



HIEKOITUSLAVAN SUUNNITTELU JA MALLINUS

Mika Soukkio

Opinnäytetyö
Joulukuu 2012
Kone- ja tuotantotekniikka
Tuotekehitys

TAMPEREEN AMMATTIKORKEAKOULU
Tampere University of Applied Sciences

TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma
Tuotekehityksen suuntautumisvaihtoehto

SOUKKIO, MIKA:

Hiekoituslavan suunnittelu ja mallinnus

Opinnäytetyö 34 sivua, josta liitteitä 6 sivua
Joulukuu 2012

Tämän työn tarkoituksena oli suunnitella ja mallintaa hiekoituslava. Hiekoituslavalla helpotetaan teiden kunnossapitoa ja tällä tavalla on mahdollista aikaansaada säästöjä. Tavoitteena oli valmistaa suunnitteluprosessin tulosten perusteella prototyyppi ja tehdä sillä koekäyttöjä.

Suunnitteluprosessissa tehtiin hiekoituslavan mitoittamiseen liittyviä laskelmia. Hiekoituslavan puolikkaat nousevat hydraulisesti ylös, joten siihen tarkoitukseen piti mitoittaa sopivan kokoiset sylinterit. Lisäksi lavan pohjalla olevaa ruuvia pyöritetään hydraulimootorilla välityksen kautta. Välityksen ketjupyörille piti mitoittaa sopivan kokoiset kiilaliitokset. Valmistusta varten kaikista osista mallinnettiin 3D-mallit ja niistä tehtiin kaksiulotteiset mitoitetut työpiirustukset. Mekaniikkasuunnitteluohjelmana käytettiin Vertex G4 -ohjelmaa.

Hiekoituslavan suunnitteluprosessi oli kokonaisuutena vaativa. Lavan pohjan nosto vaatii oikeaan muotoonsa leikatut päätylevyt, jotta puolikkaat pääsevät vaivattomasti nousemaan yläasentoonsa. Samalla lavan tuli olla tarpeeksi tiivis, että hiekka ei pääse valumaan pois ennen aikojaan. Lavasta tuli tehdä myös mahdollisimman kevyt, mikä asetti omat haasteensa esimerkiksi sylinterien paikoille ja niiden tuennalle, jotta lava kestäisi aiheutuvat rasitukset mahdollisimman hyvin.

ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tampere University of Applied Sciences
Mechanical and production engineering
Product development

MIKA SOUKKIO:
Designing and Modelling of Sand Bed

Bachelor's thesis 34 pages, appendices 6 pages
December 2012

The objective of this study was to design and make three dimensional model about sand bed for trucks. The purpose of sand bed is to ease maintenance of roads and reduce costs. Main goal was to produce a prototype based of this thesis and make a few test runs with it.

Designing process needed few calculations about sand bed. Halves of sand bed rises up hydraulically, so one calculation was to design a suitable cylinders. On the bottom of sand bed there is conveyor screw, which is rotated by a hydraulic motor through a transmission. Transmission was made with chain gears and was connected to axles with cotter joints. All parts were modeled to three dimensional models and were converted to two dimensional work drawings. All designing was made with Vertex G4 mechanical engineering software.

The whole process of designing sand bed was very demanding challenge. Lifting up the bottom halves require the correct shape cut end plates, so that the two halves can easily rise to the upper position. At the same time the bed had to be sealed enough that the sand could not leak out. Sand bed had also made as light as possible, which set up its own challenges for example to supports and locations of cylinders, in order to bed could withstand all stresses as well as possible.

Key words: designing, sanding, hydraulic machines, thesis

SISÄLLYS

| | | |
|-------|---|----|
| 1 | JOHDANTO..... | 5 |
| 2 | YRITYS..... | 6 |
| 2.1 | Historia..... | 6 |
| 2.2 | Tuotteet | 6 |
| 2.2.1 | Tielanat..... | 6 |
| 2.2.2 | Nivel- ja alueaurat | 7 |
| 2.2.3 | Hiekoitusvaunut ja -kauhat | 8 |
| 2.3 | Asiakaskunta | 8 |
| 3 | HIEKOITUSLAVAN SUUNNITTELU | 9 |
| 3.1 | Valmiit osat ja toiminnalliset vaatimukset..... | 9 |
| 3.2 | Suunnittelu | 11 |
| 3.2.1 | Lavan levyosat | 11 |
| 3.2.2 | Sarana | 15 |
| 3.2.3 | Lavan rungon osat | 16 |
| 3.2.4 | Levyosien kokoonpano | 17 |
| 3.3 | Sylinterien paikan määrittäminen | 18 |
| 3.3.1 | Lavan taipuman minimointi | 18 |
| 3.3.2 | Sylinterien valinta | 19 |
| 3.4 | Laakeroinnit | 20 |
| 3.4.1 | Laakerointi moottorin päädyssä | 20 |
| 3.4.2 | Laakerointi hiekan poistopäädyssä | 21 |
| 3.5 | Ruuvia pyörittävät komponentit | 22 |
| 3.5.1 | Hydraulimoottori..... | 22 |
| 3.5.2 | Ketjupyörät..... | 23 |
| 3.5.3 | Akseliliitokset | 24 |
| 3.5.4 | Määränsäätöventtiili | 25 |
| 4 | POHDINTA..... | 27 |
| | LÄHTEET..... | 28 |
| | LIITTEET | 29 |
| | Liite 1. Sylinterien määrittäminen | 29 |
| | Liite 2. Ketjupyörien nopeudet ja vääntömomentit..... | 32 |
| | Liite 3. Akseliliitosten laskelmat..... | 33 |

1 JOHDANTO

Soukkio Oy on vuonna 1988 perustettu Pälkäneen kunnassa Luopioisten kylässä toimiva metallialan perheyritys. Yritys suunnittelee, valmistaa ja myy teiden ja katujen kunnossapitoon käytettäviä koneita ja laitteita.

Opinnäytetyön aiheena on suunnitella ruuvilla toimiva hiekoituslava ja tehdä siitä 3D-mallit ja työpiirustukset Vertex G4 -ohjelmaa käyttäen. Suunnittelun tulisi pohjautua jo hankittuihin ja olemassa oleviin osiin.

Hiekoituslavaa voidaan lautasmallisella hiekanlevittimellä varustettuna käyttää talvisin teiden ja jalkakäytävien hiekoittamiseen. Kesäisin samalla laitteistolla voidaan levittää pelloille kalkkia. Ilman lautashiekoitinta olevaa hiekoituslavaa voidaan myös käyttää hiekkateiden ylläpitoon, varsinkin roudan aiheuttamien kuoppien täyttämiseen. Aiemmin kuopat on täytetty suoraan traktorin kauhasta ”mies ja lapio” –menetelmällä, joka on raskasta ja aikaa vievää. Hiekoituslavan avulla sama työ voidaan tehdä joutuisammin ja tehokkaammin ajoneuvosta käsin.

Tämä opinnäytetyö rajoittuu ainoastaan hiekoituslavan ja sen tyhjennyslaitteiston suunnitteluun, joten esimerkiksi yllä mainittu lautasmallinen hiekanlevitin on rajattu ulkopuolelle, jotta työstä ei tulisi liian laaja.

Yritys on aiemmin toteuttanut asiakastyönä samalla periaatteella toimivan kauhamallisen hiekoittimen. Tästä on asiakkaalta tullut hyviä kokemuksia ja kehitysideoita, joita sitten tässä opinnäytetyössä olisi tarkoitus hyödyntää.

2 YRITYS

2.1 Historia

Soukkio Oy on perustettu vuonna 1988. Sitä ennen yrityksen perustaja ja toimitusjohtaja Hannu Soukkio oli kaksivuorotöissä Linnavuoren moottoritehtaalla ja teki tuolloin töiden ohessa iltaisin, viikonloppuisin ja vapaa-aikana tielanoja. Hän myi lanat Maaseudun tulevaisuudessa olleiden ilmoitusten avulla, sitä mukaan kun ne valmistuivat. Linnavuoressa vähennettiin väkeä 1980-luvun loppupuolella, jolloin Hannu siirtyi Kalmarille. Kalmarilla hetken oltuaan tuli hän taitekohtaan, jolloin piti päättää, jatkaako hän ulkopuolisella vai perustaako oman yrityksen. Vaihtoehtoja puntaroidessa hän päätyi yrityksen perustamisen kannalle. Alussa tuotteina oli tielanoista vain kahta eri mallia, seuraavan vuoden kuluessa tuotevalikoimaan tuli alueaura.

Alussa yrityksen tarkoituksena oli itsensä työllistäminen, töiden lisääntymisen myötä kesäisin tarvittiin määräaikaista työntekijöitä. Vuonna 1990 ensimmäisen laajennuksen myötä yritykseen tuli myös ensimmäinen vakituinen työntekijä. Myöhemmin yritys on laajentunut vuosina 1997 ja 2000. Toinen toimipiste yritykselle tuli vuonna 2005, Luopioisten kunnan Regon toimitiloihin. Työntekijöiden määrä on lisääntynyt hiljalleen laajennusten yhteydessä. Myös tuotevalikoima on kasvanut laajentumisten myötä.

2.2 Tuotteet

Yrityksen päätoimiala on metalliteollisuus ja yritys valmistaa erilaisia teiden hoitoon ja kunnossapitoon liittyviä tuotteita. Keväisin ja kesäisin suurin myyntimenekki on tielanoilla ja talvisin taas hiekoitusvaunuilla ja lumiauroilla. Yrityksessä myös tehdään erilaisia asiakastöitä ja omien tuotteiden huoltoja ja korjauksia.

2.2.1 Tielanat

Pääosa Suomen tiestöstä on sorateita ja niiden kunnosta huolehtiminen on yksi tienpidon tärkeimpiä tehtäviä. Sorateiden kunnossapitoon kuuluvat tien pinnan tasaus, paikkaus, pölynsidonta, kelirikkokorjaukset ja tien rakenteiden parantaminen. Sorateiden peruskunnostus tehdään yleensä keväällä, jolloin tien pinta lanataan ja tehdään pölynsi-

donta suolaliuksella. Syksyisin tie lanataan uudestaan talvitienhoitoa varten. Syystasa- uksella estetään syyssateiden aikana reikiintyneen tien jäätyminen epätasaisena. Lisäksi huolehditaan reunapalteiden poistosta ja tien sivukaltevuudesta, jotta keväällä sulamis- vedet pääsevät vapaasti valumaan luiskiin, eikä jää tielle aiheuttamaan tien pintaa peh- mentäviä vesilammikoita.

Soukkio Oy on valmistanut perustamisestaan lähtien tielanoja ja tällä hetkellä vali- koimissa on yhdeksän erilaista lanaa, joihin on saatavilla hyvin monenlaisia lisävarus- teita. Tielanojen mallit alkavat mönkijällä tai autolla vedettävästä 350 kg painavasta Autolanasta ja päättyvät lisävarusteiden kanssa yli 4000 kg painavaan ympärivuotiseen urakointikäyttöön tarkoitettuun Polannelana 3700:aan. Tielanojen sesonkikausi on ke- väisin ja kesäisin. Tielanojen osuus yrityksen liikevaihdosta on noin kolmannes.

2.2.2 Nivel- ja alueaurat

Auroja käytetään talvisin lumen poistoon teiltä ja piha-alueilta. Lumen auraus on tärke- ää, koska ihmisten vaatimustaso teiden kunnan suhteen on noussut ja halutaan kulkea helposti ja turvallisesti paikasta toiseen. Alueauroilla aurataan pääasiassa pidempiä tie- matkoja, joissa lumi voidaan heittää tien sivuun. Nivelaurat taasen ovat tehokkaita suu- rien alueiden puhdistuksessa, joissa lumi kasataan yhteen paikkaa suuremmalle kasalle.

Tielanojen sesonkikauden ollessa keväisin ja kesäisin, tarvittiin jokin tuote syksyille ja talville. Näin alettiin kehittää eri auraversioita. Aluksi alettiin suunnitella alueauroja maaseudun teille, jossa aurausta hoidettiin pääasiassa traktorikalustolla. Tällöin aurauk- seen saatiin nopeutta ja kustannustehokkuutta etenkin nuoskalumisina talvina. Myö- hemmin mukaan tuli myös nivelaurat, jotka on suunniteltu piha-alueiden auraukseen. Tällä hetkellä Soukkio Oy:llä on valikoimissa kolmea eri alueauramallia ja kahta nive- lauramallia. Jokaisesta mallista on monia eri leveysvaihtoehtoja alkaen noin 2,4 metri- sestä jopa yli neljä metriä leveään auran. Alueauroista on olemassa myös kahta eri sii- pimallia, kartio- ja perhossiipeä. Kartiosiivellä aura heittää lumen tien oikeaan laitaan ja perhossiivellä varustetulla auralla pystyy lumen heittämään tien molemmille puolille.

Tällä hetkellä aurojen suunnittelussa kiinnitetään huomiota auran hyviin heitto- ominaisuuksiin ja turvallisuuteen. Kaupunkialueella ja taajamissa auratessa vastaan tu- lee joka talvi tilanteita, joissa auratessa törmätään esimerkiksi liian korkealla oleviin

kaivonkansiin tai jalkakäytävän kanttikiviin. Näitä tilanteita varten aura suunnitellaan antamaan myöten esimerkiksi teräpalojen joustolla tai sitten ylätukivarren laukaisume-kanismilla.

2.2.3 Hiekoitusvaunut ja -kauhat

Liukkauden torjunta on noussut teiden ja alueiden talvikunnossapidon ohella yhdeksi tärkeimmäksi tehtäväksi liukastumisten ja loukkaantumisten estämiseksi. Hiekoitusvaunuja ja -kauhoja käytetään liukkauden poistoon erityisesti risteysalueilla maanteillä sekä kevyen liikenteen väylillä ja piha-alueilla. Hiekoituskalustoa voidaan hyödyntää kesäisin myös sorateiden pölynsidontasuolan levittämisessä.

Soukkio Oy valmistaa säiliötilavuudeltaan 4-8 m³ hiekoitusvaunuja ja 0,7-3 m³ hiekoituskauhoja. Hiekoitusleveydet vaihtelevat 1,6 metristä 2,6 metriin. Hiekoitusvaunuja käytetään pääasiassa teiden hiekoitukseen. 2,5 metriä leveällä 5 m³ hiekoitusvaunulla pystytään hiekoittamaan noin 10 kilometrin matka. Hiekoituskauhat ovat ketteryytensä ansiosta käteviä pienimmissä paikoissa ja kevyen liikenteen väylillä. Hiekoitusvaunuista osa menee vientiin Norjan markkinoille.

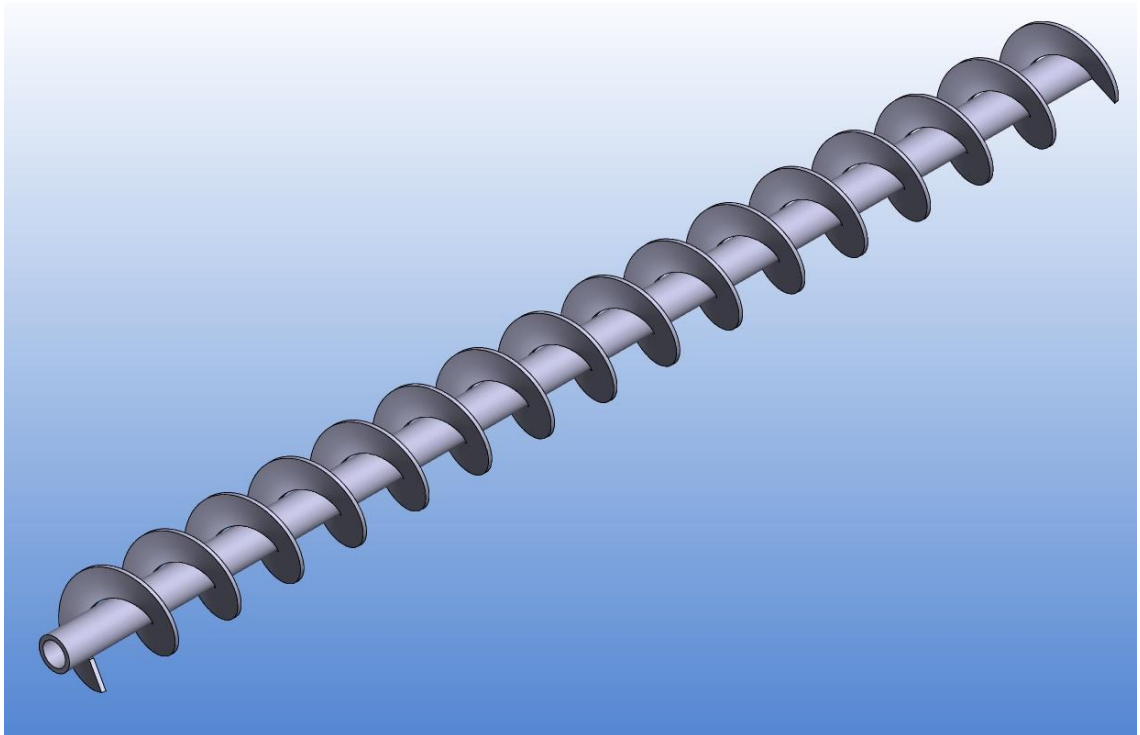
2.3 Asiakaskunta

Soukkio Oy:n asiakaskunta koostuu yksityisistä urakoitsijoista, kiinteistöhoitoyhtiöistä ja tiehoitokunnista. Pienempiä tielanoja myydään myös yksityishenkilöille, jotka käyttävät lanaa vain oman yksityistiensä kunnossapitoon.

3 HIEKOITUSLAVAN SUUNNITTELU

3.1 Valmiit osat ja toiminnalliset vaatimukset

Aiemmin asiakastyönä tehtyyn reunantäyttökauhaan tilattiin kaksi ruuvia, joista toista vain käytettiin ja toinen jäi varastoon. Yhdeksi suunnittelun lähtökohdaksi tulikin tämän ruuvin käyttäminen. Heti alkuun tehtiin 3D-malli (kuva 1), joka vastasi mitoiltaan täysin tätä varastossa olevaa ruuvia.



KUVA 1. 3D-mallinnettu ruuvi.

Toinen lähtökohta suunnittelulle oli paikka, mihin hiekoituslavan prototyyppi asennetaan testiajoja varten. Yritys omistaa Volkswagen LT 35D –kuorma-auton (kuva 2.), jonka lavan leveys on 212 cm. Tämän takia päätettiin, että hiekoituslavan rakenne saa olla maksimissaan 210 cm leveä. Pituudelle ei asetettu tarkkoja vaatimuksia, koska kuorma-auton lava on noin 4,5 m pitkä ja varastossa oleva ruuvi on kolme metriä pitkä. Näin siis lavalle jää pakosti reilusti tyhjää tilaa. Kuorma-auton lavan korkeus maasta mitattuna on kuormaamattomana noin yksi metri. Asetus ajoneuvojen käytöstä tiellä määrittää ajoneuvon maksimikorkeudeksi 4,2 metriä. Hiekoituslavan rakenteen tulee siis olla maksimissaan 3,2 metriä korkea.



KUVA 2. Yrityksen omistama Volkswagen LT 35D –kuorma-auto.

Hiekoituslavan toiminnallisista vaatimuksista päätettiin, että lavan pohja tulee rakentaa kahdesta osasta ja osat pitää saranoida niin, että lavan puolikkaita voidaan kallistaa hydraulisesti lavan keskikohtaa kohden, jolloin saadaan lavan kulmissakin olevat hiekat valumaan keskellä sijaitsevalle ruuville. Puolikkaat tulee suunnitella myös sillä tapaa, että ylös nostettuna ne menevät osittain toinen toisen päälle, jolloin saadaan kesällä esitettyä veden ja talvella lumen pääsy hiekkatilaan kun säiliö on tyhjiään.

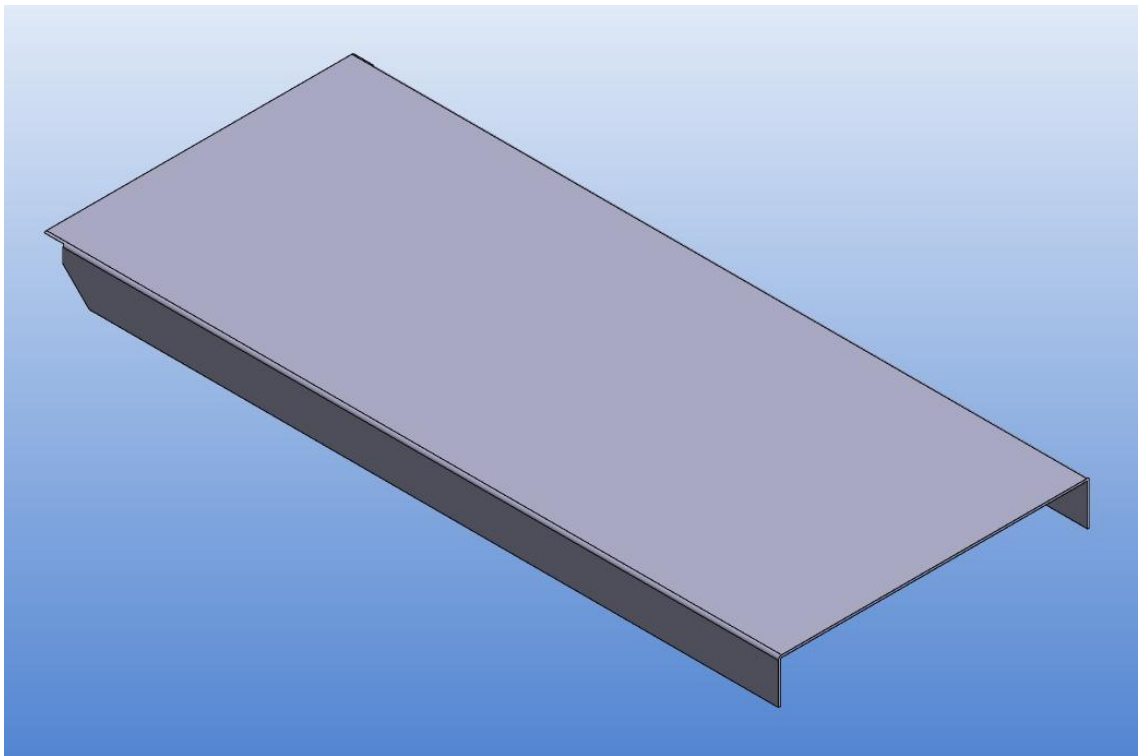
Käytettävästä materiaalista päätettiin, että yritetään käyttää yrityksessä jo valmiiksi varastossa olevia materiaaleja ja pyritään mahdollisimman vähän tilaamaan sellaisia materiaaleja, joille ei muuta käyttöä löydy. Lavan levyosat tehdään 3 mm paksusta S355 teräslevystä. Lavan rakenteesta tulee yrittää saada tehtyä mahdollisimman kevyt, mutta silti tukeva ja kestävä. Mitä kevyempi rakenne on, sitä enemmän voi kuormata mukaan hiekoitusmateriaalia, ennen kuin kuorma-auton kantavuusrajoitus tulee vastaan.

3.2 Suunnittelu

Hiekoituslavan suunnittelu tehtiin Vertex G4 -ohjelmalla. Suunnittelu aloitettiin luomalla ensin kokoonpanokuva, johon sitten luotiin uusia osakuvia.

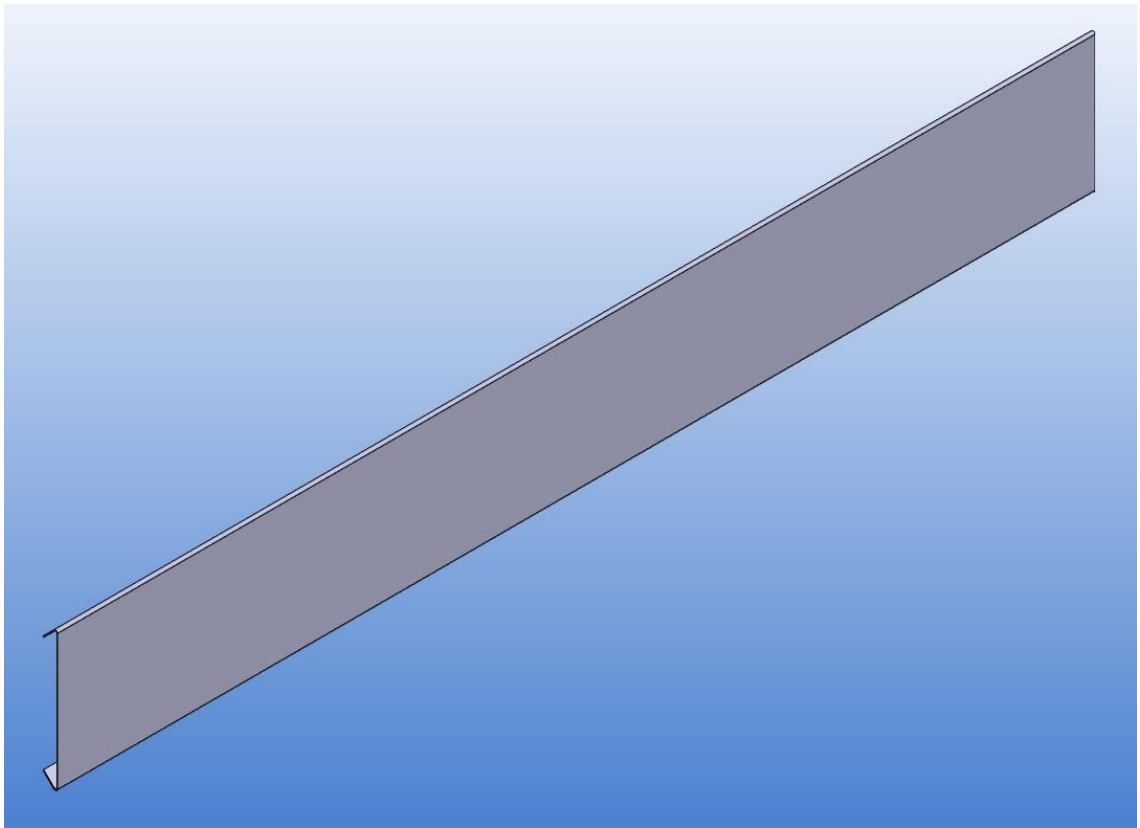
3.2.1 Lavan levyosat

Hiekoituslavan pohjan oikea laita koostuu seitsemästä 500 x 920 x 3 mm palasta, joka on laserleikattu ja särmätty kuvan 3 mukaiseen muotoon. Lavan pohjan vasen puoli on rakennettu samaan tapaan, ainoastaan sillä erolla, että pohjalevyn pituus on 920 mm:n sijaan 860 mm. Erimittaisilla pohjalevyillä saadaan sivulevyt hieman päällekkäin ja näin estettyä lumen ja veden sataminen säiliön sisään, kun puolikkaat on nostettu yläasentoonsa. Pohjalevyn leveys taivutettuna on 398 mm.



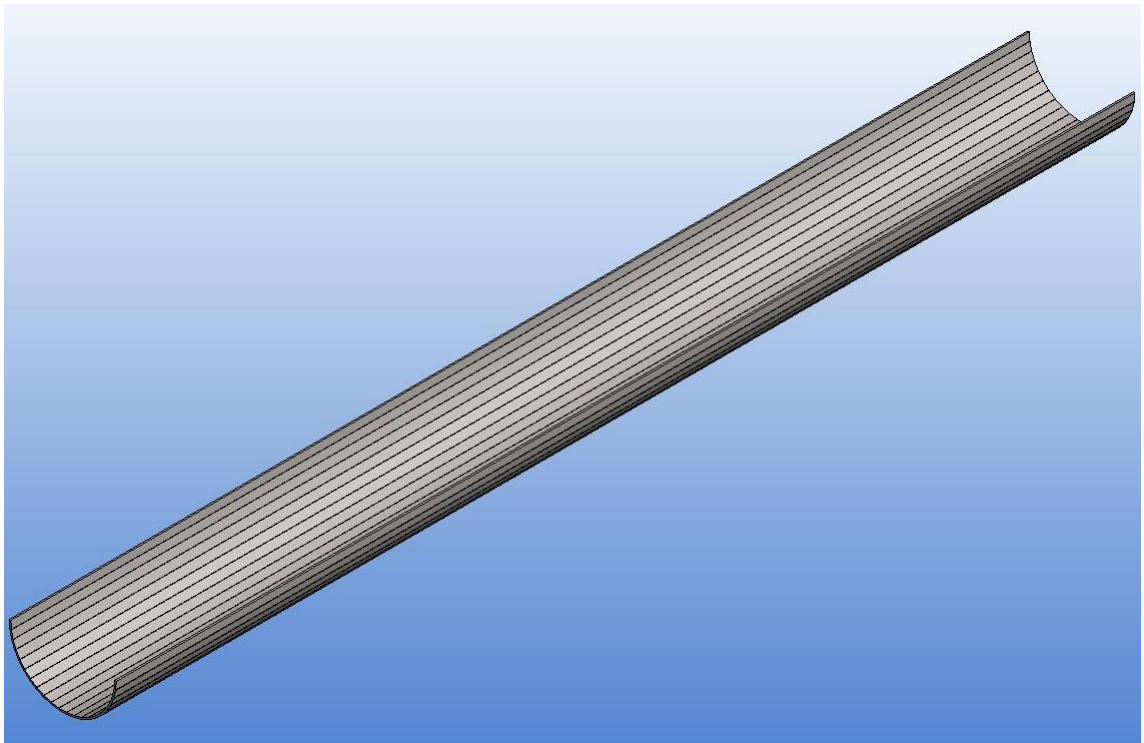
KUVA 3. Lavan pohjapelti taivutettuna.

Lavan sivut tehdään 2800 x 500 x 3 mm teräslevystä. Levy on laserleikattu ja sen jälkeen särmätty kuvan 4 mukaisesti. Reunat on särmätty 135° kulmaan, joten mikäli hiekan lastausvaiheessa osa hiekasta osuu reunalle, menee hiekka kuitenkin säiliöön sisälle, eikä jää reunalle. Alareunan särmäys vahvistaa rakennetta, koska sen pystyy hitsaamaan pohjalevyyn kiinni tukevammin, kuin alareunastaan särmäämättömän osan.



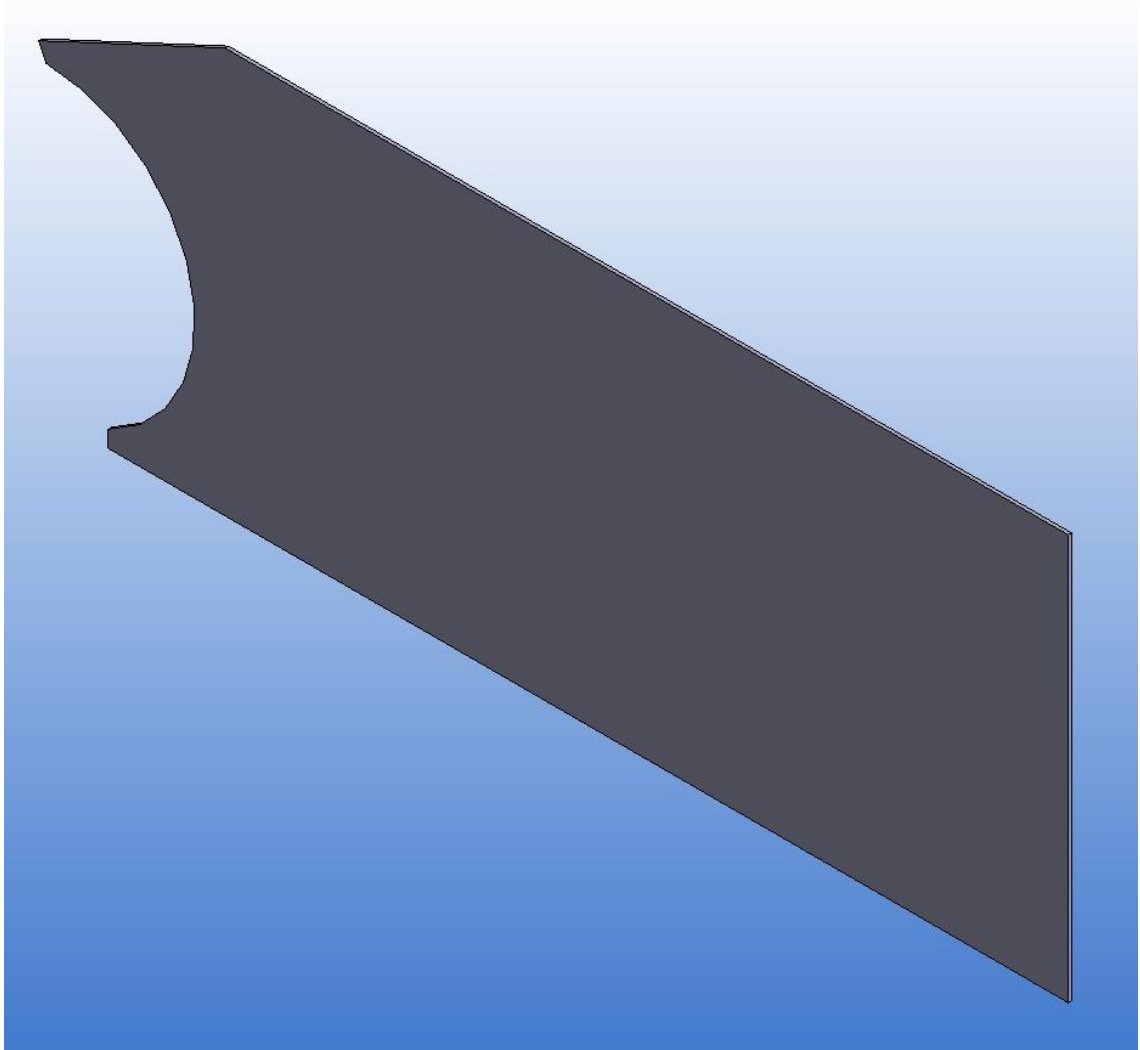
KUVA 4. Lavan sivupelti taivutettuna.

Ruuvien pohjakouru tehdään myös särmämällä 3090 x 500 x 5 mm teräslevystä. Taivutuksia levyyn tulee yhteensä 20 kappaletta ja yksi taivutus on 8,6 astetta. Taivutuksien suuren lukumäärän ansiosta saadaan kouru mukailemaan mahdollisimman hyvin ruuvia. Mitä paremmin pohjakouru mukailee ruuvia, sen paremmin hiekka siellä virtaa. Pohjakouru on esitetty kuvassa 5.



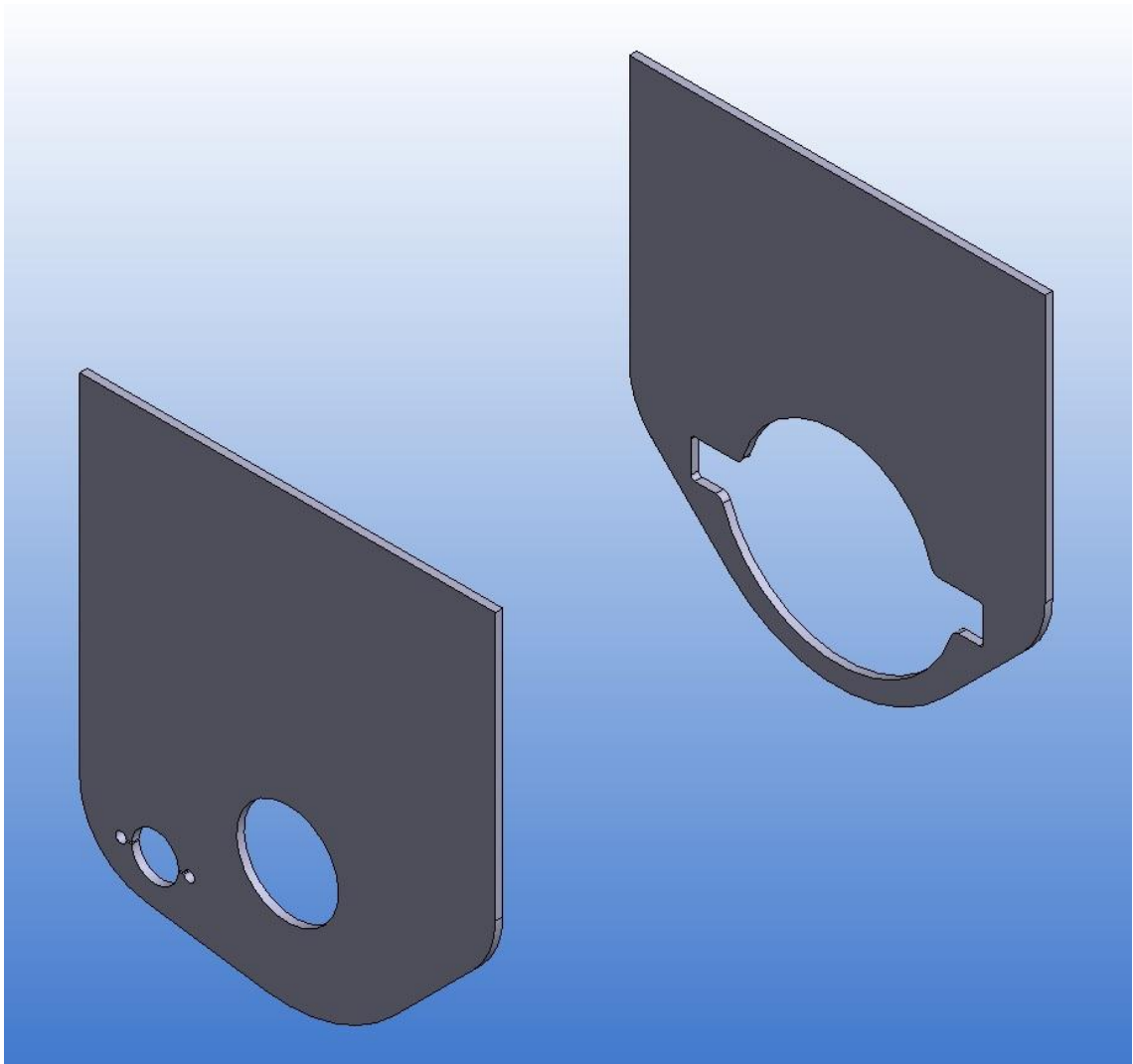
KUVA 5. Pohjakouru taivutettuna.

Säiliön päätylevyt tehdään 987 x 325 x 3 teräslevystä, joka leikataan laserilla muotoonsa. Päätylevyjä valmistetaan yhteensä neljä kappaletta, joista puolet tehdään 60 mm lyhempinä, jolloin saadaan lavan puolikkaat menemään hieman limittäin kun ne nostetaan täysin yläasentoonsa. Päätylevyt leikataan muotoonsa kuvan 6 mukaisesti.



KUVA 6. Säiliön päätylevy leikattuna.

Rungon päätylevyt polttoleikataan muotoonsa 590 x 550 x 10 teräslevystä. Rungon päätylevyjen pitää olla hieman vahvempaa materiaalia kuin muiden levyjen, koska säiliössä oleva hiekka aiheuttaa säiliön päätylevyihin painetta, jotka taas tukeutuvat rungon päätylevyihin. Rungon etupään levyyn polttoleikataan Ø136 mm reikä, johon ruuvin etupään laakeri hitsataan kiinni. Levyyn polttoleikataan myös kiinnitysreiät hydraulimootorille. Rungon takapään päätylevyyn polttoleikataan aukko ruuville ja kourua tukeville RHS-putkipalkeille. Päätylevyt on esitetty kuvassa 7.

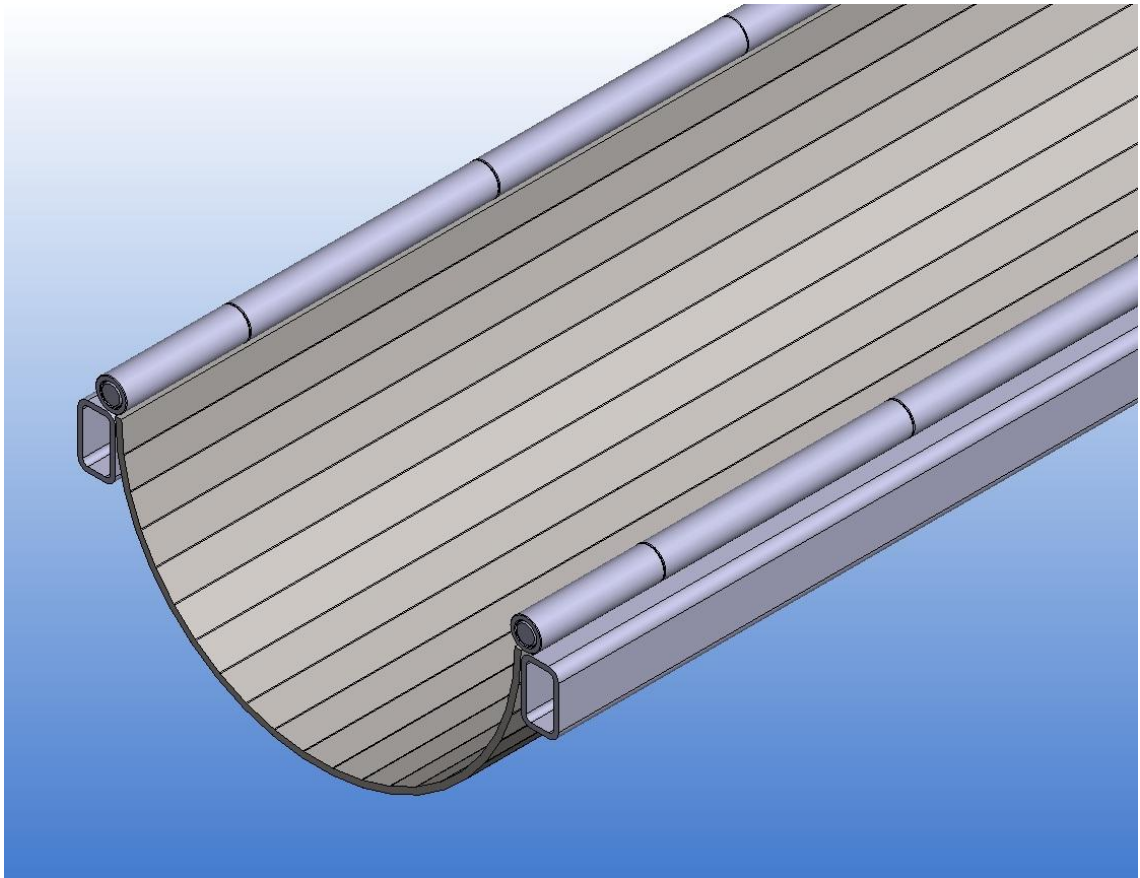


KUVA 7. Rungon päätylevyt. Etupään päätylevy vasemmalla, takapään oikealla.

3.2.2 Sarana

Hiekoituslavan reunojen saranointi on toteutettu $\text{Ø}25 \times 4$ hydraulijohdinputkilla. Saranaputkien pituus on 199 mm. Saranan päätyputket ovat lyhyempiä 99 mm:n putkia. Putkien väliin jätetään yhden millimetrin rako. Sarantappina käytetään yhtämittaista $\text{Ø}16$ mm kirkasta pyöröterästä. Saranaputkien sisäreiän ollessa $\text{Ø}17$ mm, jää putken ja saranatapin väliin myös millimetrin rako. Tämän on tarkoitus helpottaa saranatapin asennusta. Saranaputkien hitsaaminen täysin samankeskeisesti on lämpölaajenemisen ja putken vääntelyiden takia hyvin haastavaa, eikä tässä tapauksessa saranan tarvitse olla täysin tiukka. Sarana hitsataan pohjakourun sivussa olevan $50 \times 30 \times 4$ mm RHS-putkipalkin ja pohjakourun railon kohdalle kuvan 8 mukaisesti. Jotta sarana saadaan kunnolla hitsattua kiinni, jätetään yhden millimetrin ilmarako RHS-putkipalkin ja saranaputkien väliin. Joka toinen saranaputki hitsataan kiinni RHS-putkipalkkiin ja pohja-

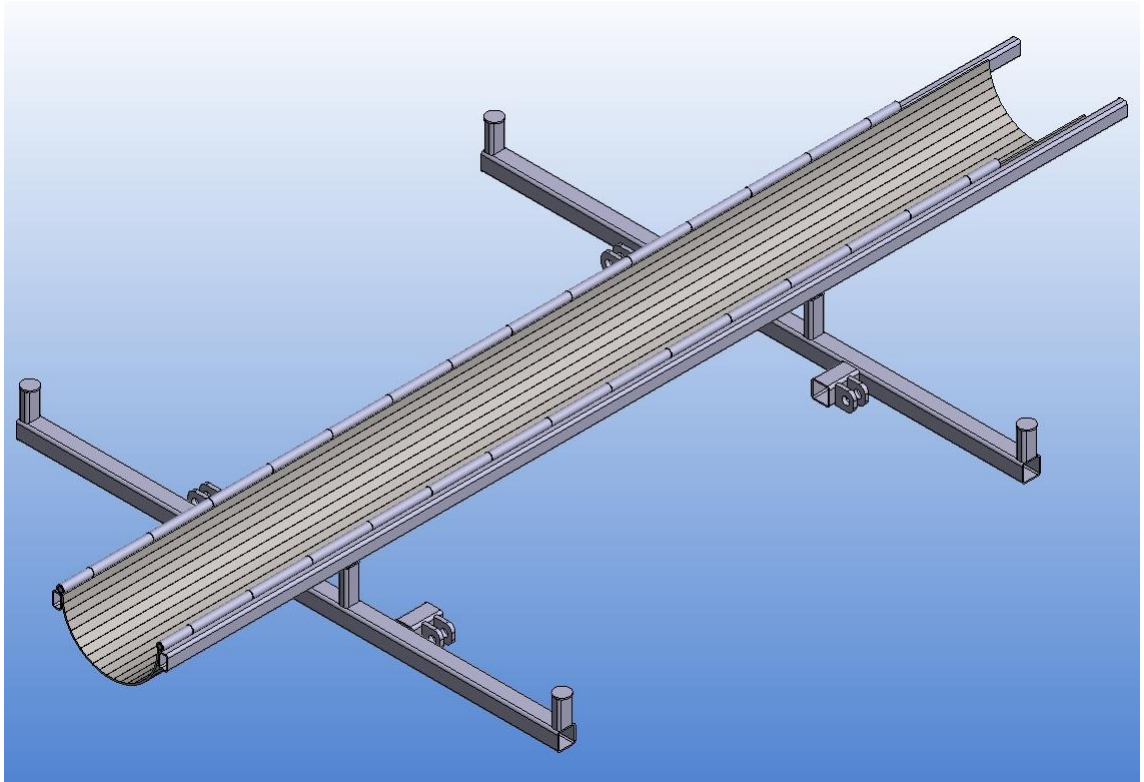
kouruun ja joka toinen lavan pohjapeltiin. Reunimmaisiet saranaputket hitsataan kiinni lavan pohjapeltiin.



KUVA 8. Saranan rakenne.

3.2.3 Lavan rungon osat

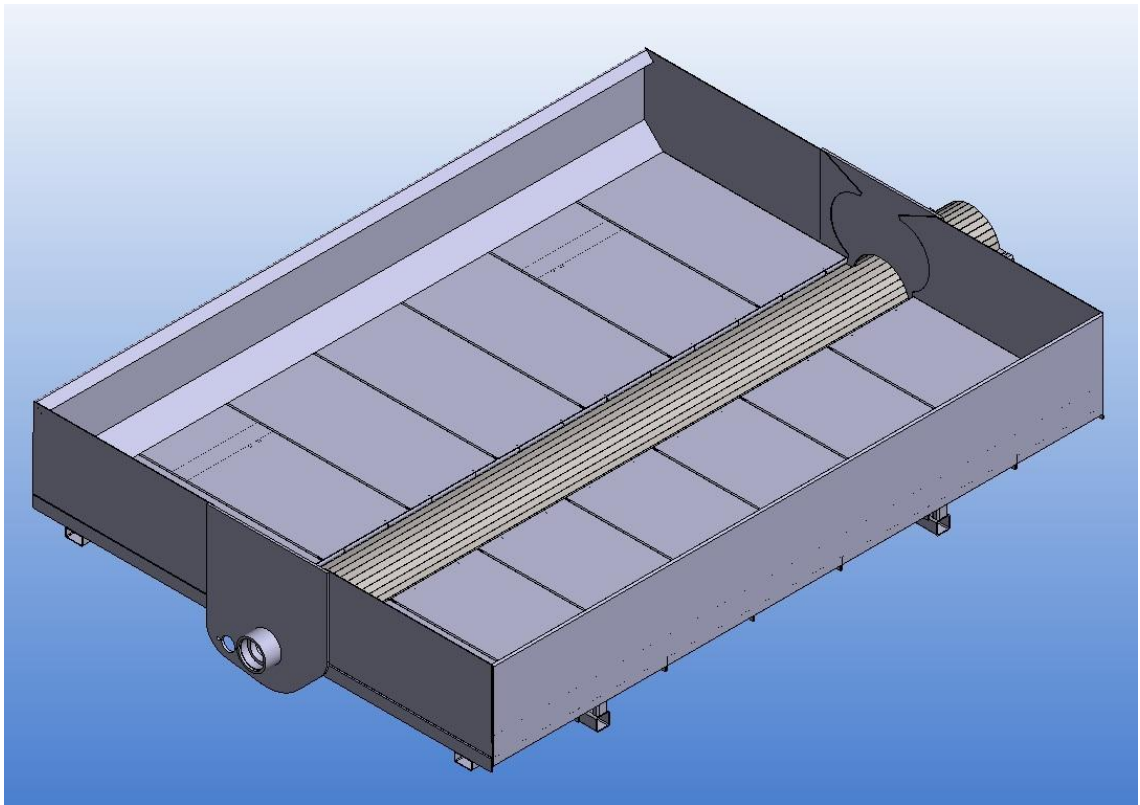
Hiekoituslavan runko koostuu suurilta osin RHS-putkipalkeista. Rungon tarkoituksena on antaa riittävä tuki kourulle ja lavan puolikkaille. Sylinterien alapäiden kiinnikkeet hitsataan suoraan runkopalkkien sivuihin. Lavan runko on esitetty kuvassa 9.



KUVA 9. Lavan rungon osat.

3.2.4 Levyosien kokoonpano

Kun levyosat on asetettu paikalleen, alkaa hiekoituslavan lopullinen rakenne jo näkyä (kuva 10). Kuormatilan leveys on 2085 mm, joten kokonaisleveys kolmen millimetrin sivulevyillä jää alle 210 cm. Kuormatilan korkeus on 360 mm ja pituus 2780 mm. Näillä tiedoilla voidaan laskea hiekoituslavan tilavuus, josta saadaan tulokseksi noin 2,1 m³. Hiekoitushiekan tilavuuspaino on 1,45 t/m³ (koneyrittajat.fi), joten hiekkakuorman kokonaispainoksi tulee noin 3000 kg.



KUVA 10. Hiekoituslavan levyosat kokoonpanon jälkeen.

3.3 Sylinterien paikan määrittäminen

Lavan nosto suunniteltiin käytettäväksi kahta sylinteriä. Sylinterien mitoituksen kannalta kriittisin vaihe on silloin, kun lava on täynnä hiekkaa ja lavan puolikkaat halutaan molemmat nostaa ylös. Tällainen tilanne on kuitenkin harvinainen, koska usein hiekoituslavalla aluksi hiekka kuluu ruuvien kohdalta lavan keskeltä. Kun keskeltä alkaa hiekka loppua, kallistetaan sitten vasta puolikkaita ja näin lisää hiekkaa pääsee valumaan ruuville. Sylinterit kuitenkin mitoitetaan niin, että lavan puolikkaan päällä on täysi kuorma hiekkaa, eikä sitä ole päässyt valumaan pois yhtään. Tällöin sylinterit ovat varmasti riittävän isot ja laskelmiin saadaan riittävä varmuuskerroin.

3.3.1 Lavan taipuman minimointi

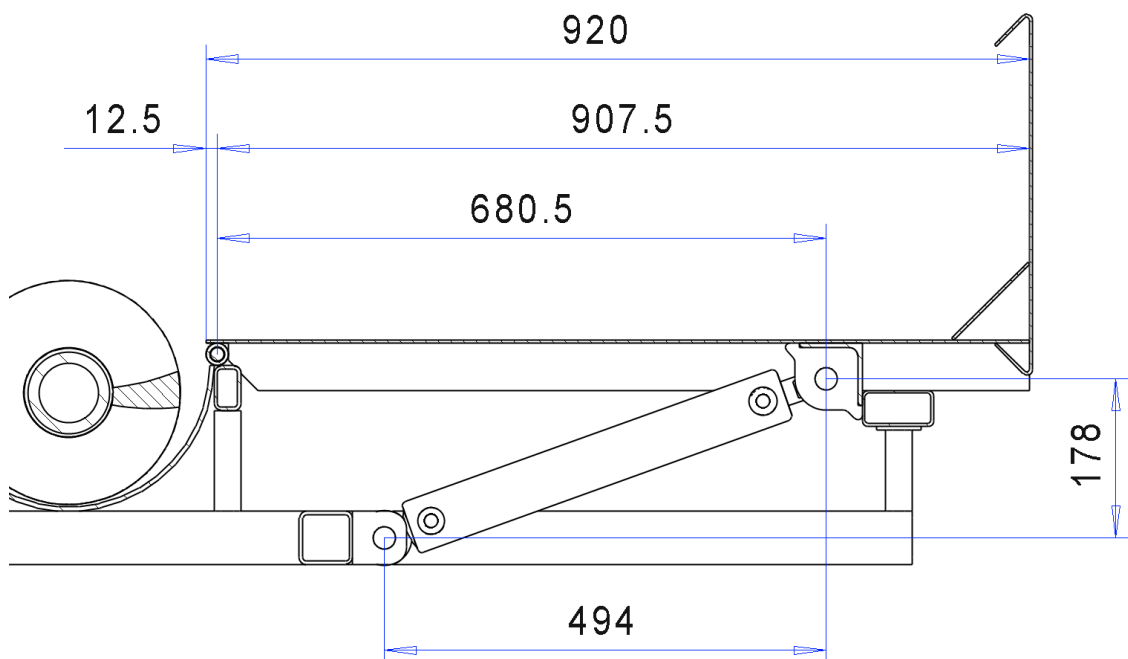
Lavan taipumaa pyritään minimoimaan sijoittamalla lavan puolikkaan molemmat sylinterit niin, että sylinterin kiinnityspisteet tulevat neljänneksen mitan päähän lavan kuorimatilan kokonaispituusmitasta. Lavan taipumaa pyritään myös minimoimaan sivupellin alareunan taivutuksella ja hitsaamalla 80x40x3 RHS-putkipalkki vahvistamaan rakennetta. Sylinterin korvakkeet hitsataan 70x70x5 kulmateräkseen, joka myös vahvistaa

osaltaan rakennetta ja estää korvakkeiden painumisen lavan pohjan läpi, mikäli lavan puolikkaita yritetään nostaa ylös täydellä hiekkakuormalla.

3.3.2 Sylinterien valinta

Sylinterien valinta aloitettiin tekemällä alkuarvaus, jonka perusteella pyritään löytämään oikean kokoinen sylinteri. Alkuarvaukseksi valittiin sylinteri, jonka männän halkaisijan oletettiin olevan sopiva tähän tarkoitukseen. Lisäksi pyrittiin käyttämään mahdollisimman pitkällä iskun pituudella olevaa sylinteriä, jotta saataisiin sylinterin yläpään kiinnike mahdollisimman kauas lavan nivelpisteestä ja tällä tapaa enemmän vipuvartta puolikkaan nostamiseen.

Sylinteriksi valittiin 50/28-sylinteri, jonka iskun pituus on 300 mm. Tälle sylinterille haettiin suunnitteluohjelmalla oikeat kiinnityspisteet niin, että lavan puolikas pystytään nostamaan 65° kulmaan. Kun lavan puolikkaat on nostettu 65° kulmaan, menevät tällöin sivulaidat toistensa päälle niin, että lavan sisään ei pääse satamaan esimerkiksi lunta tai vettä. Sylinterin paikka selviää kuvasta 11.



KUVA 11. Poikkileikkaus hiekoituslavan oikean puolisesta puolikkaasta.

Kuvan 11 mukaisesti voitiin piirtää vapaakappalekuva ja tehdä laskelmat sylinterin männän halkaisijasta. Laskemat on esitetty liitteessä 1. Laskelmien perusteella voidaan todeta, että yhden puolikkaan nostamiseen riittäisi 150 barin käyttöpaineella kaksi 40/20-sylinteriä. Tästä huolimatta päätettiin käyttää suurempia 50/28-sylintereitä, koska

hinnassa ei ollut kuin muutaman euron ero. Suuremmalla sylinterillä järjestelmää voidaan käyttää pienemmälläkin paineella.

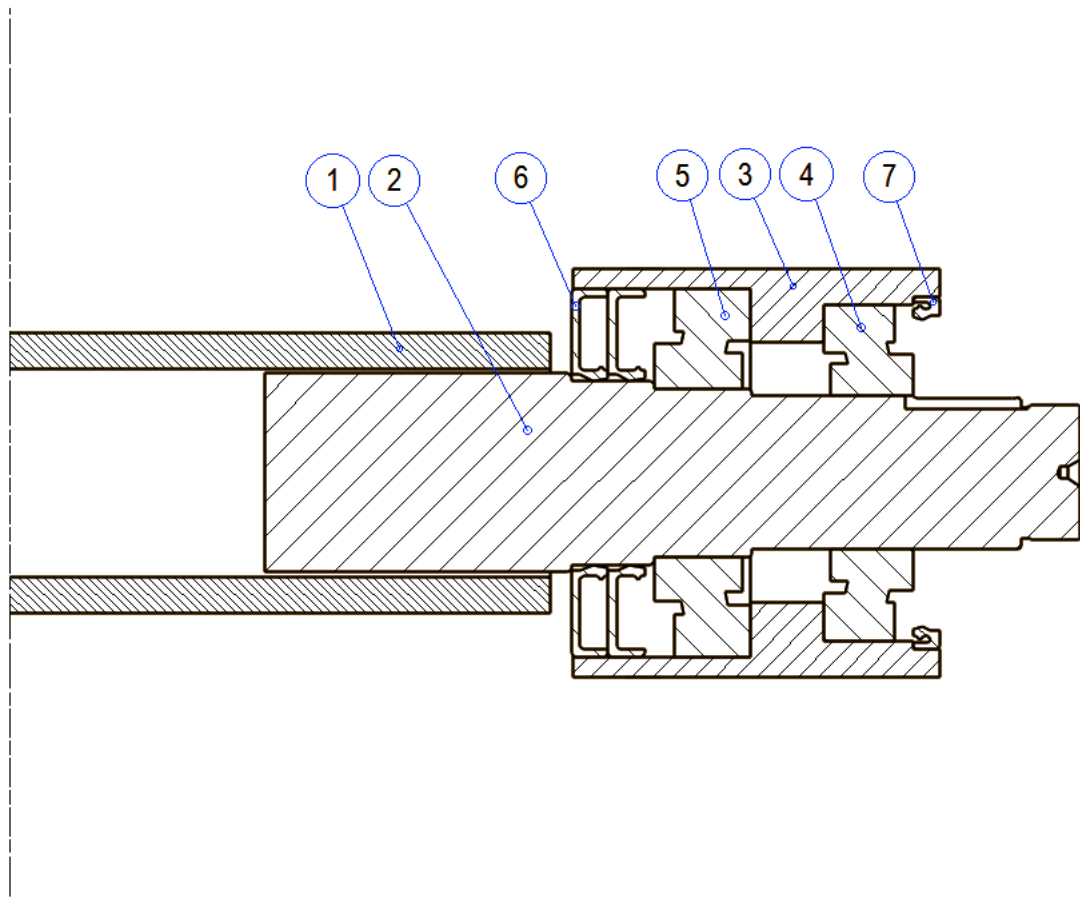
Sylinterien nurjahdustarkastelu on myös esitetty liitteessä 1. Laskelmien mukaan voidaan todeta, että valittu sylinteri ei nurjahda tässä tilanteessa. Nurjahdus on laskettu tilanteessa, jossa sylinterin varsi on täysin ulkona ja sylinteriltä vaadittaisiin sama voima, mikä vaaditaan lavan nostamiseen sen ollessa vaakasuorassa. Todellisuudessa tällaista tilannetta ei pääse koskaan syntymään.

3.4 Laakeroinnit

Ruuvien aiheuttamia voimia on vaikea arvioida, koska hiekka pääsee lavan toisesta päästä virtaamaan esteettä ulos lavalta ruuvien pyöriessä. Varmasti voidaan kuitenkin sanoa, että suurimmat voimat ovat aksiaalissuuntaisia. Ainoat radiaaliset voimat aiheuttaa ruuvia pyörittävä hammaspyörä ja itse ruuvien paino.

3.4.1 Laakerointi moottorin päädyssä

Moottorin päädyn laakereina päätettiin käyttää kahta yksirivistä kartiorullalaakeraa. Kartiorullalaakeri valittiin siksi, että akselilla on radiaalivoiman lisäksi reilusti aksiaalista voimaa, jolloin normaali kuulalaakeri ei tule kysymykseen. Laakerit asennetaan vastakkain, jolloin saadaan rakenne kestäväksi aksiaalivoimia molempiin suuntiin. Laakereina käytetään Nachi-Fujikoshi Corp:n valmistamia laakereita. Laakereita tarvitaan kaksi kappaletta ja asennuksen helpottamiseksi toinen on sisäreiältään 5 mm ja ulkohalkaisijaltaan 10 mm toista suurempi. Laakeroinnin poikkileikkaus on esitetty kuvassa 12. Kuvassa ykkösellä numeroitu osa on ruuvien keskiputki, joka on hitsattu kiinni osaan kaksi, joka on laakeroinnin keskiakseli. Osa numero kolme on laakerin ulkoholkki, joka hitsataan kiinni hiekoituslavan runkoon. Osat neljä ja viisi ovat laakereita ja osat kuusi ja seitsemän kumitiivisteitä. Akselin päähän, osan seitsemän sisään, tulee ketjupyörä joka ei näy kuvassa.



KUVA 12. Moottorin päädyn laakeroinnin poikkileikkaus.

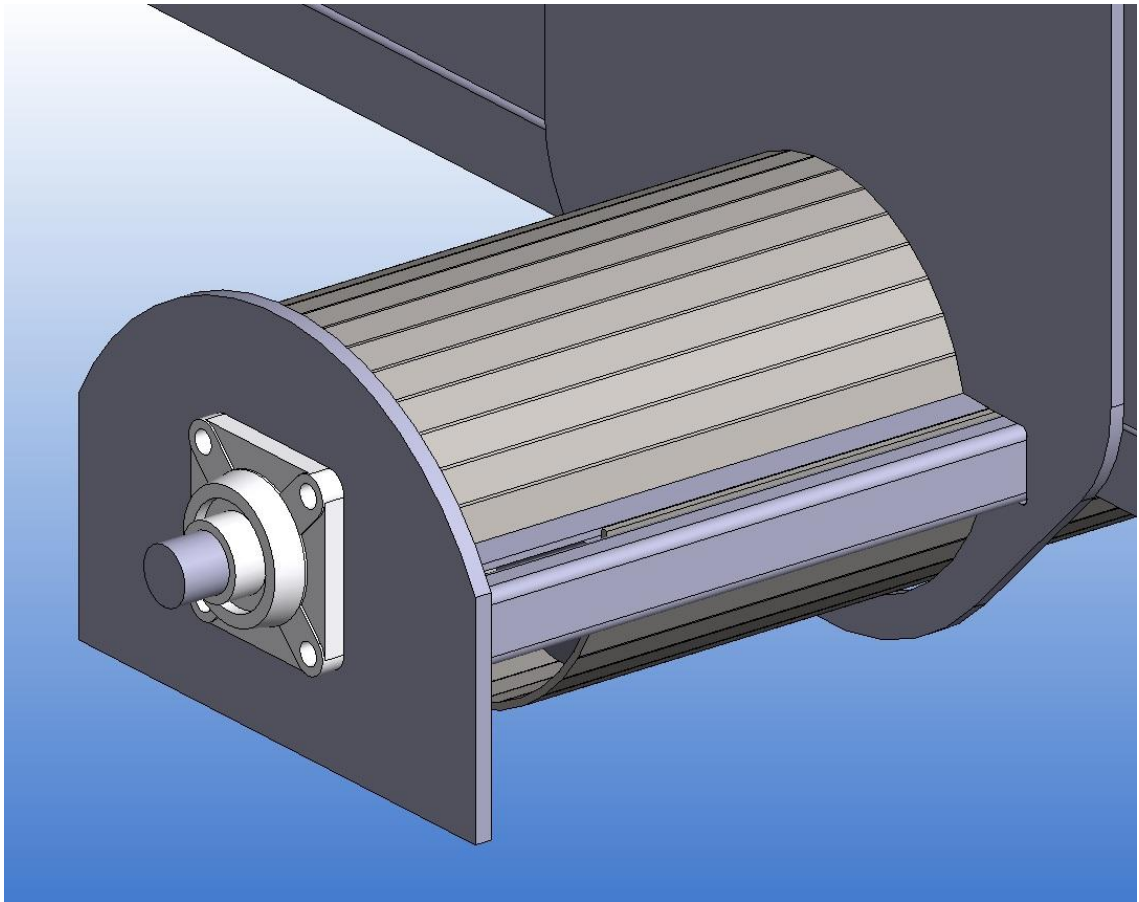
Akselin pyörimisnopeus on enimmillään 72 kierrosta minuutissa (liite 2), joten se ei tule olemaan lähelläkään valitun laakerin valmistajan ilmoittamaa maksimipyörimisnopeutta, joka on rasvavoitelulla 3700 kierrosta minuutissa (nachi-fujikoshi.co.jp). Laakerien kuormat eivät myöskään tule olemaan lähellä valmistajan maksimiarvoa, 137 kN (nachi-fujikoshi.co.jp). Laakerin kokoa ei kuitenkaan voi pienentää, koska akselin tulee pystyä välittämään riittävän suuri vääntömomentti.

Laakeroinnin tiivistys hoidetaan kolmella tiivistyskumilla. Hiekkasäiliön päässä on varmuuden vuoksi kaksi tiivistettä ja ketjupyörän päässä yksi.

3.4.2 Laakerointi hiekan poistopäädystä

Poistopäädyn laakerointi hoidetaan yrityksen valmistamissa hiekoituskauhoissa yleisesti käytössä olevalla $\text{Ø}40$ mm laippalaakerilla. Poistopäädyn laakerille ei erityisiä vaatimuksia ole. Moottorin päädyn laakerointi pitää akselin aksiaalissuunnassa paikallaan, joten poistopäädyn laakerin tehtäväksi jää vain pitää akseli paikallaan radiaalissuunnassa.

sa. Laakerin tuenta toteutetaan kuvan 13 mukaisesti tukilevyllä, joka hitsataan kiinni hiekoituslavan runkoon. Laakeri kiinnitetään tukilevyyn neljällä pultilla.



KUVA 13. Takapään laakerin tuenta.

3.5 Ruuvia pyörittävät komponentit

Hiekoituslavan pohjassa olevaa ruuvia pyöritetään hydraulimoottorin ja ketjuvälityksen avulla. Hydraulimoottorina käytetään M+S Hydraulicin valmistamaa moottoria, joka on yleisesti käytössä yrityksen muissa tuotteissa, kuten esimerkiksi hiekoituskauhoissa ja –vaunuissa. Ketjuvälityksen rattaat ja ketju on myös käytössä em. tuotteissa.

3.5.1 Hydraulimoottori

Hydraulimoottorina käytetään M+S Hydraulicin MR 250 CD/4 –moottoria. Taulukon 1 mukaan moottorin syrjäyttämä öljymäärä on 250,1 cm³ kierrosta kohti, maksiminopeus on 240 kierrosta minuutissa ja maksimivääntö 390 Nm.

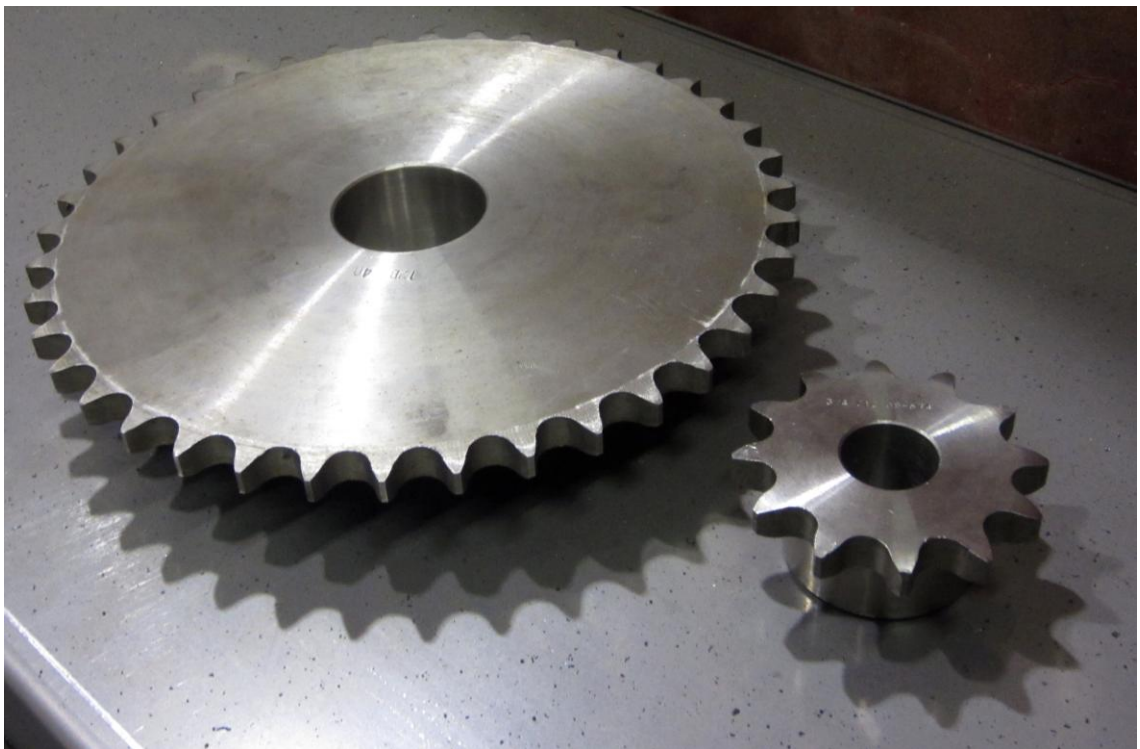
TAULUKKO 1. Moottorin tekniset tiedot (www.ms-hydraulic.com).

| Code | Displacement [cm ³ /rev] | Max. Speed [RPM] | Max. Torque [daNm] | | Max. Output [kW] | | Max. Pressure Drop [bar] | | Max. Oil Flow [lpm] |
|--------|--|---------------------|-----------------------|------|---------------------|------|-----------------------------|------|------------------------|
| | | | cont. | int* | cont. | int* | cont. | int* | |
| MR 250 | 250.1 | 240 | 39 | 58 | 6.5 | 10.5 | 110 | 175 | 60 |

Moottorin tuottama pyörimisliike otetaan ulos 25 mm pyöreästä akselistä, jossa on jyr-sitty ura A-8x7x32 SFS 2636 -kiilalle.

3.5.2 Ketjupyörät

Ketjupyörinä käytetään yrityksen muissakin tuotteissa käytettäviä yksirivisiä ketjupyöriä. Moottorin puoleinen ketjupyörä on 12 piikkinen Ø25 mm sisäreiällä oleva pyörä ja ruuvin päässä on 40 piikkinen Ø50 mm sisäreiällä oleva pyörä (kuva 14). Ketjupyöriin tehdään SFS 2636 mukainen kiilaura.



KUVA 14. Käytettävät ketjupyörät.

Ketjupyörien välityssuhde, toisiopyörän nopeus ja vääntömomentti on laskettu liitteessä 2.

3.5.3 Akseliliitokset

Ketjupyörät liitetään akseleihin muotosulkeisilla tasakiilaliitoksilla. Kiilaliitoksia käytämällä voidaan tarvittaessa ketjupyörät helposti irrottaa esimerkiksi vaihtoa tai huolto- töitä varten. Toinen tapa olisi liittää ketjupyörät akseleihin kutistusliitoksella, mutta tällöin liitosta ei ole niin helppo purkaa kuin kiilaliitosta.

Kiilojen mitoitus tehtiin SFS 2636 mitoituksen mukaan. Liitteessä 3 on esitetty laskel- mat kiilaliitoksista. Laskelmien lähtötiedot saatiin taulukoista 2 ja 3.

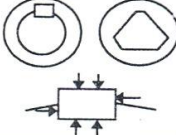

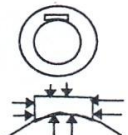
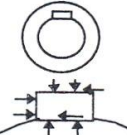
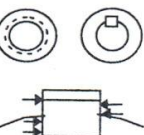
TAULUKKO 2. Sallitut pintapaineet (Blom, Lahtinen, Nuutio, Pekkola, Pyy, Rautiai- nen, Sampo, Seppänen, Suosara. 2001.)

Taulukko 4.3-6. Sallitut pintapaineet p_{sall} muoto- ja kitkasulkeisille akselin ja navan välisille kiila- ja profiiliakseliliitoksille. Kiilan aine on teräs Ck45 eli runsashiilinen teräs (3 , taulukko A12.1), a) navan peruspaine ja b) sallitut paineet.

| a) Navan peruspaine p_0 (MPa) ja navan aine | | | | | | |
|---|---------------------|-------------------------------|---------------------|-----------------------|----------------------------|--------------------|
| teräs valuteräs | harmaa valurauta | pallografiit- ti valurauta | pronssi messinki | AlCuMg, erkautettu | AlMg, AlMn AlMnSi, erk. | G-AlSi G-AlSiMg |
| 150 | 90 | 110 | 50 | 100 | 90 | 70 |
| 200, karkaistut pinnat | | | | | | |

Laskelmissa käytettiin navan peruspaineena arvoa 200 MPa. Materiaalina on karkaistu teräs.

TAULUKKO 3. Kuormituskertoimet (Blom ym. 2001)

| b) Sallitut pintapaineet $p_{sall} = C p_0$ | | | | | |
|--|---|---|--|---|---|
| Kuormitus | Aksiaalisuunnassa kitka- ja kehä- suunnassa muoto- sulkeisetkiilat, profiiliakselit | Tangentti- kiilat | Kitkasulkeiset kiilat (kiila na- van urassa sile- ää akselia vas- ten) | Kitksulkeiset kiilat (kiila na- van urassa ta- sattua akselia vasten) | Tasakiilat,aksi- aalisuunnassa urititet tai hammastetut profiiliakselit |
| Yksisuuntainen kuormitus, lepo- kuormitus | $1,1 p_0$ | - | $0,15 p_0$ | $0,17 p_0$ | $0,8 p_0$ |
| Yksisuuntainen kuormitus, kevyi- tä iskuja | $1,0 p_0$ | - | $0,15 p_0$ | $0,17 p_0$ | $0,7 p_0$ |
| Yksisuuntainen kuormitus, kovia iskuja | $0,75 p_0$ | - | $0,1 p_0$ | $0,11 p_0$ | $0,6 p_0$ |
| Vaihtosuuntainen kuormitus, kevyitä iskuja | $0,6 p_0$ | $1,0 p_0$ | - | - | $0,45 p_0$ |
| Vaihtosuuntainen kuormitus, kovia iskuja | $0,45 p_0$ | $0,7 p_0$ | - | - | $0,25 p_0$ |
| Liitoksen poikki leikkaus ja kiilan vk-malli |  |  |  |  |  |

Systeemissä vaikuttaa yksisuuntainen kuormitus. Käytännössä kuormitus on hyvin tasaista, mutta jos esimerkiksi kivi kiilautuu ruuvin ja säiliön väliin, saattaa ruuvi pysähtyä, jolloin saattaa aiheutua kevyt isku. Liitoksen poikkipinta-ala on ensimmäisen sarakkeen mukainen, joten sallitun pintapaineen kertoimeksi valittiin 1,0.

Moottorin valmistaja on moottorille ilmoittanut maksimivääntömomentiksi 390 Nm (taulukko 1), ja moottorin päähän on jyristetty ura A-8x7x32 SFS 2636 -kiilalle. Laskelmien mukaan moottorin akselin kiilaliitos kestää kuitenkin vain noin 269 Nm:n vääntön. Moottorin kiilan perusteella tehtiin laskelmat myös ruuvin akselin päässä olevalle kiilauralle.

TAULUKKO 4. Tasakiilojen päämitat (Blom ym. 2001)

Taulukko 4.3-8. Tasakiilojen päämittoja standardin SFS 2636 mukaan. Kiilan pituus $l = 1,5 d$, tavallisesti $0,7 d < l < 2,5 d$.

| | | | | | | | |
|-------------------|-------------|-------------|---------------------|---------------------|-------------------|----------------|----------------|
| Leveys b, h9 | 2 3 4 | 5 6 8 | 10 12 14 16 18 | 20 22 25 28 32 | 36 40 45 50 | 56 63 70 | 80 90 100 |
| Korkeus h | 2 3 4 | 5 6 7 | 8 8 9 10 11 | 12 14 14 16 18 | 20 22 25 28 | 32 32 36 | 40 45 50 |
| Viiste g min | 0,16 | 0,25 | 0,40 | 0,60 | 1,00 | 1,00 | 2,50 |
| max | 0,25 | 0,40 | 0,60 | 0,80 | 1,30 | 1,30 | 3,00 |
| Akselin > | 6 8 10 | 12 17 22 | 30 38 44 50 58 | 65 75 85 95 110 | 130 150 170 200 | 230 260 290 | 330 380 440 |
| halk. d ≤ | 8 10 12 | 17 22 30 | 38 44 50 58 65 | 75 85 95 110 130 | 150 170 200 230 | 260 290 330 | 380 440 500 |
| b (nim) | 2 3 4 | 5 6 8 | 10 12 14 16 18 | 20 22 25 28 32 | 36 40 45 50 | 56 63 70 | 80 90 100 |
| Akselin ura t_1 | 1,2 1,8 2,5 | 3 3,5 4 | 5 5 5,5 6 7 | 7,5 9 9 10 11 | 12 13 15 17 | 20 20 22 | 25 28 31 |
| Navan ura t_2 | 1 1,4 1,8 | 2,3 2,8 3,3 | 3,3 3,3 3,8 4,3 4,4 | 4,9 5,4 5,4 6,4 7,4 | 8,4 9,4 10,4 11,4 | 12,4 12,4 14,4 | 15,4 17,4 19,5 |

Ruuvin akseli on halkaisijaltaan 50 millimetriä, joten käytettävän kiilan leveys on taulukon 4 mukaisesti 14 millimetriä ja korkeus 9 millimetriä. Laskelmien perusteella tulokseksi saatiin, että kiilauran tulee olla vähintään 44 millimetriä pitkä, jotta se olisi vähintään yhtä kestävä kuin moottorin akselilla oleva kiilaura. Kiilana voidaan käyttää esimerkiksi C-14x9x44 SFS 2636 –kiilaa.

3.5.4 Määränsäätöventtiili

Määränsäätöventtiilinä käytetään yrityksen muissakin laitteissa käytettävää Brand hydraulicsin valmistamaa FC51-venttiiliä (kuva 15). Määränsäätöventtiilillä säädetään hydraulimoottorille tulevaa öljymäärää ja saadaan moottorin pyörittämä ruuvi pyörimään halutulla nopeudella ja siten antamaan haluttu määrä hiekkaa ulos. Määränsäätöventtiilissä paine pysyy vakiona ja säätimen asennosta riippuen osa öljyvirrasta menee hydraulimoottorille ja loput palautuu takaisin hydraulijärjestelmään.



KUVA 15. Määränsäätöventtiili hiekoituskauhassa.

4 POHDINTA

Työn alussa määritellyt vaatimukset saatiin kaikki täytettyä. Varastossa ollut ruuvi pystyttiin käyttämään sellaisenaan ja hiekoituslava tulee mahtumaan yrityksen omistaman Volkswagen LT:n lavalle. Asetetut toiminnalliset vaatimukset toteutuivat myös. Hiekoituslavassa on kaksi puolikasta, jotka pystytään hydraulisesti nostamaan yläasentoonsa tarvittaessa.

Jälkeenpäin raporttia tehdessä tuli mieleen, että lavan puolikkaiden saranoinnin voisi toteuttaa toisella tavalla. Nykyisellä tavalla toteutettuna saattaa olla vaikea hitsata kaikkia saranaputkia samankeskisesti, koska hitsatessa lämpölaajeneminen pyrkii liikuttamaan saranaputkia ja mahdollisesti kääntämään niitä vinoon. Parempi ratkaisu tähän olisi hitsata saranaputket hiekoituslavan runkoon kiinni ja säiliön puolikkaiden pohjalevyihin polttoleikkaisi reiät, josta saranatappi kulkee läpi. Säiliön pohjalevyissä ei siis enää tarvittaisi saranaputkia.

Toinen kehityskohde liittyy kuljetinruuvien huoltoon. Hiekan kuljetinruuvi todennäköisesti kuluu käytössä ja nykyisellä tavalla toteutettuna sen vaihtaminen on vaikeaa, koska ruuvien molemmissa päissä on laakeroinnit hitsattu kiinni hiekoituslavan runkoon. Jos hiekoituslavan takapäin laakerin tukilevy olisi pulttikiinnitteisesti asennettu hiekoituslavan runkoon, voisi sen helposti vaihtaa kokonaan silloin, kun se on loppuun kulunut.

Kokonaisuutena tehty työ oli hyvin mielenkiintoinen. Alussa projekti vaikutti helpolta ja yksinkertaiselta, mutta syvemmälle yksityiskohtiin mentäessä eteen tuli jatkuvasti lisää haasteita ja ongelmia. Kaikki haasteet kuitenkin ratkesivat ennemmin tai myöhemmin ja tuntuisi että tuloksena syntyi toimiva tuote.

Tämän opinnäytetyön raportin kirjoittamisen aikana hiekoituslavasta valmistettiin prototyyppi, jota yrityksen pihassa ehdittiin jo koekäyttämään. Hiekoituslavan puolikkaat lähtevät nousemaan reilun 100 barin paineella täyden hiekkakuorman ollessa lavalla. Pohjassa oleva ruuvi työntää hiekkaa ulos mallikkaasti jatkuvana virtana. Ennen lopullisia kenttäkokeita pitää vielä rakentaa lautaslevitin, jolla hiekka saadaan levitettyä koko tien leveydelle. Lautaslevittimen on määrä valmistua vielä tämän vuoden aikana.

LÄHTEET

Asetus ajoneuvojen käytöstä tiellä 4.12.1992/1257 Luettu 11.6.2012.
<http://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/1992/19921257>

Kuutio-tonni-kuutio muunnokset Luettu 12.6.2012.
<http://www.koneyrittajat.fi/Raiku/tn-m3-tn.html>

<http://www.nachi-fujikoshi.co.jp/eng/jik/pdf/227-244.pdf> Luettu 21.6.2012

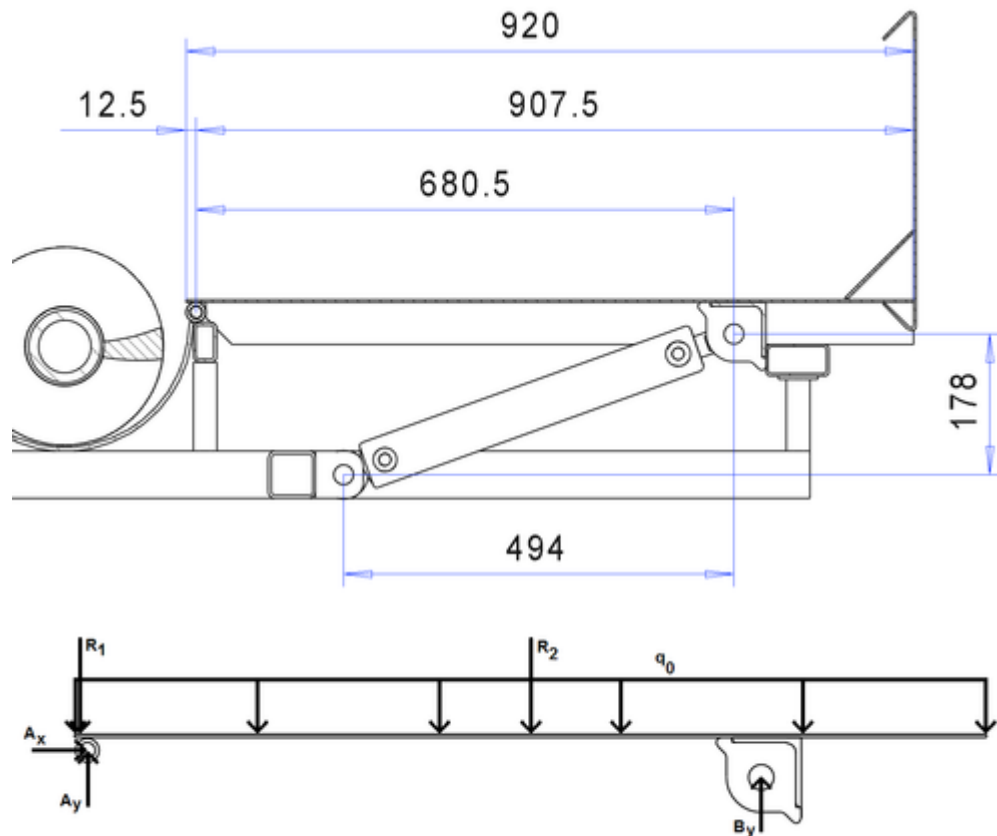
Seppo Blom, Pekka Lahtinen, Erkki Nuutio, Kari Pekkola, Seppo Pyy, Hannu Rautiainen, Arto Sampo, Pekka Seppänen, Eero Suosara. 2001. Koneenelimet ja mekanismit. 5 painos. Helsinki. Edita.

http://www.ms-hydraulic.com/prod_motors.php?id=1 Luettu 1.7.2012

Valtanen, E. 2010. Tekniikan taulukkokirja 18. painos. Mikkeli: Genesis-Kirjat Oy.

LIITTEET

Liite 1. Sylinterien määritys.



Lähtötiedot:

Sylinterien määrä: $n_{\text{syl}} := 2$

Lavan isomman puolikkaan mitat:

Pituus: $p_1 := 2790\text{mm}$

Leveys: $l_1 := 920\text{mm}$

Korkeus: $k_1 := 357\text{mm}$

Hiekan tilavuuspaino: $\rho_{\text{hiekkä}} := 1.45 \frac{\text{kg}}{\text{l}}$

Hiekoituslavan puolikkaan tilavuus:

$$V := l_1 \cdot p_1 \cdot k_1 \quad V = 0.916\text{m}^3$$

Hiekoituslavan puolikkaalla olevan hiekan massa:

$$m_{\text{hiekkä}} := \rho_{\text{hiekkä}} \cdot V \cdot g \quad m_{\text{hiekkä}} = 13.03\text{kN}$$

Tasainen kuormitus:

$$q_0 := \frac{\frac{m_{\text{hiekkä}}}{l_1}}{n_{\text{syl}}} \quad q_0 = 7.082 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Tasaisen kuormituksen resultantit:

$$R_1 := 12.5\text{mm} \cdot q_0 \quad R_1 = 0.089\text{kN}$$

$$R_2 := 907\text{mm} \cdot q_0 \quad R_2 = 6.423\text{kN}$$

Tukivoimat:

$$B_y := \frac{R_2 \cdot \frac{907\text{mm}}{2} - R_1 \cdot \frac{12.5\text{mm}}{2}}{680.5\text{mm}} \quad B_y = 4.28\text{kN}$$

$$A_y := -B_y + R_2 + R_1 \quad A_y = 2.232\text{kN}$$

Sylinteriltä tarvittava työntövoima, jotta $B_y = 4,3 \text{ kN}$:

$$\alpha := \text{atan}\left(\frac{177.6\text{mm}}{494\text{mm}}\right) \quad \alpha = 19.774\text{deg}$$

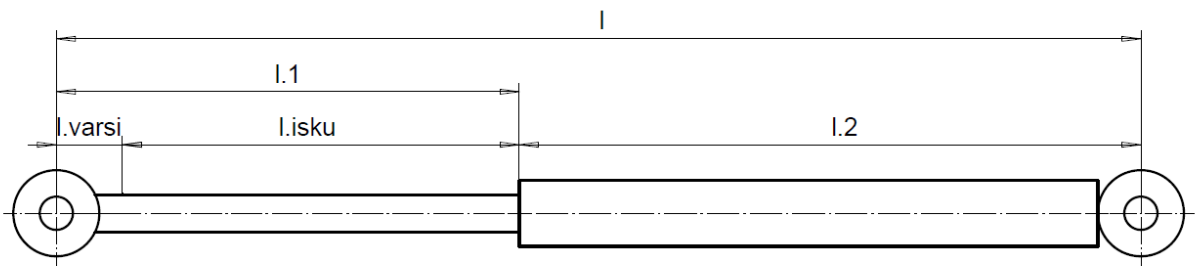
$$F := \frac{B_y}{\sin|\alpha|} \quad F = 12.65\text{kN}$$

Järjestelmän paine:

$$p := 150\text{bar}$$

Sylinterin männän minimihalkaisija:

$$D := \sqrt{\frac{4 \cdot F}{\pi \cdot p}} \quad D = 32.768\text{mm}$$



Sylinterin nurjahdus, valittu sylinteri 50/28:

$$E := 210 \cdot 10^3 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Nurjahdukseen tarvittava voima, poikkileikkaukseltaan muuttuva sauva:

$$I_1 := \frac{\pi \cdot (28\text{mm})^4}{64} = 3.017 \times 10^4 \cdot \text{mm}^4$$

$$I_2 := \frac{\pi \cdot [(60\text{mm})^4 - (50\text{mm})^4]}{64} = 3.294 \times 10^5 \cdot \text{mm}^4$$

$$m := \frac{I_2 - I_1}{I_1} = 9.917$$

$$l := 820\text{mm}$$

$$l_{\text{isku}} := 300\text{mm}$$

$$l_{\text{varsi}} := 50\text{mm}$$

$$l_2 := l - l_{\text{isku}} - l_{\text{varsi}} = 470\text{mm}$$

$$n := 1.5$$

$$F_n := \frac{m \cdot E \cdot I_2}{n \cdot l^2} = 680.078 \cdot \text{kN}$$

Liite 2. Ketjupyörien nopeudet ja vääntömomentit.

Ensiöpyörän koko: $Z_m := 12$ (Moottori)

Toisiöpyörän koko: $Z_r := 40$ (Ruuvi)

Välitysuhde: $i := \frac{Z_r}{Z_m}$ $i = 3.333$

Ensiöpyörän nopeus: $n_m := 240 \cdot \frac{1}{\text{min}}$

Ensiöpyörän vääntö: $T_m := 390 \text{ N}\cdot\text{m}$

Nopeus ja vääntö toisiöpyörällä:

Toisiöpyörän nopeus: $n_r := \frac{n_m}{i}$ $n_r = 72 \frac{1}{\text{min}}$

Toisiöpyörän vääntö: $T_r := T_m \cdot i$ $T_r = 1.3 \text{ kN}\cdot\text{m}$

Liite 3. Akseliliitosten laskelmat.

$$p_0 := 200 \text{ MPa}$$

$$p_{sall} := 1.0 \cdot p_0 = 200 \text{ MPa}$$

$$p_a := p_{sall}$$

$$p_n := p_{sall}$$

Moottoriakseli:

$$l := 32 \text{ mm} \quad \text{Kiilan pituus}$$

$$d_m := 25 \text{ mm} \quad \text{Akselin halkaisija}$$

Vääntömomentin siirtokyky, moottoriakseli-kiila:

$$t_{m1} := 4 \text{ mm}$$

$$T_{ma} := \frac{p_a \cdot l \cdot t_{m1} \cdot (d_m - t_{m1})}{2} = 268.8 \text{ N} \cdot \text{m}$$

Vääntömomentin siirtokyky, kiila-pienempi ketjupyörä:

$$t_{m2} := 3.3 \text{ mm}$$

$$T_{mn} := \frac{p_n \cdot l \cdot t_{m2} \cdot (d_m + t_{m2})}{2} = 298.848 \text{ N} \cdot \text{m}$$

Kiilan leikkautuminen:

$$b_m := 7 \text{ mm}$$

$$R_m := 600 \text{ MPa} \quad \text{SFS 2636 mukaan}$$

$$\tau_b := 0.58 \cdot R_m = 348 \text{ MPa}$$

$$n := 1.5 \quad \text{Varmuusluku}$$

$$\tau_{sall} := \frac{\tau_b}{n} = 232 \text{ MPa}$$

$$T_{mk} := \frac{\tau_{sall} \cdot b_m \cdot l \cdot d_m}{2} = 649.6 \text{ N} \cdot \text{m}$$

Vääntömomentti redusoituna toisioketjupyörälle:

$$T_{\check{w}} := \min(T_{ma}, T_{mn}, T_{mk}) = 268.8 \text{ N} \cdot \text{m}$$

$$i := \frac{40}{12} = 3.333 \quad \text{(Liite 2)}$$

$$T_{red} := T \cdot i = 896 \text{ N} \cdot \text{m}$$

Ruuviaakseli:

$$d_a := 50 \text{ mm} \quad \text{Akselin halkaisija}$$

Ruuvipuoleisen ketjupyörän kiilauran pituus:

$$T_n := T_{red}$$

$$t_2 := 3.8 \text{ mm}$$

$$l_n := \frac{2 \cdot T_n}{p_n \cdot t_2 \cdot (d_a + t_2)} = 43.827 \cdot \text{mm}$$

Ruuvien puoleisen akselin kiilauran pituus:

$$T_a := T_{\text{red}}$$

$$t_1 := 5.5 \text{ mm}$$

$$l_a := \frac{2 \cdot T_a}{p_n \cdot t_1 \cdot (d_a - t_1)} = 36.609 \cdot \text{mm}$$

Kiilan leikkautuminen:

$$b_a := 14 \cdot \text{mm}$$

$$l_k := \frac{2 \cdot T_{\text{red}}}{\tau_{\text{sall}} \cdot d_a \cdot b_a} = 11.034 \cdot \text{mm}$$

Kiilan minimipituus:

$$\max(l_n, l_a, l_k) = 43.827 \cdot \text{mm}$$