



Satakunnan ammattikorkeakoulu
Satakunta University of Applied Sciences

HENRIK WIIK

Roskatyöntimen laitesuunnittelu

KONETEKNIIKAN KOULUTUSOHJELMA
2020

Tekijä Wiik, Henrik	Julkaisun laji Opinnäytetyö, AMK	Päivämäärä Joulukuu 2020
	Sivumäärä 53	Julkaisun kieli Suomi
Julkaisun nimi Roskatyöntimen laitesuunnittelu		
Tutkinto-ohjelma Insinööri (AMK), konetekniikka		
<p>Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli suorittaa roskatyöntimen laitesuunnittelu Nordautomation Oy:lle. Tukkienlajittelulaitoksissa ongelmana on ollut puuroskan kertyminen roskaraapan alueelle. Roska-aluetta ei aina ehditä tyhjentämään ennen alueen ylitäyttymistä, mikä usein aiheuttaa ongelmia lajitteluprosessissa. Toimeksiantaja haluaa parantaa alueen toimivuutta roskatyöntimen avulla.</p> <p>Tämän opinnäytetyön edistyminen perustuu projektityöskentelyn vaiheittain etenevään malliin. Työn alussa on esitetty lähtökohdat ja teoria, mihin suunnittelu-prosessissa hyödynnetyt menetelmät perustuvat. Esisuunnitteluvaiheessa tutkittiin laitteen toimintaympäristöä ja havainnollistettiin suunnitteluun vaikuttavia tekijöitä. Roskatyöntimestä ideoitii erilaisia malleja, joiden ominaisuuksia arvioitiin ja perusteltiin tutkimustulosten avulla. Vaihtoehtoista valittiin soveltuvain painopistearvioinnin avulla. Suunnitteluvaiheessa koneen rakennetta analysoitiin hyödyntäen FEM-laskentaa ja lujuusoppiin perustuvaa tietoutta.</p> <p>Laitteesta luotiin 3D-mallinnus, työkuvat, osaluettelot ja turvallisuusselvitys. 3D-mallia voidaan hyödyntää tukkienlajittelulaitoksen lay-out kuvassa. Työkuvia käytetään koneen valmistuksessa konepajalla ja osaluetteloista saadaan selville koneessa käytetyt osat, sekä niiden tarkat tiedot. Laitteesta laadittiin turvallisuusselvitys, jonka avulla pystytään kartoittamaan työturvallisuusriskit alueella.</p> <p>Roskatyönnin on täysin uusi keksintö sahateollisuuden alalla, eikä sellaista ole käytetty aiemmin missään tukkienlajittelulaitoksessa. Suunnitteluvaiheessa on mahdotonta täydellisesti hahmottaa, kuinka laite toimii käytännössä. Siksi on melko todennäköistä, että laite vaatii hienosäätöä ja parannuksia käyttökoke-muksen karttuessa.</p>		
Roskatyönnin, Sahalaitokset, 3D-mallinnus		

Author Wiik, Henrik	Type of Publication Bachelor's thesis	Date December 2020
	Number of pages 53	Language of publication: Finnish
Title of publication Design of waste pusher		
Degree program Mechanical engineering		
<p>The purpose of this thesis was to perform an engineering of waste pusher for Nordautomation Oy. At the log sorting line, accumulation of wood waste has been a problem in the waste area of the cleaning conveyors. There is not always time to empty the waste area before overfilling and this is often causing problems in the sorting process. The principal of this thesis wants to improve functionality of the waste area by using a waste pusher.</p> <p>Proceeding of this thesis is based on project work model advancing in stages. In the beginning of the work, starting points and theory has been presented, where the utilized methods are based in the design process. At the preliminary planning stage, the operational environment of the device was evaluated and the factors affecting to design were illustrated. Different models of waste pusher were innovated. The characteristics of these models were examined and justified by research data. The most suitable alternative was chosen by using point evaluation. At the design phase the machine structure was analyzed by utilizing FEM-calculation and knowledge based on study of strength of materials.</p> <p>3D-model, drawings, bill of materials and safety statement were created. The 3D-model can be used in the layout drawing of the log sorting line. Drawings are used in the production of the machine and the bill of materials tells the information of the parts used in the device. Safety statement of the machine were written. It is used to survey safety risks at the area.</p> <p>Waste pusher is a brand-new innovation in the sawmill industry and there has never been similar system in any log sorting line. In the designing phase it is impossible to completely perceive, how this device will work in practise. Therefore it is quite likely that the machine will need fine-tuning and improvements after user experience data has been gathered.</p>		
Waste pusher, Sawmills, 3D-modelling		

SISÄLLYS

1 OPINNÄYTETYÖN LÄHTÖKOHDAT	7
1.1 Opinnäytetyön toimeksianto	7
1.2 Nordautomation Oy	7
1.3 Tukkienlajittelulaitos	8
1.4 Raappakuljetin.....	9
1.5 Ongelmakohdat ja opinnäytetyön tarkoitus.....	10
2 TEORIA	11
2.1 Projektityön vaiheet	11
2.2 Koneturvallisuus standardit	12
2.3 Materiaalien rasiustyytit	13
2.4 Lujuusoppi	15
2.5 Lujuusopilliset pääkuormituslajit	15
2.6 Elementtimenetelmä.....	17
3 PROJEKTIN SUUNNITTELU	19
3.1 Laitteen vaatimukset	19
3.2 Projektin ja laitteen tavoitteet.....	19
3.3 Projektin rajaus.....	19
3.4 Projektin riskianalyysi	20
3.5 Projektin eteneminen.....	21
4 ESISUUNNITTELU JA IDEOINTI	22
4.1 Materiaalien aiheuttamat kuormitukset.....	22
4.2 Työntövoiman laskeminen.....	25
4.3 Laitteen toiminnan hahmottaminen	26
4.4 Painopistearviointi	30
5 SUUNNITTELU	31
5.1 Perustus	31
5.2 Rungon suunnittelu	31
5.3 Työntölevyn suunnittelu.....	37
5.4 Kulurullaston suunnittelu.....	41
5.5 Hydraulikka.....	48
5.6 Automaatio	48
6 YHTEENVETO.....	50
6.1 Lopputulos.....	50
6.2 Pohdinta	52
LÄHTEET	

LIITTEET

OPINNÄYTETYÖSSÄ KÄYTETYT MERKINNÄT

F	=	Voima
A	=	Pinta-ala
M	=	Taivutusmomentti
M_t	=	Vääntömomentti
M_a/M_b	=	Sivutukirullien välille kohdistuva vääntömomentti
σ	=	Vetojännitys
l	=	Etäisyys
W	=	Taivutusvastus
τ	=	Leikkausjännitys
τ_v	=	Vääntöjännitys
W_v	=	Poikkipinnan vääntövastus
\bar{x}	=	Keskiarvo
x_i	=	Tutkittavan aineiston muodostavat luvut
$\sum_{i=1}^n a_i$	=	Summa ($a_1+a_2+a_3$)
n	=	Kertoma
V	=	Tilavuus (Kaavassa: a =leveys, b =korkeus, c =syvyys)
ρ	=	Tiheys
m	=	Massa
g	=	Putoamiskiihtyvyys (9.81 m/s^2)
σ_p	=	Puristusjännitys
μ tai ψ	=	Lepokitkakerroin
q	=	Työntölevyyden kohdistuva tasainen kuorma
σ_m	=	Myötöraja
\emptyset	=	Halkaisija

1 OPINNÄYTETYÖN LÄHTÖKOHDAT

1.1 Opinnäytetyön toimeksianto

Opinnäytetyön tavoitteena on suunnitella toimeksiantajalle roskatyönkin tukinlajittelulaitoksen roskanpoiston yhteyteen. Laitteen avulla pyritään tehostamaan tuotantotehokkuutta vähentämällä tukeista kertyneen roskan tyhjentämistä roskaraapan alueelta. Tässä projektissa suunniteltu laite tullaan rakentamaan ja asentamaan todelliseen tuotantoajoon tukkikentälle.

1.2 Nordautomation Oy

Nordautomation on vuonna 1991 perustettu pohjoismaiden johtava puunjalostusteollisuuden projektitoimituksiin erikoistunut yritys ja markkinoiden johtava tukinkäsittelytekniikan valmistaja.

Yhteensä noin 90 työntekijän yrityksessä on kaksi toimipistettä. Kristiinankaupungissa sijaitseva pääkonttori työllistää yrityksen hallinnon, projektinhoidon, suunnittelun, tuotekehityksen, markkinoinnin ja myynnin asiantuntijoita. Yhtiön tuotantolaitos toimii Alajärvellä Etelä-Pohjanmaalla. Tuotantoyksikön pinta-ala on 10 500 neliömetriä.

Tekniikan alan kauppakonserni Addtech omistaa Nordautomationista 80 prosenttia. Addtech kehittää ja myy korkean teknologian komponentteja ja järjestelmiä teollisuusyrityksille ja palveluelinkeinoalalle. Konsernin vuotuinen liikevaihto on noin miljardi euroa ja se koostuu noin 140 liikeyrityksestä. (Nordautomation Oy www-sivut 2020)

1.3 Tukkienlajittelulaitos

Tukkien lajittelu on sahausprosessin ensimmäinen vaihe.

Tukit puretaan tukkienlajittelulaitoksen tukkipöydälle, josta ne ohjataan kuljettimelle mittausta ja laatueroittelua varten. Kuljettimilla on 3D-, röntgen-, ja metallinilmaisina teknologioita hyödyntävät mittauslaitteistot, jotka analysoivat tukkien eri ominaisuuksia. Tukeista mitataan:

1. Latva- ja tyviläpimitta
2. Pituus
3. Kartiomaisuus
4. Lenko
5. Soikeus
6. Tilavuus
7. Oksaisuus
8. Lahoisuus
9. Koro
10. Sinistymät
11. Vuosiluston leveys
12. Sydänpuun halkaisija
13. Puun tiheys suhteessa vierasmateriaaleihin

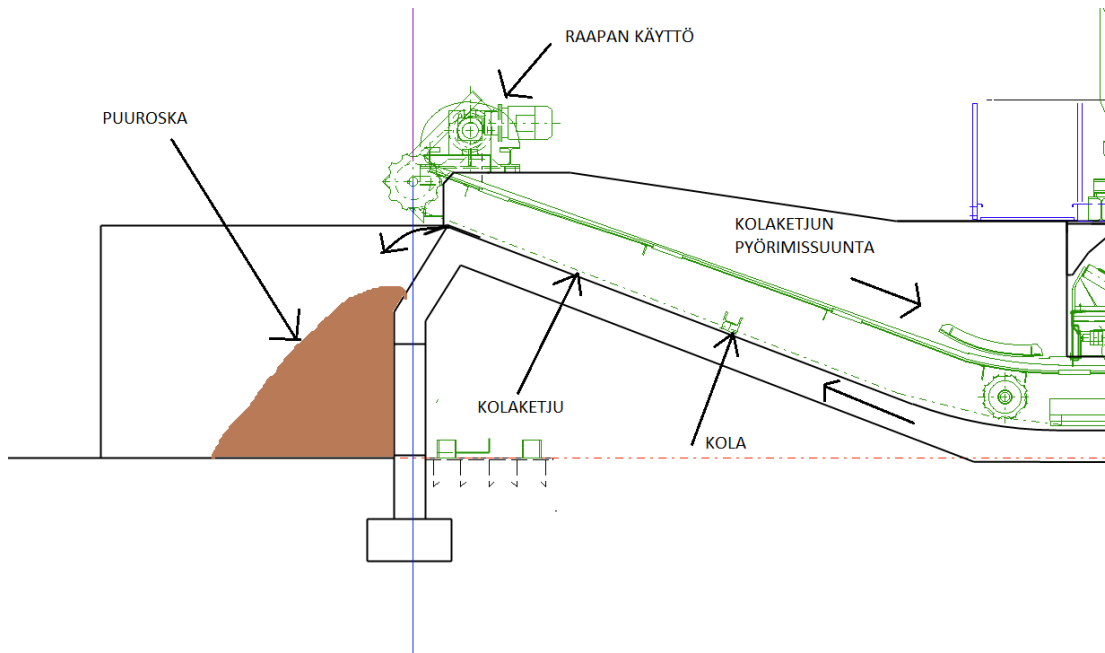
Mittausten perusteella luokitellut tukit ohjataan joskus jopa satoja metrejä pitkää lajittelukuljetinta pitkin tukkilokeroihin. Tukkilokeroitten määrä vaihtelee tyypillisesti 30–80 kappaleen välillä, suurimmissa lajittelulinjoissa on jopa 120 lokeroa. Tukkilokeroista puut tyhjennetään pyöräkuormaajalla tukkikentälle tai suoraan sahaukseen. Kuvassa 1 on nähtävissä tukkienlajittelulaitos. (Sahateollisuuskirja [www-sivut](http://www.sahateollisuuskirja.fi) 2020).



Kuva 1. Tukkienlajittelulaitos. (Nordautomation Oy)

1.4 Raappakuljetin

Tukkipöydän alla sijaitsevan raappakuljettimen tehtävänä on kerätä tukeista irronnut roska ja kuljettaa se pois tukkipöydän alta. Kaarnasta ja puunosista koostuva roska kerätään kuljettimessa olevien kolien avulla. Kuljetinketjussa kiinni olevat kolat työntävät auramaisesti roskaa ulos tukkipöydän alta, tukkipöydän perustuksessa olevaa raappaluiskaa myöden. Raappaluiskan päässä roska putoaa kolasta maahan perustusten ulkopuolelle, josta se tyhjennetään pyöräkuormaajalla ja hyödynnetään uusiutuvan energian tuotannossa. Kuvas-
sassa 2 on nähtävissä raappakuljettimen ja roskantyhjennysalueen poikkileik-
kaus.



Kuva 2. Raappakuljettimen roskanpudotusalue.

1.5 Ongelmakohdat ja opinnäytetyön tarkoitus

Raappakuljettimen roskanpudotusalueelle kertynyt puuroska, joudutaan nykyisissä tukinlajittelulaitoksissa tyhjentämään noin kerran vuorokaudessa. Uudessa kotimaisessa sahalaiteprojektissa halutaan vähentää raappakuljettimelta kertyneen roskan tyhjentämiskertoja. Roskатыöntimen avulla roskasaantumaa voidaan työntää kauemmaksi raapan pudotusalueelta, jolloin roskakeko saadaan hajotettua pienemmäksi. Tällä ratkaisulla pyritään hidastamaan roska-alueen täyttymistä ja saadaan alue pidettyä helpommin puhtaana. Uusi roskatyönnin vähentää roskantyhjennysalueella liikennöintiä raskaalla kalustolla ja mikä vaikuttaa työturvallisuuteen ja päästöihin. Laitteella voidaan tehostaa tukkienlajittelulaitoksen tuottavuutta ja sen avulla pystytään kohdentamaan henkilöstöresursseja kriittisemmille alueille.

2 TEORIA

2.1 Projektityön vaiheet

Projekti eli ”hanke” noudattaa selkeää rajausta, aikataulua ja etukäteen määriteltäviä resursseja. Tässä toiminnallisessa opinnäytetyössä sovelletaan tuotekehityshankkeen ja koneensuunnitteluprosessin menetelmiä. (Silfverberg 2007, 21–22.)

Tuotekehityshanke voidaan jakaa neljään vaiheeseen:

1. Projektin käynnistäminen
2. Luonnostelu- ja esisuunnitteluvaihe
3. Kehittäminen
4. Viimeistely

Jotta tuotekehityshanke olisi kannattavaa toteuttaa. Täytyy tilaajalla olla projektin käynnistämisvaiheessa tarve toteuttaa projekti. Tilaajalla tulee olla myös visio hankkeen toteuttamismahdollisuuksista. (Jokinen 2010, 17–18.)

Esisuunnittelu- ja luonnosteluvaiheessa ideoidaan projektin lähtökohdat. Projektia analysoitaessa sen laajuudesta ja luonteesta tehdään alustavat rajaukset ja määritellään projektin tärkeimmät tavoitteet. Esimerkiksi mahdollisesti muihin samankaltaisiin hankeisiin on syytä perehtyä ja projektin toimintastrategiaa ideoida.

Projektisuunnitelma laaditaan, kun projektin rajaus on tehty. Hankeen tavoitteet ja sisältö määritellään, sekä taustaselvityksiä tarkennetaan. Projektisuunnitelmaan asetetaan hankkeen edistymisen kannalta tärkeitä välitavoitteita ja valmistumisajankohta.

Resursointisuunnitelman avulla voidaan arvioida projektissa tarvittava henkilötuntimäärä, materiaalin ja laitteiden tarve. Projektin rahoitussuunnitelmassa voidaan hyödyntää resursointisuunnitelmaa, jossa resurssien tarve on kerrottu. Projektille luodaan seuranta- ja arviointijärjestelmä, jota hyödynnetään

hankkeen etenemisen tarkastelussa ja tavoitteiden seuraamisessa. (Silfverberg 2007, 35–40, 76–77.)

Kehittämisvaihe alkaa valitun ratkaisun kokoonpanoluonnoksen laatimisella. Luonnoksesta pyritään löytämään teknisesti ja taloudellisesti heikkoja kohtia, joiden selvittäminen johtaa usein yhteen tai useampaan paranneltuun suunnitelmaan. Tuloksena on kehitetty konstruktioehdotus. (Jokinen 2010, 14–15.)

Projektin edistymisen seuranta on tärkeää, jotta voidaan riittävän ajoissa reagoida hälyttäviin tilanteisiin, kuten esimerkiksi: budjetin ylittymiseen, hankkeen myöhästymiseen tai aikatauluun vaikuttaviin muutoksiin. Keskeisenä osana projektin edistymistä on sen laadullinen arviointi. Projektin tavoitteita sekä laadua evaluoidaan ja verrataan aikaansaatuun tulokseen. Tämän informaation perusteella voidaan tavoitteisiin ja toimintamalleihin tehdä korjaavia toimenpiteitä tarvittaessa. (Silfverberg 2007, 36–42.)

Projektin viimeistelyvaiheessa valmiista tuotteesta laaditaan osaluettelot, tehdään valmistuspiirustukset ja kirjoitetaan käyttö- ja huolto-ohjeet. Joissain tapauksissa laitteesta valmistetaan prototyyppi tai pienoismalli sen toimivuuden varmistamiseksi. (Jokinen 2010, 16–17.)

Hankkeen lopputulosta arvioidessa otetaan huomioon siinä onnistuminen, ongelmat, vaikutukset, tulokset, opit ja kokemukset, mistä laaditaan projektin loppuraportti. Projektin asiakirjat arkistoidaan, jotta niitä voidaan mahdollisesti hyödyntää tulevaisuuden projekteissa. (Silfverberg 2007, 38.)

2.2 Koneturvallisuusstandardit

Standardisoinnilla mahdollistetaan yhteiset toimintatavat viranomaisille, elinkeinoelämälle ja kuluttajille. Standardit lisäävät tuotteiden ja toimintojen turvallisuutta, sekä suojelevat ympäristöä ja kuluttajaa. Suuria maailmanlaajuisia standardisointijärjestöjä ovat esimerkiksi kansainvälinen ISO, saksalainen

DIN ja yhdysvaltalainen ANSI. Suomen standardisoimisliitto SFS ry hallinnoi suomalaisia standardeja. (Suomen standardisoimisliiton [www-sivut](http://www.sfs.fi) 2020)

EN ISO 12100-standardi käsittelee konesuunnittelun yleiset suunnitteluperiaatteet ja riskit. Tämä standardi toimii perustana standardiryhmille, jotka ovat:

- A-tyyppin standardit: sisältävät suunnitteluperiaatteet sekä esittävät perusteet ja yleiset näkökohdat, joita sovelletaan koneisiin.
- B-tyyppin standardit: käsittelevät yhtä turvallisuusnäkökohtaa tai yhtä sellaista suojausteknistä laitetta, jota voidaan käyttää monissa koneryhmissä.
- C-tyyppin standardit: käsittelevät tietyn koneen tai koneryhmän yksityiskohtaisia turvallisuusvaatimuksia. (SFS-EN ISO 12100)

2.3 Materiaalien rasitustyyppit

Materiaalit voivat kulua hyvin monella eri tavalla. Nämä kulumistavat voidaan jakaa rasitustyyppeihin, joiden tiedostaminen on erityisen tärkeää. Ympäristön aiheuttamien voimien ymmärtäminen auttaa suunnittelijaa tekemään viisaampia materiaalivalintoja ja suunnitteluratkaisuja laitetta kehiteltäessä.

Staattinen kuormitus on jatkuvasti samaan suuntaan vaikuttavaa tasaista rasitusta, kun puolestaan dynaamiseksi kuormitukseksi sanotaan tilannetta, jossa kuormitusnopeus ja suunta on muuttuva. Kimmoisessa muodonmuutoksessa materiaali palautuu lähtötilanteeseen, kun jännitystä kevennetään. (Tampereen yliopiston [www-sivut](http://www.tamk.fi) 2005)

Myötäminen on materiaalissa tapahtuvaa pysyvää eli plastista muodonmuutosta, jota tapahtuu yleensä sitkeissä materiaaleissa. Tilannetta, jossa jännitys ylittää myötörajan, alkaa materiaalissa tapahtua plastista muodonmuutosta. Hauraat materiaalit kuten esimerkiksi betoni tai lasi eivät joustu, vaan murtuvat

voiman ylittäessä materiaalin murtolujuuden. (Tampereen yliopiston www-sivut 2005)

Väsyttävää rasitusta voi esiintyä materiaalissa, jos siinä tapahtuu vaihtosuuntaista kuormitusta. Materiaalien sitkeyttä testataan rasituskokeilla, joissa koesauvalle annetaan useita edestakaisia amplitudeja. Sauvan rasittaminen johtaa lopulta aineessa etenevään murtumaan. (Tampereen yliopiston www-sivut 2005)

Viruminen on ajasta riippuvaa muodonmuutosta, jota tapahtuu korkeissa lämpötiloissa vakiokuormituksen tai jännityksen alaisena. Mitä korkeampi lämpötila kappaleeseen kohdistuu, sitä voimakkaampaa viruminen on. Tämä tapahtumaketju voidaan jakaa kolmeen vaiheeseen:

Dislokaatioliikkeen aiheuttama viruminen tapahtuu matalimmissa lämpötiloissa. Kun lämpötila kasvaa, alkaa massan siirtyminen eli diffuusio voimistua materiaalissa ja muuttaa kappaleen muotoa. Korkeimmissa lämpötiloissa raerajat liukuvat toistensa suhteen. Tätä kutsutaan raerajaliukumiseksi. (Tampereen yliopiston www-sivut 2005)

Ympäristön aiheuttamaa kulumista, jossa materiaali muuttuu käyttökelvottomaan muotoon, kutsutaan korroosioksi. Tyypillisiä korroosion aiheuttamia seurauksia ovat esimerkiksi ruoste ja syöpymät. Ilman kosteuden ollessa yli 60 %, alkaa metalleissa tapahtua ruostumista, kosteuden, hapen ja muiden kaasujen yhteisvaikutuksesta. Tätä ilmiötä kutsutaan ilmastolliseksi korroosioksi. Kemiallinen korroosio on erilaisten happojen emästen ja kemikaaliliuosten aikaansaamaa syöpymistä materiaalissa. (Tampereen yliopiston www-sivut 2005)

Kun vesi ja happi reagoivat aineeseen samanaikaisesti, tapahtuu materiaalin liukenemista ympäristöön. Tätä kutsutaan sähkökemialliseksi korroosioksi, johon tarvitaan eri jalostusasteisia metalleja, jotta ilmiö voi toteutua. (Tampereen yliopiston www-sivut 2005; Leskinen 1972, 602.)

2.4 Lujuusoppi

Lujuusopillinen tarkastelu on eräs tärkeimmistä osa-alueista rakenteiden vertailussa. Lujuusopin kaavoja käyttäen on mahdollista määrittää kappaleille halutut mitat ja muodot niin, että kappale tai kokoonpano ei ylitä ei-toivottuja materiaalille ominaisia rajoja. Ulkoisten voimien kuten massa- ja kosketusvoimien vaikuttaessa kappaleeseen, syntyy siihen sisäisiä rasituksia, joita kutsutaan vastavaikutusvoimiksi. Näiden voimien suuruuden määrittäminen on yksi lujuusopin tärkeimmistä tarkoituksista. Sillä jos vastavaikutusvoimat ovat liian suuret, ei kappale tule kestävänsä siihen kohdistuvaa rasitusta. On myös tärkeä tietää, millaisia muodonmuutoksia ulkoiset voimat aiheuttavat kappaleelle.

Kun tiedetään osan geometria ja siihen vaikuttavat voimat, on mahdollista laskea ja määrittää kappaleessa käytettävä materiaali, sekä mitoittaa osat niin etteivät siihen kohdistuvat kuormitukset ja muodonmuutokset kasva liian suuriksi. (Saarineva 1995, 1.2.)

2.5 Lujuusopilliset pääkuormituslajit

Lujuusopissa on viisi päärasituslajia, jotka yhdessä tai yksin sopivat useimpiin kuormitustilanteisiin.

Vetävän voiman (F) vaikuttaessa kappaleeseen, syntyy siihen vetojännitys (σ) kappaleen poikkileikkauspinta-alojen (A) välille. Kappaleeseen syntyy pysyviä muodonmuutoksia, kun jännitys ylittää kappaleen myötörajan arvon. Kun myötöraja ylitetään, saavutaan kappaleen maksimi vetolujuuden alueelle, jota käytetään kappaleen kestävyysmittana. (Lehtonen 1975, 10–11.)

$$\left(\sigma = \frac{F}{A}\right) \qquad \text{(Kaava 1)}$$

Puristuksessa ulkoinen voima (F) painaa kappaletta kokoon poikkipinta-alaa (A) vasten. Puristus on vastakkaissuuntainen voima vetävään voimaan näh-

den, jolloin se voidaan laskea samalla kaavalla kuin vetojännitys. Puristusvoiman kasvaessa saavutetaan puristusmyötöraja eli tyssäsysraja, milloin kappale murtuu. (Lehtonen 1975, 15.)

Taivutuksessa kappale taipuu kaarelle voiman (F) vaikuttaessa siihen. Taivutuksen alaisena kappaleeseen syntyy sisäisiä veto- ja puristusjännityksiä kappaleen neutraaliakselin suhteen, joka kulkee osan geometriasta riippuen yleensä sen keskellä. Kun taivutusjännitystä kasvatetaan. Kappaleeseen syntyy pysyviä muodonmuutoksia sisäisen vetojännityksen ylittäessä myötöraja. Taivutusjännityksen (σ) suuruuden määrittämiseksi on hyvä laskea kappaleen taivutusmomentti (M), jossa (l) on voiman etäisyys kappaleen tukipisteestä. Taivutusmomentin yksikkö on newtonmetri (Nm).

$$(M = F * l) \quad \text{(Kaava 2)}$$

Lisäksi tarvitaan kappaleen taivutusvastus W , joka on yksilöllinen erilaisille poikkipinnoille. (Lehtonen 1975, 17–21; Saarineva 1995, 5.1–5.1.3.)

$$\sigma = \frac{M}{W} \quad \text{(Kaava 3)}$$

Leikkausjännityksessä (τ) kappaleeseen vaikuttaa sen poikkileikkaustason suuntainen voima. Kappale voidaan ajatella jaettavan kahteen osaan, jotka pyrkivät liukumaan leikkaustason suhteen. Jos voiman (F) etäisyys (l) leikkauspisteestä on pieni, ei kappaleeseen syntyviä taivutusjännityksiä oteta huomioon. (Lehtonen 1975, 46.)

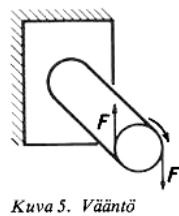
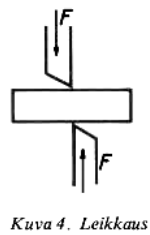
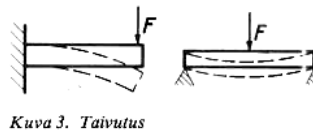
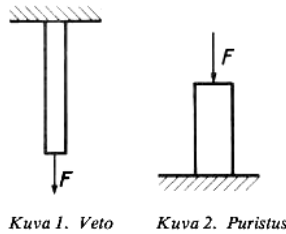
$$\tau = \frac{F}{A} \quad \text{(Kaava 4)}$$

Vääntökuormituksen alaisena palkkiin kohdistuu voima, joka aiheuttaa kiertymistä palkin pituussuuntaisen akselin suhteen. Vääntömomentti (T) kuvaa kiertymän aiheuttaman vääntövoiman suuruutta. Vääntöjännitys (τ_v) laskeaan poikkipinnan vääntövastuksen (W_v) ja vääntömomentin avulla. (Lehtonen 1975, 53–55; Saarineva 1995, 7.1.)

$$\tau v = \frac{T}{W_v}$$

(Kaava 5)

Kuvassa 3 on esitetty lujuusopissa esiintyvät pääkuormituslajit.



Kuva 3. Lujuusopin pääkuormituslajit. (Lehtonen 1975, 9)

2.6 Elementtimenetelmä

Elementtimenetelmä eli FEM (Finite Element Method) on lujuuslaskennassa käytettävä numeerinen ratkaisumenetelmä. Menetelmä kehitettiin 1950-luvulla lentokone-teollisuuteen, josta se on levinnyt kone- ja rakennusteollisuuden käyttöön. Elementtimenetelmässä geometrisesti monimutkainen kappale jaetaan äärellisiin osiin eli elementeiksi, jotka ovat geometrialtaan yksinkertaisia. Nämä elementit liittyvät toisiinsa solmukohdissa muodostaen elementti-

verkon. Laskenta perustuu lujuusopin perussuureisiin, osittaisdifferentiaaliyh-tälöihin ja ekvivalentteihin työ- ja energiaperiaatteisiin. (Elementtimenetelmän-perusteet n.d. 1-2.)

3 PROJEKTIN SUUNNITTELU

3.1 Laitteen vaatimukset

- Teräslevyrakenteinen, noin yksi metriä korkea kotelo
- Laite on hydraulitoiminen ja ottaa voimansa nosturin koneikolta.
- Kulkurullat sivuilla
- Työntölevyn liikepituus: 800mm

3.2 Projektin ja laitteen tavoitteet

- Suunnitella laite, joka on valmistusteknillisesti yksinkertainen ja edullinen
- Laite on huoltovarma ja suunniteltu kunnossapitoa ajatellen
- Varmistaa järjestelmän toimivuus kaikissa sääolosuhteissa
- Projektin aikataulussa pysyminen
- Laite kykenee suorittamaan tehtävän, johon se on suunniteltu

3.3 Projektin rajaus

Laitteesta tehdään 3D-mallinnus, piirustukset ja simulaatiot SolidWorks suunnitteluohjelmalla. Opinnäytetyössä vaadittavat osa-alueet ovat:

- Tutkimus- ja selvitystyö
- Projektin suunnittelu
- Rungon suunnittelu
- Työntöauran suunnittelu
- Lujuustarkastelu
- Laitteen mekanisointi
- Työkuvat
- Osaluettelot
- Dokumentointi

3.4 Projektin riskianalyysi

Riskianalyysin avulla on kartoitettu potentiaalisia riskejä projektin aikana. Analyysi auttaa projektin suorittajaa valmistautumaan ja varautumaan näihin uhiin. Taulukossa 1 on tunnistettu erilaisia projektia uhkaavia riskejä.

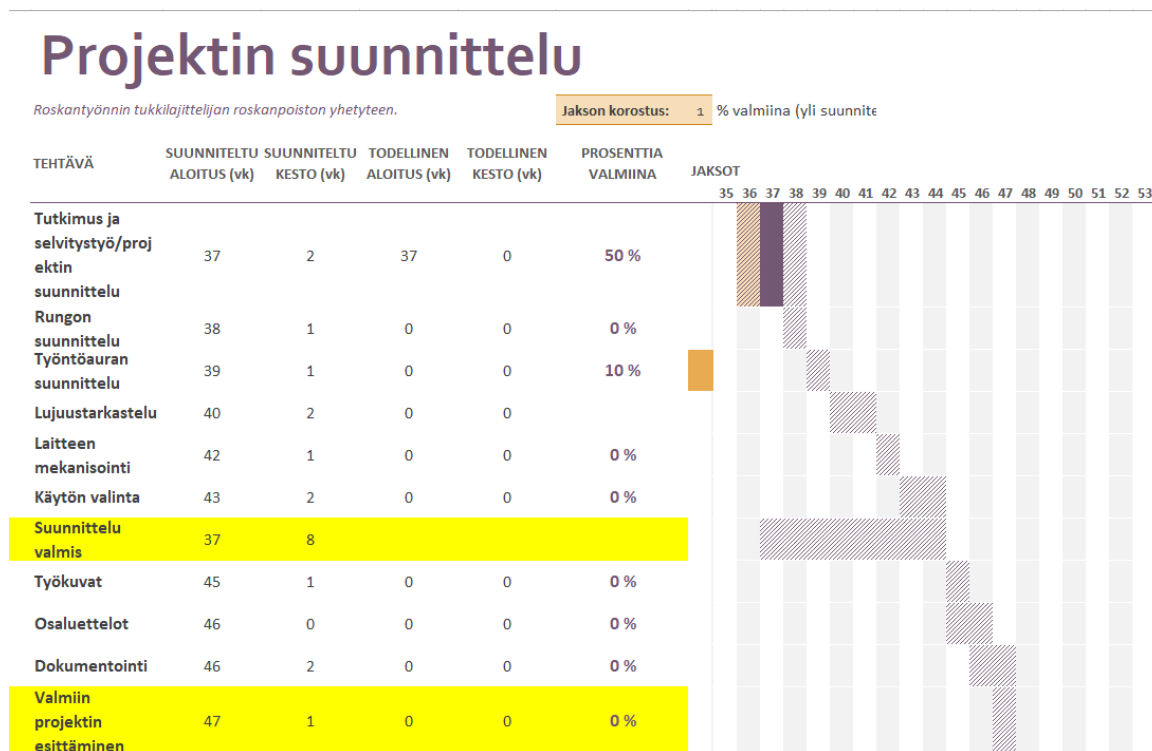
Taulukko 1. Riskejä joihin projektissa ja tulee varautua.

Riski	Todennäköisyys	Seurausten vakavuus	Varautuminen
Suunnittelu-prosessin viivästyminen.	20 %	Kohtalainen.	Hyvä aikataulutusta ja ennakoiminen projektin edetessä.
Tämän hetkinen maailmanlaajuinen koronavirus-pandemia pakottaa yrityksen työntekijät siirtymään etätöihin.	30 %	Kohtalainen.	Noudatetaan terveysviranomaisien määräyksiä.
Suunnittelu-virhe.	30 %	Vakava.	Suunnittelija on huolellinen ja varmistaa lopputuloksen tarkkuuden.
Laite ei täytä vaadittavia standardeja.	20 %	Vakava.	Suunnittelija perehtyy ja ottaa selvää huolella standardeista.

3.5 Projektin eteneminen

Projektiaikataulussa kerrotaan työssä arvoitu ajankäyttö ja välitavoitteet. Projektin aloitus on viikolla 37 ja arvioitu päättymisen viikolla 47. Taulukossa 2 on projektin alussa laadittu projektisuunnitelma.

Taulukko 2. Projektiaikataulu aloitustilanteessa.



4 ESISUUNNITTELU JA IDEOINTI

4.1 Materiaalien aiheuttamat kuormitukset

Ennen varsinaisen laitesuunnittelun aloittamista on tiedettävä roska-alueelle kertyneen puunkuoren, sekä lumen ja jään tiheydet (ρ). Ainetiheyksien avulla selvitetään alueelle kertyneen materiaalin massa, jotta voidaan laskea roskatyöntimeen kohdistuvat lujuustekniset voimat. Tämä tieto vaikuttaa laitteen muotoiluun, materiaalin valintaan ja vahvuuteen.

Havupuun kuoren tiheys on noin 300-450Kg/m³, riippuen puun kosteudesta. (Vttresearch www-sivut 2016)

Lumen tiheys vaihtelee voimakkaasti vuodenajan ja paikan mukaan. Tiheyden arvo perustuu tilastoissa todettuun tietoon ja niistä saatuun keskiarvoon. Taulukosta 3 on nähtävissä keskimääräinen lumen tiheys alueittain Suomessa.

Taulukko 3. Lumen tiheys aukealla (Kg/m³). Arviot perustuvat aukean alueen lumilinjamittauksiin 1961–2010. (Valtion ympäristöhallinto, 2020)

Kuukausi	Etelärannikko	Keski-Suomi	Pohjanmaa	Pohjois-Suomi ja Kainuu
Syyskuu				110
Lokakuu	210	150	160	140
Marraskuu	180	160	160	150
Joulukuu	190	170	170	170
Tammikuu	220	200	200	190
Helmikuu	230	210	210	200
Maaliskuu	260	250	240	230
Huhtikuu	320	310	300	290
Toukokuu	370	300	210	320
Kesäkuu				350

Tukinlajittelulaitos sijaitsee länsirannikolla, jolloin keskiarvo lasketaan etelärannikolta saaduista mittauksista. Keskiarvon kaava:

$$x = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}$$

(Kaava 6)

Lumen tiheyden keskiarvoksi saadaan 250kg/m^3 .

Jään tiheys on 920kg/m^3 , mikä on hyvin lähellä veden tilavuutta (Mäkelä, Soinen & Tuomola & Öistämö 2005, 177). Jään osuus lumen ja puunkuoren joukossa on suhteessa melko vähäistä. Tämän vuoksi jään painoa ei lasketa, vaan sen vaikutus huomioidaan laitteen rakenteiden varmuusluvussa.

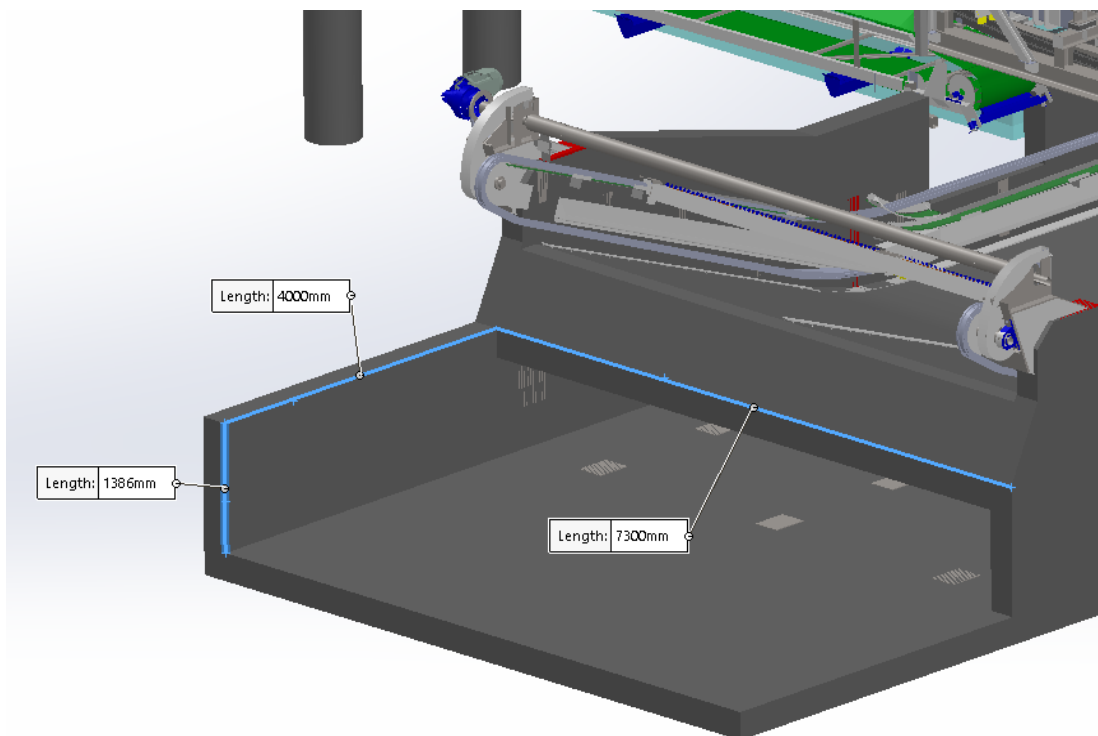
Tukinlajittelijan roskanpudotusalue on mitoiltaan $4000 \times 7300 \times 1386 \text{ mm}$ (Kuva 4). Alueen tilavuudella voidaan laskea ja arvioida puuhakkeen massa betonilla.

Alueen tilavuus lasketaan suorakulmaisen särmiön tilavuuden kaavalla.

$$V = abc$$

(Kaava 7)

Tulokseksi saadaan noin 40,5 kuutiometriä.



Kuva 4. Roskanyhjennysalueen mitat.

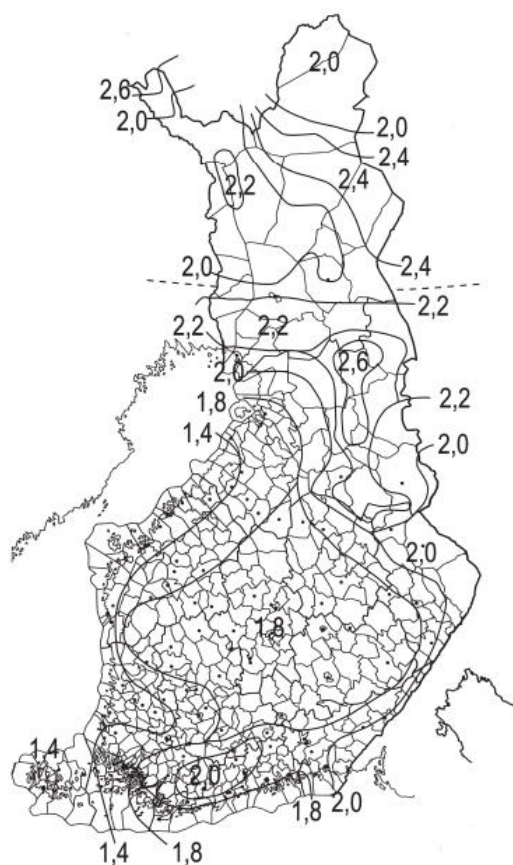
Kaava tilavuusalueella vaikuttavalle massalle:

$$m = V * \rho$$

(Kaava 8)

Puunkuoren massaksi 40,5 kuutiometrin alueelle saadaan 18 225 kiloa. Laskelma on suoritettu erittäin kostealle kuorelle, jonka tiheys on 450kg/m³.

Lumikuorman selvittämiseksi täytyy tietää lumen syvyys alueella. Rakennustekniikassa kattorakenteille on määritelty alueelliset kartat ja standardit lumikuorman laskemiseksi, jotka ovat nähtävissä kuvasta 5.



Kuva 5. Kattojen lumikuormat alueittain Suomessa. (Ympäristöministeriön www-sivut 1998)

Kartan mukaan alueella tulee käyttää laskennassa 1.4 metrin lumen syvyyttä. Lumen massa lasketaan roska-alueen pinta-alalla (Kuva 4) olevan 1.4 metriä korkean lumikerroksen tilavuudesta. Lumialueen tilavuudeksi saadaan noin 41m³. Lumen massa alueella on noin 10 220 kiloa, kun lumen tiheys on 250kg/m³.

Puunkuoren ja lumen massa on yhteensä noin 28 500 kiloa, mikä vaikuttaa 280 kilonewtonin voimalla (F) perustuksen betonipohjaan. ($g=9,81\text{m/s}^2$)

$$F = mg \quad (\text{Kaava 9})$$

Alueen pinta-ala (A) on $292\,000\text{cm}^2$. Jakamalla voima pinta-alalla, saadaan puristusjännityksen (σ_p) suuruus pinta-alayksikköä kohden.

$$\sigma_p = \frac{F}{A} \quad (\text{Kaava 10})$$

Betonipohjaan vaikuttavan puristusjännityksen suuruus on $0,96\text{ kN/cm}$.

4.2 Työntövoiman laskeminen

Jotta roska- ja lumikasaantuma saadaan siirrettyä, pitää tuntea tarvittavan työntövoiman määrä.

Havupuunkuoren lepokitkakerroin metallia vasten on $0,40$ (Vttresearch [www-sivut 2016](#).) Tässä tapauksessa puunkuorta työnnetään betonipohjaa vasten, joten voidaan olettaa sen liukuvan huomoinen tällä alustalla. Lepokitkakertoimen (ρ_s) käytetään $0,50$.

Roskatyöntimen tarvitsema työntövoima (F) lasketaan liukumisrajalla olevan kappaleen kaavalla:

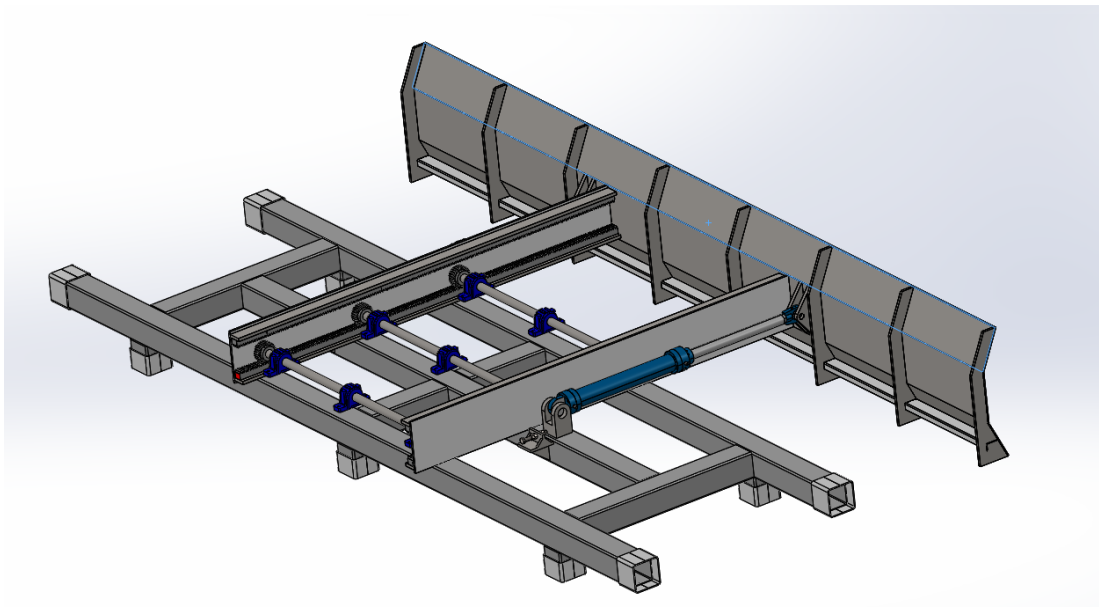
$$F = \tan \rho_s * G \quad (\text{Kaava 11})$$

Roskatyöntimen tarvitseman työntövoiman tulokseksi muodostuu 140 kilonewtonia, mikä kohdistaa tasaisella kuormalla noin $1,8\text{ kN/cm}$ puristusjännityksen työntimen puskulevyyn.

4.3 Laitteen toiminnan hahmottaminen

Roskатыöntimen tarkoituksena on suorittaa lineaarista edestakaista työntö- ja paluuliikettä. Tämän liikkeen voi toteuttaa usealla eri tavalla, mikä tuotti useita näkökulmia laitteen toimintaan. Projektin todellisena haasteena oli suunnitella menetelmä, joka takaisi auran tasaisen liikkeen suurenkin kuormituksen alaisena.

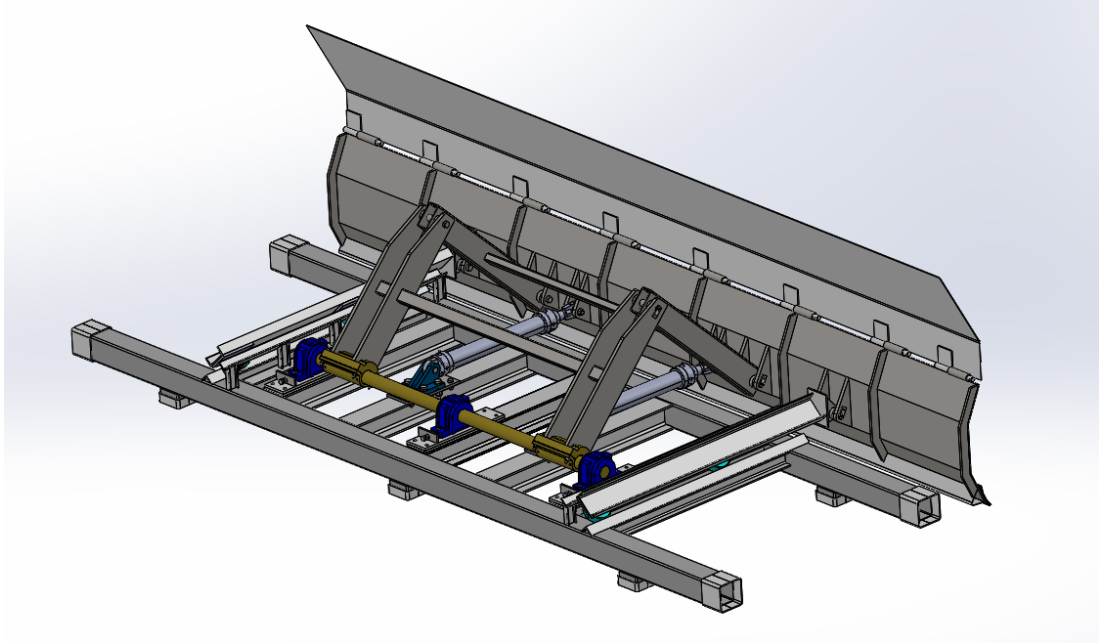
Projektissa testattiin menetelmää, jossa hammasrattaat on yhdistetty laakeroiduilla akseleilla runkoon. Hammasjohde liikkuu rattaiden välissä mahdollistaen tasaisen liikkeen työntövoiman tullessa hydraulisylintereistä. Ongelmaksi tässä vaihtoehdossa koitui hammasjohteiden melko korkea hinta ja soveltumattomuus tämän laitteen toimintaympäristöön. Pahimmassa tapauksessa epäpuhtauksien kuten kivien tai suurempien puulastujen ajautuminen hammasrattaan ja johteen väliin saattaisi jumittaa laitteen kesken tuotantoajan. Hampaiden murtuminen suurten kuormitusten alaisena nähtiin myös potentiaalisena riskinä. Kuvassa 6 on mallinnettu roskatyönnin hammasjohde toimisena.



Kuva 6 Havainnollistaminen hammasrattain ja hammasjohtein liikkuvasta roskatyönnimestä.

Laitteesta suunniteltiin melko pitkälle viimeistelty versio, jossa kaksi akselilla ja putkipalkeilla yhdistettyä nivelöityä vipuvartta mahdollistaisi auran tasaisen

liikkeen. Työnnin liikkuisi kulkurullilla ja saisi työntövoiman kahdesta hydraulisylinteristä, mutta ei vaatisi sivuttaistuenta erittäin tukevan vipuvarsirakenteen ansioista. Kuvasta 7 on nähtävissä mallinnus vipuvarrellisesta roskatyöntimestä.

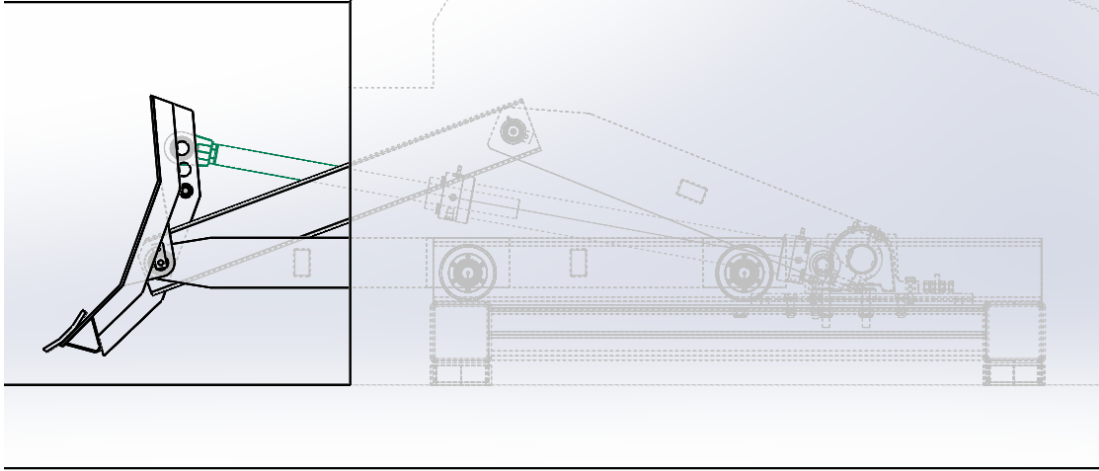


Kuva 7. Vipuvarsimenetelmällä liikkuva roskatyöntin, jossa saranoitu suojalevy. Kuvassa kulkiskot on aseteltu kaltevasti kokeellisessa tarkoituksessa.

Malliin ideoitiin myös auran kaltevuuden muuttamista yhdellä tai kahdella hydraulisylinterillä. Työntövaiheessa aura olisi täysin pystyasennossa kulkien mahdollisimman lähellä roska-alueen pohjaa. Työntimen aloittaessa takaisinvetoliikkeen kaltevuutta säättävät sylinterit nostaisivat auran alaosassa olevan terän noin 100 mm:n korkeudelle pohjasta. Tässä liikkeessä aura ei vetäisi väliin pudonnutta roskaa takaisin perustuksessa olevaan syvennykseen, johon laite on asennettu. Laitteen toiminta oli kuitenkin projektin alussa rajattu vain kahteen hydraulisylinteriin, eikä niiden määrää tahdottu lisätä kustannus- ja huolto syistä.

Auran kaltevuuden muuttamista painovoimaisesti suunniteltiin sijoittamalla vipuvartta ja auraa yhdistävä nivel työntölevyn läpi siten, että auran painopiste siirtyisi nivelpisteen taakse. Hydraulisylinterien kiinnitys sijoitettaisiin auran yläkulmaan, mikä aiheuttaisi vääntömomenttia vetoliikkeessä ja kallistaisi auraa nostaen terän ylös pohjasta. Ongelmaksi osoittautui, että yli 1 000 kiloa

painava aura saattaisi jäädä vetoliikkeessä työntöasentoon kulkurullien pienen liikekitkakertoimen vuoksi, eikä nousisi irti pohjasta halutulla tavalla. Kuvassa 8 on havainnollistettu painovoimaista menetelmää auran kallistuksessa.



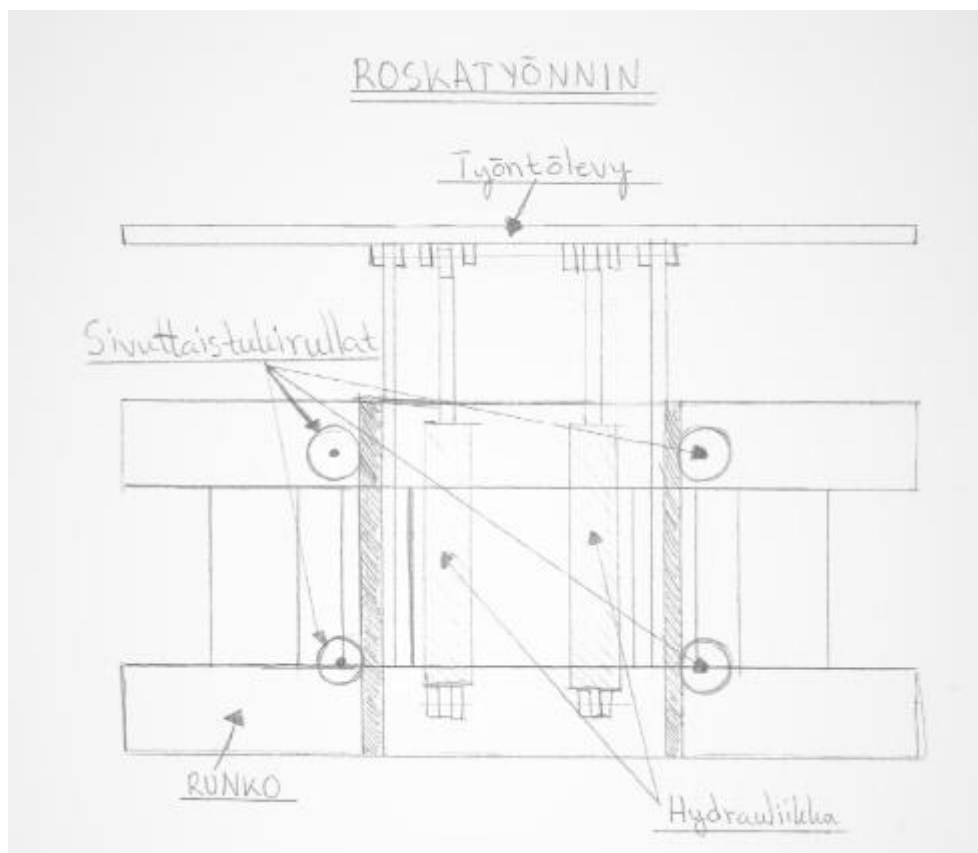
Kuva 8. Painovoimaa hyödyntävä vipuvarsimenetelmä roskatyöntimen kallistusmekanismina.

Pitkien vipuvarsien mitoittaminen ja mahdollistamien ahtaaseen asennustilaan osoittautui vaikeaksi ja epäkäytännölliseksi. Lisäksi vipuvarsista olisi enemmän hyötyä, jos laite käyttäisi auran kulmaa säätäviä sylintereitä. Kiinteällä aurankulmalla laite tarvitsee suojalevyt auran päälle ja sivuille, jottei roska pääse työntimen ja rungon väliin. Tässä tilanteessa suojalevyihin olisi pitänyt tehdä reiät vipuvarsille, jotta levy ja varsi eivät osuisi toisiinsa. Näiden reikien tukkiminen esimerkiksi suojakumeilla ei tuntunut toimivalta ratkaisulta, koska roska saattaisi silti kulkeutua niiden lävitse. On erittäin huonoa, jos vähäinkin roska pääsee syvennykseen, johon roskatyönnin on asennettu. Roskan puhdistaminen tästä ahtaasta välistä on vaikeaa ja työlästä. Vastaavasti vipuvarsien muotoilu suojalevyjen mukaan teki niistä erittäin epäsymmetrisiä, mikä olisi todennäköisesti vaikuttanut systeemin toimivuuteen.

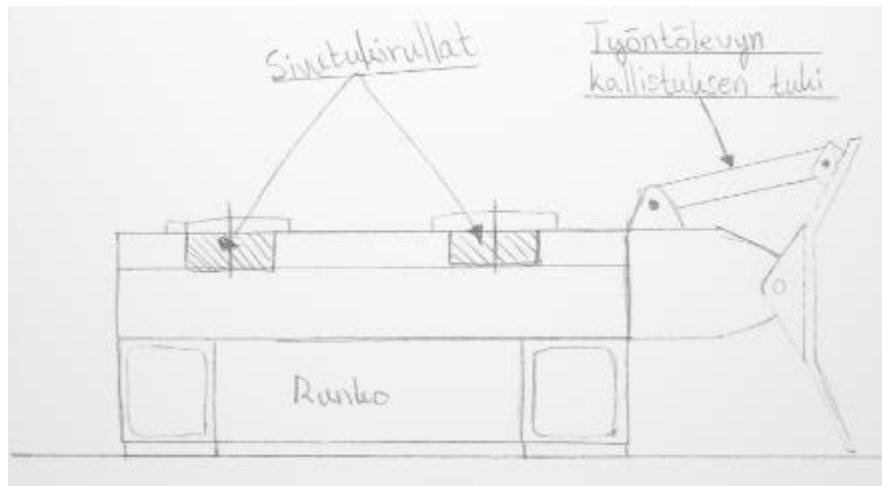
Kulkukiskoja käyttäen haasteeksi muodostuu noin seitsemän metriä leveän työntölevyn liikkeen saaminen niin tasaiseksi, ettei aura mene lukkiutuneeseen tilaan, jos ulkoinen epätasaisen kuorma aiheuttaa voimakasta vääntöä laitteeseen ja kulkurullastoon. Vääntötilanteessa saattaa toinen kulkurullasto kulkea

epätasaisesti toisen edellä, mikä mahdollisesti vääntää aura- ja kiskorakenteen lukkoon.

Pelkillä pystysuuntaisilla kulkurullilla toteutetussa järjestelmässä todettiin, että laite ei tule toimimaan ilman sivuttaistuenta. Kulkurullastot tulee myös sitoa yhteen esimerkiksi kiinteällä rakenteella tai akselilla, jotta kumpikin rullasto liikkuisi samanaikaisesti. Neljän sivuttaistukirullan avulla rakenteesta saadaan vääntökuormituksen alaisena hyvinkin tukeva. Kuvissa 9 ja 10 on havainnollistettu kulkurullastolla liikkuvaa roskatyönnintä.



Kuva 9. Sivuttaistukirullilla liikkuvan roskatyöntimen havainnollistaminen ylhäältä.



Kuva 10. Sivuttaistukirullilla liikkuvan roskatyöntimen havainnollistaminen sivulta.

4.4 Painopistearviointi

Painopistearvioinnissa (Taulukko 4) on edellisessä kappaleessa esitettyjen mallien ominaisuuksia arvioitu asteikolla 1-5.

Taulukko 4. Vaihtoehtojen painopistearviointi.

Kriteerit	Hammasjohteilla liikkuva	Vipuvarella ja kulkurullilla liikkuva	Kulkurullilla ja sivuttaistukirullilla liikkuva
Rakenne	1	5	4
Valmistettavuus	2	3	3
Huollettavuus	2	4	3
Tilan käyttö	4	2	4
Hinta	1	3	4
Keskiarvo:	2	3,4	3,6

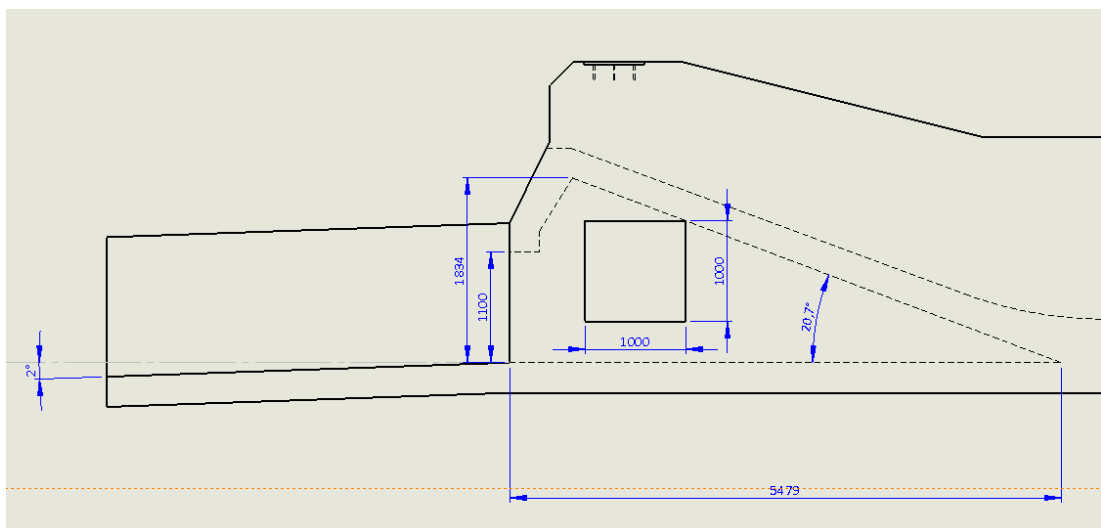
Valinnassa päädyttiin parhaan keskiarvon saaneeseen versioon, jossa tasainen liike mahdollistetaan neljällä pysty- ja sivuttaissuuntaisella kulkurullalla. Tämän mallin valitsemiseen vaikutti rakenteen yksikertaisuus, vähäinen tilan käyttö, sekä jo ennestään muissa laitteissa käytössä olevien osien hyödyntäminen kokoonpanossa.

5 SUUNNITTELU

5.1 Perustus

Tukkipöydän betonisten perustusten alle on varattu kolmiomainen tila roskatyönnintä varten. Betoniseiniin ja lattiaan valetaan 15 x 300 x 400 mm:n tartuntateräksiset, joihin laitteen runko hitsataan. 1 000 x 1 000 mm:n huoltoluukut asennetaan molemmalle puolelle perustusta ja ne sijoitetaan roskatyöntimen rungon yläpuolelle.

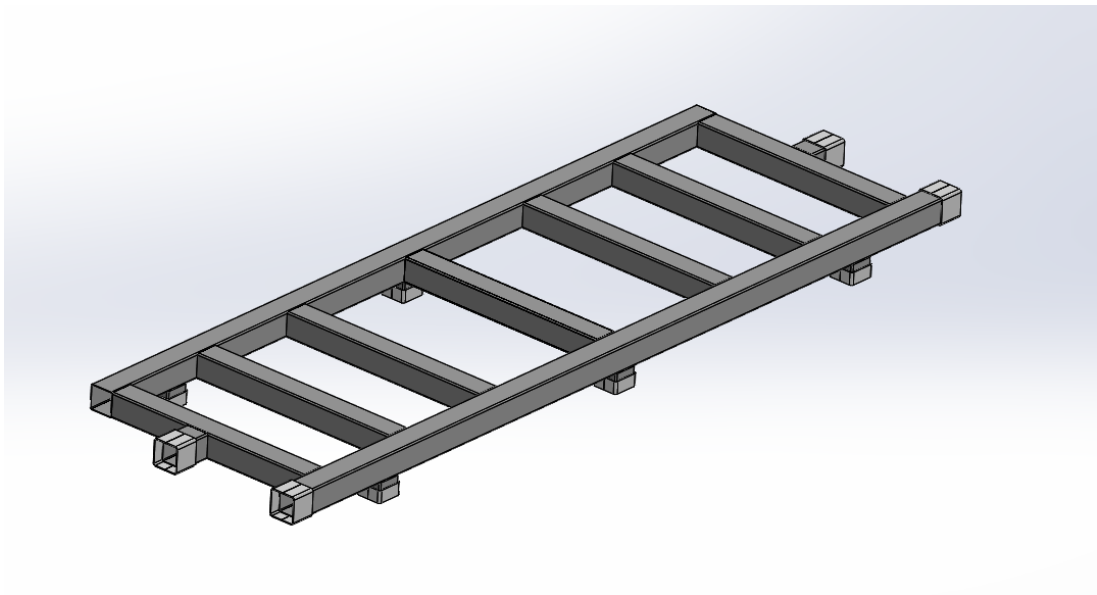
Perustuksen roskaluiska laskee kahden asteen kulmassa alaspäin, jottei vesi valuisi syvennykseen. Roskaluiskaan valetaan myös kolme teräksistä liukupintaa, jotka helpottavat auran liikettä ja vähentävät betonin kulumista. Kuvassa 13 on esitetty roskatyöntimen asennusalueen mitat.



Kuva 13. Roskasyöntimen asennuspaikka tukkipöydän perustuksessa.

5.2 Rungon suunnittelu

Rungon perusrakenteessa käytetään ristikkomaista rakennetta, joka valmistetaan 200 x 200 x 6 mm:n rakenneputkipalkkeista. Putkipalkkien ansiona ovat niiden hyvät rakenteelliset ominaisuudet ja yksinkertainen muotoilu. Kuvassa 14 on mallinnettu laitteen runkorakenne.



Kuva 14. Roskатыöntimen runkorakenne.

Laitteen lujuustarkastelussa varmuuslukuna käytetään standardin SFS-EN 1990 rakenneosien ja geoteknisen kantavuuden varmuuslukua 1,50. (SFS-EN 1990+A1+AC)

Suurin sallittu jännitys lasketaan varmuuslukua käyttäen kaavasta:

$$n = \frac{\sigma_m}{1,5} \quad (\text{Kaava 12})$$

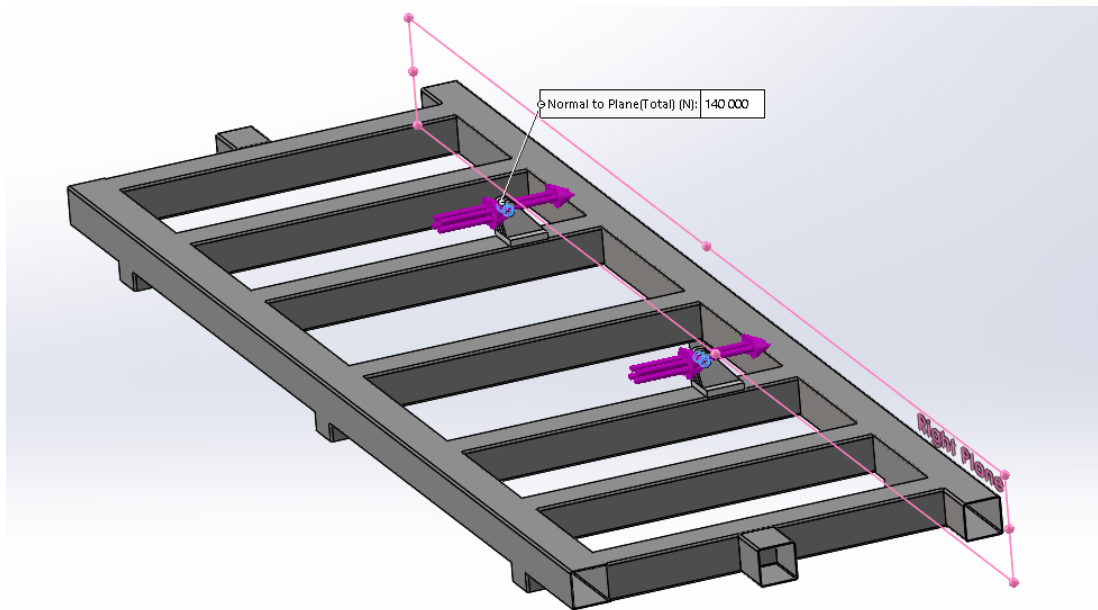
Jossa (σ_m) on materiaalin myötöraja, eli S355 terästä käytettäessä se on 355N/mm². Suurimmaksi sallituksi jännityksen arvoksi materiaalissa saadaan tällöin 237N/mm².

Rungon lujuuslaskennassa kappaleen kiinnitykseksi valittiin rungon jalat ja sivutuennan paikat. Hydraulisynterierien kiinnikkeisiin vaikuttavan voiman suunta valitaan työntösuuntaa vastaan, sillä voima on hydraulisynterierien työnnöstä aiheutuva vastavoima.

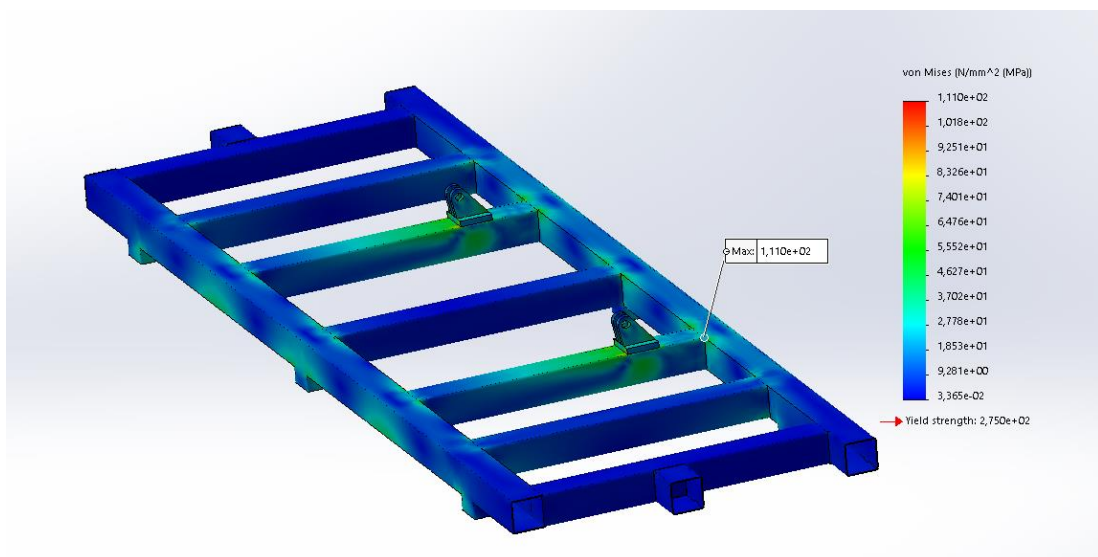
Poikkipalkkeihin tulevien hitsausseamien paikat täytettiin rungon materiaalilla vääriä tuloksia antavien jännityskeskittymien eliminoimiseksi.

Suurin voima 111N/mm², kohdistuu neliöputkipalkin hitsausliitokseen, johon hydraulisynterierien kiinnikkeet on asennettu. Kuvista 15–17 saadaan selville

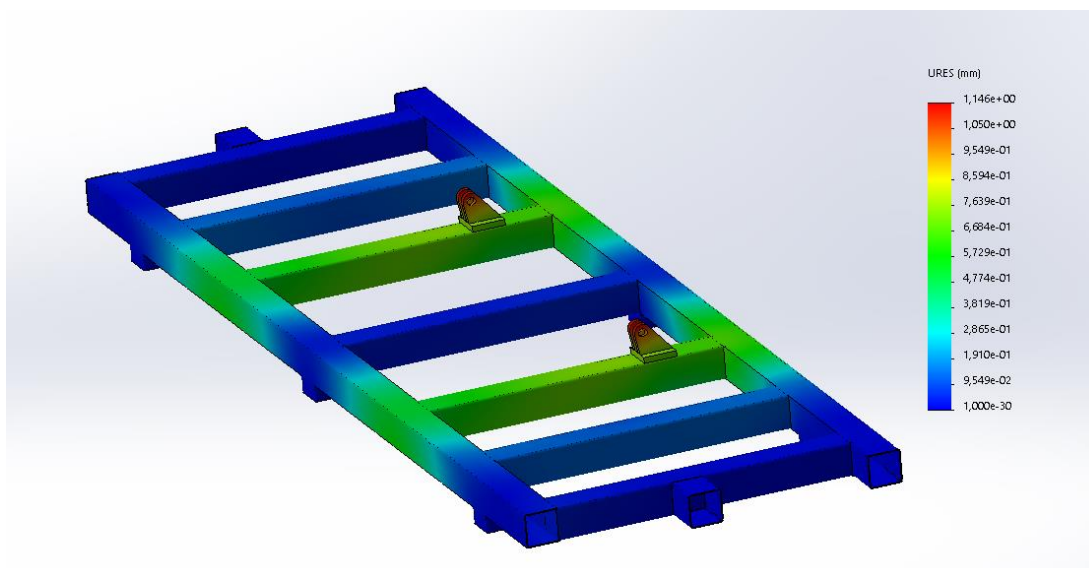
voiman suunta, runkoon kohdistuvat jännitykset, sekä rakenteessa tapahtuvat siirtymät.



Kuva 15. Kahteen hydraulisynterin kiinnikkeeseen jakautuneen voiman arvo ja suunta.



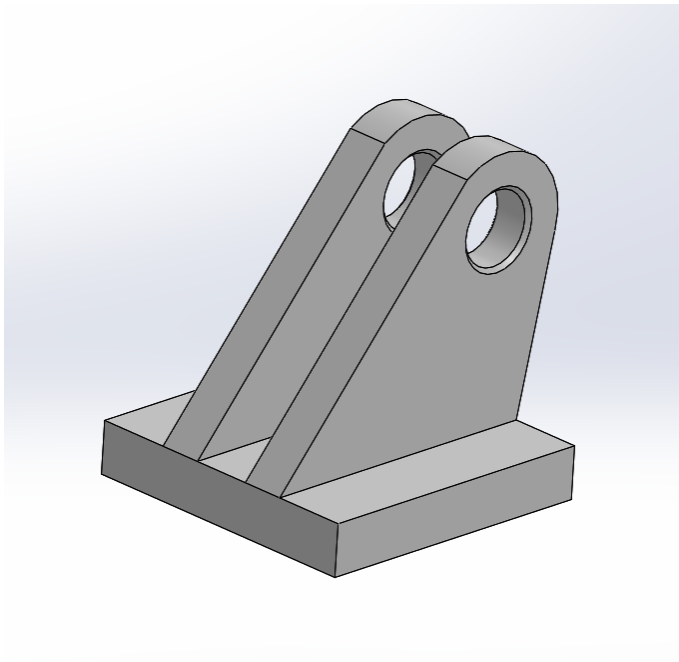
Kuva 16. Rungon lujuustarkastelu.



Kuva 17. Rungon rakenteessa tapahtuvat siirtymät.

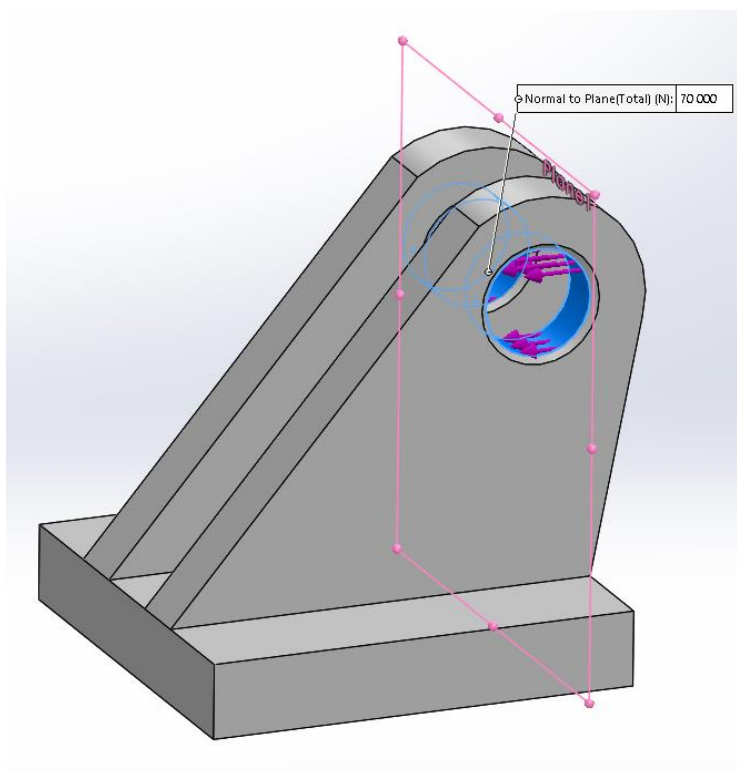
Betonivalun väljistä toleransseista johtuen, suunnitellaan roskatyöntimen runkoon säätöjalat. Tämän vuoksi sivuttaissuunnassa runkopalkkeihin jätetään säätövaraa 50 mm kummallekin puolelle. Sivuttaissuuntaisina säätöjalkoina käytetään 200 mm pitkiä 220 x 220 x 8 mm:n halkaistuja neliöputkipalkin paloja, jotka asennettaessa hitsataan yhteen. Asennusvaiheessa laite kohdistetaan ja lukitaan paikoilleen hitsaamalla säätöjalat kiinni laitteen runkoon.

Runkoon suunnitellaan kiinnikkeet kahdelle hydraulisylinterille. Näihin kiinnityspisteisiin kohdistuu runkoelementin suurimmat rasitukset ja ne ovat siksi erityisien tärkeitä ottaa huomioon lujuustarkastelussa. Kiinnikkeet asennetaan symmetrisesti yhtä kauas momenttipisteestä, jolloin työntövoima 140kN jakautuu tasan pisteisiin. Voiman suuruus yhtä kiinnikettä kohden on tällöin $140\,000\text{N}/2 = 70\,000\text{ Newtonia}$. Kuvassa 18 on nähtävissä kiinnikkeen muotoilu.

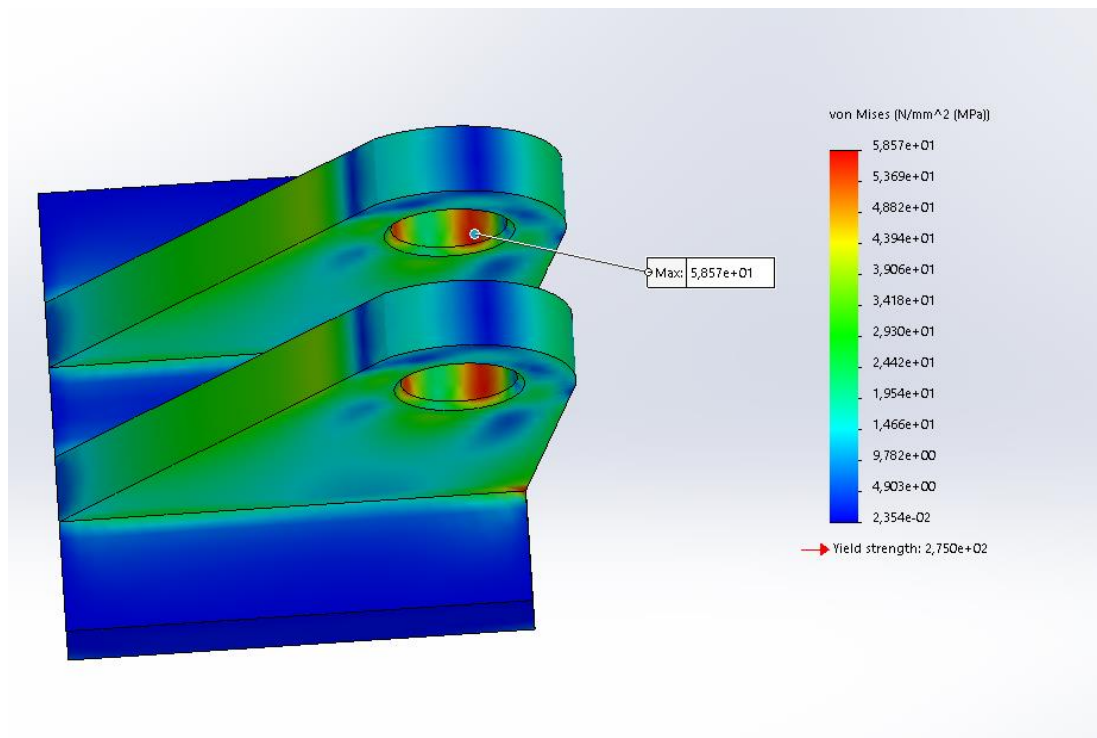


Kuva 18. Hydraulisylinterin hitsattava kiinnike.

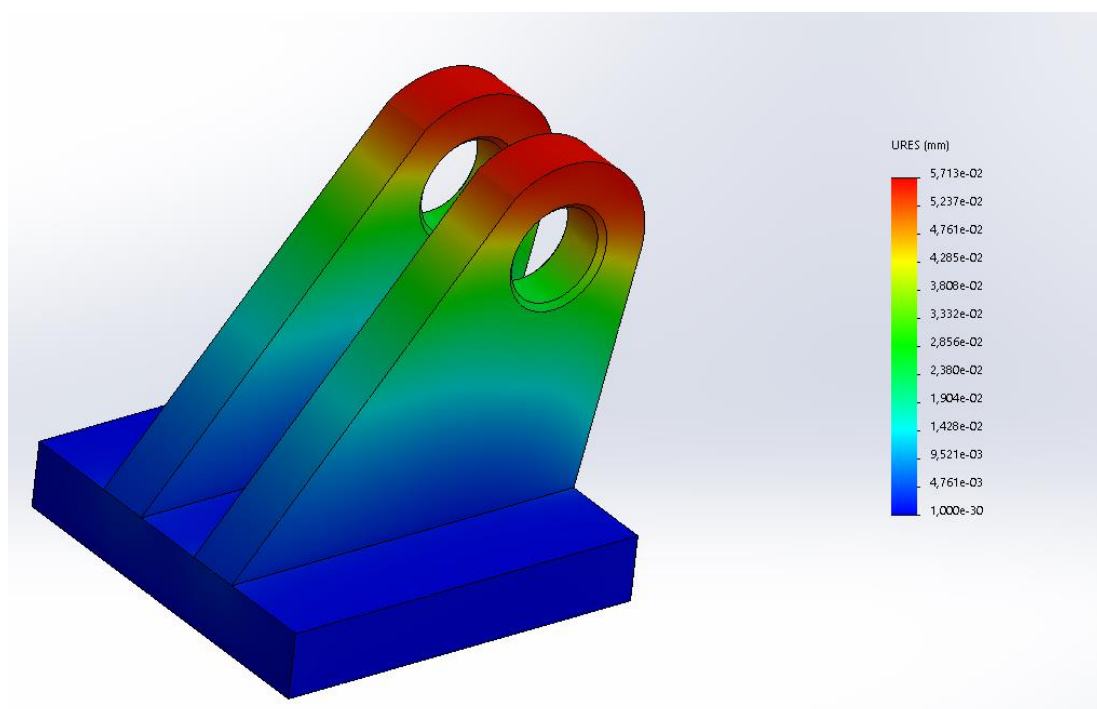
Hydraulisylinterin kiinnikkeen FEM-laskennassa maksimijännitykseksi saadaan 58.57 N/mm^2 . Kuvista 19–21 saadaan selville voiman suunta, jännitykset ja siirtymät.



Kuva 19. Hydraulisylinterin kiinnikkeeseen kohdistuvan voiman suunta lujuustarkastelussa.



Kuva 20. Hydraulisylinterin kiinnikkeen lujuustarkastelu SolidWorks simulation ohjelmalla.

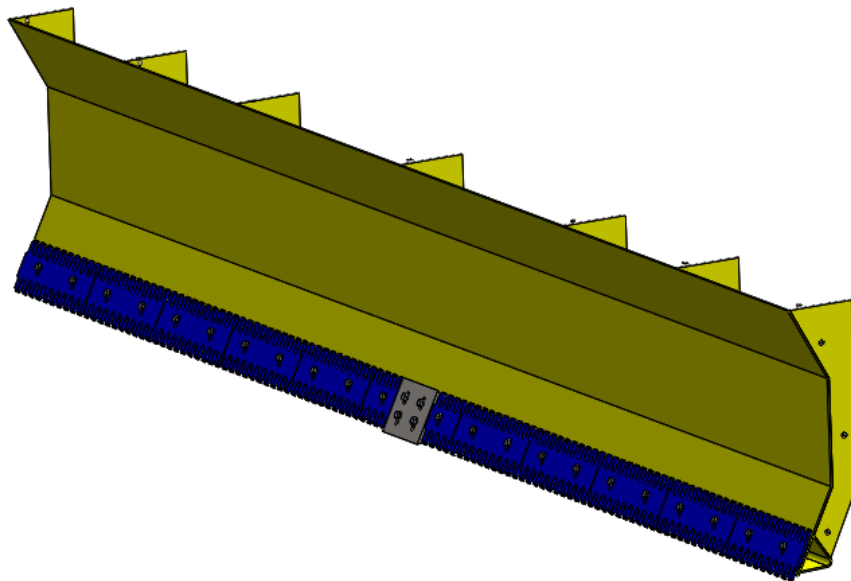


Kuva 21. Kuormituksen aiheuttamat siirtymät sylinterin kiinnikkeessä.

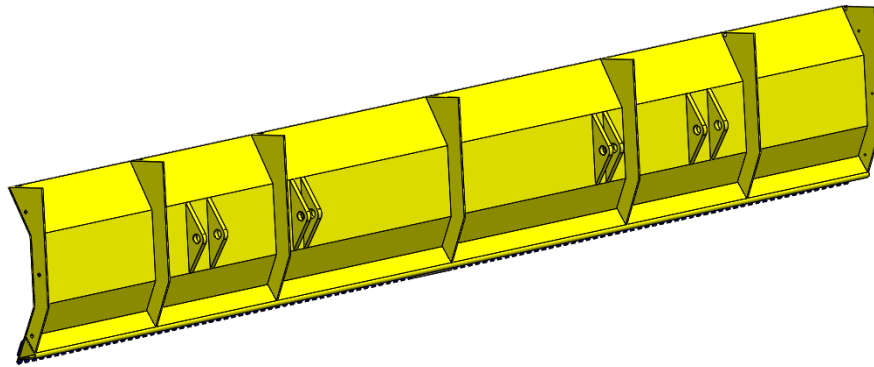
5.3 Työntölevyn suunnittelu

Työntölevyn suunnittelussa valittiin kulmikas muoto pyöreään sijaan. Syynä tähän on yksinkertaisempi valmistettavuus ja muotoilu. Tämä helpottaa myös muiden työntimeen kiinnitettävien osien, kuten vahvikelevyjen suunnittelua.

6 900 mm leveä työntölevy valmistetaan kahdesta 8 mm:n vahvasta S355 teräslevystä, jotka hitsataan tuotantolinjalla yhtenäiseksi kappaleeksi. Työntölevyn rakennetta tuetaan seitsemällä pystysuuntaisella vahvikelevyllä ja yhdellä vaakasuuntaisella kulmaraudalla, joka on taivutettu 120 asteen kulmaan auran alaosaan. Työntölevyyn ei asenneta hydraulista kallistusta, vaan se lukitaan putkipalkeilla kiinteäksi. Palkit on kuitenkin mitoitettu siten, että niiden tilalle on mahdollista vaihtaa 300 mm:n iskupituudella olevat hydraulisylinterit tarvittaessa, jos tällainen liike katsotaan laitteesta saadun käyttökokemuksen karttuessa tarpeelliseksi. Kuvasta 22 ja 23 on nähtävissä työntölevyn muotoilu

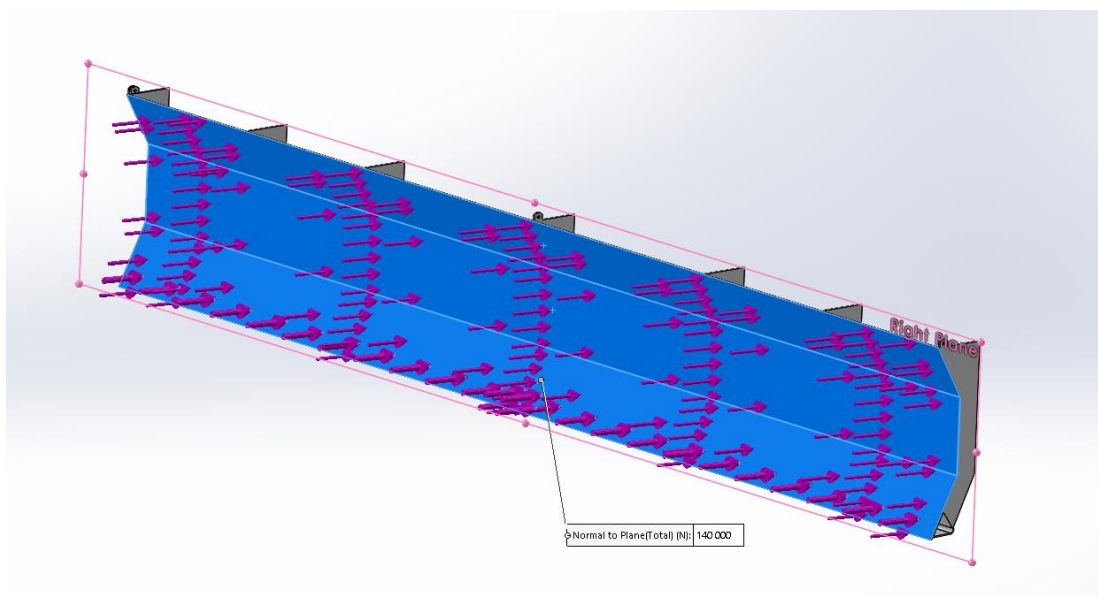


Kuva 22. Roskатыöntimen työntölevy edestä.

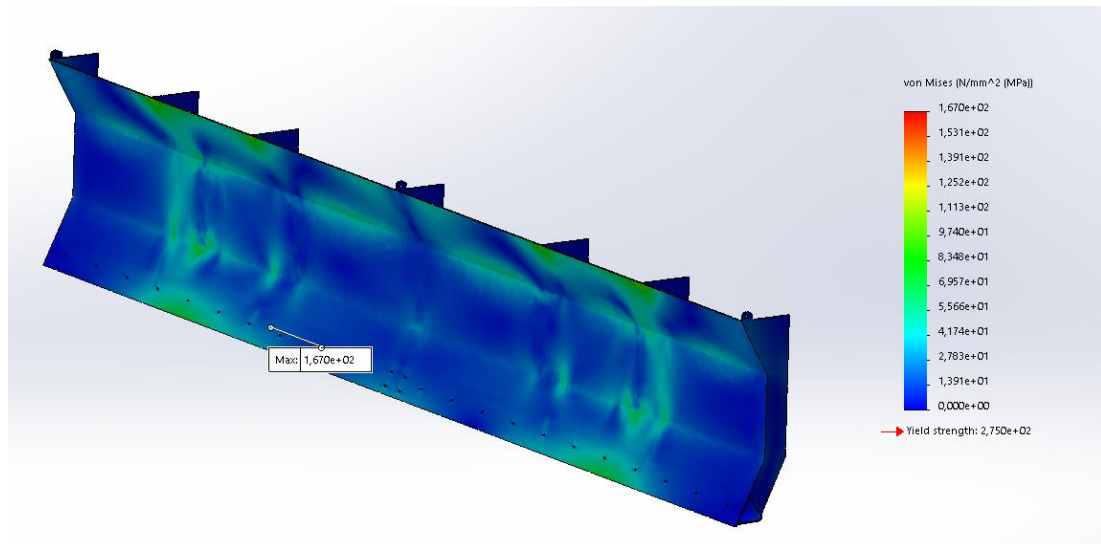


Kuva 23. Roskатыöntimen työntölevy takaa.

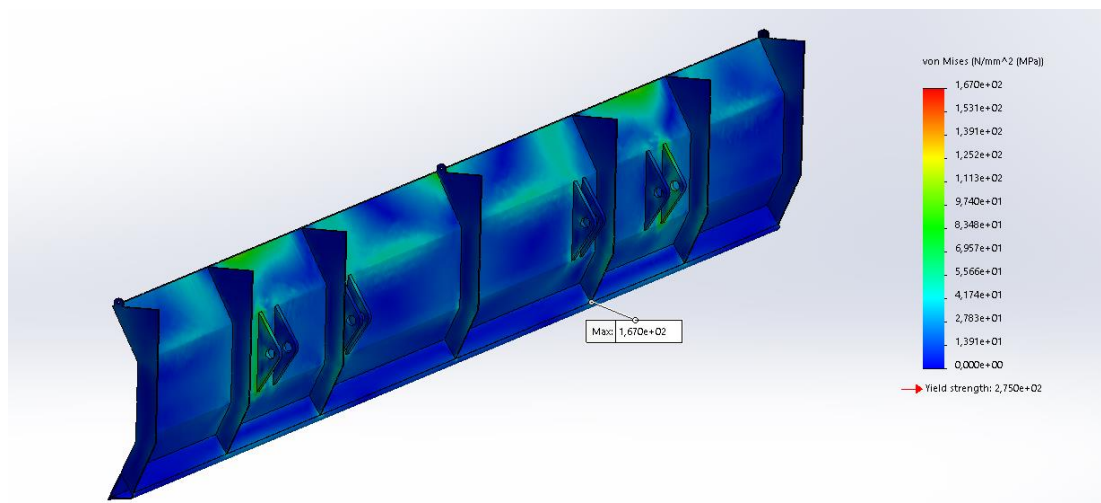
Työntölevyn FEM laskuissa (Kuvat 24–27) sen pintaan kohdistetaan 140kN tasainen kuormitus. Tukipisteinä toimivat hydraulisylinterin kiinnityspaikat. Suurimmaksi jännitykseksi rakenteessa saadaan 167N/mm^2 .



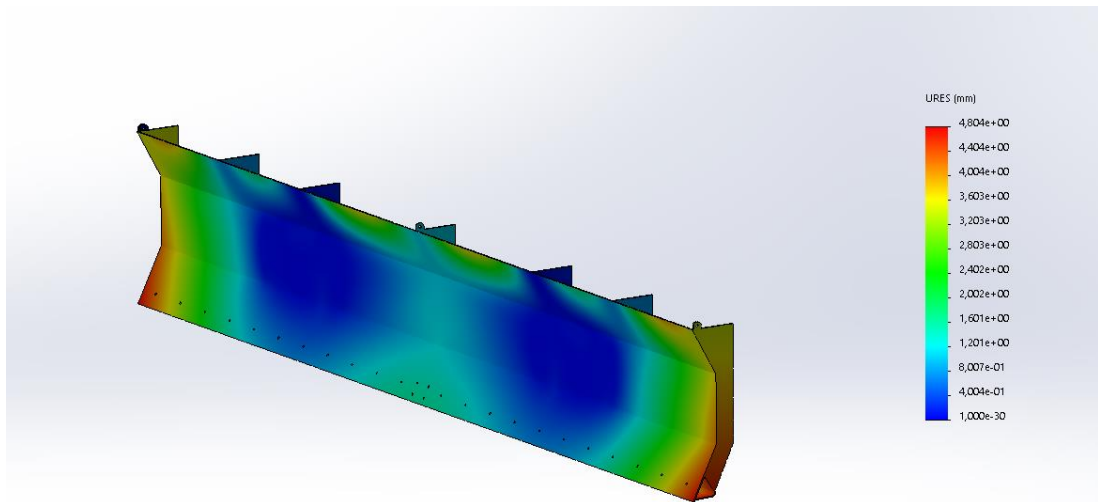
Kuva 24. Voiman suunta FEM laskennassa.



Kuva 25. Työntölevyn lujoustarkastelu edestä.

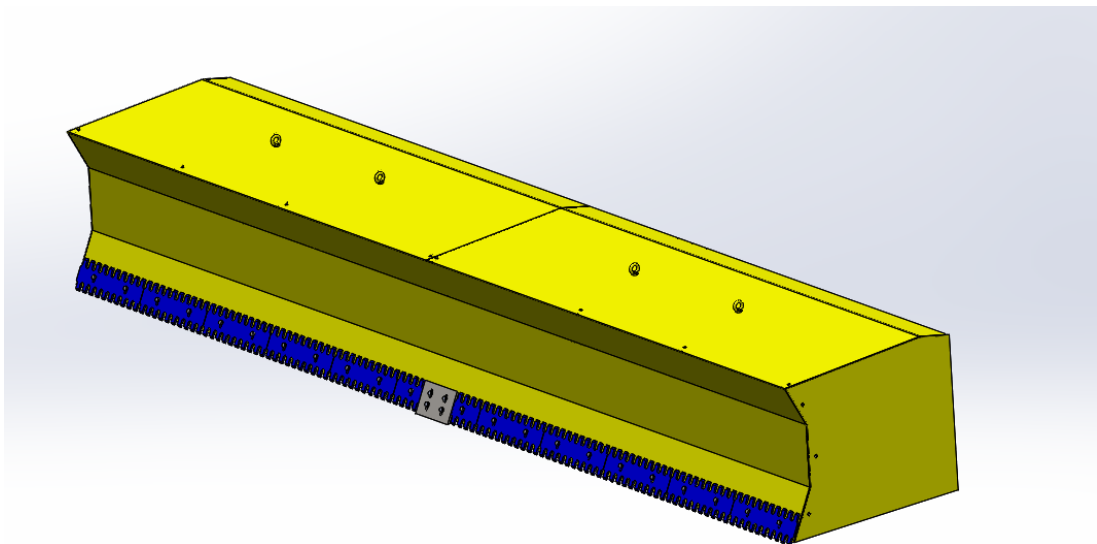


Kuva 26. Työntölevyn lujoustarkastelu takaa.

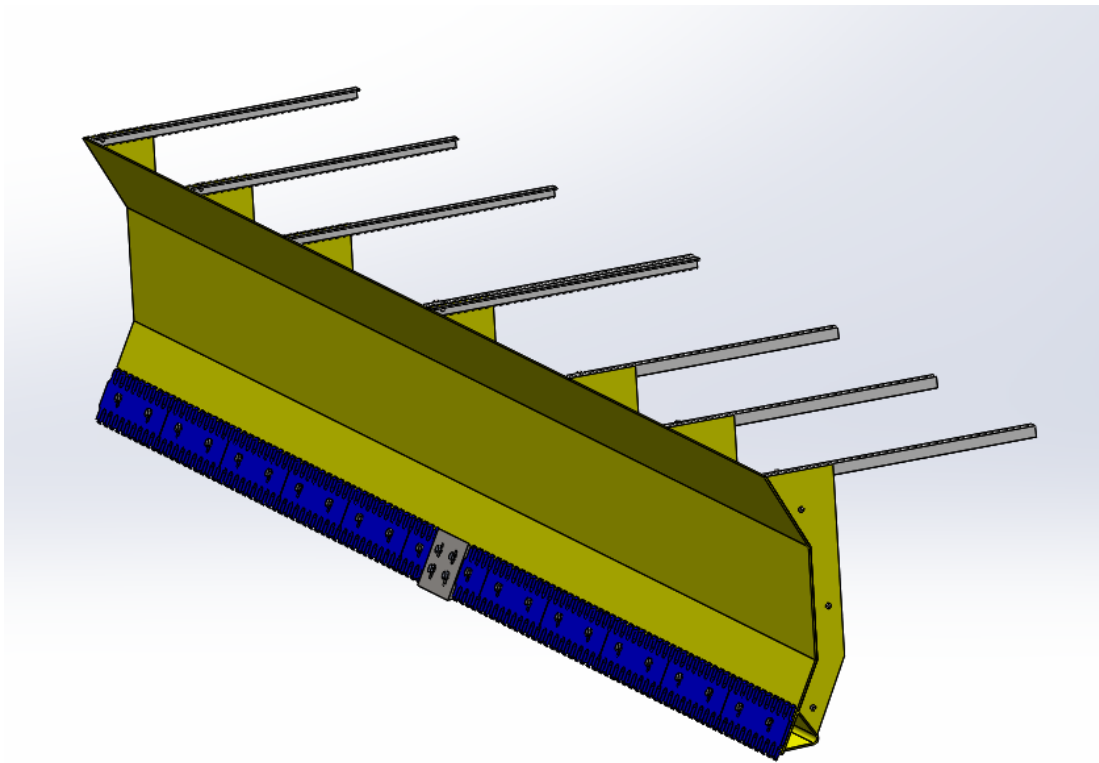


Kuva 27. Työntölevyssä tapahtuvat siirtymät.

Työntölevy suojataan päältä ja sivuilta teräslevyillä, joiden tarkoituksena on estää roskien pääsy sen taakse. Pienikokoisen puuroskan pitäminen poissa perustuksessa olevasta roskatyöntimen syvennyksestä on yksi tämän projektin haastavimmista ongelmista, sillä alue on ahdas ja vaikeasti puhdistettava. Tämän vuoksi suojalevyt asennetaan työntölevyyn ruuviliitoksella, jotta ne olisi helppo siirtää huolto- ja puhdistustilanteessa. Levyihin tehdään nostosilmukkaruuveille kahdet kierteitetyt reiät, levyjen siirtämisen helpottamiseksi. Kuvisa 28–29 on nähtävissä työntimen suojalevyt ja levyjä tukeva rakenne.



Kuva 28. Työntölevy suojalevyt asennettuna.

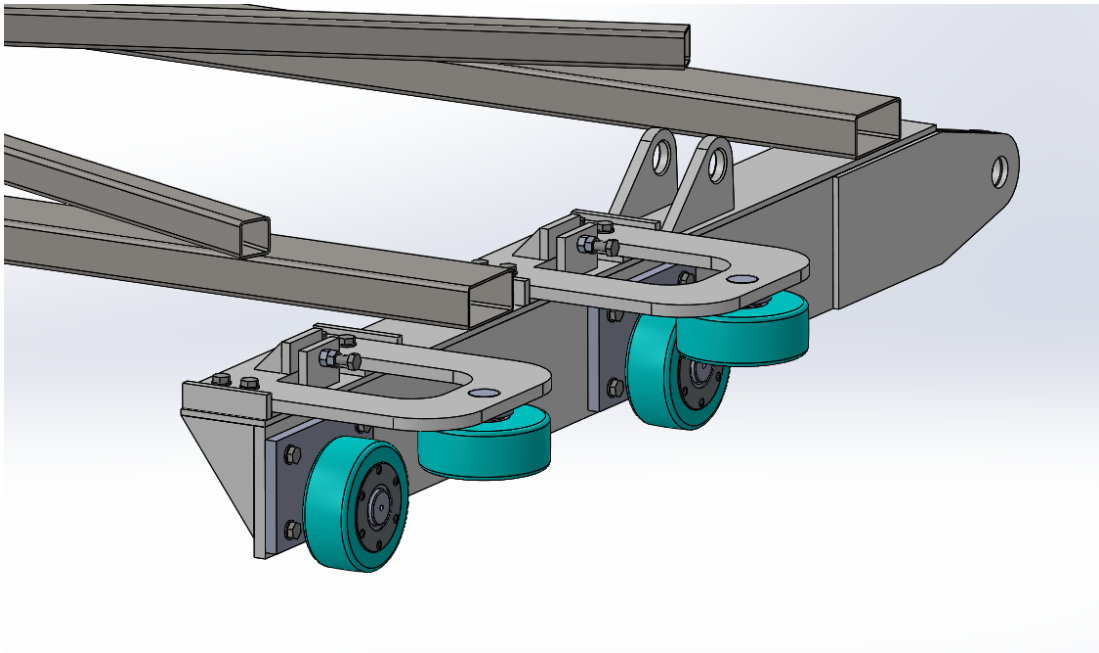


Kuva 29. Suojalevyjen tuenta toteutetaan kahdeksalla 40 x 40 x 5 mm L-palkilla.

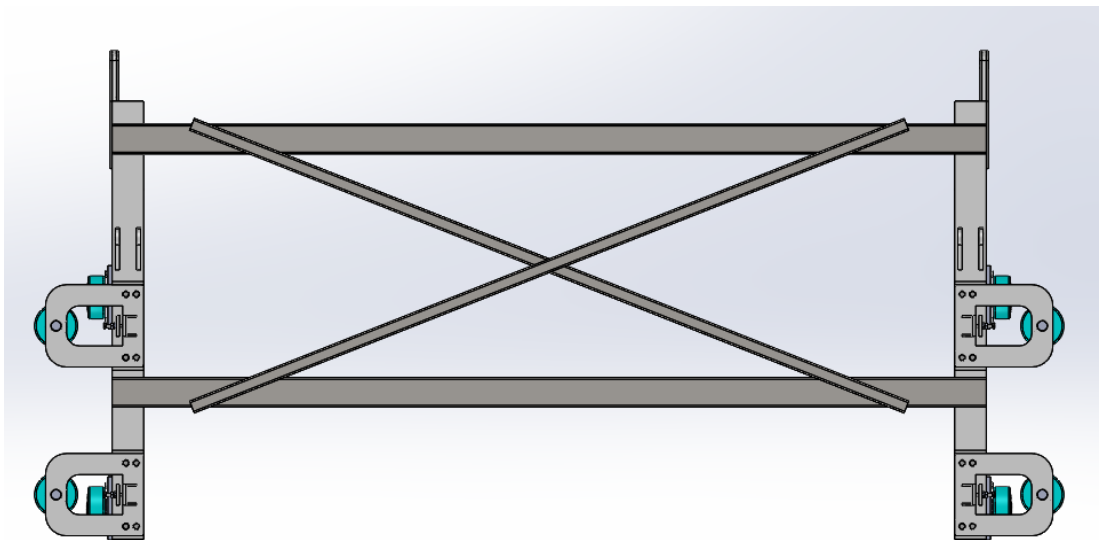
Työntölevyyn asennettavien hammasterien tarkoituksena on toimia kulutus-pintana puskulevyille, sekä rikkoa betonipinnalla oleva jää ja pakkaantunut lumi talvella. Terien materiaali on karkaistua booriseosteista hiilimanganiterästä, joka on Brinell kovuudeltaan 500HB (Metsätyö.fi www-sivut 2020). Terät kiinnitetään työntölevyyn säädettävällä pulttikiinnityksellä.

5.4 Kulkurullaston suunnittelu

Roskatyöntimessä on kaksi kulkurullastoa (Kuva 30), joissa on yhteensä kahdeksan pysty- ja sivuttaissuuntaista kulkurullaa. Rullastot on linkitetty putkipalkki- ja ristikkorakenteen avulla (Kuva 31). Rakenteen tarkoituksena on vahvistaa kahden rullaston välistä jäykkyyttä ja saada lineaariliikkeestä ulkoisen vääntökuormituksen alaisena mahdollisimman tasainen.



Kuva 30. Kulurullasto.

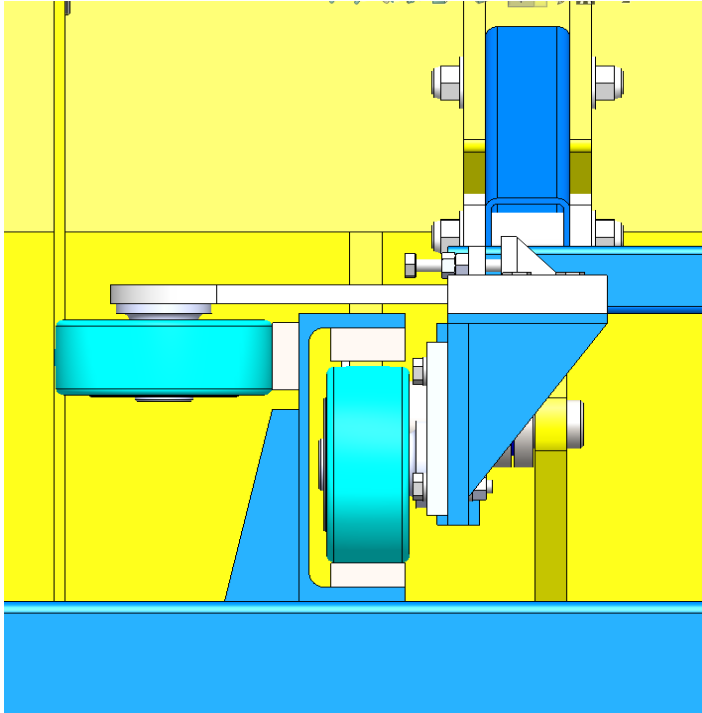


Kuva 31. Kulurullaston rakenne.

Käytännössä roskakuorma kerääntyy alueelle epätasaisiksi keoiksi. Tällaisessa tilanteessa työntölevyyn syntyy epätasaisia kuormituksia, jotka aiheuttavat esimerkiksi vääntöä auran.

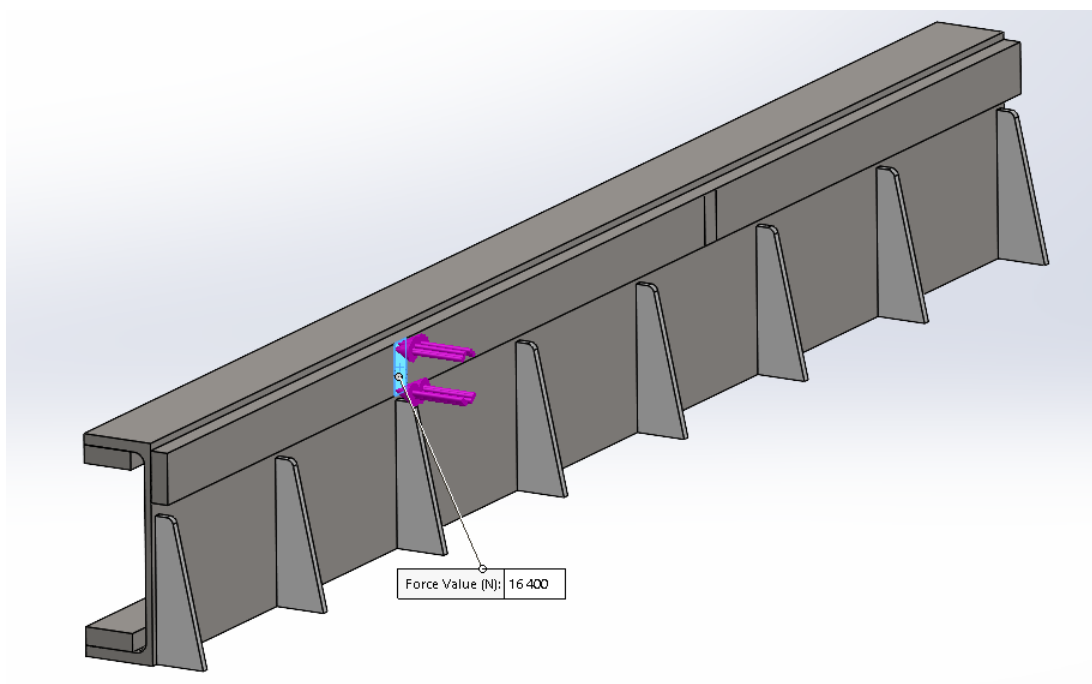
Teoreettista vääntökuormitustilannetta ja siitä aiheutuvia reaktioita on laskettu taulukossa 5. Tässä tilanteessa työntölevyyn kohdistuu tasainen voima vain toiselle puolelle työntölevyn pintaa. Voima on laskettu alueen tilavuudesta ja puunkuoren tiheydestä syntyneen massan avulla, lepokitkakerroin huomioon

Kulkukiskot ovat 240 x 90 x 8,5 mm S355 UPE-palkista valmistettuja. Kiskot ovat tuettu kahdeksalla hitsattavalla tukiosalla. Pystysuuntaiset tukirullat liikkuvat kulkukiskon sisällä kulutuspintojen päällä. Sivuttaistukirullat puolestaan liikkuvat U-palkin ulkoreunalle asetettua kulutuspintaa vasten. 25 mm:n vahva kulutuspinta on asennettu upotetulla pulttiliitoksella U-palkkiin huoltoa ajatellen. Tämä asetelma on nähtävissä kuvasta 32.

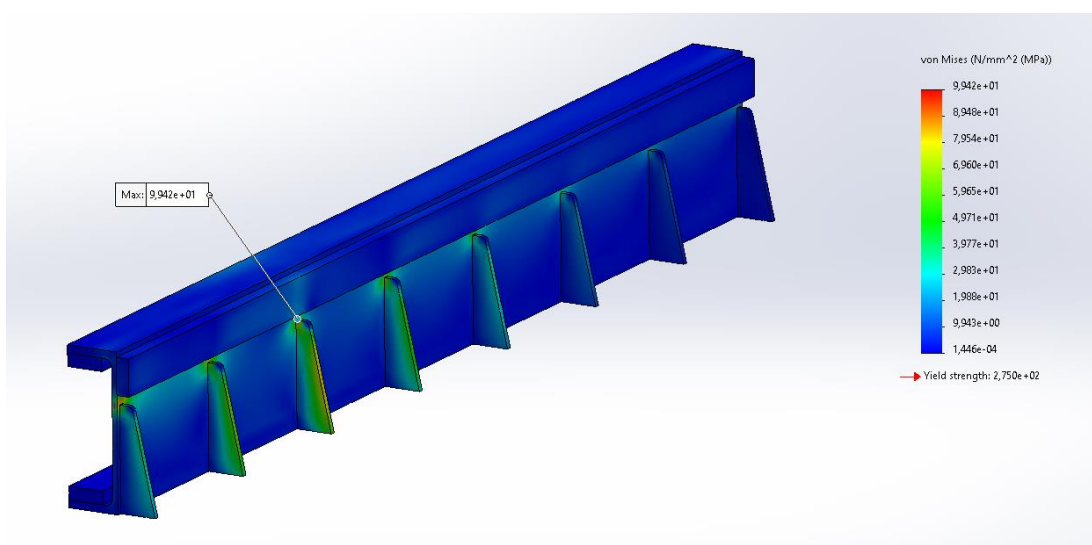


Kuva 32. Kulkukisko ja rullasto.

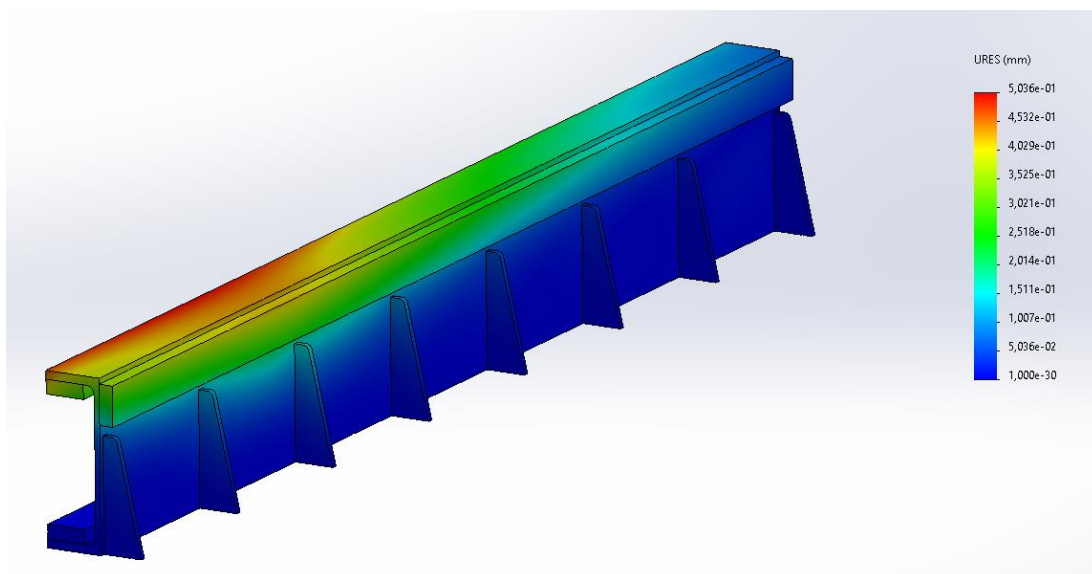
Laskuista (Taulukko 5) saatiin selville, että sivutukirulla kohdistaa kulkukiskoon 16,4 kilonewtonin pistekuorman. Suurin jännitys 99.42 N/mm² suuntautuu hitsatun tukipalan ja kulkukiskon väliseen saumaan. Kuvissa 33–35 on esitetty kulkukiskon lujuustarkastelu.



Kuva 33. Voiman suunta kulkukiskon lujuustarkastelussa.



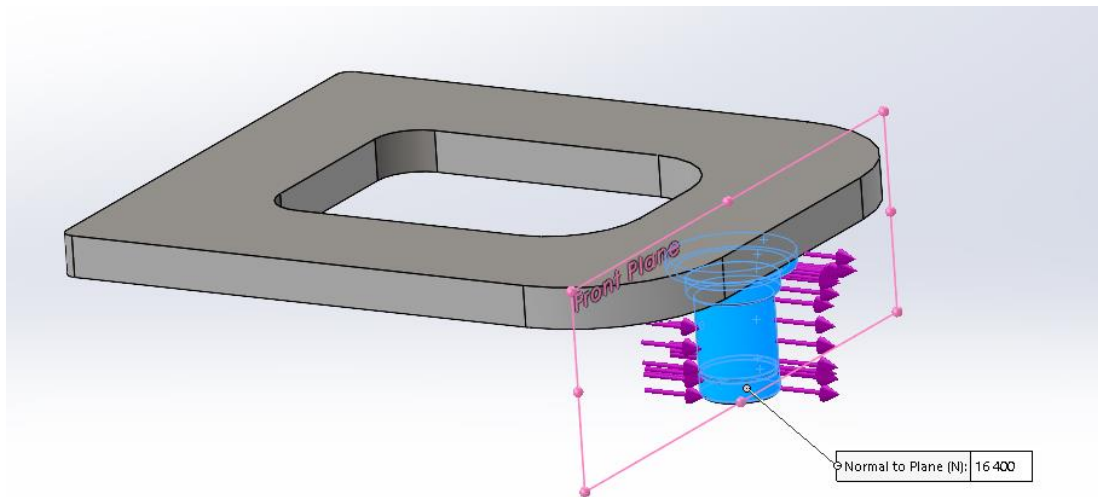
Kuva 34. Jännitykset kulkukiskon lujuustarkastelussa.



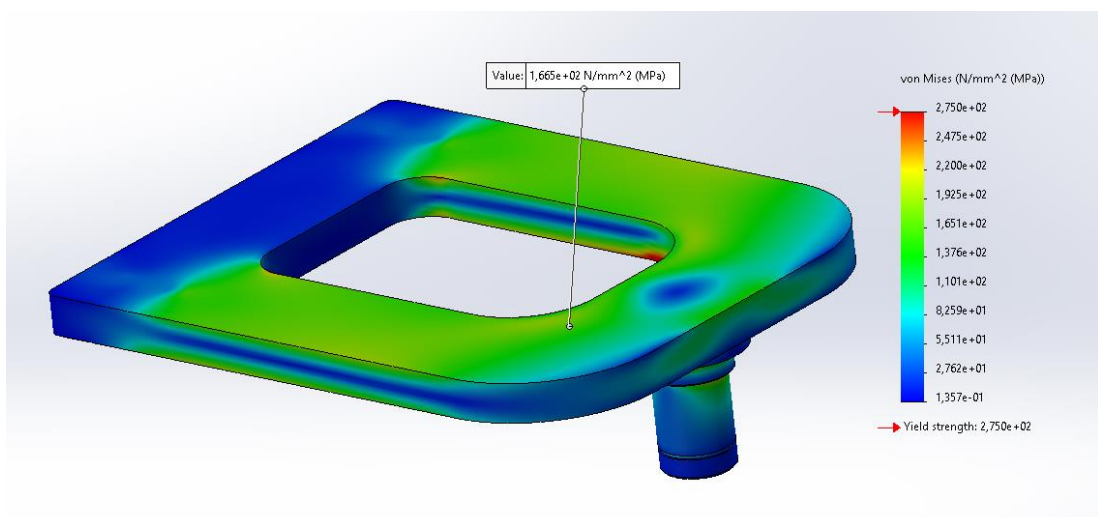
Kuva 35. Kuormituksen aiheuttamat siirtymät kulkukiskossa.

200 millimetriä halkaisijaltaan olevat kulkurullat on valmistettu kylmämuovattavasta S355MC teräksestä. Jokaisessa rullassa on kaksi kappaletta urakuula-laakereita. Yhden laakerin suurin sallittu dynaamisen peruskuormituksen arvo on 43,6kN (SKF www-sivut 2020). Koska laakereita on kaksi kappaletta jokaista kulkurullaa kohden, voidaan tämä arvo kaksinkertaistaa. Laakereiden maksimikuormitusarvoksi saadaan tällöin 87,2kN, eli laakerointi kestää siihen kohdistuvan säteittäisen voiman (Taulukko 5). Tukirullat on suunniteltu kestämään laakereiden maksimikuormitukset, jonka vuoksi niille ei tehdä erillistä lujuustarkastelua.

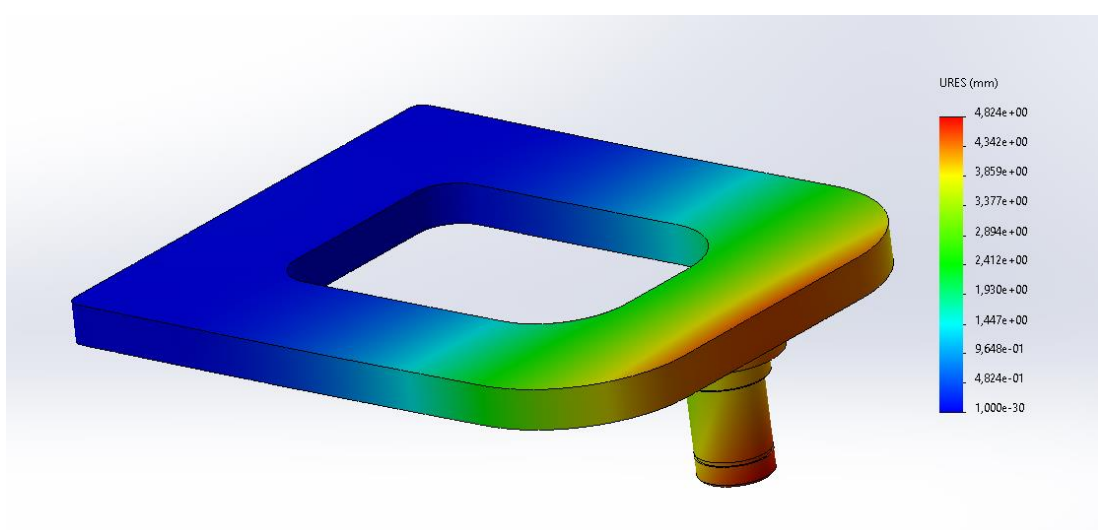
Sivutukirullat ovat kiinni säädettävässä telineessä, joka on valmistettu 20 mm paksusta S355 teräslevystä. Kuvissa 36–38 on esitetty sivutukirullan telineen lujuustarkastelu, sekä voiman suunta ja arvo.



Kuva 36. Voiman suunta sivutukirullan telineen lujuustarkastelussa.



Kuva 37. Jännitykset sivutukirullan telineen lujuustarkastelussa.



Kuva 38. Siirtymät sivutukirullan telineen lujuustarkastelussa.

5.5 Hydrauliiikka

Työntövoiman laite saa kahdesta Ø100 x 70–1100 mm:n hydraulisylinteristä. Roskатыöntimen hydrauliiikka ottaa käyttöpaineensa tukkipöydässä olevan nosturin koneikolta, jossa toimintapaine on 210 bar. Paine alennetaan hydraulisylinterien ominaispaineeseen 160 baariin käyttämällä paineenalennusventtiiliä ja jaetaan sylintereiden kesken paineenjakoventtiilillä. Hydrauliiikka-suunnittelu toteutetaan alihankintana, eikä siihen tulla tässä opinnäytetyössä syventymään.

5.6 Automaatio

Roskатыönnin suunnitellaan toimimaan automaattisesti raappakuljettimen kolien tyhjennyskertojen välillä. Automaatiikkaa on mahdollisuus säätää tukkien-lajittelulaitoksen valvomosta. Kolien tyhjennysaikaväli ja roskатыöntimen toimintakerrat voidaan laskea raappakuljettimen ketjun vetopituudesta ja nopeudesta. Sahalaitos on toiminnassa 24 tuntia vuorokaudessa, jolloin laskut suoritetaan tälle ajanjaksolle. Laskut ovat nähtävissä taulukosta 7.

Taulukko 7. Roskатыöntimen toimintakerrat 24 tunnin aikana. Esimerkki tapauksesta, jossa laite tekee työntöliikkeen jokaisella kerralla raappakolan tyhjäessä kuormansa.

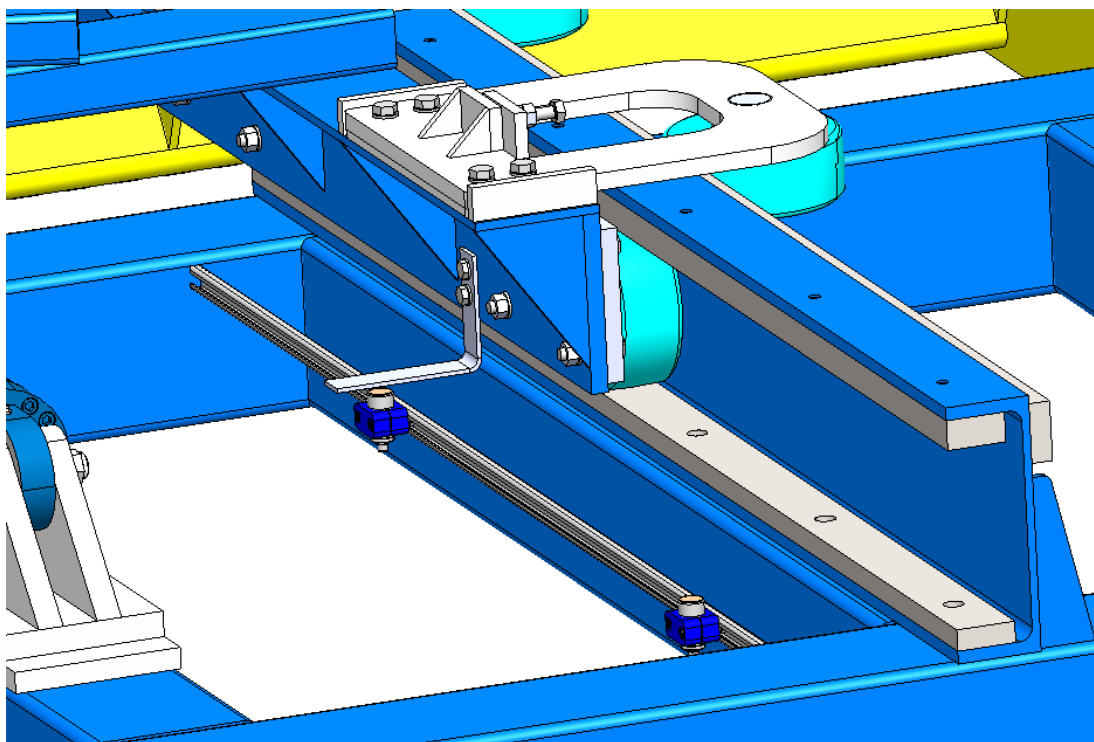
Raappakuljetin		
Vetopituus:	50 m	
Nopeus:	3,2 m/min.	
Kolat	2 Kpl	
Kolien tyhjennysväli:	(Vetopituus/Nopeus)/Kolien lukumäärä	
VASTAUS:	7,8125 minuuttia	
Roskатыöntimen toimintakerrat (24h)	184,32	Kertaa

Laite suunnitellaan toimimaan myös manuaaliohjauksella, joka mahdollistaa laitteen ajamisen haluttuun asentoon. Tätä toimintoa voidaan käyttää esimerkiksi huoltotilanteessa. Manuaaliohjausyksikkö asennetaan roskatyöntimen huoltoluukun läheisyyteen.

Hydraulisylintereissä olevat induktiiviset lähestymisanturit kalibroivat sylinterin nolla-asentoon jokaisen työntökerran jälkeen. Tämä ratkaisu takaa sylinterien tasaisen ja yhtäaikaisen liikkeen usean työntökerran jälkeenkin. Ilman tällaisia antureita, usean hydraulisylinterin järjestelmään syntyy useiden toimintakertojen aikana eroavaisuutta työntövarsien välillä.

Laitteen ääriasentojen tunnistamiseen käytetään kahta induktiivista IIM200 anturia. Tässä tapauksessa anturi toimii periaatteella, jossa se tunnistaa 10 mm etäisyydelle asetetun metallilevyn asentoa. Kun levy on anturin tunnistusalueella, laite pysähtyy ja vastaavasti levyn ollessa poissa laite liikkuu. Anturi on asennettu C-kiskoon laitteen runkoon ja siinä on säätömahdollisuus.

Kuvassa 39 on esitetty IIM200 antureiden asettelu laitekokoonpanossa.



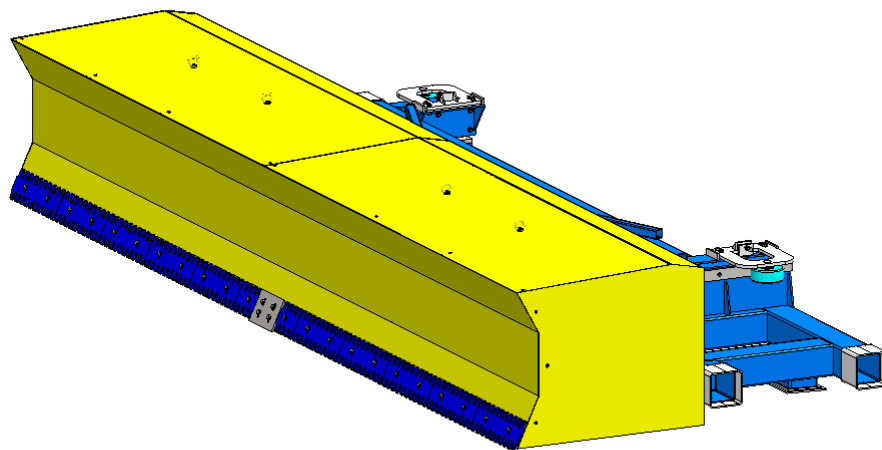
Kuva 39. Roskatyöntimen IIM200 anturit.

6 YHTEENVETO

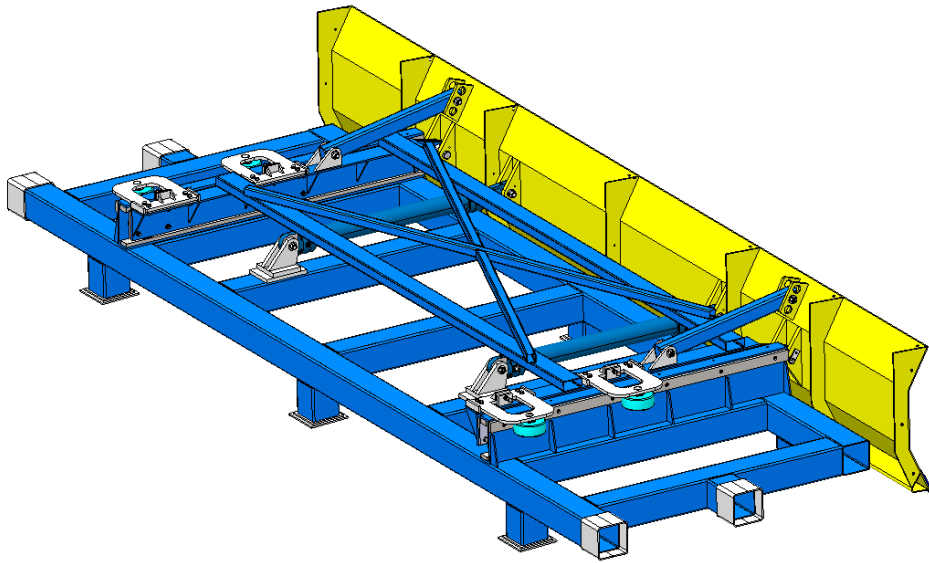
6.1 Lopputulos

Opinnäytetyössä suoritettiin roskatyöntimen täysimittainen koneensuunnittelu-prosessi. Kokoonpanoista ja osista laadittiin valmistuspiirustukset ja osaluet-telot. Turvallisuusselvitys, massalaskenta ja laitteen kustannusarvio ovat näh-tävissä liitteistä.

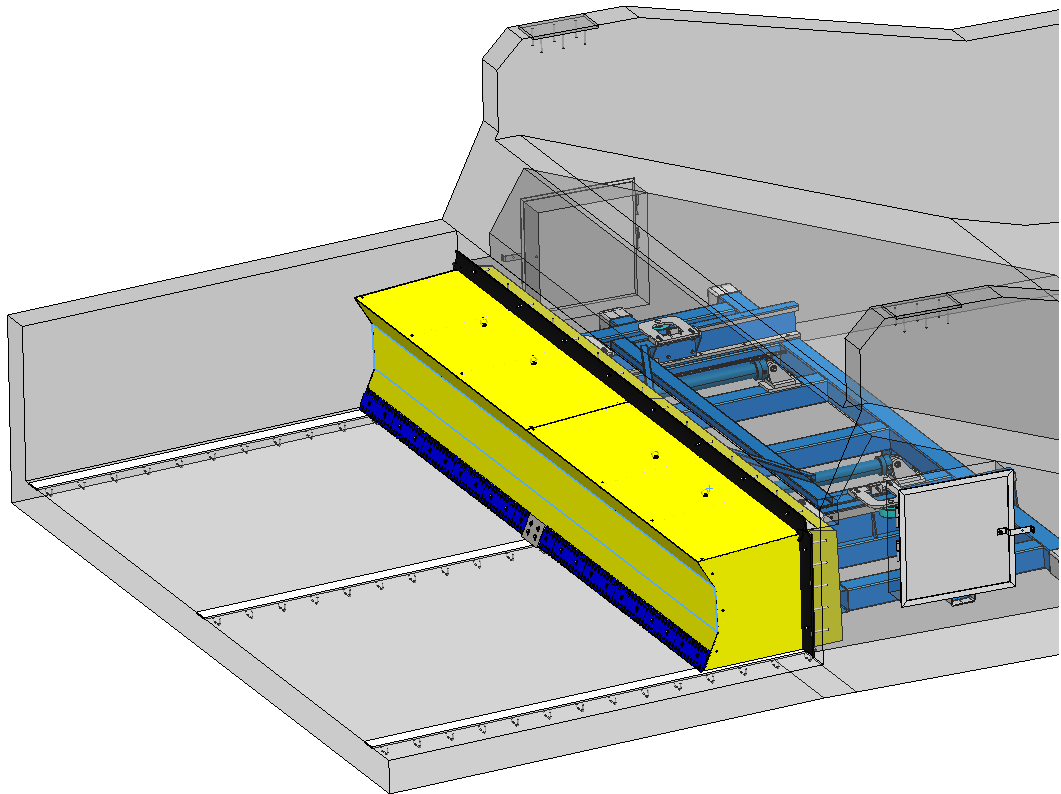
Projektityö eteni aikataulunmukaisesti pysyen toimeksiantajan ja asiakkaan ta-voitteissa, sekä vaatimuksissa. Opinnäytetyön tutkimustulos tuotti useita nä-kökulmia laitteen suunnittelun toteuttamiseen. Painopistearvioinnin avulla pys-tyttiin eri vaihtoehtoista valitsemaan parhaaksi koetut ideat. Työn haasteena oli innovoida laitteelle sen käyttöympäristöön soveltuva kulkumekanismi, joka mahdollistaa roskatyöntimen tasaisen liikkeen vaihtelevissa olosuhteissa. Ku-vissa 9-12 on esitetty opinnäytetyössä suunniteltu roskatyöntimen malli ja lait-teen toiminta perutukseen asennettuna.



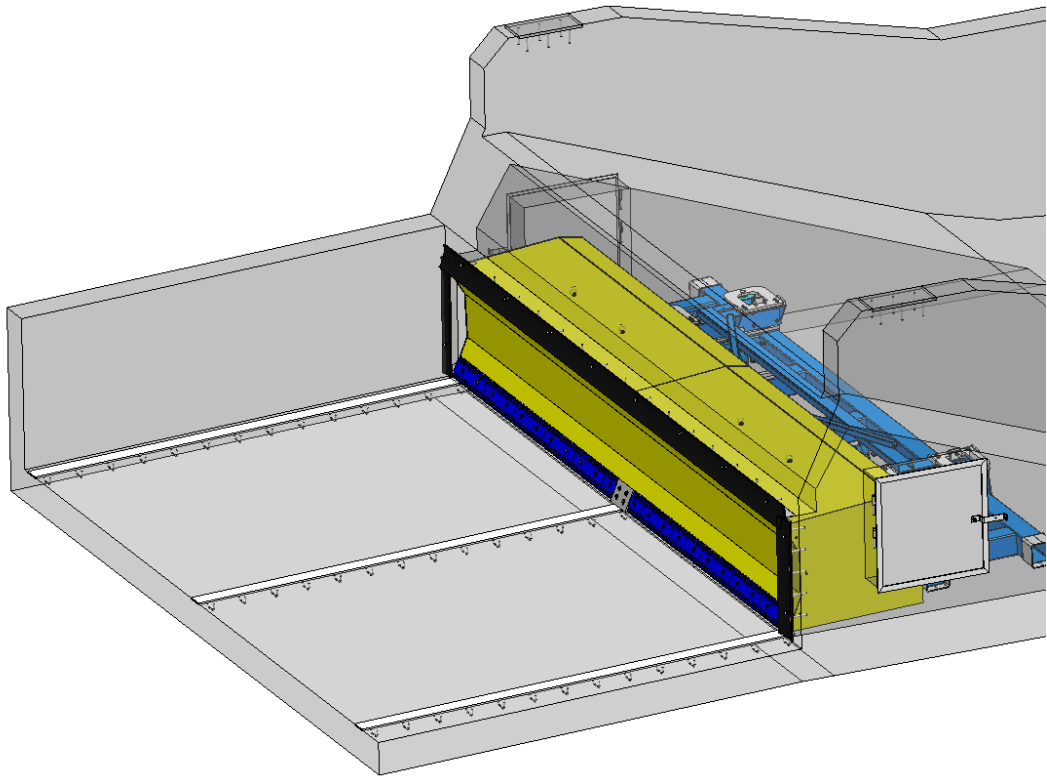
Kuva 9. Roskatyöntin.



Kuva 10. Roskатыönnin takaa ilman suojalevyjä.



Kuva 11. Roskатыönnin työntöasennossa perustukseen asennettuna.



Kuva 12. Roskätönnin aloitusasennossa perustuksen sisällä.

6.2 Pohdinta

Roskätönnin on ainutlaatuinen laite koko sahateollisuuden saralla, eikä vastaa konetta ole aiemmin tukinlajittelulaitoksissa käytetty. Laitteen todellinen toimivuus ja tarkoituksenmukaisuus saadaan selville vasta käytännön tuotantoajossa. On melko todennäköistä, että laitteeseen tehdään parannuksia käyttökokemuksen paljastaessa ongelmakohtia.

Eräänä kehittämisideana voidaan pitää työntölevyn kulmansäätämistä hydraulisesti, jos roskaa kerääntyy suojalevyistä huolimatta perustuksen syvennykseen. Työntölevyn tuenta on tämän vuoksi suunniteltu muutettavaksi hydrauliseksi melko yksinkertaisilla muutoksilla.

Puuroskan jäätyminen roska-alueen betonipohjaan on myös yksi huolta aiheuttava ongelma. Kovaksi pakkaantunut ja jäänyt roska saattaa aiheuttaa

vaikeuksia roskatyöntimen liikkuvuuteen ja esimerkiksi nostattaa koko työntölevyä, jos aurassa oleva terä ei riko jääkerrostumaa. Betonipohjaan voisi olla mahdollista valaa lämpövastukset, jotka pitävät alueen sulana talvella. Asiaa tulisi vakavasti miettiä ennen perustusten valamista, koska lämpövastukset ovat työläämpiä asentaa myöhemmin.

LÄHTEET

Silfverberg, P. 2007. Ideasta projektiksi projektityön käsikirja. Edita Publishing Oy.

Nordautomation Oy www-sivut 2020. Viitattu 3.9.2020. <https://nordautomation.fi/>

Sahateollisuuskirja www-sivut 2020. Viitattu 4.9.2020. <https://sahateollisuuskirja.fi/>

Saarineva, J. 1995. Lujuusoppi peruskurssi. Pressus Oy.

Lehtonen, U. 1975. Kone-elinten lujuusoppi. Otava.

Tampereen yliopiston www-sivut 2005. Viitattu 11.9.2020. http://www.tut.fi/vmv/2005/vmv_2_1_1.php

Leskinen, J. 1972. Tekniikan käsikirja 2. K.J Gummerus Oy.

Elementtimenetelmän perusteet. n.d. Sessio 01. Johdanto. Elementtiverkko. Solmusuureet. DIGMA. Viitattu 14.9.2020. <http://www2.amk.fi/digma.fi/www.amk.fi/material/attachments/van-haamk/digma/5h5F5G0jJ/FES01.pdf>

Suomen standardisoimisliiton www-sivut 2020. Viitattu 14.9.2020. https://www.sfs.fi/standardien_laadinta/mita_standardisointi_on

SFS-EN ISO 12100. Koneturvallisuus. Yleiset suunnitteluperiaatteet. Riskin arviointi ja riskin pienentäminen. 2010. Suomen standardisoimisliitto SFS. Helsinki: SFS. Viitattu 10.9.2020. <https://sfs.fi/>

Ympäristöministeriön www-sivut 1998. Rakenteiden varmuus ja kuormitukset. Viitattu 14.9.2020. <https://www.rakennustieto.fi/Downloads/RK/RK020102.pdf>

Ympäristöhallinnon www-sivut, N.d. Katon lumikuorman arviointi. Viitattu 18.9.2020. <http://wwwi2.ymparisto.fi/i2/95/lumikuormanarviointi.html>

Vttresearch www-sivut 2016 Viitattu 18.9.2020.
<https://www.vttresearch.com/sites/default/files/pdf/technology/2016/T258.pdf>

Mäkelä, M., Soininen, L. & Tuomola, S. & Öistämö, J. 2005. Tekniikan kaa-
vasto. Tammertekniikka/AMK-Kustannus Oy.

SFS-EN 1990+A1+AC. Rakenteiden suunnitteluperusteet. 2006. Suomen
standardisoimisliitto SFS. Helsinki: SFS. Viitattu 18.9.2020. <https://sfs.fi/>

Metsätyö.fi www-sivut, N.d. Viitattu 9.11.2020. [https://metsatyo.fi/tuote/ham-
mastera/](https://metsatyo.fi/tuote/ham-mastera/)

SKF www-sivut 2020. Viitattu 18.11.2020. [https://www.skf.com/uk/indust-
ries/general-machinery/compressors/types/reciprocating-compressors/pro-
ductid-62211-2RS1](https://www.skf.com/uk/industries/general-machinery/compressors/types/reciprocating-compressors/productid-62211-2RS1)

Jokinen, T. 2001. Tuotekehitys. Aalto-yliopisto. Viitattu 20.11.2020.
<http://lib.tkk.fi/Reports/2010/isbn9789526033204.pdf>

LIITTEET

LIITE 1. Roskатыöntimen turvallisuusselvitys

ASIAKAS				KÄYTTÖ:	SÄHKÖ	TEHO	160,0	Bar					
PROJEKTI	1349			x	HYDRAULINEN	NOPEUS/NOPEUSALUE	5	m/min					
POSITIO	Roskatyönnin				SUORA	SUUNNANVAIHTOKÄYTTÖ							
KONEEN RAJA - ARVOT	Määritetyt raja-arvot. Ammattikäyttöön tarkoitettu kone.				HAMMASVAIHDE	SUORA							
PÄIVÄYS	24.11.2020				TAPPIVAIHDE	SUURIN KUORMA	140	kN					
LAATI	Henrik Wiik				KIILAHIHNAVÄLTYS	KÄYNTITAPA JATKUVA/KESI	Keskeytetty						
VAARATEKIJÖIDEN TUNNISTUS JA RISKIEN ARVIOINTI													
T=0= EI ESIINNY; T=1=EPÄTODENNÄKÖINEN;T=2=MAHDOLLINEN;T=3=TODENNÄKÖINEN													
V=VAKAVUUS V=1=VÄHÄISETVAHINGOT;V=2=MERKITTÄVÄT VAHINGOT;V=3=VAKAVAT VAHINGOT													
VAARATEKIJÖIDEN POISTO JA RAJOITUS													
R=T*V; R=1 - 2 EDELLYTTÄÄ TOIMENPITEITÄ; R=3 - 4 VAATII MAHD. TURVALAITTEITA; R=5 - 6 VAATII ERIT. HUOMIOTA													
TOIMINTAOHJE: suorita tunnistettujen vaaratekijöiden osalta riskin suuruuden arviointi RISKIN SUURUUDEN ARVIOINTIKAAVIOTA apuna käyttäen.													
Jäännösriskin													
suuruuden arviointi Käyttöohjeessa mainitaan:													
Vaaratekijä	Konedirektiivin 2006/42/EY liite 1	EN-ISO 12100:2010	Vaaratekijä esiintyy X ei esiinny O	Vaaran kuvaus	T	V	R	Toimenpiteet riskin vähentämiseksi	Jäännösriskin kuvaus	T	V	R	Jäännösriskin toimenpiteet ja suositukset
Nostotyöstä aiheutuvat vaaratekijät Kuorma- ja kuljetus, kuorman purku sekä asennustyöt	1.1.5 1.3.1	5.4 6.4.5.1 a&b	X	Nostosta aiheutuvat vaaratilanteet. Alle jäämisen ja puristumisen riski.	2	3	5	Riittävä suojaetäisyys nostotilanteissa. Nostoista tehdään nostosuunnittelua. Riittävä määrä nostopisteitä.	Henkilöt, jotka eivät tiedä/noudata turvallisuusohjeita.	1	2	2	Ohjeistus, opastus. Turvaetäisyydet. Koneen hyödyntäjän velvollisuus opastaa alueella liikkuvia henkilökuntaan kuulumattomia henkilöitä.
Mekaaniset vaaratekijät Viiltävät, joustavat tai putoavat osat. Paine, pneumaattiset tai hydrauliset vaarat, liike-energia. Liikkuvat ja pyörivät kone-elimet. Epätasainen tai liukas pinta, terävät reunat.	1.3 1.3.1 1.3.2 1.3.3 1.3.4 1.3.6 1.3.7 1.3.8	6.2.2.1 6.2.2.2 6.2.3 a &b 6.2.6 6.2.10 6.3.1-3 6.3.5.2-6 6.4.1 6.4.3-5	X	Laitteen liikkeestä johtuvat vaaratekijät.	2	3	6	Riittävä suojaetäisyys roskatyöntimen työntöalueella. Kamera roska-alueelle ja turvalokkenno tai valoverho. Varoitusvalo ilmoittamaan laitteen toiminnasta. Vaara-aluemerkintä roska-alueella.	Henkilöt, jotka eivät tiedä/noudata turvallisuusohjeita. Pyöräkuormaajan kuljettajan huolimattomuus. Turvalaitteet eivät tuntemattomasta syystä reagoi tilanteeseen.	1	2	2	Ohjeistus, opastus. Turvaetäisyydet. Koneen hyödyntäjän velvollisuus opastaa alueella liikkuvia henkilökuntaan kuulumattomia henkilöitä. Pyöräkuormaajan kuljettajan riittävä koulutus.
Puristumis- tai takertumisvaara	1.3 1.3.8	6.2.2.1 b 6.2.14 6.3.3.2.6	X	Huoltotilanteissa mahdollista on laitteen liikkuviin osiin takertuminen ja puristuminen.	1	2	2	Huoltoluukussa rajakytkin, joka estää laitteen toiminnan luukun ollessa auki. Turvalukko asennetaan huoltotilanteessa.	Henkilöt, jotka eivät tiedä/noudata turvallisuusohjeita.	1	1	1	Ohjeistus, opastus. Turvaetäisyydet. Koneen hyödyntäjän velvollisuus opastaa alueella liikkuvia henkilökuntaan kuulumattomia henkilöitä. Ohjeet kunnossapitotöihin. Huoltohenkilöstön koulutus.
Leikkautumis- tai viiltymisvaara	1.3 1.3.8	6.2.2.1 b 6.3.2.1 6.3.3.2.6 6.2.12.2	X	Huoltotilanteissa mahdollista. Laitteessa teräviäkulumia.	2	1	2	Turvalukko ja kytkin hydauliikassa ja ovissa, jotka estävät laitteen toiminnan luukun ollessa auki. Huoltohenkilöstö	Henkilöt, jotka eivät tiedä/noudata turvallisuusohjeita.	1	1	1	Ohjeistus, opastus. Turvaetäisyydet. Koneen hyödyntäjän velvollisuus opastaa alueella liikkuvia henkilökuntaan kuulumattomia henkilöitä.
Hankaus- tai hiertymisvaara	1.3 1.3.8		X	Huoltotilanteessa.	1	1	1	Suojainten käyttö kunnossapitotöissä.	Henkilöt, jotka eivät tiedä/noudata	1	1	1	Ohjeet kunnossapitotöihin. Huoltohenkilöstön koulutus.
Nieluunjoutumis- tai loukkuun jäämisvaara	1.3 1.3.8 1.5.14	6.2.14 6.3.2.1 6.3.5.3	O				0					0	
Putoavat ja sinkoutuvat osat	1.1.3 1.2.1 1.3.3 1.3.7	6.3.2.1 6.3.3.2.1	X	Roskaraapalta putoava kuorirooska.	2	1	2	Suojainten käyttö kunnossapitotöissä. Raappa ei toiminnassa huollon aikana. Valvomossa etäpysäytysmahdollisuus	Henkilöt, jotka eivät tiedä/noudata turvallisuusohjeita.	1	1	1	Ohjeistus, opastus. Turvaetäisyydet. Koneen hyödyntäjän velvollisuus opastaa alueella liikkuvia henkilökuntaan kuulumattomia henkilöitä.
Rikkoutuminen käytön aikana	1.3.2		O				0					0	
Sähköstä johtuvat vaaratekijät Valokaari, sähkömagneettinen ilmiö, sähköstaattinen ilmiö, jännitteiset osat, ylikuormitus, oikosulku.	1.5.1 1.5.2 1.5.5 1.6.3	6.2.9 6.3.2 6.3.3.2 6.3.5.4 6.4.4 6.4.5	X	Valaistuksesta aiheutuva sähköiskuvaara huoltotilanteessa.	1	1	1	Valaisimet suojattu riittävästi. Standardien mukaiset sähkölaitteet.	Henkilöt, jotka eivät tiedä/noudata turvallisuusohjeita.	1	1	1	Ohjeistus, opastus. Turvaetäisyydet. Koneen hyödyntäjän velvollisuus opastaa alueella liikkuvia henkilökuntaan kuulumattomia henkilöitä. Ohjeet kunnossapitotöihin. Huoltohenkilöstön koulutus.
Odottamaton käynnistyminen, toiminta-alueen ylittyminen tai muu virhetointo	1.2.1 1.2.3	3.31 3.6 6.2.11.1 6.3.3.2.5	O				0						

[illegible]

LIITE 2. Roskatyöntimen massalaskenta

ROSKATYÖNTIMEN MASSALASKENTA		
	Massa	Yksikkö
Runko	1210	Kg
Työntölevy+suojalety	1200	Kg
Kulurullasto	700	Kg
Kulurullat 2X	200	Kg
Hydraulisylinterit 2X	200	Kg
Hydraulisylinterien kinnikkeet 4X	80	Kg
MASSA YHTEENSÄ:		3590 Kg