

Risto Pinola

**MOOTTOROIDUN LUMILAUDAN MEKANIKKASUUNNITTELU**

# **MOOTTOROIDUN LUMILAUDAN MEKANIKKASUUNNITTELU**

Risto Pinola  
Opinnäytetyö  
Kevät 2017  
Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma  
Oulun ammattikorkeakoulu

# TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu  
Kone- ja tuotantotekniikka, koneautomaatio

---

Tekijä: Risto Pinola  
Opinnäytetyön nimi: Moottoroidun lumilaudan mekaniikkasuunnittelu  
Työn ohjaaja: Jari Viitala  
Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: syksy 2017  
Sivumäärä: 28 + 4 liitettä

---

Opinnäytetyön aiheena oli moottoroidun lumilaudan mekaniikkasuunnittelu. Työ tehtiin Markus Huovisen toimeksiantona. Työssä tehtiin sähkökäyttöiselle telavetoiselle lumilaudalle mekaniikkasuunnittelu.

Suunnittelun lumilaudan oli tarkoitus olla sähkökäyttöinen ja telavetoinen eli sillä pystyisi ajamaan missä vain. Lumilauta on toinen prototyyppi, joka seuraa aikaisempaa polttomoottorilla toimivaa telavetoista lumilautaa.

Rakenteen tuli muistuttaa lumilautaa ja voimanlähteen piti olla sähkömoottorit. Lisäksi laudalla oli kriteereinä noin 160 senttimetrin pituus ja paino alle 40 kilogrammaa.

Suunnittelun mallinnusosa toteutettiin SolidWorksilla, kuten myös simulaatiot. Työ eteni systemaattisen suunnittelumetodin mukaisella tavalla. Ensin määriteltiin lumilaudan ominaisuudet ja vähittäiskriteerit. Tämän jälkeen laadittiin muutama luonnos, joista valittiin toteutettavat ominaisuudet. Nämä sitten mallinnettiin itse prototyypin mallinnuskuviin.

Prototyypin valmistus ei onnistunut aikataulun ylittymisen vuoksi. Syynä aikataulun ylittymiseen olivat suunnittelun sekä valmistuksen aikana tulleet muutokset. Prototyypin budjetti oli niukka ja käytännön toteutus vaatisi budjetin lisäämistä.

---

Asiasanat: mekaniikkasuunnittelu, lumilauta, prototyyppi

# SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ	3
SISÄLLYS	4
1 JOHDANTO	5
2 SUUNNITTELUMETODI VDI 2221	6
2.1 Tehtävän määrittäminen ja esisuunnittelu	7
2.2 Luonnostelu	7
2.2.1 Abstrahointi	8
2.2.2 Vaatimukset luonnostelussa	9
2.2.3 Toiminnollinen rakenne	9
2.3 Luonnostelun kehittäminen	10
2.4 Suunnittelun viimeistely	11
3 MOOTTOROIDUN LUMILAUDAN MEKANIKKASUUNNITTELU	13
3.1 Suunnittelun esittely	14
3.2 Rungon suunnittelu	15
3.3 Akselien suunnittelu	18
3.4 Vetotavan ja rattaiden suunnittelu	20
3.5 Telan suunnittelu	23
3.6 Moottoripaketin suunnittelu	24
4 PROTOTYYPIN OSIEN VALMISTUS JA TESTAUS	26
5 YHTEENVETO	27
LÄHTEET	28
LIITTEET	
Liite 1 Lumilaudan rungon kokoonpanopiirustus	
Liite 2 Telan kokoonpanopiirustus	
Liite 3 Moottoripaketin kokoonpanopiirustus	
Liite 4 Telan lamellin kokoonpanopiirustus	

# 1 JOHDANTO

Tämän opinnäytetyön tavoitteena on suunnitella ja toteuttaa telavetoisen lumilaudan toinen prototyyppi. Opinnäytetyö keskittyy mallinnukseen ja mekaniikkasuunnitteluun. Lumilaudan sähköpuoli on kerrottu toisessa opinnäytetyössä, jonka laatija on Joonas Aarnio (1).

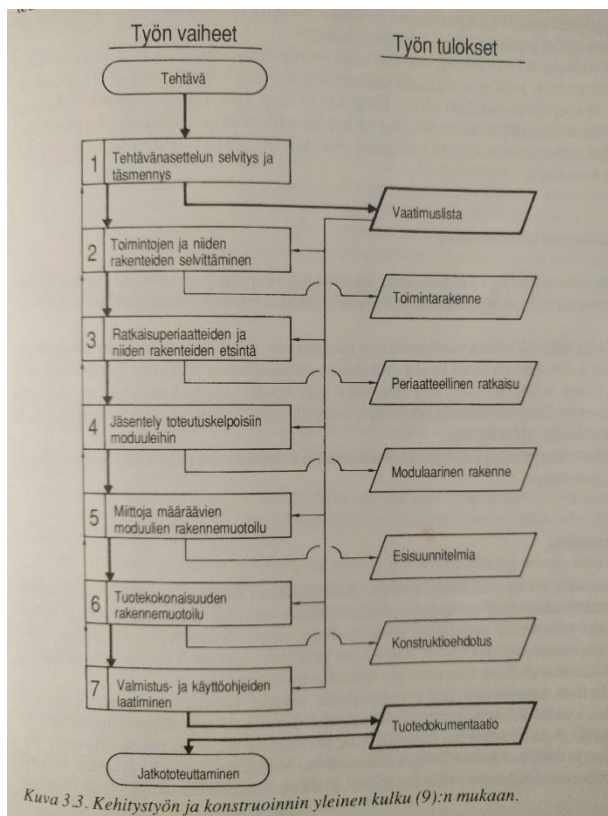
Opinnäytetyössä keskitytään tekemään parannuksia ja korjaamaan vikoja, joita esiintyi ensimmäisessä prototyypissä. Ensimmäisen prototyypin on rakentanut ja suunnitellut Markus Huovinen. Hän toimii opinnäytetyön tilaajana. Tavoitteena on saada toimiva prototyyppi.

Ongelmia, joita opinnäytetyössä ratkotaan, ovat telaratkaisu sekä rakenne, jolle tilaaja on asettanut kriteerit. Lisäksi pyritään ratkomaan aiemman prototyypin ongelmat. Siten lumilaudasta saadaan mahdollisimman toimiva.

Lumilaudan esitietona oli voimanlähteen toimiminen sähköllä. Lisäksi muodon tuli muistuttaa edelleen lumilautaa. Vaatimuksina lumilaudalle oli muun muassa painon pitäminen alle 40 kilogrammassa ja helppo huollettavuus.

## 2 SUUNNITTELUMETODI VDI 2221

Tämän opinnäytetyön suunnittelutyössä on käytetty systemaattista suunnittelu-  
metodia VDI 2221. Se on saksalainen suunnitteluohjeisto, joka vuonna 1993  
korvasi aiemmin voimassa olleen VDI 2222 -ohjeiston. Yksinkertaisesti selitet-  
tynä se käsittää rakennepuun, jossa on eri tehtäviä ja työn tuloksia. Nämä yh-  
distyvät toisiinsa, joista muodostuu systemaattisen suunnittelun runko. Suunnit-  
telumetodissa edetään askel kerrallaan, josta voidaan aina siirtyä uuteen vai-  
heeseen, kun edellinen on suoritettu. Tavoitteena on välttää tilanteita, joissa ha-  
vaitaan virheet tai puutteet sellaisissa tilanteissa, joissa niitä ei voi enää korjata.  
Tässä opinnäytetyössä tämä toteutettiin asettamalla tehtävät ja tavoitteet. Malli-  
esimerkki rakennepuusta on kuvassa 1. (2, s. 47 - 48).



KUVA 1. Suunnittelumetodissa käytettävä rakennepuu (2, s. 47)

## 2.1 Tehtävän määrittäminen ja esisuunnittelu

Suunnittelijan tehtävänä on ongelman kohtaaminen. Tehtävän määrittäminen on suoritettava mahdollisimman hyvin, jotta suunnittelijalla olisi tiedossa reunaehdot. Täten suunnittelija pystyy keksimään ongelmalle parhaan ratkaisun. Reunaehdojen pohjalta voidaan laatia avuksi vaatimuslista, jota pidetään ajan tasalla koko projektin ajan. Vaatimuslistan tekemisellä vältetään samalla turha suunnittelutyö. Työn kannalta tässä vaiheessa tehdään siis reunaehdot, joiden puitteissa projekti tehdään. (2, s. 48, 62.)

Kun tehtävää ollaan laatimassa, on suunnittelijan hyvä esittää kysymyksiä. Näillä suunnittelija voi laajentaa ymmärrystään ongelmasta ja samalla välttää mahdolliset väärinymmärrykset. Samalla on myös hankkiuduttava eroon ennakkoluuloista, koska ne voivat haitata projektin suunnittelutyötä. Tehtävää asetettaessa vaaditaan tarkkuutta ja varmistetaan, että suunnittelijalla on annetut reunaehdot tiedossa. Opinnäytetyössä tämä toteutui kysymällä tarkentavia kysymyksiä, jotta reunaehdot ovat selkeästi tiedossa. (2, s. 35 - 36, 48.)

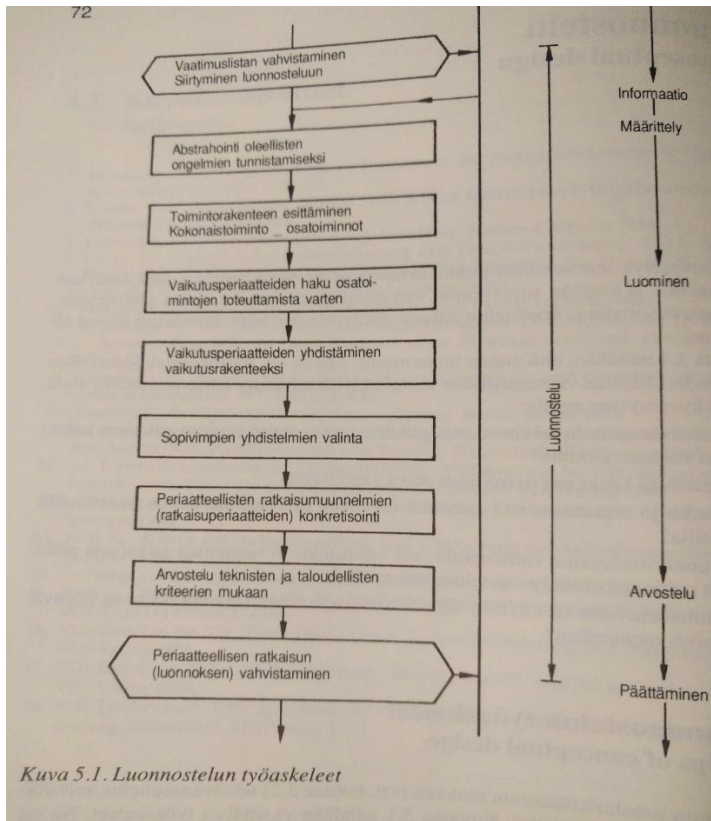
Kun aloitettiin lumilaudan suunnittelu, pidettiin palaveri, jossa asetettiin reunaehdot ja aikataulu toteutukselle. Samaisessa palaverissa täsmennettiin esitiedoissa epäselviksi jääneitä asioita esittämällä kysymyksiä tilaajalle.

## 2.2 Luonnostelu

Tehtävää luonnosteltaessa laaditaan työlle periaatteellinen ratkaisu. Tästä työ haarautuu useampaan vaiheeseen kuten abstrahointiin, toimintorakenteen laatimiseen ja vaatimuslistan tekemiseen. (2, s. 48.)

Luonnostelut arvioidaan vaatimuslistan mukaan ja ne joko hylätään tai arvostellaan sovitulla kriteereillä. Arvostelu tehdään lähinnä tekniseltä näkökannalta. Tämän tarkoitus on tuoda esille ratkaisuja osatoiminnoille. (2, s. 48–49.)

Luonnosteluvaiheessa tehtiin alustavia luonnoksia mahdollisesta toteutuksesta. Näitä käytiin palaverissa läpi ja päätettiin, mitkä vaihtoehdot hylätään ja mitä jätetään eteenpäin. Kuvan 2 mukaisesti käytiin lumilaudan osat läpi ja valitsimme sopivimmat vaihtoehdot.



KUVA 2. Luonnostelun työaskeleet VDI 2221:n mukaisesti (2, s. 72)

### 2.2.1 Abstrahointi

*Abstrahoinnissa* pyritään korostamaan yksiselitteistä monimutkaisuuden sijaan. Tehtävä jaetaan osiin, joissa löytyvät toiminnalliset yhteydet. Toisin sanoen ei ajatella esimerkiksi että ”hammaspyörä pitää laakeroida” vaan voidaan ajatella, että ”hammaspyörä on saatava pyörimään sulavasti”. (2, s. 73.)

Kun *abstrahointia* tehdään vaatimuslistaa apuna käyttäen, on tehtävä reunaehdoista analyysi millä tehtävän ydinolemus saadaan selville. Näin saadaan eliminoitua toiminnan kannalta epäoleelliset asiat. Samalla muutetaan määrälliset toteamukset laadullisiksi sekä muotoillaan ongelma ratkaisuun nähden neutraalisti. Tämän tarkoitus on saada aikaan lopputulos, missä esitetään ongelma lyhyesti ja tavoitteet on määritelty abstraktilla tasolla. (2, s. 74.)

Kun lumilautaa suunniteltiin alustavasti, abstrahointivaihe tehtiin karsimalla turhat ominaisuudet pois. Jäljelle jätettiin kriteerit ja toteutustavat, jotka ovat mah-

dollisia toteuttaa aikatauluun ja resursseihin nähden. Samalla piti ratkaista te-  
laston toteutustapa, joka oli yksi ongelmista. Muita ratkaistavia osioita olivat lu-  
milaudan vesitiiveyden toteutus ja sähkökomponenttien sijoittelu lumilautaan.

### **2.2.2 Vaatimukset luonnostelussa**

Vaatimuslista laaditaan tehtävään perehtymisen jälkeen. Se on tehtävälle laa-  
dittu lista toivomuksista ja vaatimuksista, jotka halutaan toteuttaa. Samalla se  
toimii perustana myöhemmin tehtävälle arvioinnille ja päätöksenteolle. Vaati-  
mukset on jaoteltu kolmeen eri luokkaan: kiinteisiin vaatimuksiin(KV), vähim-  
mäisvaatimuksiin(VV) ja toiveisiin(T). Kiinteät vaatimukset on täytettävä joka ti-  
lanteessa ja vähimmäisvaatimukset on täytettävä vähimmäisarvoonsa. Toiveet  
ovat lisäetua ja ne täytetään mahdollisuuksien mukaan. (3, s. 80.)

Vaatimukset voidaan myös tarpeen tullen luokitella tärkeyden mukaan. Tällöin  
käytetään merkintöjä erittäin tärkeä, tärkeä, vähemmän tärkeä. Tämä on hyvä  
tapa silloin, kun kustannuksista on pidettävä tarkkaa lukua jo suunniteltaessa.  
Vaatimukset tulee listata selkeästi luetteloon. Koska vaatimuslistaa käytetään  
työssä perusasiakirjana, se täytyy pitää ajan tasalla. Vaatimuslista esitellään  
tehtävän toimeksiantajalle, joka hyväksyy vaatimuslistan mukaisen tehtävien  
määrittelyn. (2, s. 64, 66 - 67.)

Kun olimme tilaajan kanssa tehneet lumilaudan esisuunnittelun valmiiksi, laadi-  
ttiin vaatimuslista hyödyntäen hyväksytyjä kriteerejä. Nämä lajiteltiin vielä tär-  
keysjärjestykseen, josta muodostui lopullinen vaatimuslista.

### **2.2.3 Toiminnollinen rakenne**

Abstrahointia käyttämällä luodun ongelman muotoilu sisältää toiminnollisen riip-  
puvuuden, jota kutsutaan myös *kokonaistoiminnoksi*. Se on laitteen pääasialli-  
nen tehtävä. Kokonaistoiminto koostuu osatehtävistä, jonka vuoksi se voidaan  
jaotella edelleen *osatoimintoihin*. Ne muodostavat kokonaistoimintoa kuvaavan  
*toimintorakenteen*. (2, s. 81 - 82.)

Toimintorakenteen tehtävänä on kuvata yksinkertaisella sekä selkeällä tavalla  
kokonaistoimintoa. Täten voidaan eritellä monimutkaisia osatoimintoja uusiin

osamuotoihin. Täten voidaan ratkoa tehokkaasti osatoimintoja, jotka muuten olisivat liian monimutkaisia ratkaistaviksi. Ongelman laajuus määrittää toimintorakenteen laajuutta. Jotta toimintorakenteesta tulisi toimiva, on suunnittelijan tehtävänä etsiä osatoiminnot sekä niiden välillä olevat yhteydet. (2, s. 83.)

Siinä vaiheessa, kun osatoiminnoille on laadittu luonnokset ratkaisuvaihtoehdoista, ne kootaan yhteen morfologiseen kaavioon. Morfologisessa kaaviossa luonnokset on jäsennelly kategorioittain. Jäsentely laaditaan siten, että pystyriiville asetetaan osatoiminnot ja vaakariville luonnokset ratkaisuihin. Vaakarivejä on yleensä monta, koska luonnoksia on useampi kappale. Kaaviosta on täten helppo yhdistää toimivat osatoiminnot yhteen ja täten karsia pois toimimattomat ja kalliit vaihtoehdot. (3, s. 89.)

Vaatimuslistan tärkeimmät kriteerit ja ratkaisuvaihtoehdot laaditaan kootusti valintataulukoon. Valintataulukosta ilmenee kriteerit täyttävät vaihtoehdot ja täyttämättömät vaihtoehdot. Taulukossa on oma sarake, johon kirjataan päätökset sekä huomautukset kustakin valinnasta. (3, s. 91.)

Lumilaudan suunnittelussa tämä toteutettiin vetotavan ja rattaiden suunnittelussa valintakaaviolla. Siihen laitettiin eri vaihtoehdot ja parhaimmat yhdistettiin yhdeksi kokonaisuudeksi.

### **2.3 Luonnostelun kehittäminen**

Kehittämisvaiheessa tuotteen rakenne kehitetään tekniseltä ja taloudelliselta näkökannalta täydelliseksi tuotokseksi. Samalla lyödään lukkoon rakenne-  
muoto. Tässä vaiheessa pääpaino on valmistusmenetelmien, materiaalien sekä päämittojen vahvistamisesta ja yhteensopivuuden varmistamisesta. Tämä vaihe etenee poikkeuksellisesti siten, että vaiheet täydentävät toisiaan korjaten samalla mahdollisia ongelmia. Muutos yhdessä kehityksessä voi vaikuttaa toiseen kehitysvaiheeseen. Osatoimintojen kehitys tapahtuu rinnakkaisesti. (2, s. 176.)

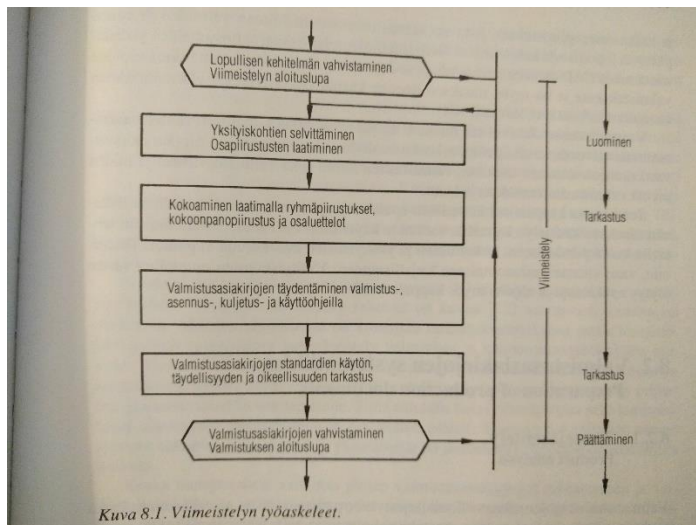
Päätökset voidaan tehdä tietyssä tärkeysjärjestyksessä. Esimerkiksi ennen, kun voidaan päättää materiaalivalinnoista tai rakennemuodosta, pitää olla tiedossa toimintavaatimukset ja mittavaatimukset. Tämän jälkeen voidaan edetä seura-

vaan vaiheeseen ja näin käydä kehitettävät osatoiminnot läpi. Lyhyesti sanottuna kehitysvaiheessa tehdään esimerkiksi luonnoksista tarkat kokoonpanopiirustukset. (2, s. 177.)

Kehitysvaihe lumilaudan suunnittelussa tehtiin suunnitteluvaiheessa. Kun kriteerit oli päätetty, osat suunniteltiin ja mallinnettiin kriteerejä vastaaviksi.

## 2.4 Suunnittelun viimeistely

Viimeistely on viimeinen vaihe systemaattisessa suunnittelussa. Siinä kokoonpanorakenne täydennetään lopullisilla valinnoilla eri osatoimintojen alueilta. Viimeistelyn työaskeleet on jaettu hyvin kuvan 3 mukaisesti. Tässä vaiheessa on tärkeintä tehdä päätökset lopullisista materiaaleista, valmistusmenetelmistä sekä käytettävistä toleransseista. Viimeistelyvaiheessa työ- ja kokoonpanopiirustukset, osaluettelot sekä muut tärkeät valmistukseen liittyvät asiakirjat ovat tärkeitä dokumentteja. (2, s. 458.)



KUVA 3. Viimeistelyn työaskeleet (2, s.459)

Lopullisen kehitelmän osien viimeistelyssä selvitetään muun muassa käytettävät standardiosat sekä valmistusmenetelmät. Samalla tehdään osille lopulliset työpiirustukset. Kun nämä ovat tehtynä, laaditaan kokoonpanopiirustukset ja tarvittavat osaluettelot. Tässä vaiheessa järjestykseen vaikuttavat toimitusajan, tilauksenkäsittelyn, kuljetuksen sekä asennuksen tarpeet. (2, s. 458 - 59.)

Suunnitteluvaiheen jälkeen täydennetään asiakirjoja. Tämä tarkoittaa tarvittavien asennus-, kuljetus- ja käyttöohjeiden kirjoittamista. Kun nämä on kirjoitettu, asiakirjat tarkastetaan. Erityisesti osapiirustukset ja osaluettelot on tarkastettava, jotta ne täyttävät standardit sekä mitoituskriteerit sekä valmistuskriteerit. (2, s. 459.)

Viimeistelyvaihe tehtiin samalla kun lumilautaa suunniteltiin. Materiaalivalinnat ja mahdolliset vaatimusmuutokset tehtiin joko suunnitteluvaiheessa tai jälkikäteen muokkaamalla malleja.

### 3 MOOTTOROIDUN LUMILAUDAN MEKANIKKASUUNNITTELU

Opinnäytetyö aloitettiin pitämällä aloituspalaveri, jossa työstä laadittiin lähtötietomuistio VDI 2221:n mukaisesti. Samaisessa palaverissa hahmoteltiin alustavia kriteerejä lumilaudan ominaisuuksille sekä kustannusarviota. Tilaajalle oli tärkeää, että laite muistuttaa edelleen lumilautaa ulkoisesti. Lisäksi kustannusten piti pysyä mahdollisimman alhaisina. Koska lumilaudasta oli tehty jo aiemmin polttomoottorilla varustettu versio, tiedettiin, että laitteen pitäisi olla mekaniikkaltaan toimiva. Ainoa suuri ongelma oli telan suunnittelu, sillä valmis muovitela olisi ollut liian painava.

Aluksi mietin suunnittelua tutkimalla, olisiko lumilaudan voinut rakentaa jonkin valmiin tuotteen pohjalta. Huomasin pian, että vesilautailussa käytettävä lauta olisi ollut mittasuhteilleen oiva valinta. Lisäksi kantavuus olisi riittänyt veden päällä kulkemiseen muutoksien teon jälkeenkin. Ongelma tässä kuitenkin muodostui itse laudan hinnasta, joka oli budjettiin nähden liian kallis.

VDI 2221:tä on käytetty tässä työssä suunnittelun työkaluna. Tästä esimerkkinä on vaihtoehtojen punnitseminen ja listaaminen morfologiseen kaavioon, josta parhaimmat vaihtoehdot on poimittu yhdeksi kokoonpanoksi.

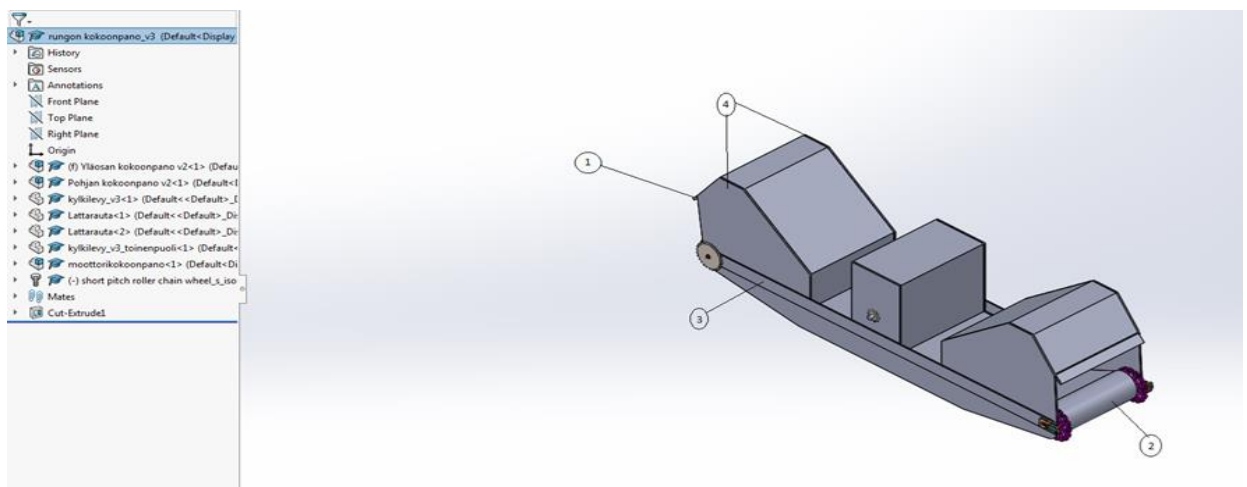
Vaihtoehtoina oli hyödyntää olemassa olevia tuotteita ja muokata niistä toimiva prototyyppi. Esimerkiksi runkovaihtoehtona oli normaali lumilaudan runko. Näitä vaihtoehtoja mietittiin aloituspalaverissa. Laadittiin lista, mihin määritettiin kriteerit ja suunnittelulle asetetut rajat. Tämän listan oli tarkoitus ohjata suunnittelua (kuva 4).

VAATIMUSLUOKKA	VAATIMUS	TÄRKEYS
	MITAT	
KV	Paino alle 40kg	
VV	Pituus noin 160cm	
	VOIMANLÄHDE	
KV	Sähkömoottori	
	MATERIAALIT	
KV	Runko-osat vaneria	
KV	Muiden osien materiaali mahdollisimman kevyttä	
	KÄYTTÖ	
VV	Ohjaus kauko-ohjaimella	
KV	Kääntyminen kanttaamalla	
T	Helppo huoltaa	
	KUSTANNUKSET	
KV	Kokonaishinta ei saa ylittää 2000 euroa	

KUVA 4. Aloituspalaverissa laadittu vaatimuslista

### 3.1 Suunnittelun esittely

Suunniteltu lumilaudan rakenne koostuu kahdesta isommasta kokoonpanosta: lumilaudan rungosta ja telastosta. Runko on jaettu ylärunkoon (kuva 5, osa 1) ja alarunkoon (kuva 5, osa 2), joiden välinen tila luo telatunnelin missä itse telasto pystyy kulkemaan. Runkoon on myös liitetty kaksi alumiinista lattatankoa (kuva 5, osa 3), jotka tukevat runkoa ja jäykistävät sitä. Tietenkin lumilaudan rungossa on myös kaksi kylkilevyä (kuva 5, osa 4), jotka peittävät ontot rakenteet ja tukevat rakenteen muotoa.



KUVA 5. Havainnollistava kuva kokoonpanosta ja rakennepuusta

Erillisiä kokoonpanoja on vielä moottoripaketin kokoonpano, mikä koostuu laakeripesästä, vetoakselista, vetorattaista ja pikkumoottoreiden kiinnityspaikoista. Kokoonpanon hammasrattaina käytettiin standardikomponentteja, joilla on hyvä saatavuus ja kustannukset ovat matalat. Osat ovat tarkemmin nähtävissä kokoonpanopiirustuksissa (liite 1 ja 2). Kuvassa 5 on havainnollistava kuva suunnittelusta rakenteesta.

### **3.2 Rungon suunnittelu**

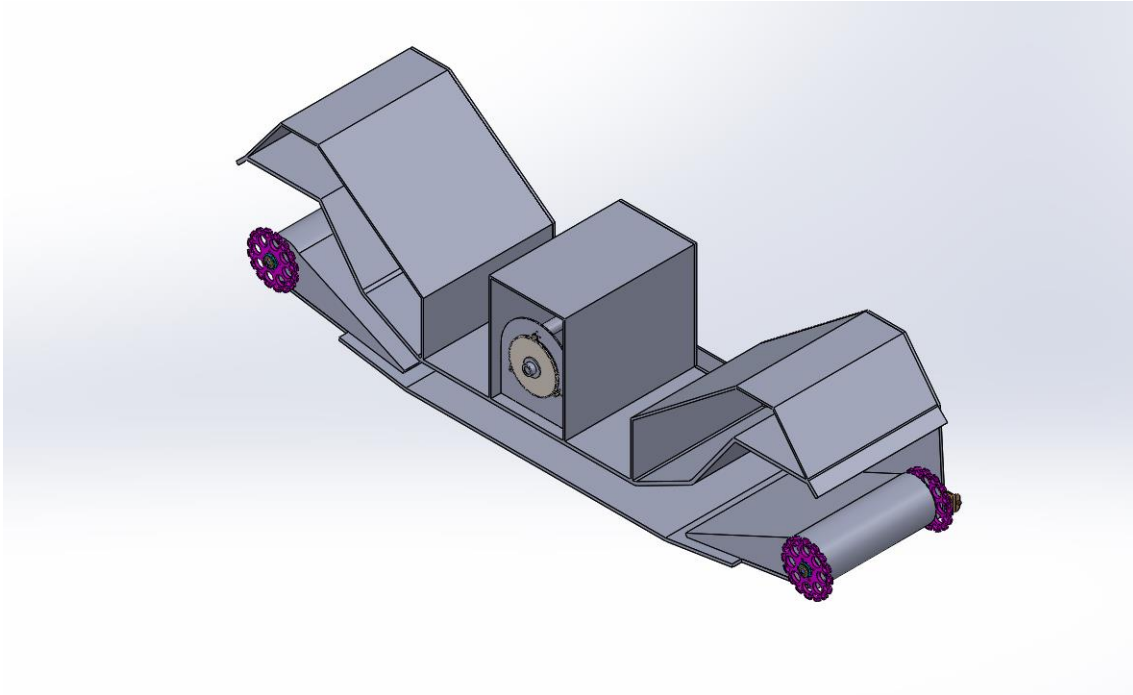
Toiveena oli, että laite muistuttaisi muodoiltaan oikeaa lumilautaa, hain rungon yläosan suunnitteluun inspiraatiota oikeasta lumilaudasta. Rungon suunnittelussa ongelmakohtia olivat muotoilu ja sähkökomponenttien sijoittaminen runkoon. Tämän vuoksi runkoon on saatava vesitiivis tila sähkökomponenteille.

Vaihtoehtoja olivat joko rungon kokonaan itse suunnittelu tai muokattu normaali lumilaudan runko. Jälkimmäinen vaihtoehto olisi ollut vähiten työtä vaativa, mutta se jouduttiin hylkäämään. Syy oli sähköosien tilantarve, jonka vuoksi oli järkevämpää suunnitella koko runko itse. Suunnittelu voitiin tehdä kriteerien ehtoilla.

Laitteen muodosta tuli valmistusteknisistä syistä hyvinkin kulmikkaita. Aloituspäivä laverissa päätettiin, että runko tehtäisiin 9 millimetrin vahvuisesta vanerista. Tätä on vaikea saada pyöreään muotoon, jonka vuoksi järkevämpää oli tehdä valmistuksen kannalta helpompi muoto. Kulmikas muoto helpottaa myös osien kiinnitystä toisiinsa.

Runkoon on tehty päihin kennomaiset rakenteet, joiden tarkoitus on tuoda lisää kantavuutta rakenteelle. Nämä ovat vesitiiviitä, joten niihin voidaan sijoittaa sähkökomponentteja. Laitteen kylkilevyt päätettiin tehdä ohuemmasta 6,5 millimetrin vanerista, jotta paino saataisiin pidettyä sovituisissa rajoissa.

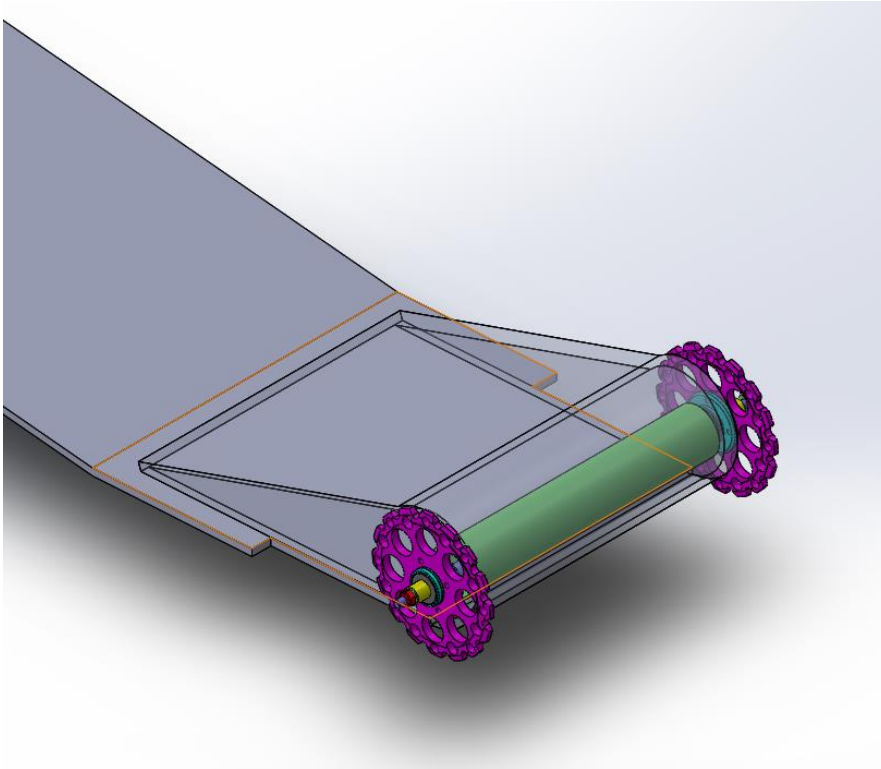
Siteiden paikoille suunnittelin vain paikoitusreiät, koska siteitä on eri malleja ja yleensä niillä on vain samat paikoitusreiät. Täten käyttäjä pystyisi itse valitsemaan ja asentamaan mieluiset siteet. Kuvasta 5 voi nähdä lumilaudan rungon suunnittelun idean ja kuvassa 6 on lumilaudan kennorakenteesta kuva, jolla oli tarkoitus keventää rakennetta.



*KUVA 6. Kennorakenne havainnollistettuna leikkauskuvana*

Runkoa tukemaan suunniteltiin kylkiin asennettavat 5 millimetrin paksuiset lattaraudat. Näiden tehtävä on jäykistää rakenne ja täten estää rungon vääntyminen käytön aikana. Lattaraudat suunniteltiin kiinnitettävän kylkilevyihin hyödyntäen akseleita. Lattatangot on esitetty kokoonpanokuvassa (liite 1).

Rungon alaosa oli tehtävä yläosan ehdoilla. Samalla alaosan ja yläosan väliin jäävä tila toimisi telatunnelina, jossa tela mahtuu pyörimään. Jotta tela pystisi kulkemaan jouhevasti, päädyin tekemään alarungon päätyihin pisaranmuotoisen päätyosan. Ideana oli, että pohjalevyn ja päädyn kokoonpanon väliin olisi jäänyt tyhjä tila, joka olisi ollut vesitiivis ja samalla tuonut laudalle nostetta. Sama tila olisi suojannut samalla osaa akseleista. Päädyn kokoonpanon muoto on esitelty kuvassa 7 ja pohjarakenteen muotoa on nähtävissä kuvassa 6.



*KUVA 7. Päädyn kokoonpanon muoto*

Ala- ja yläosan liittäminen toisiinsa suunniteltiin tehtäväksi puuruuveilla, jotka olisivat tulleet kylkilevyistä kiinni rungon puoliskoihin. Mietimme myös suunnitteluvaiheessa vaihtoehtoja sille, että puoliskot olisivat helposti toisistaan irrotettavissa huoltotarkoituksessa. Tämä kuitenkin jäi ajatustasolle eikä jalostunut mallieihin asti. Mallinnettu ratkaisu tekisi puoliskojen irrotuksesta ja uudelleenkiinnityksestä hankalaa. Kuitenkin telatunneliin on helppo pääsy päädyistä, joten sen puhdistaminen on helppoa esimerkiksi jättämällä lauta pystyasentoon.

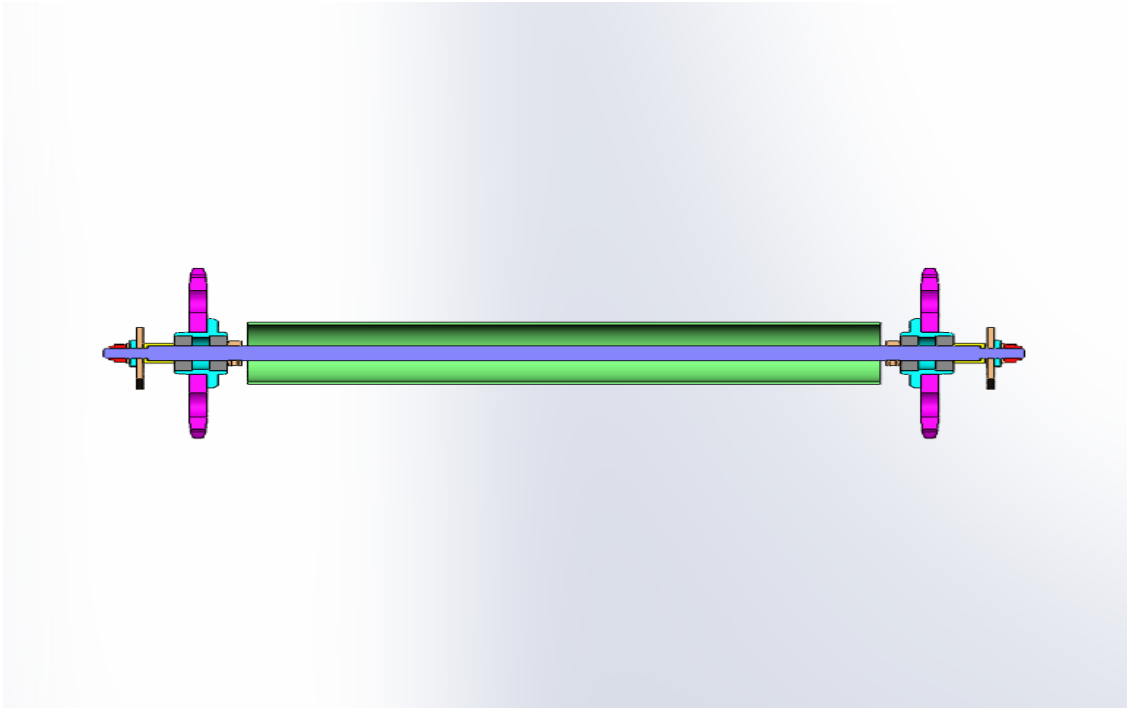
### 3.3 Akselien suunnittelu

Akseleita suunniteltaessa haluttiin niiden olevan kevyitä, mutta kestäviä. Ongelmia akselisuunnitteluun toivat materiaalit, vesitiiveys ja niiden fiksu sijoittaminen runkoon. Lisäksi telan kiristys oli otettava huomioon suunnitteluvaiheessa.

Vaihtoehtoina olivat akseleiden mitoittaminen erikokoiseksi, jotta painoa ei olisi tullut liikaa loppukokoonpanoon. Tällöin etuakselin halkaisija olisi ollut 12 millimetriä ja taka-akselin halkaisija 15 millimetriä. Koska telan kiristys oli tehtävä, vaihtoehtoiksi nousivat yksinkertainen päittäiskiristys muttereilla tai hienompi kiristysmekanismi taka-akselin päihin.

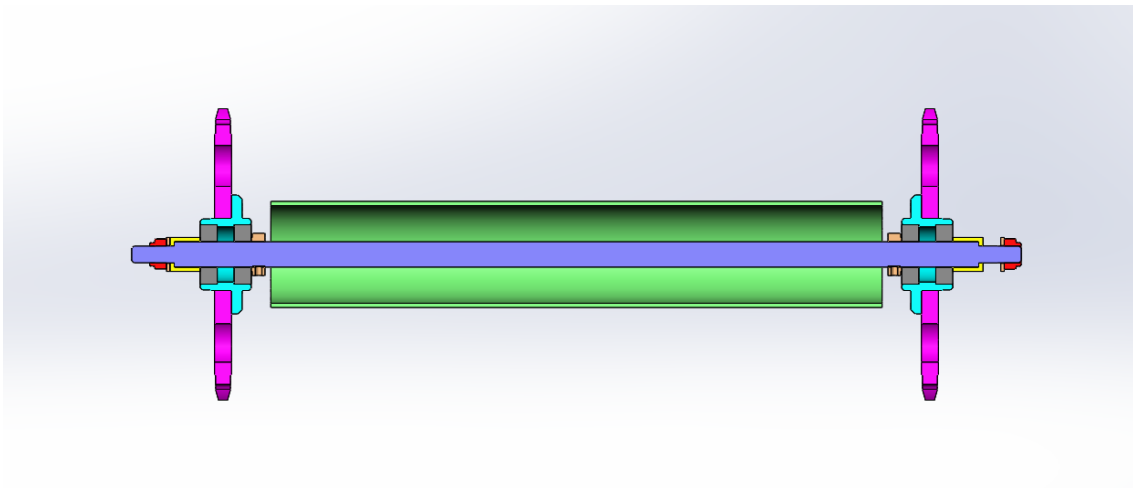
Akselisuunnitelmat vaihtelivat opinnäytetyön aikana ja lopulta kokoonpanoon päätettiin käyttää tilaajan suunnittelemaa akselikokoonpanoa. Molemmissa akseleissa napojen välissä oleva putki oli tarkoitus täyttää uretaanilla, jolla oltaisiin saatu aikaan nostetta. Putki jää pisaralevyjen väliin, joten tila on vesitiivis. Tätäkin kokoonpanoa joutui hieman muokkaamaan yhteensopivuusongelmien vuoksi.

Lopullisessa kokoonpanossa akselit ovat molemmissa päissä samankokoiset. Etuakselia joutui muokkaamaan hieman, jotta kiinnitykset saataisiin hyvin paikalleen. Kuvassa 8 on taka-akselin kokoonpanon poikkileikkaus.



*KUVA 8. Taka-akselin kokoonpanon poikkileikkaus*

Kuvassa 9 on kuva etuakselin kokoonpanon poikkileikkauksesta. Ainoat poikkeavuudet taka-akseliin verrattuna (kuva 8) ovat akselin halkaisija sekä telaston kiristysmekanismin puuttuminen.



*KUVA 9. Etuakselin kokoonpanon poikkileikkaus*

### 3.4 Vetotavan ja rattaiden suunnittelu

Vetotavan suunnittelu oli koko työn kannalta yksi haastavimmista. Huomioon tuli ottaa aiemmin tehty akselisuunnittelu sekä rungon asettamat rajoitteet. Ongelma suunnittelussa oli tehdä vetotavasta mahdollisimman yksinkertainen ja helppo toteuttaa.

VDI 2221:n mukaisesti vetotavan valinnassa mietittiin eri vaihtoehtoja. Ongelmina olivat paino ja kustannukset. Vaatimuksina oli vetotavalle yksinkertaisuus ja mahdollisimman edullinen vaihtoehto. Vaihtoehdot kasattiin morfologiseen kaavioon, jossa on myös valinnat. Kuvassa 10 on esitelty kyseiset valinnat.

	Ratkaisu			
Osatoiminto	A	B	C	D
Ketjutyyppi	"Perus 08-B"	Tuplajako		
Telan rattaiden kiinnitys	Ruuviliitos	Hitsaus		
Voimansiirron rattaan kiinnitys	Ruuviliitos	Hitsaus		
Telan kireyden säätö	Päittäispuristus muttereilla	Ei kiristystä	Erilliset kiristimet	

*KUVA 10. Vetotavan ja rattaiden valintakaavio*

Vetotavassa päädyttiin siihen, että veto tulee etuakselille. Telan kiristys sijoitettiin taka-akselille, koska molempien sijoittaminen samalle akselille olisi ollut ongelmallista.

Vetävä ketju päätettiin tehdä normaalilla ketjulla, jolloin osien saatavuus on hyvä ja hinta kohtuullinen. Lisäksi rattaiden kokoluokka on liian pieni, jotta tuplajakoketjua olisi ollut järkevää käyttää.

Kaaviossa on punaisella merkattuna valinnat, mitkä päätettiin toteuttaa suunnittelussa. Ne täyttivät ennalta vaaditut kriteerit. Voimansiirron rattaiden välitys määritettiin siten että takana olevan hammaspyörän hammasluku on 26 ja moottorilta voiman välittävän hammaspyörän hammasluku on 10. Taka-akselille sijoitettavan hammasrattaan koko päätettiin, että se saa olla maksimissaan 0,75 kertaa niin iso kuin telaa pyörittävä ratas. Välityssuhteen laskenta tehtiin kaavalla 1.

$i = \text{välityssuhde}$

KAAVA 1

$z_1 = \text{eturattaan hammasluku}$

$z_2 = \text{takarattaan hammasluku}$

$$i = \frac{z_2}{z_1} = \frac{26}{10} = 2,6$$

Kaavassa 1  $Z_2$  on takarattaan, ja  $Z_1$  on eturattaan hammaslukumäärä. Välityssuhteen selvittäminen oli tärkeää, jotta tiedetään lumilaudan nopeus sekä liikkellelähetyky.

Akselit on laakeroitu molemmin puolin kahdella laakerilla per napa, eli neljällä laakerilla per akseli. Laakerivalinnassa päädyin SKF:n 1601-sarjan tyyppisiin laakereihin. Laakereiden mekaaniset ominaisuudet täyttivät vaaditut kriteerit. Kuvassa 11 on laakerityypin mekaaniset ominaisuudet kuvattuna.

#### Calculation data

Basic dynamic load rating	C	5	kN
Basic static load rating	$C_0$	2.3	kN
Fatigue load limit	$P_u$	0.1	kN
Reference speed		60000	r/min
Limiting speed		38000	r/min
Calculation factor	$k_r$	0.025	
Calculation factor	$f_0$	13	

#### Mass

Mass bearing	0.0264	kg
--------------	--------	----

KUVA 11. Kuvakaappaus laakerin ominaisuuslehdeltä

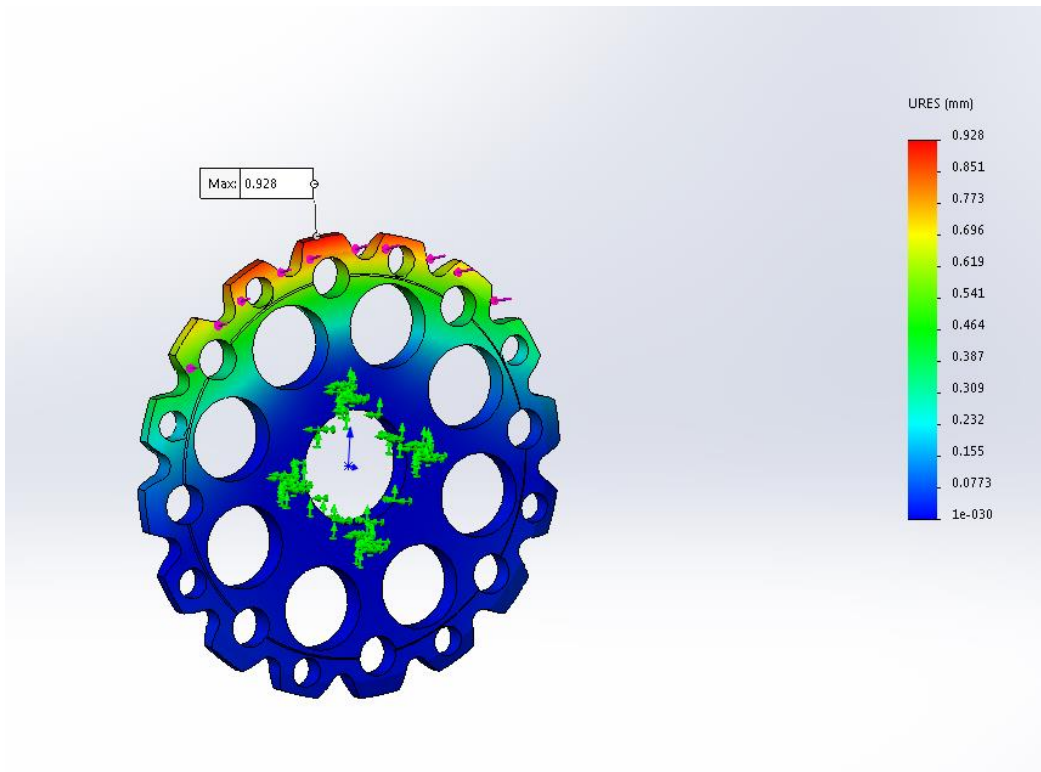
Telastoa pyörittävien hammasrattaiden suunnittelussa huomioitavia asioita olivat materiaalin kestävyys, keveys sekä lian kertyminen. Lähdimme aluksi miettimään normaaliijaolla olevia hammasrattaita. Päädyimme kuitenkin hylkäämään vaihtoehdon, koska lika olisi aiheuttanut ongelmia niin hammasrattaille kuin telastolle. Toinen vaihtoehto oli tuplajakorattaat, jossa normaalia suurempi yhden tuuman, eli 25,4mm, jako estäisi liasta johtuvat ongelmat.

Telastoa pyörittävät hammasrattaat päädyttiin tekemään tuplajaolla, koska itse tela päädyttiin suunnittelemaan tuplajakoketjuun perustuen. Hammasrattaan koko päätettiin olevan 130 millimetriä. Hammasrattaat on mallinnettu ketjulle sopivien ISO 1275 -standardin mukaisten tuplajakohammasrattaiden mukaan.

Koska osille asetettiin vaatimus olla mahdollisimman kevyitä, tehtiin hammasrattaisiin kevennysreikiä vähentämään painoa. Rattaan materiaaliksi valittiin Hardox 500, koska tilaajalla oli sitä valmiiksi saatavilla. Lisäksi Hardoxin lujuus- ja kovuusominaisuudet täyttivät vaaditut kriteerit.

SolidWorksilla tehtiin lujuusanalyysi hammasrattaalle. Analyysin kuormituksena oli 1 000 kilon sivuttaisvoima. Tällainen kuormitus rattaaseen voi syntyä tilanteessa, jossa hypätään sivuittain ja lauta osuu johonkin kovaan. Materiaalina käytettiin lähimpänä Hardoxia muistuttavaa materiaalia.

Hammasratas kesti sen hyvin ja muodonmuutos ei ylittänyt kriteerejä. Kuvassa 11 on kuvakaappaus suoritetusta lujuusanalyysistä. Lujuusanalyysin tulos oli, että 1 000 kilon sivuttaisvoima hammasrattaaseen aiheuttaa 0,928 millimetrin sivuttaissiirtymän. Se täyttää kriteerit, koska tuplajakoketjun sisäleveys on 8 millimetriä ja rattaiden hampaat ovat 7 millimetriä.



*KUVA 11. Telaarä pyörättävän rattaan poikkeaman analyysi*

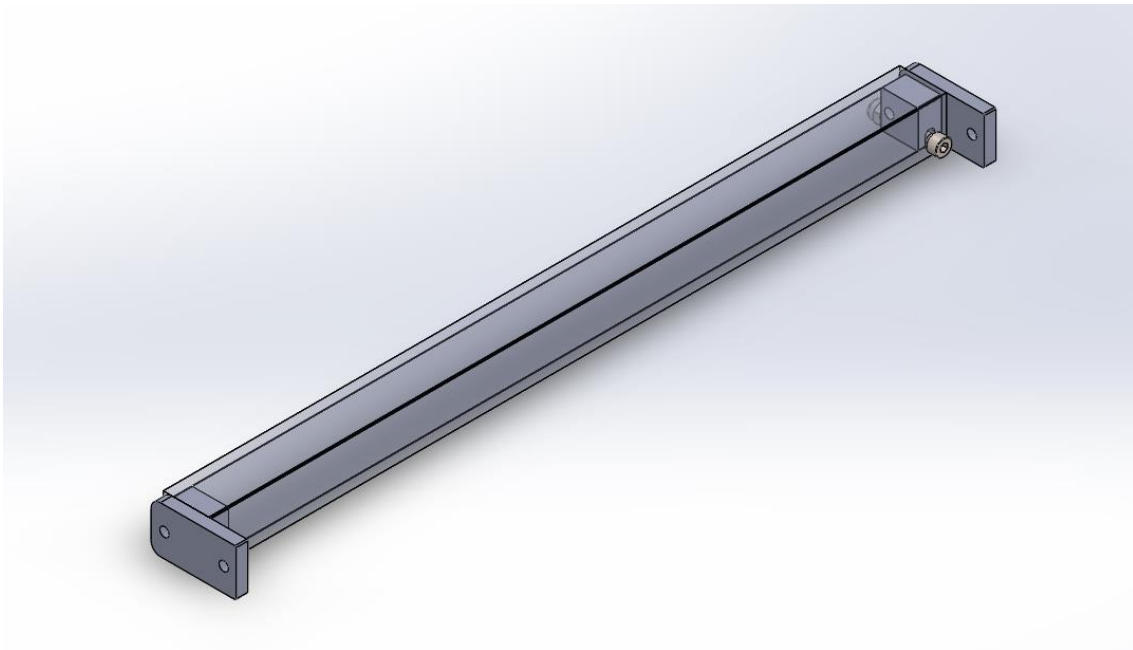
### 3.5 Telaarä suunnittelu

Telaarä suunnittelu oli koko opinnäytetyön kannalta kaikista haastavin niin suunnittella kuin mallintaakin. Suunnittelussa ongelma oli pitää telasto kevyenä ja yksinkertaisena.

Vaihtoehtoina olivat joko tehdä telasto yksinkertaisesti ketjujen ja erillisten lamellien avulla tai käyttää valmista kumitelaa. Kumitelasta jouduimme luopumaan, koska ne painavat liikaa ja olivat liian kalliita.

Telaarä suunnittelussa päädyttiin suunnittelupalaverissa ideaan, missä telaarä muodostetaan kahden ketjun välille sijoitettavista neliöputkista. Itse neliöputkiin kiinnitetään lamellit ja putken päät yhdistetään ketjuun erikseen suunniteltavalla liittimellä. Itse liitin suunniteltiin kiinnitettävän ketjuun M4 12.9 kuusiokoloruuvien varresta tehtävillä pitkillä tapeilla. Tähän päädyttiin, koska kyseiset ruuvit menevät hyvin tapin reiästä läpi. Liitin ja neliöputki yhdistetään toisiinsa kuusiokoloruuvilla ja lukkomutterilla.

Lamelleja ketjulle tulee yhteensä 36 kappaletta. Telan kokoonpano on nähtävissä liitteessä 3 ja lamellikokoonpanoa havainnollistaa hyvin kuva 12. Lamellin kokoonpanopiirustus on liitteessä 4. Telaan asennettavat lamellit suunniteltiin 50 millimetriä korkeiksi. Tarkempi suunnittelu jätettiin myöhemmäksi.



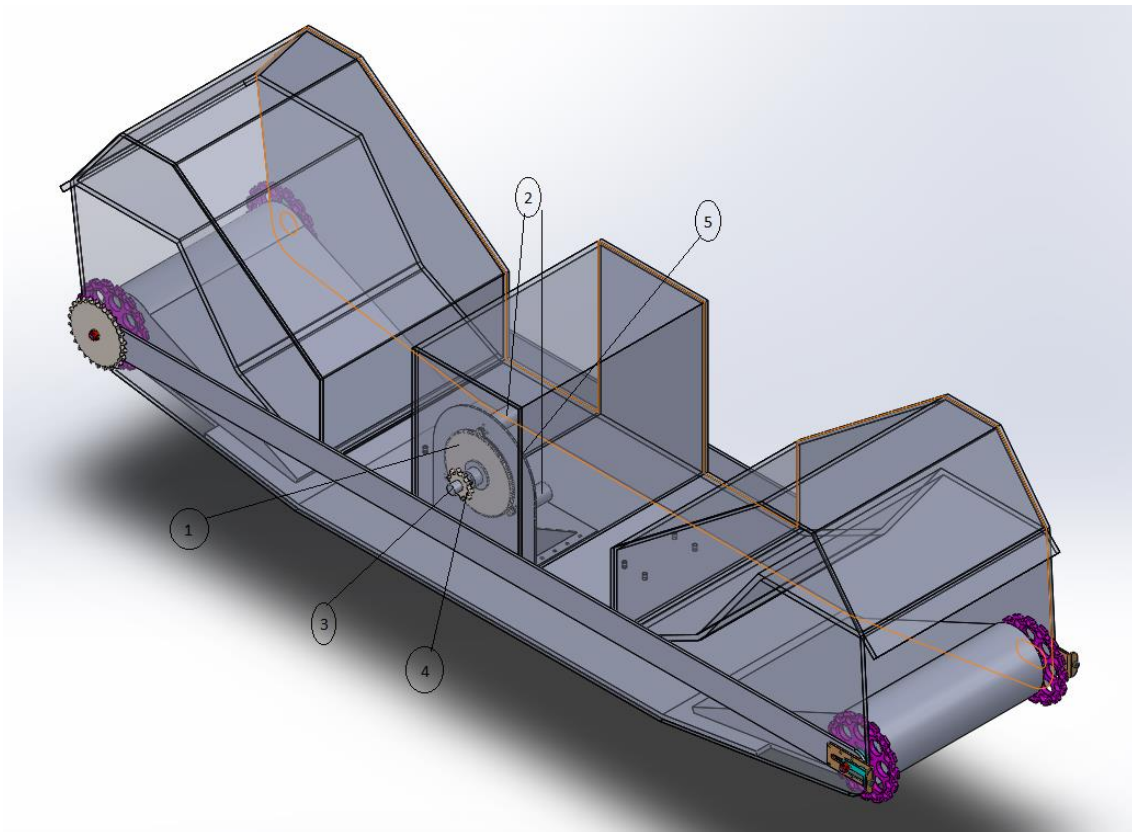
*KUVA 12. Telaston lamellikokoonpanon kuva*

### **3.6 Moottoripaketin suunnittelu**

Koska sähköpuolen opinnäytetyöllä oli vaikutus moottoripakettiin, moottoripaketti suunniteltiin yhdessä Joonas Aarnion kanssa. Vaihtoehtoina oli kaksi eri toteutustapaa: käyttämällä vanhaa sähköperämoottoria tai rakentaa kokonainen moottoripaketti pienistä sähkömoottoreista. Sähköperämoottorin ongelmaksi muodostui koko ja järkevä sovitus runkoon. Toisaalta moottoripaketin ongelmia olivat muun muassa rattaiden koon valinta ja osien hinta. Päädyimme kuitenkin rakentamaan moottoripaketin, koska sen koko oli tarpeeksi pieni ja rakenne oli helppo toteuttaa.

Moottoripaketin idea oli pyörittää isoa hammasratasta (kuva 13, osa 1) pienemmillä hammasrattaila omaavilla sähkömoottoreilla (kuva 13, osa 2). Sähkömoottorien antama teho on noin 3 kilowattia. Tämä kokonaisuus pyörittää akselia

(kuva 13, osa 3), joka tulee kylkilevystä ulos ja sen päähän on kiinnitetty hammasratas (kuva 13, osa 4), jonka avulla voima siirretään taka-akselille ketjun avulla. Akselin toisessa päässä on laakeripesä (kuva 13, osa 5), missä on kaksi samanmallista laakeria kuin telaa pyörittävien akselien navoissa. Paketti kiinnitetään keskellä olevaan vesitiiviiseen akkutilaan. Kuvassa 13 on näytetty akkutotelon ja moottorikokoonpanon paikka lumilaudassa. Moottorikokoonpanon kokoonpanopiirustus on liitteessä 3.



*KUVA 13. Moottorin paikka rungon pääkokoonpanossa*

Ison hammasrattaan ainoa vaatimus oli, että moottorit pystyisivät pyörittämään sitä. Tämän vuoksi niin ison rattaan kuin pienempien rattaiden moduuli on 1. Tarkempaa tietoa moottoreista sekä niiden rattaista löytyy tämän prototyypin sähköpuolta käsittelevästä opinnäytetyöstä. (1.)

## 4 PROTOTYYPIN OSIEN VALMISTUS JA TESTAUS

Prototyypin valmistuksen suunnitelma oli tavoite saada valmiiksi huhtikuun loppuun mennessä. Tämä kirjattiin muistiin lähtötietomuistioon, jonka aikataulua pyrittiin noudattamaan. Prototyypin osista ehdittiin valmistamaan ainoastaan telaa pyörittävät rattaat sekä navat, joihin rattaat kiinnitetään.

Rattaiden valmistus aloitettiin tekemällä 6,5 millimetrin vanerille testiajo vesileikkurilla. Rattaiden työstöradat tehtiin IGEMS:llä, josta valmiit kuvat siirrettiin vesileikkurille. Vaneriin leikatessa syntyi mittavirheitä, minkä vuoksi ketju ei kulkenut oikein testimallissa. Vesileikkurilla leikattiin teräksiset rattaat, joissa mitat pysyivät toleranssissa. Testasimme rattailla ketjun kulkua tuplajakoketjun pätkällä. Vesileikatun rattaan leveys oli liian suuri, eikä ketju ei asettunut riittävän sulavasti vesileikatulla rattaalla. Tästä syystä, sorvasimme hampaiden leveyden 7 millimetriseksi. Koska tuplajakoketjun lenkin halkaisija on noin 8 millimetriä, mahtui ketju kulkemaan hyvin niin pituus- kuin leveyssuunnassa.

Navat valmistettiin manuaalisorvilla valmistuspiirustuksien mukaisesti. Materiaalina käytettiin alumiinia. Kappaleen toleranssivaatimus oli rattaan kohdalle +0 millimetriä ja -0,05 millimetriä. Kappaleen mitat tarkistettiin työntömitalla ja mitat olivat vaatimusten sisällä. Telaarä pyörittävien rattaiden keskireikien mitat tarkastimme käsikäyttöisellä sisämikrometrillä. Niissä oli virhettä -0,02 millimetriä toleranssivaatimukseen.

Emme saaneet tehtyä akseleita tai niiden kokoonpanoja loppuun, joten runkoa ja telastoa ei tullut valmiiksi. Tämä johtui siitä, koska valmistukselle varattu aika loppui kesken. Opimme tästä ainakin sen, että valmistus tulee aloittaa paljon aikaisemmin sekä suunnitelmista ja aikatauluista tulee pitää kiinni.

## 5 YHTEENVETO

Työn tarkoitus oli tehdä moottoroidun lumilaudan mekaniikkasuunnittelu. Itse suunnitteluosa tehtiin onnistuneesti, mutta prototyypin valmistus jäi suurimmalta osin tekemättä. Syyt tähän olivat lähtötietomuistion aikataulun ylitys. Tämä johtui suunnitelmien ja mallien jatkuvasta vaihtumisesta. Töitä oli vaikea aloittaa tai tehdä ajallaan, kun suunnitelmat ja kriteerit vaihtuivat. Tämän vuoksi prototyypin rakennus päästiin aloittamaan myöhässä ja aikaa meni muuhun turhaan tekemiseen kuin itse prototyypin valmistukseen. Lisäksi osa vaatimuksista oli hieman optimistisia prototyypitason työlle.

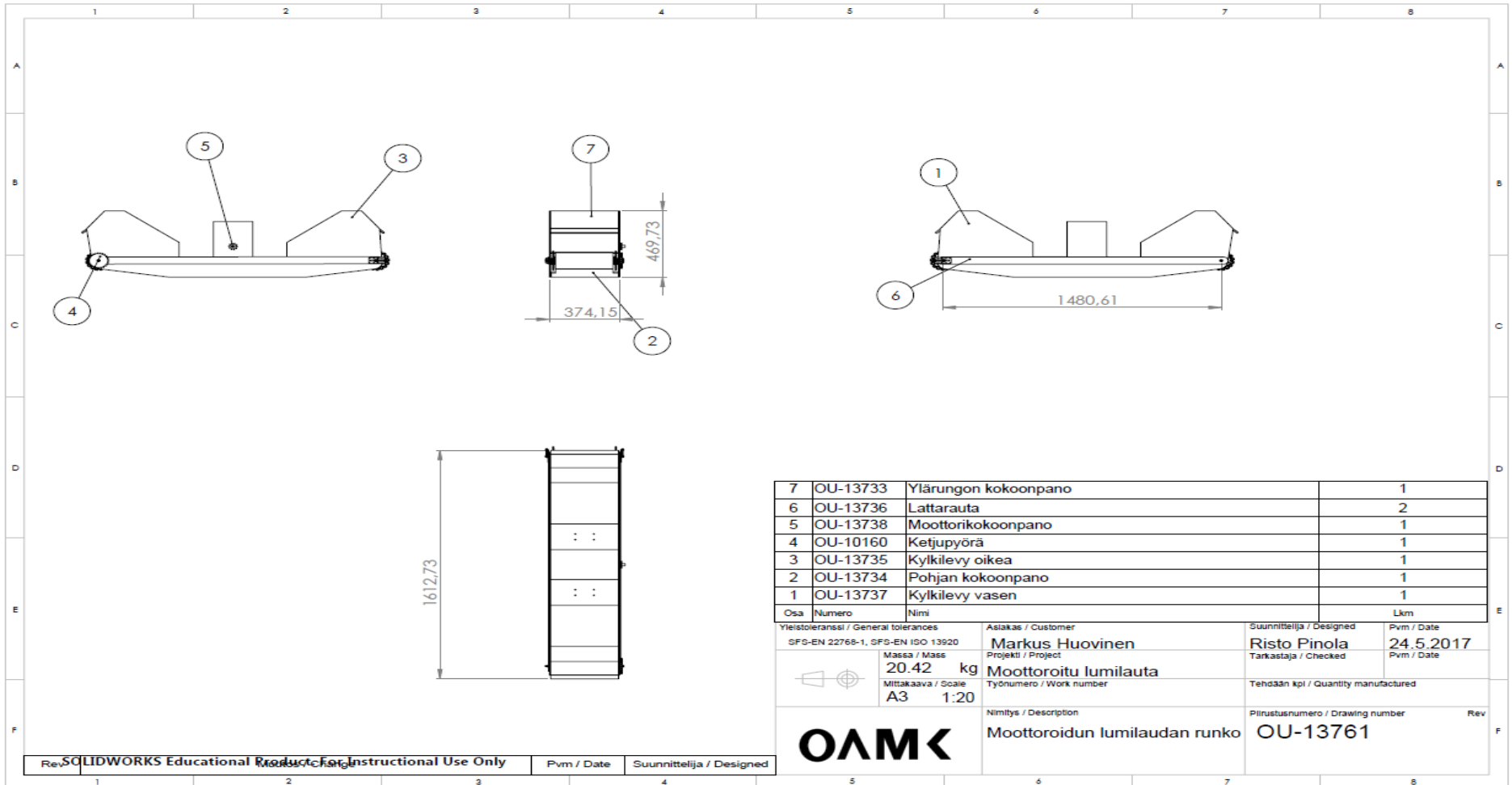
Lumilauta itsessään olisi ollut mahdollinen tehdä, jos mallit olisi lukittu ja prototyypillä olisi vain todistettu konsepti toimivaksi. Hintakustannukset nousivat jo pelkästään alkuvaiheessa yli 300 euroon, joten 2 000 euron budjetti tuskin olisi riittänyt. Tästä suurin osa olisi mennyt materiaalikustannuksiin ja työstökustannuksiin. Lumilaudan paino on piirustuskuvien perusteella yli 40 kiloa, joten se ei kyseisillä materiaaleilla täytä määriteltyä kriteeriä.

Tavoitteista täytettiin kaikki muut paitsi itse prototyypin valmistus. Suunnittelu saatiin tehtyä ajallaan lähtötietomuistion aikataulutuksen mukaisesti.

## LÄHTEET

1. Aarnio, Joonas 2017. Moottoroidun lumilaudan sähköjärjestelmän suunnittelu. Valmisteilla oleva opinnäytetyö. Oulu: Oulun ammattikorkeakoulu, kone- ja tuotantotekniikan tutkinto-ohjelma.
2. Beitz, Wolfgang – Pahl, Gerard 1990. Koneensuunnitteluoppi. Suom. Uolevi Konttinen. Helsinki: Metalliteollisuuden Kustannus Oy.
3. Tuomaala, Jorma 1995. Luova koneensuunnittelu. Tampere: Tammertekniikka Ky.

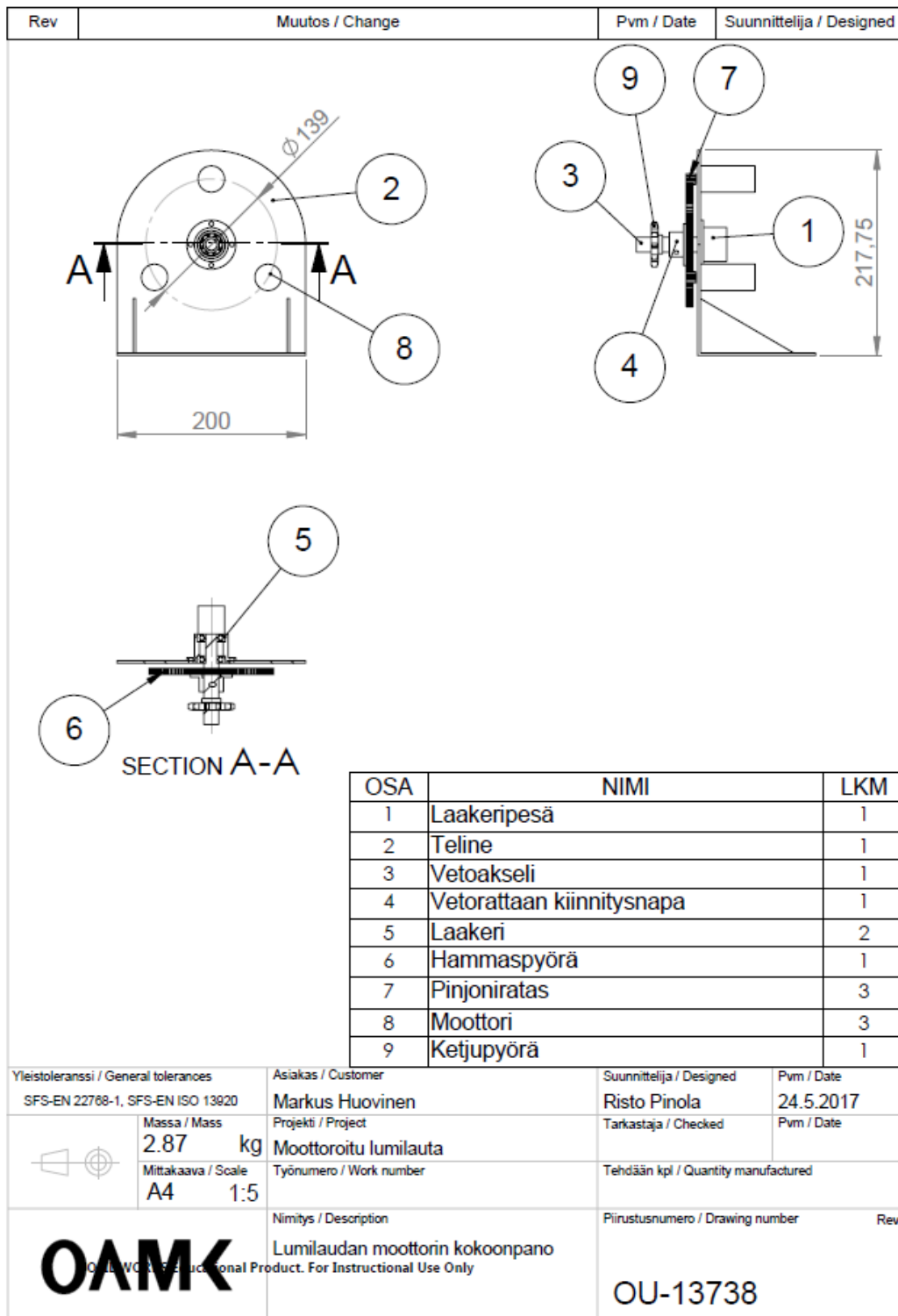
# LIITE 1 Lumilaudan rungon kokoonpano



## LIITE 2 Telan kokoonpano

Rev	Muutos / Change	Pvm / Date	Suunnittelija / Designed												
<p>The drawing shows two components: a single chain link labeled '1' and a full chain labeled '2'.</p>															
<table border="1"> <tr> <td>2</td> <td>OU-13741</td> <td>Lamellin kokoonpano</td> <td>36</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>OU-13740</td> <td>Ketju</td> <td>2</td> </tr> <tr> <td>Osa</td> <td>Number</td> <td>Nimi</td> <td>Lkm</td> </tr> </table>		2	OU-13741	Lamellin kokoonpano	36	1	OU-13740	Ketju	2	Osa	Number	Nimi	Lkm		
2	OU-13741	Lamellin kokoonpano	36												
1	OU-13740	Ketju	2												
Osa	Number	Nimi	Lkm												
Yleistoleranssi / General tolerances SFS-EN 22768-1, SFS-EN ISO 13920		Asiakas / Customer <b>Markus Huovinen</b>													
Massa / Mass <b>18.86 kg</b>		Suunnittelija / Designed <b>Risto Pinola</b>													
Mittakaava / Scale A4 1:20		Pvm / Date <b>24.5.2017</b>													
		Tarkastaja / Checked													
Projektinimi / Project <b>Moottoroitu lumilauta</b>		Pvm / Date													
Työnumero / Work number		Tehdään kpl / Quantity manufactured													
Nimitys / Description <b>Lumilaudan tela</b>		Piirustusnumero / Drawing number													
		Rev													
OAMK Oulu Vocational Educational Product. For Instructional Use Only															

## LIITE 3 Moottoripaketin kokoonpano



## LIITE 4 Lamellin kokoonpano

Rev	Muutos / Change	Pvm / Date	Suunnittelija / Designed																		
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>OSA</th> <th>NIMI</th> <th>LKM</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>Neliöputki</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>Lamellin kiinnike oikea</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>Lamellin kiinnike vasen</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>Kuusiokoloruuvi M4</td> <td>2</td> </tr> <tr> <td>5</td> <td>Mutteri M4</td> <td>2</td> </tr> </tbody> </table>				OSA	NIMI	LKM	1	Neliöputki	1	2	Lamellin kiinnike oikea	1	3	Lamellin kiinnike vasen	1	4	Kuusiokoloruuvi M4	2	5	Mutteri M4	2
OSA	NIMI	LKM																			
1	Neliöputki	1																			
2	Lamellin kiinnike oikea	1																			
3	Lamellin kiinnike vasen	1																			
4	Kuusiokoloruuvi M4	2																			
5	Mutteri M4	2																			
Yleistoleranssi / General tolerances SFS-EN 22768-1, SFS-EN ISO 13920		Asiakas / Customer Markus Huovinen																			
Massa / Mass 0.45 kg		Suunnittelija / Designed Risto Pinola																			
Mittakaava / Scale A4 1:5		Pvm / Date 24.5.2017																			
		Projekt / Project Moottoroitu lumilauta																			
Työnumero / Work number		Tarkastaja / Checked																			
Nimitys / Description Telan lamellin kokoonpano		Tehdään kpl / Quantity manufactured																			
		Piirustusnumero / Drawing number OU-13741																			
© OAMK University of Applied Sciences. For instructional use only.		Rev																			