



TAMPEREEN  
AMMATTIKORKEAKOULU

# KETJUPESURIN SUUNNITTELU

Arttu Rantala

Opinnäytetyö  
Lokakuu 2016  
Kone- ja tuotantotekniikka  
Tuotekehitys



## TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Kone- ja tuotantotekniikka  
Tuotekehitys

RANTALA ARTTU:  
Ketjupesurin suunnittelu

Opinnäytetyö 33 sivua, joista liitteitä 3 sivua  
Lokakuu 2016

---

Tässä opinnäytetyössä suunniteltiin ketjupesuri Millog Oy:lle Lylyn toimipaikkaan. Ketjupesuri suunniteltiin mobiiliviestimaston huoltoa varten. Huollon yhteydessä maston puomisto puretaan, ketjut puhdistetaan ja tarkistetaan visuaalisesti. Pesurin suunnittelutyön ensisijaiset tavoitteet ovat huoltotyön tehostaminen ja työntekijöiden altistumisen vähentäminen käytettäville puhdistuskemikaaleille.

Millog Oy on osa Patria-konsernia ja se toimii Puolustusvoimien strategisena kumppanina. Yhtiö vastaa Maavoimien, Merivoimien ja sovituin osin Ilmavoimien materiaalin kunnossapidosta. Lylyn toimipaikka on yksi Millogin 23 toimipaikasta. Lyly sijaitsee Juupajoen kunnassa. Lylyssä on erikoistuttu viestikaluston asennus- ja huoltotoimintaan.

Ketjupesurin suunnittelutyö aloitettiin haastattelemalla työntekijöitä heidän aikaisemmista työmenetelmistään ketjujen puhdistamiseksi. Haastattelun avulla saaduista tuloksista muodostettiin ketjupesurin vaatimuslista, jonka perusteella varsinainen suunnittelutyö aloitettiin. Kaikki ketjupesuriin liittyvä suunnittelutyö toteutettiin Autodesk Inventor suunnitteluohjelmalla.

Suunnittelutyön lopputuloksena ketjupesurista muodostettiin pääkokoontulo, joka muodostui alikokoontuloista. Alikokoontulot muodostuivat puolestaan pienemmistä kokoonpanoista tai yksittäisistä osista. Osista ja kokoonpanoista piirrettiin työ- ja kokoonpanokuvat. Työ- ja kokoonpanokuvien avulla voitiin rakentaa ketjupesurin testaus- ta varten toimiva protomalli. Protomallilla on tarkoitus tarkastella ja mahdollisesti parantaa pesuprosessia sekä etsiä pesurista mahdollisia heikkouksia tai jatkokehityskohteita. Koneelle on tarkoitus lähitulevaisuudessa hakea CE-hyväksyntää, jotta ketjupesuria voidaan käyttää työtehtävien suorittamiseen.

Opinnäytetyö käsittelee vain ketjupesurin mekaanista suunnittelua, joten työstä on rajattu ulkopuolelle kaikki sähköiset komponentit.

## **ABSTRACT**

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Tampere University of Applied Sciences  
Mechanical and Production Engineering  
Product Development

RANTALA ARTTU:  
Designing the Chain Washing Machine

Bachelor's thesis 33 pages, appendices 3 pages  
October 2016

---

This thesis was made for Millog Oy at Lyly's branch. Designing of the chain washing machine was made as a part of service program for mobile signal pylon. A pylon is taken into parts in service. Leaf chains in and outside of the pylon are cleaned and then visually checked. Primary goals for design were to improve the service process and reduce employee's exposure to chemicals and cleaning agents.

Millog Oy is part of Patria group. Millog is a strategic partner for Finish Defense Forces. Company is responsible for maintenance of Army's, Navy's and some of Air Force's material. Lyly's branch is one of Millog's 23 branches. Lyly locates in town of Juupajoki. Branch is specialized in installation and maintenance of radio equipment.

Designing process started by interviewing employees about their previous methods of cleaning leaf chains. Based on interviewing result a list of specification was produced. Specification list worked as a guide thru the designing progress. All of the design work was made by using Autodesk Inventor software.

As a result of design process a main assembly of the chain washing machine was produced. The main assembly was constructed by using subassemblies and the subassemblies were constructed by using smaller subassemblies or individual parts. Work and assembly drawings were drawn based on main assembly. A working prototype was assembled according to these work and assembly drawings. The purpose of assembling prototype is to demonstrate chain washing process and show some flaws in design which can be solved or improved. CE-approval will be applied for the chain washing machine so that employees can use the machine as a part of their everyday work.

Thesis is defined to only apply on mechanical designing of the chain washing machine. All the electrical components are excluded from this thesis.

---

Key words: Product development, design, chain washing machine, leaf chain

## SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	6
2	YRITYSESITTELY .....	7
2.1	Millog Oy.....	7
2.2	Millog Oy, Lylyn toimipaikka .....	8
3	TYÖN TAUSTATIEDOT .....	9
3.1	Mobiiliviestimasto MPV25.....	9
3.2	Levykimppuketju .....	11
4	KETJUPESURIN SUUNNITTELU .....	12
4.1	Puhdistusmenetelmän suunnittelu.....	13
4.2	Voimansiirron suunnittelu .....	15
4.2.1	Hammashihnakäytön suunnittelu .....	16
4.2.2	Akseleiden ja laakeroinnin suunnittelu .....	18
4.3	Koneen rungon suunnittelu .....	20
4.4	Konesuojien suunnittelu .....	23
5	SUUNNITTELUN LOPPUTULOS .....	25
6	HAVAINNOT JA YHTEENVETO .....	27
	LÄHTEET.....	30
	LIITTEET .....	31
	Liite 1. Akselin työkuva .....	31
	Liite 2. Esimerkki alikokoonpanosta.....	32
	Liite 3. Suojalevyn työkuva.....	33

**ERITYISSANASTO**

CAE	Computer-aided engineering, tietokone avusteinen suunnittelu
DXF-tiedosto	Drawing Interchange Format, tiedostotyyppi eri suunnitteluohjelmien väliseen tiedostojen vaihtoon
MIG-hitsaus	Metal Inert Gas – welding, metallikaarihitsausmenetelmä, jossa valokaari syttyy työkappaleen ja täytelangan välille
MPV25	Maastoperävaunu 25, ajoneuvon perässä vedettävä mobiiliviestimasto, korkeus käyttöasennossa 25 m
PET	Polyetyleenitereftalaatti, kestopuovi
SKF	Svenska Kullagerfabriken, ruotsalainen voimansiirtokomponenttien valmistaja
STEP-tiedosto	Standardin ISO 10303-mukainen tiedostotyyppi eri suunnitteluohjelmien väliseen tiedoston vaihtoon
TIG-hitsaus	Tungsten Inert Gas – welding, metallikaarihitsausmenetelmä, jossa valokaari syttyy volframielektrodin ja työkappaleen välille

## 1 JOHDANTO

Opinnäytetyö on toteutettu Millog Oy:lle Lylyn toimipaikkaan. Millog Oy on osa Patria-konsernia ja sen toimialana on asiantuntia-, kunnossapito-, materiaali-, ja logistiikkapalvelut. Suurin asiakas on Suomen Puolustusvoimat.

Lylyn toimipaikassa huolletaan mm. viestilaitteistoa ja -järjestelmiä, joihin mobiiliviestimasto lukeutuu. Mobiiliviestimasto on ajoneuvon perässä liikuteltava linkkimasto, joka rakenteeltaan muistuttaa henkilönostinta. Sen avulla voidaan rakentaa maastoon väliaikaisia tukiasemia radioviestintää varten. Maston nostamiseen ja laskemiseen käytetään hydraulisylintereitä, sekä levykimppuketjuja.

Työn tarkoituksena oli suunnitella mobiiliviestimastojen puomistoissa käytettävien levykimppuketjujen puhdistamiseen laite. Laitteen kehittämisen tärkeimmät lähtökohdat olivat vähentää työntekijöiden altistumista kemikaaleille ketjun puhdistamisessa, sekä huoltotyön tehokkuuden parantaminen.

Opinnäytetyö rajoittuu laitteen mekaaniseen suunnitteluun, joten siitä on rajattu työn ulkopuolelle kaikki sähköiset komponentit. Työn tavoitteena on luoda tarvittavat dokumentit toteuttamiskelpoisen prototyypin valmistamiseksi.

## 2 YRITYSESITTELY

Tässä kappaleessa esitellään Millog Oy:n toimialoja, omistajasuhteita, taloutta ja konsernirakennetta. Lisäksi kappaleessa esitellään Lylyn toimipaikan historiaa ja tehtäviä.

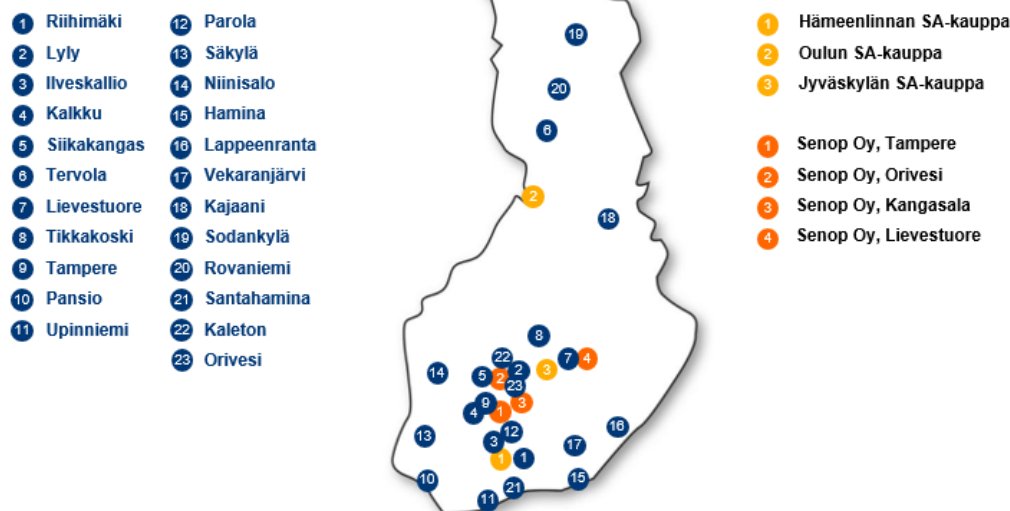
### 2.1 Millog Oy

Millog Oy on vuonna 2006 perustettu yritys (Kauppalehti). Yrityksen toimialoina ovat asiantuntia-, kunnossapito-, materiaali-, ja logistiikkapalvelut. Millog Oy on osa Patria-konsernia. Millog Oy:llä on Suomessa 23 toimipaikkaa (Kuva 1.). Yhtiön pääkonttori sijaitsee Tampereella. Yhtiö työllistää 1072 henkilöä (Patria, vuosikatsaus 2015, 21). Millog toimii Puolustusvoimien strategisena kumppanina ja vastaa Maa- ja Merivoimien materiaalin kunnossapidosta ja sovituin osin myös Ilmavoimien materiaalista.

Yritys vastaa SA-Kauppojen toiminnasta, jotka myyvät Puolustusvoimien käytöstä poistettua materiaalia suoraan yksityisille henkilöille. SA-Kauppoja on kolmella paikkakunnalla Hämeenlinnassa, Jyväskylässä ja Oulussa (Kuva 1). Millog järjestää myös huutokauppoja, joissa myydään sekä Puolustusvoimien, että Millogin materiaalia. Tunnetuimpana huutokauppana on Tampereen Kalkussa kahdesti vuodessa järjestettävä huutokauppa.

Senop Oy on Millog Oy:n täysin omistama tytäryhtiö, joka on perustettu alkuvuodesta 2016. Yhtiö muodostettiin yhdistämällä Oricopan järjestelmäintegraatioliiketoiminta ja Millog Optroniikka. Yhtiö valmistaa mm. pimeänäkölaitteita, sekä suunnittelee ja valmistaa erilaisia järjestelmiä asiakkailleen (Senop).

## Toimipaikat 1.1.2016



Kuva 1. Millog Oy:n toimipaikat (Millog Oy)

## 2.2 Millog Oy, Lylyn toimipaikka

Lylyn toimipaikka sijaitsee Juupajoen kunnassa Pohjois-Pirkanmaalla lähellä Keski-Suomen rajaa. Toimipaikka oli ennen Millogin perustamista Puolustusvoimien viestivarikko. Toiminta Lylyssä alkoi 22.11.1940 silloisen Viestivarikko 1:n siirtyessä Korkeakoskelta Lylyyn. Toiminta siirtyi Millogin nimen alle 1.1.2009. Lylyn yksikön päätehtävät pysyivät muutoksesta huolimatta muuttumattomina. Yksikössä työskentelee 62 työntekijää. Lylyssä huolletaan ensisijaisesti Maavoimien viestikalustoa kuten radioita, mobiiliviestimastoja ja viestikontteja. Lylyssä suoritetaan huoltotoiminnan lisäksi viestilaitteisto asennuksia Puolustusvoimien ajoneuvoihin. Toimipaikalla suoritetaan edellä mainittujen tehtävien lisäksi viestijärjestelmiin liittyvää tarvikkeiden huoltotyötä, kuten aggregaattien huoltoa, sekä viestikaluston ja niiden varaosien logistiikkapalveluita. (Millog Lyly, 2016. Toimipaikan yleisesittely)



### 3 TYÖN TAUSTATIEDOT

Tässä kappaleessa käsitellään mobiiliviestimastoa, jonka huoltoon suunniteltava ketjupesuri liittyy. Mobiiliviestimastosta käsitellään sen teknisiä ominaisuuksia, käyttötarkoituksia ja toimintaa. Lisäksi kappaleessa käsitellään levykimppuketjua, jota käytetään puomiston nostamiseen ja laskemiseen. Ketjupesuri on suunniteltu juuri kyseisen ketjutyypin puhdistamiseen maston huollon yhteydessä.

#### 3.1 Mobiiliviestimasto MPV25

Mobiiliviestimasto MPV25 on ajoneuvon perässä liikuteltava linkkimasto, joka rakenteeltaan muistuttaa henkilönostinta. Sen avulla voidaan nopeasti pystyttää maastoon väliaikaisia tukiasemia radioviestintää varten. Viestimastossa on yksi akseli, hydrauliset tukijalat, hydrauliikkayksikkö, puomisto, kääntölaite, sekä harukset puomiston tuke-  
miseksi. (Kuva 2)



KUVA 2. Mobiiliviestimasto MPV25 käyttöasennossa (Eltel Networks)

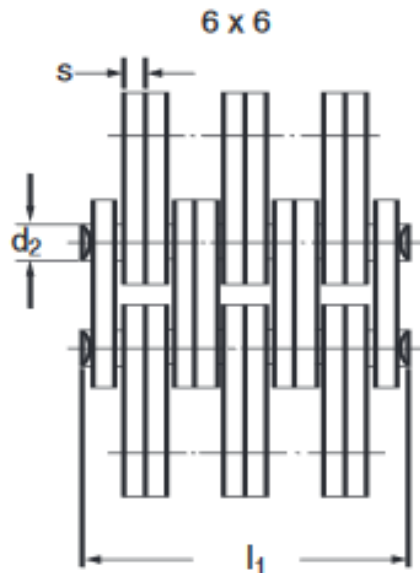
Puomisto on maan pinnasta mitattuna käyttöasennossa 25 m korkea. Se koostuu neljästä toistensa sisään liukuvasta puomista. Puomit ovat valmistettu teräslevystä särmäämällä ja hitsaamalla. Ensimmäinen puomi on asennettu runkoon liukujohteilla. Ensimmäinen puomi ajetaan etuasentoonsa siirtosylinterillä, jonka jälkeen nostetaan vaaka-asennosta pystyasentoon kallistussylinterillä.

Ensimmäisen puomin sisällä sijaitsevat muut puomit ja venytyssylinteri, joka nostaa toisen puomin ylös. Toisen puomin noustessa puomiston ketjusto nostaa samalla kolmannen ja neljännen puomin ylös. Ketjusto koostuu venytys- ja sisäänvetoketjuista ja niiden taittopyöristä. Kaikki ketjut ovat rakenteeltaan levykimppuketjuja. Maston nousua täyteen korkeuteensa harusvaijerit kiristetään oikeaan kireyteen puomiston tukemiseksi. Maston lasku tapahtuu päin vastaisessa järjestyksessä.

Mobiiliviestimastolla itsessään ei voida lähettää tai vastaan ottaa viestejä vaan se tarvitsee aina lisäksi erillisen viestiaseman ja peilit, jotka ovat muodoltaan kupumaisia suunnattavia antennoja. Peilit asennetaan maston päässä sijaitsevaan kääntölaitteeseen, jolloin peilien suuntausta voidaan helposti muuttaa maasta käsin etäohjauksella liikuttelutta itse mobiiliviestimastoa.

### 3.2 Levykimppuketju

Levykimppuketju on ketjutyyppe, joka koostuu toisiinsa pareittain tapeilla liitetystä levyistä (Kuva 3). Levykimppuketjua ei rakenteensa vuoksi voida käyttää ketjupyörillä, eikä sillä voida välittää vääntömomenttia (SKS Mekaniikka, s. 39, 47). Tässä suhteessa se eroaa eniten esimerkiksi moottoripyörissä käytetyistä rullaholkkiketjuista.



KUVA 3. Esimerkki levykimppuketjun rakenteesta (Oy Jens S. AB, 2014)

Levykimppuketjuilla on kapearakenteisenakin suhteellisen suuri murtolujuus ja kuormitettavuus. Kaupallisesti yleisimmät levykimppuketjut ovat mitoitettu tuumamitoin. Ne on valmistettu rullaketjujen osista ja niiden murtokuorma-arvot ovat suuremmat kuin rullaketjuilla. Levykimppuketjuja käytetään kuormaketjuina yleisesti hisseissä, nostureissa ja trukeissa; vastapainoketjuina työstökoneissa, uuneissa ja tekstiiliteollisuudessa tai kiristys- ja säätöketjuina kuljetin- ja siirtolaitteissa. (SKS Mekaniikka s. 47)

## 4 KETJUPESURIN SUUNNITTELU

Työn suunnittelu aloitettiin määrittämällä asiakkaan eli työntekijöiden tarpeet ketjupe-surille. Määrittäminen suoritettiin suullisin haastatteluin, joissa työntekijät kertoivat aikaisemmista työskentelytavoistaan ja –menetelmistään ketjujen puhdistamiseksi. Ketjut oli ennen pesty altaassa, jossa ne likosivat ensiksi pesuaineessa ja sitten ne harjattiin käsin puhtaaksi. Menetelmän haittoina oli pesuaineen roiskuminen, työntekijöiden jatkuva altistumien kemikaaleille ja lisäksi ketjun käsittely oli hankalaa.

Ketjupesurin vaatimuslistaksi haastatteluiden perusteella muodostui:

- Käytön yksinkertaisuus
- Ketjun hyvä käsiteltävyys
- Roiskesuojattu rakenne
- Pesuprosessin nopeus
- Pesuprosessin tehokkuus
- Hyvä työskentelykorkeus
- Vaivaton siirrettävyys
- Pieni koko varastointia varten

Ketjupesurin suunnittelutyö toteutettiin Autodesk Inventor – suunnitteluohjelmalla. Osista luotiin ensiksi 3D-mallit, joiden avulla kokoonpanoja ja koneen toimivuutta oli helpompi tarkastella ja hahmottaa.

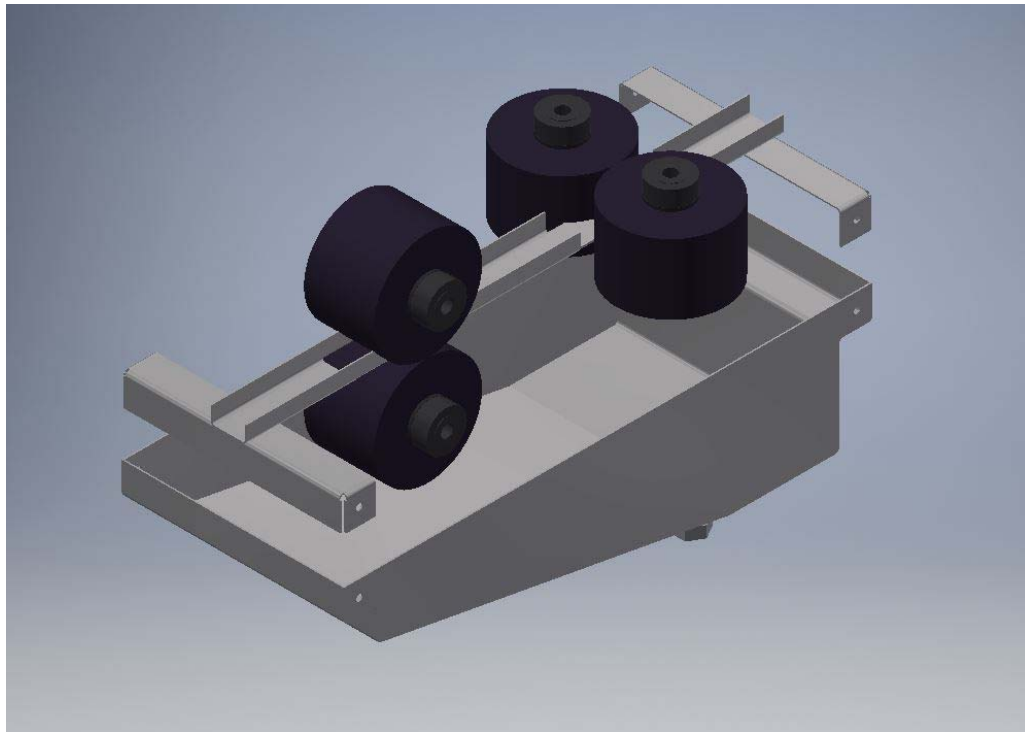
#### 4.1 Puhdistusmenetelmän suunnittelu

Puhdistusmenetelmän toteuttamisen lähtökohtana oli, että roiskeiden minimoimiseksi korkeapainepuhdistusta ei voitu käyttää, joten puhdistamiseen tarvittiin pesuaineen lisäksi mekaanista puhdistusta. Mekaanisen puhdistamisen lähtökohdaksi valittiin harjakset.

Harjas-ratkaisussa oli kaksi vaihtoehtoa. Ensimmäisessä vaihtoehdossa ketju liikkuisi paikallaan olevien harjaslevyjen välistä samalla kun harjaksiin ruiskutettaisiin pesuainetta matalapainepumpun avulla. Tästä ajatuksesta kuitenkin luovuttiin nopeasti, koska ketjua olisi saattanut joutua syöttämään harjaslevyjen läpi useaan kertaan tai vaihtoehtoisesti harjaslevyjen olisi pitänyt olla todella pitkiä.

Toisessa vaihtoehdossa harjat olivat sylinterimäiset ja ne pyörivät omilla akseleillaan. Tässäkin vaihtoehdossa ketjua syötettiin harjojen läpi samalla kun matalapainepumpulla ruiskutettiin pesuainetta harjoille. Tällöin akselien pyörintänopeutta ja ketjun syöttönopeutta pystyttiin muuttamaan, jolloin säästytään ketjun läpisyöttämiseltä useaan kertaan. Menetelmän haittapuolena on pyörivien harjojen aiheuttamat roiskeet, jotka vaativat pesurin tehokasta suojaamista.

Lopputuloksena päädyttiin valitsemaan pyörivät harjakset, joihin syötetään matalalla paineella pesuainetta. Harjoiksi valittiin 150 mm halkaisijaltaan olevat PET-harjakset, joiden materiaalilla on hyvä kemiallinen kestävyys. Harjojen valinnassa konsultoitii alan yritystä, joka on erikoistunut teollisuuden harjojen valmistamiseen. Harjakset asetettiin pareittain ja pyörimään toisiaan vastakkaisiin suuntiin, jolloin ketju saa niistä imua ja harjaaminen on tehokkaampaa. Lisäksi harjaspareja tuli kaksi kappaletta, yksi pysty- ja toinen vaaka-asentoon. Ketju syötetään erillistä ruostumattomasta teräslevystä kantaamalla ja pistehitsaamalla valmistettua ketjukourua pitkin harjaksille. (Kuva 4)



KUVA 4. Harjasten asettelu, ketjukouru ja allas

Koska pesumenetelmään liittyy harjojen lisäksi pesuaineen pumppaaminen harjaksille matalapainepumpulla, täytyi nestettä varten suunnitella allas. Altaan tehtävä on kerätä käytetty pesuneste ja ketjusta irtoavat partikkelit, sekä toimia säiliönä pumpulle. Altaaseen haluttiin syvyyttä, mutta vähän tilavuutta, jotta se olisi mahdollisimman helposti sovitettavissa laitteen runkoon, eikä pesuainetta tarvittaisi kymmeniä litroja.

Altaaseen tarvittiin syvyyttä, jotta pesuprosessissa ketjusta irtoavat partikkelit painuisivat altaan pohjalle. Tällöin pumpun imuputki voitiin asentaa korkeammalle altaan pohjasta katsoen ilman vaaraa pumpun kuivakäynnistä. Asennuskorkeuden johdosta saatiin lisäksi pienennettyä pumpun vaurioitumisriskiä vieraista partikkeleista johtuen. Vaatimuksien mukaan altaasta suunniteltiin kiilamainen. Altaan materiaaliksi valittiin 2 mm paksuinen ruostumaton teräs. Altaan pohjaan suunniteltiin palloventtiili, jotta pesunesteen vaihto olisi mahdollisemman vaivatonta. Palloventtiilin kiinnitys altaan pohjaan toteutettiin erillisen kierreholkin avulla, joka hitsattiin TIG-hitsauksella altaaseen. TIG-hitsaus valittiin koko altaan hitsausmenetelmäksi, koska kyseisen hitsausprosessin lämmöntuonti työkappaleeseen on pienempää ja helpommin hallittavissa kuin esimerkiksi MIG-hitsauksessa. Pienen lämmöntuonnin edut pääsevät erityisesti esiin ohuissa alle 3 mm seostetuissa teräksissä, sillä ne ovat erityisen alttiita muodonmuutoksille hitsauksessa.

## 4.2 Voimansiirron suunnittelu

Voimansiirron suunnittelu osoittautui ketjupesurin työläimmäksi vaiheeksi, sillä harjojen asettelu, sekä harjojen vastakkainen pyörintäsuunta aiheuttivat voimansiirrolle omat vaatimuksensa. Yksinkertaisin vaihtoehto tuntui ensiksi olevan asentaa jokaiselle akselille erillinen moottorinsa, mutta neljän eri moottorin pyörintänopeuden säätäminen osoittautui kalliiksi ja hankalaksi toteuttaa, koska käytännössä jokainen moottori olisi vaatinut oman taajuusmuuttajansa. Lisäksi moottoreiden pyörintänopeutta olisi jouduttu pudottamaan paljon pelkän taajuusmuuttajan avulla halutun pyörintänopeuden saavuttamiseksi, jolloin moottoreiden käyntilämpötila olisi saattanut nousta liikaa moottorin tuulettimen pienen pyörintänopeuden vuoksi. Tämä käyntilämpötilan nousu olisi aiheuttanut moottoreiden käyttöiän alenemisen. Ongelman poistamiseksi jokaiselle moottorille olisi tullut asentaa alennusvaihte, jotta moottori ja sen tuuletin olisivat voineet pyöriä suuremmalla nopeudella. Alennusvaihteiden hinta olisi ollut vähintään moottoreiden hinta. Tästä syystä kyseinen ratkaisu ei tuntunut taloudellisesti järkevältä.

Työssä päädyttiin mekaanisesti monimutkaisempaan ratkaisuun (Kuva 5), jossa yhdellä harjaparilla oli oma moottorinsa. Ratkaisussa voimansiirto moottorilta akselille toteutettaisiin ketju- tai hammashihnavälityksellä. Molemmilla vaihtoehtoilla saavutettiin harjojen vastakkainen pyörimissuunta. Samalla voitiin luopua erillisistä alennusvaihteista muuntelemalla käytettyjen hihna- tai ketjupyörien kokoa, jolloin akselille saataisiin haluttu pyörintänopeus laskematta liikaa moottoreiden pyörintänopeuksia. Lisäksi moottoreiden määrä puoliintui, joka omalta osaltaan laski voimansiirron kustannuksia ja kompensoi tarvittavan välityksen kuluja. Työssä päädyttiin valitsemaan kaksipuoleinen hammashihnakäyttö, koska sen käyttöäni on ketjua hiljaisempi, eikä hammashihna vaadi voitelua. Hammashihnakäyttö myös vaatii pienemmän esikiristyksen kuin kiila- tai lattahihnat (Airila, Ekman, Hautala, Kivioja, Kleimola, Martikka, Miettinen, Niemi, Ranta, Rinkinen, Salonen, Verho, Vilenius & Välimaa 2009, 587, 607).



Kuva 5. Voimansiirron konstruktio

#### 4.2.1 Hammashihnakäytön suunnittelu

Hammashihnakäytön suunnittelu toteutettiin hyväksi käyttäen Autodesk Inventor – ohjelman Design Accelerator - lisäosaa, jonka avulla voitiin määritellä mm. hammashihnavälitykselle haluttu välityssuhde. Lisäosa laski tarvittavan hihnan leveyden, hihnan jakopituuden ja hammaspyörien hammasluvut annettujen parametrien mukaisesti. Tietokone avusteinen suunnittelu, CAE helpotti työtä huomattavasti, sillä monimutkaisen hihnoituksen käsin laskeminen olisi ollut erittäin työlästä. (Kuva 5)

Hammashihnan valintaan vaikutti mitoituksen lisäksi hihnojen hinnoittelu. Hihnan hinnan määrää pääasiassa sen jakopituus. Yleisesti ottaen mitä pidempi hihnan jakopituus, sitä kalliimpi hihna on. Hihnan pituuden vaikutus hinnan muodostukseen johtuu hammashihnan valmistusmenetelmästä.



Hammashihnat valmistetaan valamalla kumiseos ja tukilangat muottisylinterin ympärille, johon on muotoiltu hihnan hampaiden peilikuvat. On helppo kuvitella että tällaisen muotin valmistamiskustannukset ovat hyvin suuret. Tämän vuoksi koneenrakennuksessa tulee aina pyrkiä standardimittaiseen hihnaan. Kun hihna-aiho on valettu, se poistetaan muotista ja asetetaan leikkuukoneeseen. Vasta leikkausvaiheessa määräytyy valmiiden hihnojen leveys. Yhdestä hihna-aihiosta voidaan siis valmistaa monia eri levyisiä hihnoja, mutta niillä kaikilla on sama jakopituus. Tämän vuoksi hihnan leveys ei ole kovin määräävässä asemassa hintarakenteessa, mutta leveys määrittelee hihnan tehonkeston.

Kaikkia mahdollisia hihnanleveyksiä ei kuitenkaan välttämättä varastoida, jolloin tilattavan hihnan hinta saattaa olla kalliimpi kuin vastaavan hieman leveämmän hihnan hinta. Työhön vallittiin selvästi tehon suhteen ylimitoitettu hihna, koska kyseinen hihna oli vain hieman kapeampaa mallia kalliimpi ja se oli varastoitavien tuotteiden ryhmässä, jolloin varaosan toimitus on nopeampaa.

Kun hihnanleveys oli päätetty, hihnapyörien valinta oli helppoa. Toimittajan kuvastosta valittiin oikealla hammasprofiililla ja hampaiden lukumäärällä olevat hihnapyörät. Hihnapyörien hammasluvut olivat jo määritelty tietokoneavusteisen suunnittelun vaiheessa. Hihnapyöriä ei tarvinnut mitoittaa muilta osin kuin akselireiän ja kiilanuran osalta. Akselireiän mitoituksessa tuli huomioida vain, että hihnapyöräkohtaista akselireiän maksimihalkaisijaa ei ylitetä.

#### 4.2.2 Akseleiden ja laakeroinnin suunnittelu

Akseleiden halkaisijan mitoitus määräytyi käytettävien laakeriyksiköiden mukaan. Akseleille suoritettiin lisäksi lujuuslaskenta tietokoneella, jossa varmistettiin niiden kestävyys. Akseleiden lujuuslaskennan kannalta oli huomion arvoista, että ei käytetty suoraan moottorin maksimi vääntömomenttia, sillä hammashihnavälitys pudotti akseleiden pyörintänopeutta suhteessa sähkömoottorin pyörintänopeuteen, jolloin vääntömomentti akselilla oli suurempi kuin sähkömoottorin tuottama maksimi vääntömomentti (Kaavat 1 ja 2).

Pyörivä mekaaninen teho voidaan laskea momentin ja kulmanopeuden tulosta kaavan 1 mukaisesti.

$$P = M \cdot \omega \quad (1)$$

Kaavassa 1, P on teho, M on momentti ja  $\omega$  on kulmanopeus. Kaava voidaan kirjoittaa myös käyttämällä pyörintänopeutta, jolloin se saa kaavan 2 mukaisen muodon.

$$P = M \cdot 2 \cdot \pi \cdot n \quad (2)$$

Kaavassa 2, n on pyörintänopeus. Kaavan mukaan pyörintänopeuden laskiessa on momentin kasvettava, jotta järjestelmän teho, P säilyisi vakiona.

Akselit suunniteltiin valmistettavaksi pääsääntöisesti sorvaamalla ruostumattomasta teräksestä. Koska akseliin haluttiin olake jota vasten hihnapyörä ja toinen laakeri voitiin asentaa, tuli akseliaihiosta sorvata pois 3 mm lähes koko matkalta. Valmistuksen helpottamiseksi akselin työkuvaan (Liite 1) lisättiin merkintä keskitysporauksesta, jolloin kappale oli helpompi kiinnittää molemmista päistään karkisorviin. Kiinnittämällä työkalu molemmista päistään sorviin voidaan vähentää pitkän kappaleen värähtelyä koneistuksessa, parantaa pinnanlaatua ja mittatarkkuutta. Akseleiden päähän koneistettiin M6-sisäkierteet hihnapyörän kiinnitystä varten. Pultin kiristämistä tähän kierteeseen helpotettiin suunnittelemalla akselin olakkeeseen 17 mm avainväli (Liite 1). Hihnapyörän kiinnityspulttia kiristettäessä voidaan akseliin koneistetusta avainvälistä pitää vastaan kiintolenkkiavaimella. Käyttämällä kiintolenkkiä vältetään vaurioittamasta koneistetun akselin pintaa.

Laakeriyksiköt valittiin SKF:n taulukon perusteella. Yksiköiden valintaan vaikutti niiden kiinnitysreikien koko, laakereiden maksimikiertosnopeus, sekä dynaaminen ja staattinen kuormankesto. Laakereihin vaikuttavat kuormat saatiin selville hammashihnakäytön laskennan ohessa, sillä laakereihin vaikuttavat voimat määräytyvät hammashihnakäytön mukaan.

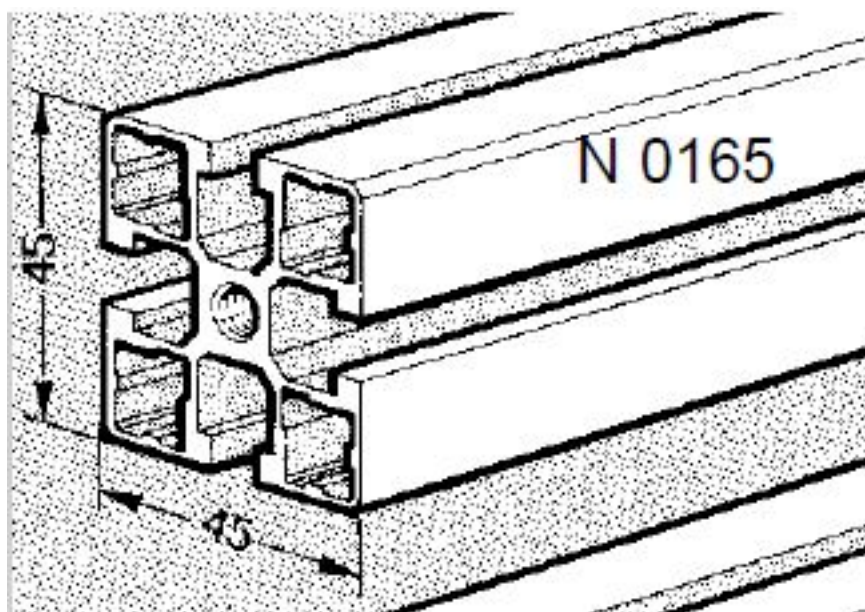
Akseleihin valittiin standardin DIN 6885A mukainen pyöreäpäinen tasakiila hihnapyörien kiinnittämiseksi. Kiilavalinta kohdistui kyseiseen kiilaan, koska pyöreäpäisen kiilauran valmistaminen on tappiterällä jyrkien helppo valmistaa, eikä pyöreäpäinen kiila jumitu uraan niin herkästi kuin suorapäinen kiila. Kiilalukituksen kestävyys varmistettiin tietokonelaskennalla käyttäen samaa vääntömomenttia kuin edellä akselien tarkastelussa. Kiilalukituksen suunnittelussa ei otettu huomioon navan, akselin tai kiilan leikkaantumista, sillä mahdollisessa voimansiirron jumiutumistilanteessa harjan kiinnityksen on tarkoitus pettää ensimmäisenä.

Harjojen kiinnitys aksleihin toteutettiin suunnittelemalla akselien ja harjojen runkojen väliin muoviset sovitinholkit. Holkit asennettiin aksleihin puristussovitteella. Harjojen rungot puolestaan kiinnitettiin muoviholkkeihin käyttäen pidätinruuveja. Näin saatiin aikaiseksi normaaleihin käyttöolosuhteisiin riittävän luja kiinnitys, joka kuitenkin mahdollisissa ongelmatilanteissa antaisi periksi suojaten muita voimansiirronkomponentteja.

### 4.3 Koneen rungon suunnittelu

Rungon materiaaliksi oli alun perin suunniteltu ruostumatonta neliöprofiiliputkea, joka olisi kasattu hitsaamalla. Ruostumaton teräs valittiin materiaaliksi kosteiden käyttöolosuhteiden vuoksi. Tämä rungon vaihtoehto osoittautui kuitenkin huonoksi, koska kyseessä on koneen ensimmäinen kappale, jolloin toteutuksessa hyvin suurella todennäköisyydellä löytyisi kohteita, jotka vaativat parannuksia. Hitsattu rakenne on työläs muuttaa jälkikäteen ja neliöprofiiliin on hankala saada aikaiseksi säätöjä, joita hammashihnakäyttö vaatii. Käytännössä tämä olisi vaatinut erillisten johteiden koneistamista, jotka olisi voitu liittää runkoon. Lisäksi ruostumattomalla teräksellä on taipumus vedellä hitsauksessa, jolloin runkorakenne olisi ollut haastava saada suoraksi. Taipumat rungossa olisivat aiheuttaneet ongelmia eritoten hammashihnan ja akseleiden linjauksessa.

Näiden vaatimusten ja haasteiden vuoksi päädyttiin käyttämään Norcanin alumiiniprofiilia, jonka muoto mahdollistaa hyvin laajat säätömahdollisuudet voimansiirrolle, sekä kaikille muille mahdollisille kiinnitettäville komponenteille (Kuva 6) Lisäksi profiilissa voidaan käyttää kierreosina vakio M8-muttereita tai M8-pultteja, jolloin komponenttien kiinnittäminen on helppoa ja taloudellista, koska erikoisvalmisteisia kiinnikkeitä ei välttämättä tarvita.

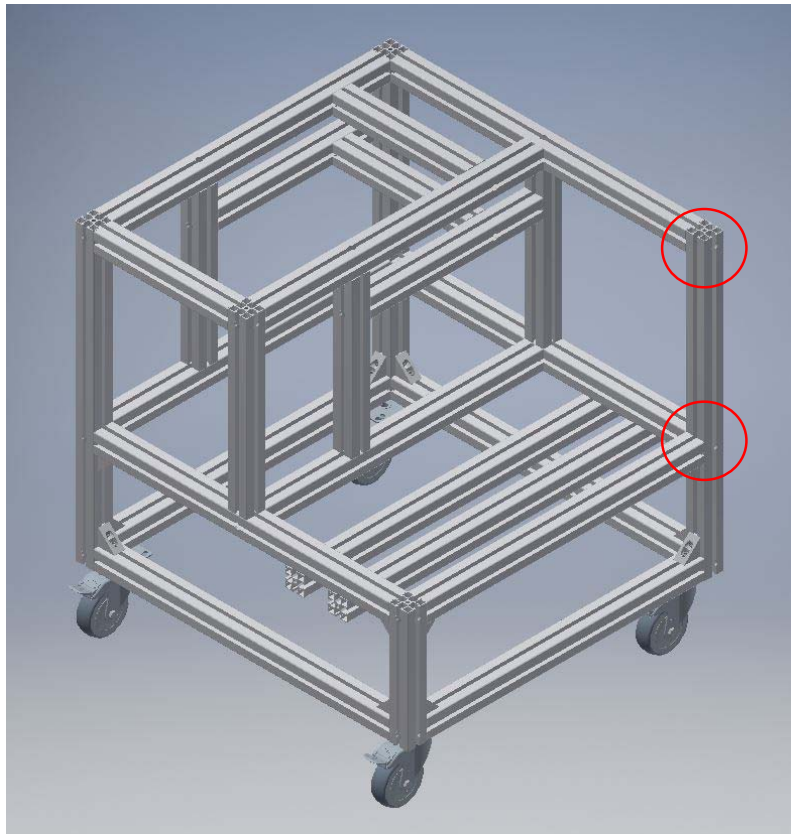


KUVA 6. Norcan alumiiniprofiili (Profican Oy)

Rungon suunnittelun tärkeimpinä kriteereinä oli että mahdollisimman monet pesurin komponenteista tulee mahtua rungon ulkomittojen sisäpuolelle, jolloin runko suojaa niitä käytössä ja varastoinnissa mahdollisesti syntyviltä vaurioilta. Lisäksi rungon tuli olla mahdollisimman pieni varastointia varten. Täten rungon maksimiulkomitoiksi määritettiin EUR-lavan mitat eli  $800 \text{ mm} \times 1200 \text{ mm}$ , jolloin pesuri voidaan nostaa lavan päälle ja sen varastointi on mahdollista myös hyllyssä lattiapinta-alan säästämiseksi.

Runkoa suunniteltaessa pyrittiin rakenne pitämään mahdollisimman yksinkertaisena, jotta valmistuksessa vaadittavan koneistuksen määrä pysyisi pienenä. Rungon suunnittelussa haluttiin käyttää yhtä osaa monessa kohdassa runkorakennetta. Tällä pyrittiin pienentämään hallittavien nimikkeiden määrää ja vähentämään piirrettävien työkuvioiden määrää.

Koneen runko kasattiin käyttämällä pultiliitoksia, jolloin rungon kokoonpano on nopeaa ja vaivatonta. Pultiliitokset mahdollistavat myös yksittäisten rungon osien vaihtamisen tarvittaessa. Tällainen tarve saattaa tulla eteen, jos työskentelykorkeutta halutaan muuttaa tulevaisuudessa. Koneen korkeuden muuttamiseksi suunnittelussa kiinnitettiin huomiota rungon nurkkatolppien kiinnitys muihin rungon osiin. Nurkkatolppien kiinnitys toteutettiin siten, että niiden vaihtaminen pidempiin nurkkatolppiin ei tule vaikuttamaan muihin osiin, eikä siitä aiheudu tarvetta esimerkiksi voimansiirtojen muuttamiselle tai uusien konesuojien teettämiseksi kunhan uusien tolppien kahden ylimmän kiinnityksen välinen etäisyys pysyy vakiona. (Kuva 7)



Kuva 7. Koneen runko ja nurkkatolpan kiinnitykset

Runko suunniteltiin tietokoneavusteisesti, koska tällöin muutosten tekeminen rungon kokoonpanoon on verrattain yksinkertaista ja nopeaa. Toimittajan kotisivuilta pystyttiin lataamaan alumiiniprofiilin poikkileikkaus, jolloin eri osien mallintaminen oli nopeaa ja voitiin varmistua mitoituspaikkansäilyvyydestä. Valmistajan sivuilta löytyi myös suuri valikoima erilaisia kiinnikkeitä ja lisätarvikkeita profiilijärjestelmään. Tästä oli suuri apu rungon suunnittelussa. Kiinnikkeistä löytyi myös STEP-tiedostot, jolloin säästettiin tarvittavien kiinnikkeiden mallintamiselta. Suunnitteluohjelman avulla voitiin myös tehdä analyysi osien kiinnityksistä toisiinsa, esimerkiksi pyörittämisen tai liukumisen suhteen. Nämä seikat olisivat helposti saattaneet jäädä suunnittelussa muutoin huomioimatta.

#### 4.4 Konesuojien suunnittelu

Konesuojien suunnittelun lähtökohtana käytettiin riskiarviota, jonka perusteella pyrittiin havaitsemaan koneenkäyttöön liittyvät riskitekijät (Taulukko 1). Riskien minimoimiseksi sovellettiin SFS-EN ISO 13857 – standardia, joka määrittää turvaetäisyydet ylä- ja alaraajojen ulottumisen estämiseksi vaaravyöhykkeille.

Taulukko 1. Ketjupesurin riskiarvio

Uhka	Vakavuus	Todennäköisyys	Riski
Käden tai sormien jääminen hihnapyörän väliin	Hyvin vakava	erittäin suuri	Erittäin suuri
Hihan tms kiertymisen akselin ympärille	Vakava	melko suuri	Suuri
Pesunesteen roiskumien silmiin	Vakava	suuri	Suuri
Käden joutuminen harjasten väliin	Lievä	pieni	Lievä

Riskiarvion perusteella huomattiin koneen suurimmaksi riskiksi käden tai sormien joutuminen hihnapyörän ja hammashihnan väliin. Tämä riski osoittautui suurimmaksi, sillä siitä aiheutuu käyttäjälle vakavimmat vammat ja tilanteen tapahtumisen todennäköisyys oli erittäin suuri, koska hihnat sijaitsevat keskeisillä paikoilla ja pyörivä hihna saattaa viedä sormet sekä kädet helposti mukanaan kohti hihnapyörää. Vakavimmillaan puristuminen saattaa johtaa jopa sormen tai sormien menettämiseen. Riskiarvion perusteella koneeseen suunniteltiin suojat, joilla estettiin ruumiinosien tai esineiden joutuminen kosketuksiin pyörivien koneenosien kanssa tai pesunesteen roiskuminen ympäristöön ja koneenkäyttäjän silmiin (Kuva 8).



KUVA 8. Runko ja konesuojat

Voimansiirron konesuojat suunniteltiin 1 mm teräslevystä. Materiaalivalinnalla pyrittiin helpottamaan suojien valmistamista. Levyistä piirrettiin työkuvat, sekä DXF-tiedostot. DXF-tiedostot voidaan ajaa suoraan laserleikkauskoneeseen, jolloin alihankkijan ei tarvitse tehdä erillistä ohjelmää osien leikkaamiseksi. Tällöin säästetään aikaa ja kustannuksia, sekä vähennetään riskiä virheiden syntymiselle. Laserleikkaus valittiin levyjen työstömenetelmäksi, koska konesuojat sisälsivät paljon yksityiskohtia ja kaarevia muotoja, joiden aikaansaaminen muutoin olisi ollut haastavaa.

Pesupuolen konesuojat suunniteltiin 4 mm PET-G muovilevystä. Läpinäkyvään muoviin päädyttiin, koska pesuprosessi haluttiin nähdä pesutuloksen varmistamiseksi. Kyseisellä muovilaadulla on myös hyvä kemiallinen kestävyys (Etra, 2016). Muovilevyistä tuotettiin vastaavat dokumentit kuin laserleikattavista osista. Vesileikkaus valittiin kyseisten konesuojien työstötavaksi, sillä muovilevy materiaalina saattaa helposti halkeilla ja murtua lastuavassa työstössä (Koivisto, 2016).

Kaikki konesuojat kiinnitettiin ruuviliitoksin koneenrunkoon, jolloin niiden avaaminen huoltotöitä varten on yksinkertaista. Liitoksien avaaminen vaatii kuitenkin työkaluja, jolloin tahaton konesuojan aukeaminen ei ole mahdollista. Mahdollisia huoltotöitä ketjupesurissa on esimerkiksi hihnojen tarkastaminen ja vaihto, sekä altaan puhdistus ja täyttö.



## 5 SUUNNITTELUN LOPPUTULOS

Suunnittelutyön lopputuloksena muodostettiin pääkokoonpano, joka muodostui alikokoonpanoista (Kuva 9). Alikokoonpanot itsessään muodostuivat joko pienemmistä alikokoonpanoista tai yksittäisistä osista (Liite 2).



Kuva 9. Ketjupesurin pääkokoonpano

Pääkokoonpano muodostui seuraavasti:

- Ketjupesuri
  - Voimansiirtokokoonpano, pysty
  - Voimansiirtokokoonpano, vaaka
  - Allaskokoonpano
  - Ketjukourukokoonpano
  - Konesuojakokoonpano, muovi
  - Konesuoja, voimansiirto, pysty
  - Konesuojakokoonpano, vaaka

Pääkokoonpanosta luotiin Excel-pohjainen rakennepuu, josta selviää koko laitteen rakenne. Rakennepuuhun voidaan liittää jokaiseen yksittäiseen osaan liittyvät dokumentit, kuten työkuvat, DXF-tiedostot tai tilaustiedot ostokomponenteista, jolloin tuotteen rakenteenhallinta helpottuu ja tarvittavan varaosan teknisten tietojen selvittäminen yksinkertaistuu.

Jokaisesta valmistettavasta osasta luotiin työ kuvat ja lisäksi levykuvista DXF-tiedostot. Työkuvien valmistuttua voitiin alihankkijoille lähettää tarjouspyynnöt valmistettavista osista. Työn alussa päätettiin, että mahdollisimman paljon osista hankitaan alihankintana, mutta yksinkertaisimmat osat, kuten harjojen ja akseleiden väliset muoviholkit päätettiin valmistaa talon sisällä.

## 6 HAVAINNOT JA YHTEENVETO

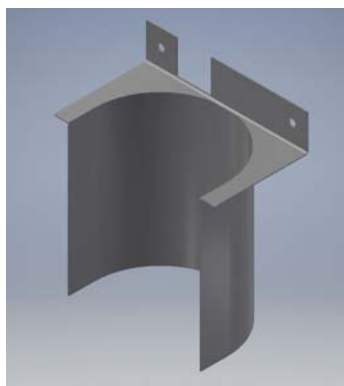
Protomallin kokoonpanossa huomattiin, että pesupuolen peittäviin konesuojiin oli päässyt muodostumaan suunnitteluvirhe. Venytetyt reiät akseleille, jotka mahdollistavat akselien sivuttaissäädöt olivat mitoitettu liian kapeiksi, jolloin akselin olake ei mahtunut pyörimään konesuojan ollessa paikoillaan (Liite 3 ja Kuva 10). Suunnitteluvirhe korjattiin työkuviin ja muovilevyn reikää levennettiin käsin, jolloin uusien levyjen tilaukselta välttyttiin.

Kokoonpanossa huomattiin myös toinen virhe. Liitteen 1, mukaiseen akseliin oli koneistettu avainväli kahteen kertaan (Kuva 10). Työkuvan tarkastelun jälkeen voitiin todeta virheen johtuneen alihankkijasta eikä suunnittelusta. Virhe ei vaikuttanut oleellisesti akselin ominaisuuksiin, joten reklamaation tekeminen katsottiin tarpeettomaksi.



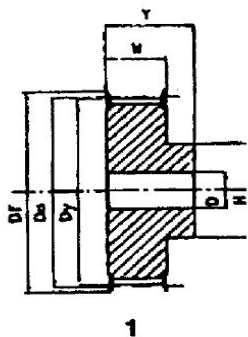
Kuva 10. Akselin koneistusvirhe ja venytetty reikä

Protomallin testiajossa todettiin, että harjojen roiskesuojaus oli puutteellinen ja hallin lattialle päätyi odotettua enemmän pesunestettä. Harjojen ympärille suunniteltiin lisäsuojat ruostumattomasta teräksestä, jotka estävät roiskeiden lentämisen muovisten suojien pinnoille (Kuva 11). Lisäsuojat ohjaavat niiden sisäpinnoiltaan valuvan pesunesteen tehokkaammin altaaseen, jolloin nestettä ei pääse kertymään rungon uriin ja valumaan sitä kautta lattialle.



Kuva 11. Pystyharjojen oikeanpuoleinen lisäsuoja

Valittu kaksipuolinen hammashihnakäyttö osoittautui erittäin toimivaksi ratkaisuksi koekäytössä. Hammashihnakäyttö on suhteellisen hiljainen ja hihnan linjaus oli paljon odotettua helpompaa. Osasyynä linjausvirheiden sietoon oli hihnapyörien valinta, jossa kaikki hihnakäytön pyörät olivat laipallisia. Laipat ovat profiililtaan viistetyt, jolloin hihnan kuluminen ei ole niin voimakasta ja ne ohjaavat hihnaa tehokkaasti kohti hihnapyörän keskilinjaa (Kuva 12). Laipallisten hihnapyörien ainoana negatiivisena ominaisuutena on hammashihnan asennuksen vaikeutuminen, mikäli hihnakäytön rakenne ei mahdollista tarpeeksi laajoja säätömahdollisuuksia hihnan pujottamiseksi laipan reunan ylitse.



Kuva 12. Käytettyjen hihnapyörien poikkileikkaus (Oy Jens S. AB, 2014)

Suunnittelutyö oli kokonaisuudessaan melko laaja ja piirrettäviä työ- ja kokoonpanokuvia kertyi yhteensä lähemmäksi 100 teknistä piirustusta. Haastavimmaksi työssä osoittautui voimansiirron ja rungon suunnittelu. Voimansiirrosta haasteita aiheutti hihnan jakopituus, koska se oli erittäin vaikuttavassa osassa voimansiirron hinnan muodotuksessa. Hihnan valinnassa haluttiin lisäksi, että molemmissa vaaka- kuin pystysuuntaisessa voimansiirrosta käytetään yhtä pitkää hihnaa, jolloin yksi varahihna soveltuu kumpaankin voimansiirtoon.

Rungon suunnittelun haasteet johtuivat lähinnä voimansiirrosta, jonka ympärille runko suunniteltiin. Pieni muutos voimansiirrosta saattoi aiheuttaa suuriakin korjauksia rungon rakenteeseen. Lisäksi alumiiniprofiilista valmistettu runko haluttiin pitää mahdollisimman yksinkertaisena, jolloin rakennetta jouduttiin miettimään tarkemmin. Koneistusta haluttiin välttää mahdollisuuksien mukaan rungon hinnan minimoimiseksi ja rungon osien määrä pitää mahdollisimman matalana.

Vaikkakin sähköiset komponentit, kuten moottoreiden ohjaamiseen käytetyt taajuusmuuntimet rajattiin tämän opinnäytetyön ulkopuolelle, oli käyttöön valittava sopivat taajuusmuuntimet. Tällä suunnittelun osa-alueella tapahtui paljon itseopiskelua ja oppimista. Protomallin testaamisessa oli huojentavaa todeta kaikkien laitteen osa-alueiden toimivan.

Työssä tutustuttiin moniin eri materiaaleihin ja niiden ominaisuuksiin. Ominaisuuksista tutkittiin usein kemiallista kestävyyttä, työstettävyyttä ja hitsattavuutta. Työstettävyyden ja hitsattavuuden arvioinnista aikaisempi kokemus auttoi huomattavasti ja kappaleista pyrittiin tekemään mahdollisimman yksinkertaisia valmistuksen helpottamiseksi. Kemiallisen kestävyuden selvittäminen oli tärkeää, jotta käytettävän pesuaineen valinta olisi mahdollisimman helppoa, eikä koneen rakentamiseen käytetyt materiaalit olisi niin määräävässä asemassa valintaa tehdessä.

Suunnittelutyön aikana kehittyi idea ketjun moottoroidusta apusyötöstä. Moottoroitu syöttö päätettiin kuitenkin jättää toistaiseksi pois ketjupesurista, sillä protomallilla haluttiin todentaa lähinnä pesutuloksen onnistumista. Jos pesuprosessi osoittautuu tulevaisuudessa onnistuneeksi, voidaan sitä tehostaa moottoroidulla ketjun apusyötöllä. Protomallille on tarkoitus lähitulevaisuudessa hakea CE-hyväksyntää, jotta ketjupesuria voidaan hyödyntää mobiiliviestimästen huollossa.

## LÄHTEET

Airila, M., Ekman, K., Hautala, P., Kivioja, S., Kleimola, M., Martikka, H., Miettinen, J., Niemi, E., Ranta, A., Rinkinen, J., Salonen, P., Verho, A., Vilenius, M. & Välimaa, V. 2009. Koneenosien suunnittelu. 4.-5. Painos. Helsinki: WSOYpro Oy.

Eltel Networks, 2010. PV21/MPV25 Yleisesitys

ETRA, 2016. Tekniset muovit tuotekuvasto. Luettu 14.10.2016.  
[http://www.etra.fi/uploads/pdf/Tekniset\\_muovit\\_2015.pdf](http://www.etra.fi/uploads/pdf/Tekniset_muovit_2015.pdf)

Millog Lyly, 2016. Lylyn toimipaikan yleisesitys

Millog Oy, Yhteystiedot. Luettu 7.7.2016  
<http://www.millog.fi/portal/fi/yhteystiedot/>

Oy Jens S. AB, 2014, Hinnasto

Kauppalehti, Yritykset, Millog Oy. Luettu 24.4.2016  
<http://www.kauppalehti.fi/yritykset/yritys/millog+oy/20518595>

Koivisto J. Asiantuntija. 2016. Haastattelu 1.5.2016. Haastattelija Rantala, A. Tampere

Patria Oyj, 2016. Vuosikatsaus 2015. Luettu 24.4.2016.  
[http://188.165.139.234/sites/default/files/file\\_attachments/patria\\_vuosikatsaus\\_2015.pdf](http://188.165.139.234/sites/default/files/file_attachments/patria_vuosikatsaus_2015.pdf)

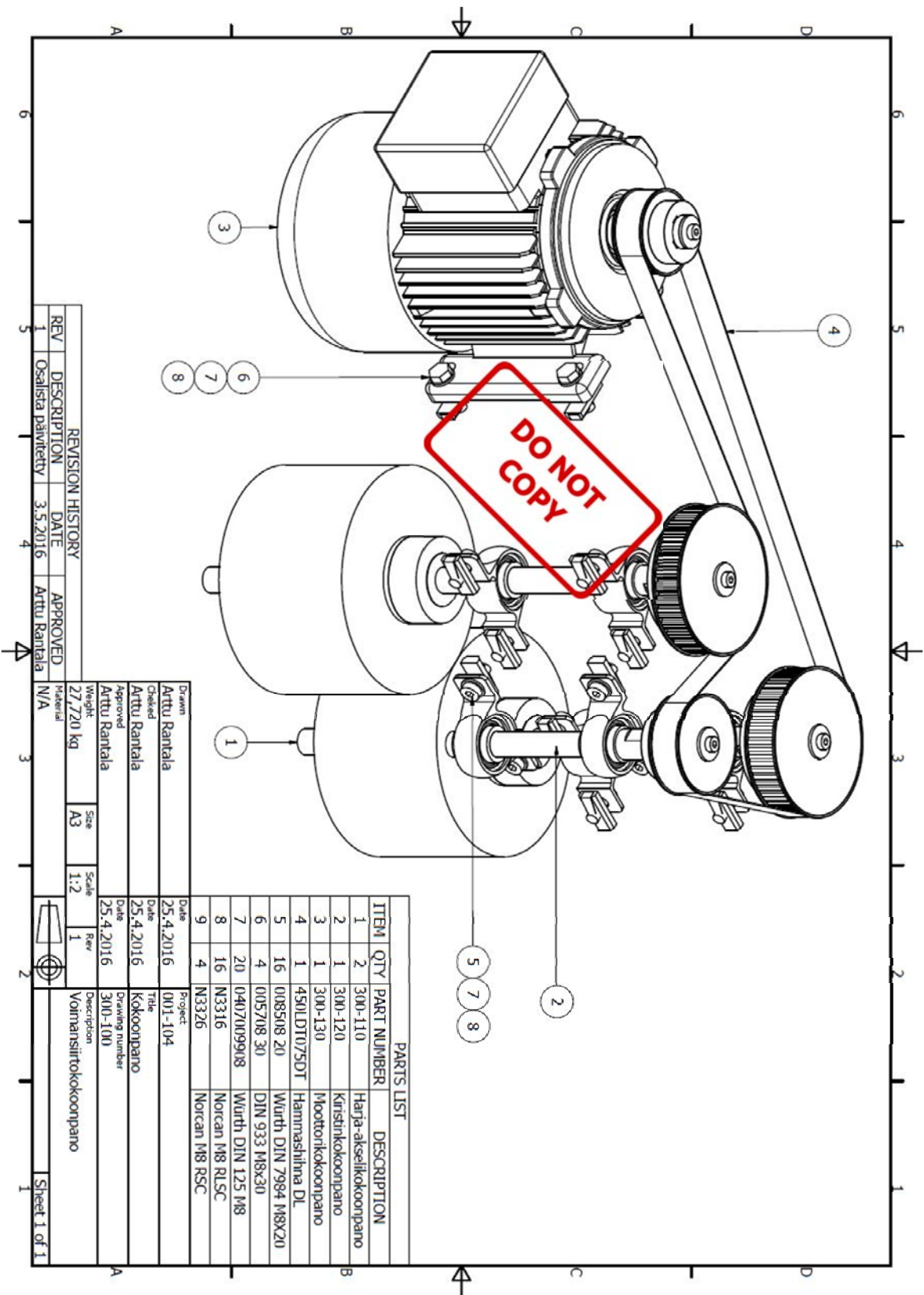
Profican Oy, 2012, Norcan tuoteluettelo

Senop Oy. Luettu 13.10.2016  
<http://senop.fi/fi/index>

SKS Mekaniikka Oy, 2010. Ketju- ja hihnäkäytöt. Luettu 17.10.2016  
[http://www.sks.fi/www/sivut/B3A8595A4C2C6E08C2257B6A003D5A2C/\\$FILE/Wippermann%20vakio%20ja%20erikoisketjut%20ja%20tarvikkeet.pdf](http://www.sks.fi/www/sivut/B3A8595A4C2C6E08C2257B6A003D5A2C/$FILE/Wippermann%20vakio%20ja%20erikoisketjut%20ja%20tarvikkeet.pdf)

## LITTEET

Liite 2. Esimerkki alikokoonpanosta





Liite 3. Suojalevyn työkuva

