equations (13:48:36)<br>Post-Processing Solution (13:53:19)<br>Checking Convergence (13:55:16)<br>Resource Check (13:55:48)<br>Elapsed Time (sec): 589.18<br>CPU Time (sec): 346.45<br>Memory Usage (kb): 2564547<br>Wrk Dir Dsk Usage (kb): 6943745<br><br>>> Pass 2 <<<br>Calculating Element Equations (13:55:53)<br>Total Number of Equations: 1713078<br>Maximum Edge Order: 9<br>Solving Equations (13:59:38)<br>Post-Processing Solution (14:07:05)<br>Checking Convergence (14:10:15)<br>Calculating Disp and Stress Results (14:11:12)<br><br><b>RMS Stress Error Estimates:</b><br><br><table border="1"> <thead> <tr> <th>Load Set</th> <th>Stress Error</th> <th>% of Max Prin Str</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>LoadSet1</td> <td>3.48e+00</td> <td>0.5% of 7.62e+02</td> </tr> </tbody> </table> Resource Check (14:16:49)<br>Elapsed Time (sec): 1850.12<br>CPU Time (sec): 659.24<br>Memory Usage (kb): 2564547<br>Wrk Dir Dsk Usage (kb): 7531521<br><br>** Warning: Local reaction data is currently unavailable if one or more constraints are specified in curvilinear or local Cartesian coordinates.<br><br>Total Mass of Model: 3.147365e+02<br><br>Total Cost of Model: 0.000000e+00<br><br><b>Mass Moments of Inertia about WCS Origin:</b><br><br>Ixx: 4.37442e+08<br>Iyy: -6.30726e+07 Izz: 1.33296e+08<br>Ixz: -4.21583e+07 Iyz: -8.00984e+07 Izz: 3.87692e+08<br><br><b>Principal MMOI and Principal Axes Relative to WCS Origin:</b><br><br><table border="1"> <thead> <tr> <th>Max Prin</th> <th>Mid Prin</th> <th>Min Prin</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>4.62517e+08</td> <td>4.01064e+08</td> <td>9.48484e+07</td> </tr> </tbody> </table> |                 | Load Set                               | Stress Error    | % of Max Prin Str | LoadSet1 | 3.48e+00 | 0.5% of 7.62e+02 | Max Prin | Mid Prin | Min Prin | 4.62517e+08 | 4.01064e+08 | 9.48484e+07 | <table border="1"> <thead> <tr> <th>Max Prin</th> <th>Mid Prin</th> <th>Min Prin</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>4.62517e+08</td> <td>4.01064e+08</td> <td>9.48484e+07</td> </tr> </tbody> </table> WCS X: 8.97952e-01 3.88154e-01 2.07409e-01<br>WCS Y: -6.61748e-02 -3.46840e-01 9.35587e-01<br>WCS Z: -4.35090e-01 8.53837e-01 2.85760e-01<br><br><b>Center of Mass Location Relative to WCS Origin:</b><br>(-2.71162e+02, -7.12816e+02, -4.67448e+02)<br><br><b>Mass Moments of Inertia about the Center of Mass:</b><br><br>Ixx: 2.08750e+08<br>Iyy: -2.23766e+06 Izz: 4.13811e+07<br>Ixz: -2.26417e+06 Iyz: 2.47732e+07 Izz: 2.08631e+08<br><br><b>Principal MMOI and Principal Axes Relative to COM:</b><br><br><table border="1"> <thead> <tr> <th>Max Prin</th> <th>Mid Prin</th> <th>Min Prin</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>2.11171e+08</td> <td>2.05961e+08</td> <td>3.76839e+07</td> </tr> </tbody> </table> WCS X: 7.38173e-01 6.74522e-01 1.09978e-02<br>WCS Y: -1.06947e-01 1.00911e-01 9.89131e-01<br>WCS Z: -6.66080e-01 7.31326e-01 -1.46628e-01<br><br><b>Constraint Set: :</b><br><br><b>Load Set: LoadSet1: LIUKUHIHNA</b><br><br><b>Resultant Load on Model:</b><br>in global X direction: -1.114377e-04<br>in global Y direction: 7.569265e-06<br>in global Z direction: 1.940410e-02<br><br><b>Resultant Load on Model (excluding inertia relief):</b><br>in global X direction: 0.000000e+00<br>in global Y direction: 0.000000e+00<br>in global Z direction: 5.000000e+04<br><br><b>Measures:</b><br><br>max_beam_bending: 0.000000e+00<br>max_beam_tensile: 0.000000e+00<br>max_beam_torsion: 0.000000e+00<br>max_beam_total: 0.000000e+00<br>max_disp_mag: 1.184699e-02<br>max_disp_x: 4.737876e-03<br>max_disp_y: 1.492559e-03<br>max_disp_z: -1.183314e-02<br>max_prin_mag: 7.618324e+02<br>max_rot_mag: 4.343373e-05<br>max_rot_x: 2.645125e-06<br>max_rot_y: 3.253065e-05<br>max_rot_z: -4.015723e-05<br>max_stress_prin: 7.618324e+02<br>max_stress_vn: 6.723100e+02<br>max_stress_xx: 7.617795e+02<br>max_stress_xy: -9.413348e+01<br>max_stress_xz: 1.261112e+02<br>max_stress_yy: 2.512073e+02<br>max_stress_yz: 1.225320e+02<br>max_stress_zz: 3.130745e+02<br>min_stress_prin: -4.848129e+02<br>strain_energy: 7.317276e+00<br><br>** Warning: The measures marked by an asterisk (*) were evaluated at (or close to) results singularities. The values of these measures may be inaccurate, and you must use engineering judgment when interpreting them.<br><br>Analysis "Analysis1" Completed (14:16:49) |  | Max Prin | Mid Prin | Min Prin | 4.62517e+08 | 4.01064e+08 | 9.48484e+07 | Max Prin | Mid Prin | Min Prin | 2.11171e+08 | 2.05961e+08 | 3.76839e+07 |
| Load Set  | Stress Error    | % of Max Prin Str                      |                 |                   |          |          |                  |          |          |          |             |             |             |   |  |          |          |          |             |             |             |          |          |          |             |             |             |
| LoadSet1  | 3.48e+00        | 0.5% of 7.62e+02                       |                 |                   |          |          |                  |          |          |          |             |             |             |   |  |          |          |          |             |             |             |          |          |          |             |             |             |
| Max Prin  | Mid Prin        | Min Prin                               |                 |                   |          |          |                  |          |          |          |             |             |             |   |  |          |          |          |             |             |             |          |          |          |             |             |             |
| 4.62517e+08   | 4.01064e+08     | 9.48484e+07                            |                 |                   |          |          |                  |          |          |          |             |             |             |   |  |          |          |          |             |             |             |          |          |          |             |             |             |
| Max Prin  | Mid Prin        | Min Prin                               |                 |                   |          |          |                  |          |          |          |             |             |             |   |  |          |          |          |             |             |             |          |          |          |             |             |             |
| 4.62517e+08   | 4.01064e+08     | 9.48484e+07                            |                 |                   |          |          |                  |          |          |          |             |             |             |   |  |          |          |          |             |             |             |          |          |          |             |             |             |
| Max Prin  | Mid Prin        | Min Prin                               |                 |                   |          |          |                  |          |          |          |             |             |             |   |  |          |          |          |             |             |             |          |          |          |             |             |             |
| 2.11171e+08   | 2.05961e+08     | 3.76839e+07                            |                 |                   |          |          |                  |          |          |          |             |             |             |   |  |          |          |          |             |             |             |          |          |          |             |             |             |
| <b>Memory and Disk Usage:</b><br><br>Machine Type: Windows 7 64 Service Pack 1<br>RAM Allocation for Solver (megabytes): 512.0<br><br>Total Elapsed Time (seconds): 1871.31<br>Total CPU Time (seconds): 660.99<br>Maximum Memory Usage (kilobytes): 2630075<br>Working Directory Disk Usage (kilobytes): 7531521<br><br><b>Results Directory Size (kilobytes):</b><br>916219 .\Analysis1<br><br><b>Maximum Data Base Working File Sizes (kilobytes):</b><br>1048576 .\Analysis1.tmp\kblk1.bas<br>1048576 .\Analysis1.tmp\kblk2.bas<br>1048576 .\Analysis1.tmp\kblk3.bas<br>1048576 .\Analysis1.tmp\kblk4.bas<br>1048576 .\Analysis1.tmp\kblk5.bas<br>258048 .\Analysis1.tmp\kblk6.bas<br>1048576 .\Analysis1.tmp\kblk7.bas<br>596992 .\Analysis1.tmp\kblk8.bas<br>385024 .\Analysis1.tmp\kblk9.bas   |                 |  |                 |                   |          |          |                  |          |          |          |             |             |             |   |  |          |          |          |             |             |             |          |          |          |             |             |             |
| Run Completed<br>Mon Nov 09, 2015 14:17:11  |                 |  |                 |                   |          |          |                  |          |          |          |             |             |             |   |  |          |          |          |             |             |             |          |          |          |             |             |             |