

Minirobottiauton alustan suunnittelu



Ammattikorkeakoulututkinnon opinnäytetyö

Riihimäki, Kone- ja Tuotantotekniikka

kevät, 2018

Jarno Korhonen

Kone- ja tuotantotekniikka
Riihimäki

Tekijä	Jarno Korhonen	Vuosi 2018
Työn nimi	Minirobottiauton alustan suunnittelu	
Työn ohjaaja/t	Jaakko Vasko	

TIIVISTELMÄ

Opinnäytetyön tarkoituksena oli suunnitella opetusalustan runko Hämeen ammattikorkeakoulun Valkeakosken automaatiotekniikan yksikölle. Runkoa on tarkoitus käyttää opetuksen apuna havainnollistamassa pääasiassa Visionary-T-konenäkösensorin ja autonomisesti liikkuvien systeemien toimintoja ja kytkentöjä. Opetusalustan ohjausjärjestelmät suunnittelee sähkö- ja automaatiotekniikan opiskelija Hai Pham.

Runkoratkaisun suunnittelun lähtökohtana oli opetusalustalta vaadittava selkeys ja havainnollisuus. Painotin suunnittelussa myös osien ja materiaalien saatavuutta ja edullisuutta, jotta kynnys opetusalustojen hankkimiselle olisi mahdollisimman pieni. Suunnitteluprosessi eteni normaalin tuotekehitys projektin tavoin ideoista konsepteiksi ja vaihtoehtojen karsimisesta valittuun lopputulokseen. Listasin opinnäytetyössäni myös opetusalustan rungolle sopivia materiaalivaihtoehtoja ja valmistusmenetelmiä suunnittelemilleni osille.

Lopputuloksena syntyi selkeä kokonaisuus, jota on helppo muunnella. Osia lisäämällä tai vaihtamalla voidaan käyttötarkoitusta muuttaa tilaajan tarpeen mukaan. Konepiirustusten lisäksi tuotin DFX ja STEP muotoiset tiedostot osista, tarkoituksena helpottaa niiden valmistusta.

Avainsanat tuotesuunnittelu, automaatiotekniikka, opetusalusta

Sivut 33 sivua, joista liitteitä 11 sivua

Mechanical Engineering and Production Technology
Riihimäki

Author	Jarno Korhonen	Year 2018
Subject	Design of a mini robot car chassis	
Supervisors	Jaakko Vasko	

ABSTRACT

The aim of this thesis project was to design the chassis for a teaching platform at Häme University of Applied Sciences the Electrical and Automation Engineering unit in Valkeakoski. The purpose of the chassis was to function as a teaching aid and a demonstration platform for mainly the Visionary-T-3D sensor and other autonomic systems. Electrical and Automation Engineering student Hai Pham was to design the control system for this teaching platform as his thesis work.

I used clarity and simplicity that are required from a teaching platform as the main guidelines in my design process. During the design process I also emphasized the good availability and cost of the materials and components that I intended to use. The idea behind this was to lower the threshold for making multiple copies of this platform in the future. The actual design process followed the classical steps of a design process and started from formulating the concept followed by an elimination process and ending with making the proper technical drawings. I also explored suitable materials and production methods for the designed parts and discuss these in this thesis.

The end product is a clear and simple chassis that can be easily modified to suit the different needs of the customer by adding or changing some of its parts. In addition to the technical drawings I also made DFX and STEP files on the parts which can be used to speed up the actual production process.

Keywords Design, automation technology, teaching aid

Pages 33 pages including appendices 11 pages

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	1
2	TYÖN MÄÄRITYS	2
2.1	Olosuhteet ja rajoittavat tekijät.....	2
2.1.1	Visionary-T.....	2
2.1.2	Raspberry Pi 3.....	3
2.2	Työn aloitus	3
3	SUUNNITTELU.....	4
3.1	Vaihtoehtoja.....	4
3.2	Konsepteista sähköisiksi malleiksi.....	6
3.3	Idean jalostus	8
3.3.1	Komponenttien paikat.....	8
3.3.2	Materiaalin valinta.....	9
3.4	Valmiina ostettavat osat	11
3.4.1	Renkaat.....	11
3.4.2	Hammashihnat ja –pyörät	12
3.4.3	Laakerit	13
4	LASKENTA JA SIMULOINTI	14
4.1	Painopiste.....	14
4.2	Jännitysten ja taipumien simulointi	16
5	LOPPUTULOKSET	20
5.1	Pääpiirteiden esittely	20
5.1.1	Koneenpiirustukset.....	20
5.1.2	Valmistusmenetelmistä ja materiaaleista	20
5.2	Opinnäytetyöpohjalta heränneitä ajatuksia	21
	LÄHTEET.....	22

Liitteet

- Liite 1 Akseli_1 osapiirustus
- Liite 2 Akunkiinityssalpa_1 osapiirustus
- Liite 3 Akunkiinnitystappi_1 osapiirustus
- Liite 4 Akunkiinnitysteline_1 osapiirustus
- Liite 5 Kamerataso_1 osapiirustus
- Liite 6 Kameratasonjalka_1 osapiirustus
- Liite 7 Laakeripesa_1 osapiirustus
- Liite 8 Minirobottiauton_runko kokoonpanopiirustus
- Liite 9 Mootorinkiinnitys osapiirustus
- Liite 10 Runkolevy_1 osapiirustus

1 JOHDANTO

Opinnäytetyöni on osa kaksiosaisesta projektista, jonka tarkoituksena on luoda Hämeen ammattikorkeakoulun Valkeakosken automaatiotekniikan yksikölle uusi opetusala. Alustaa on tarkoitus käyttää opetuksen apuna, havainnollistettaessa etenkin automaattista esteen tunnistusta ja lisäämässä käytännölläisyyttä. Opetusalustana sen tulee olla myös melko helposti muunneltavissa erilaisiin tarkoituksiin.

Opinnäytetyöni tavoitteena on suunnitella runkorakenne tälle opetusalustana käytettävälle minirobotiautolle, sekä tuottaa tälle selkeät ja kone-suunnitteluopin mukaiset piirustukset. Opetusalustan toisen osan suunnittelee automaatiotekniikan opiskelija ja jotkut minun osuuteni parametreista tulevatkin hänen suunnittelun pohjalta. Tavoitteena on siis suunnitella runkoratkaisu, itseohjautuvaan ja esteet tunnistavaan pienoisorbottautoon, yhteisymmärryksessä ohjausjärjestelmät suunnittelevan automaatiotekniikan opiskelijan kanssa.

Valkeakosken yksiköllä on entuudestaan muutamia erilaisia, lähinnä automaatiotekniikan opiskelijoiden erilaisiin kilpailuihin tekemiä, ratkaisuja. Mutta opinnäytetyöni tarkoitus onkin tuottaa piirustukset, joiden pohjalta voidaan helposti tehdä useampikin tällainen opetusala tarpeen niin vaatiessa.

Valkeakosken kampuksella koulutetaan sähkö- ja automaatiotekniikan osaajia suomen- ja englanninkielisissä koulutuksissa sekä kansainvälisen kaupan osaajia englanninkielisessä koulutuksessa. Kampus sijaitsee kahden toisen asteen oppilaitoksen, Valkeakosken lukion ja Valkeakosken ammatti- ja aikuisopiston välittömässä läheisyydessä. Valkeakoski Campuksella tehdäänkin ainutlaatuista yhteistyötä ammatti- ja aikuisopiston, lukion ja yritysten kesken. Valkeakosken kampuksen sydän on Campus Center, jossa yrittäjät, etätyöskentelijät ja Campuksen opiskelijat kohtaavat toisensa. Campus Centerissä yrittäjät ja opiskelijat voivat toteuttaa yhteisiä projekteja, ja samalla se toimii opiskelijoiden omien yritysten kasvupaikkana. Se myös tarjoaa erilaisia työskentelytiloja ja palveluja. (HAMK n.d.).

Valkeakosken yksikön lukuja

- 750 opiskelijaa (v. 2016)
- 126 valmistunutta (v. 2016)
- 60 henkilökunnanjäsentä (v. 2016)

2 TYÖN MÄÄRITYS

Opinnäytetyön suunnittelu tapaamisessa (18.12.2017) määriteltiin tarpeita ja olosuhteita, joita runkoratkaisulta ja ohjausjärjestelmältä odotetaan. Samassa tilaisuudessa oli paikalla myös Electrical and Automation engineering -koulutusohjelman opiskelija Hai Pham, joka tekee omana opinnäytetyönänsä minirobotiauton ohjausjärjestelmän suunnittelun.

2.1 Olosuhteet ja rajoittavat tekijät

Tapaamisessa määriteltiin käyttöympäristöksi sisätilat ja opetusalustan tulisi kestää maksimissaan n.10 kg kuorma, nämä seikat vaikuttavat joihinkin suunnittelun osa-alueisiin ja materiaalien valintaan. Lisäksi määriteltiin joihinkin tärkeimmistä komponenteista, jotka tulevat sisältymään lopputulokseen.

2.1.1 Visionary-T

Ensimmäinen tällainen komponentti on Visionary-T 3D-konenäkösensori, jota voidaan käyttää havainnoimaan ja tunnistamaan näköalueella olevia esineitä ja esteitä. Visionary-T -sarjan konenäkösensorin (kuva 1) toiminta perustuu valon kulkuajan mittaukseen, jonka avulla se toimittaa näköalueellaan olevien pikseleiden syvyytiedot reaaliajassa. Raakatietojen lisäksi Visionary-T voi lähettää sovelluskohtaisia esikäsiteltyjä tietoja ja valmiiksi arvioituja mitta-arvoja, joiden avulla se voidaan räätälöidä monille erityyppisille sovelluksille intralogistiikasta ja robotiikasta teollisuusajoneuvoihin. (SICK Sensor Intelligence 2018a.)

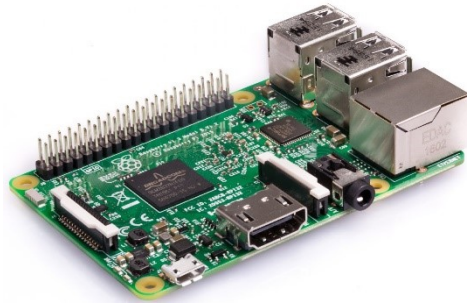


Kuva 1. 3D-konenäkö Visionary-T (SICK Sensor Intelligence 2018b).

Visionary-T painaa noin 1.9 kg ja on painavin yksittäinen alustalle sijoitettava komponentti. Lisäksi Visionary-T hyötyy näkökentästään paremmin korotetulla alustalla. Alustan suunnittelussa pyrkin huomioimaan kumppaakin asiaa.

2.1.2 Raspberry Pi 3

Toinen määrätty komponentti on Raspberry Pi 3 -ohjauspiirilevy (kuva 2) jota on tarkoitus käyttää minirobottiauton ohjaukseen ja toimintojen hallintaan.



Kuva 2. Raspberry pi 3 -ohjauspiirilevy (Raspberry Pi Foundation n.d.).

2.2 Työn aloitus

Valkeakosken yksikön jo omistaessa yllämainitut komponentit lisättyinä henkilökunnan tuntemukseen komponenteista muodosti luontevan lähtökohdan projektille. Muiden minirobottiauton toimintaan tarvittavien komponenttien valinta jätettiin meidän tehtäväksemme. Komponenttien valinta tehtiinkin pääasiassa, ohjausjärjestelmän suunnitelleen automaatiotekniikan opiskelijan, Hai Phamin mitoitusten pohjalta ja loput yhdessä sopien.

Minirobottiauton rungon suunnittelussa pyrin painottamaan opetusalueelta tarvittavaa selkeyttä ja muuntelumahdollisuutta. Lisäksi tavoitteena on tehdä helposti, esimerkiksi ammatillisten oppilaitosten kanssa yhteistyössä, valmistettava ratkaisu. Kiinnitän huomiota myös rungon materiaalien saatavuuteen ja edullisuuteen.

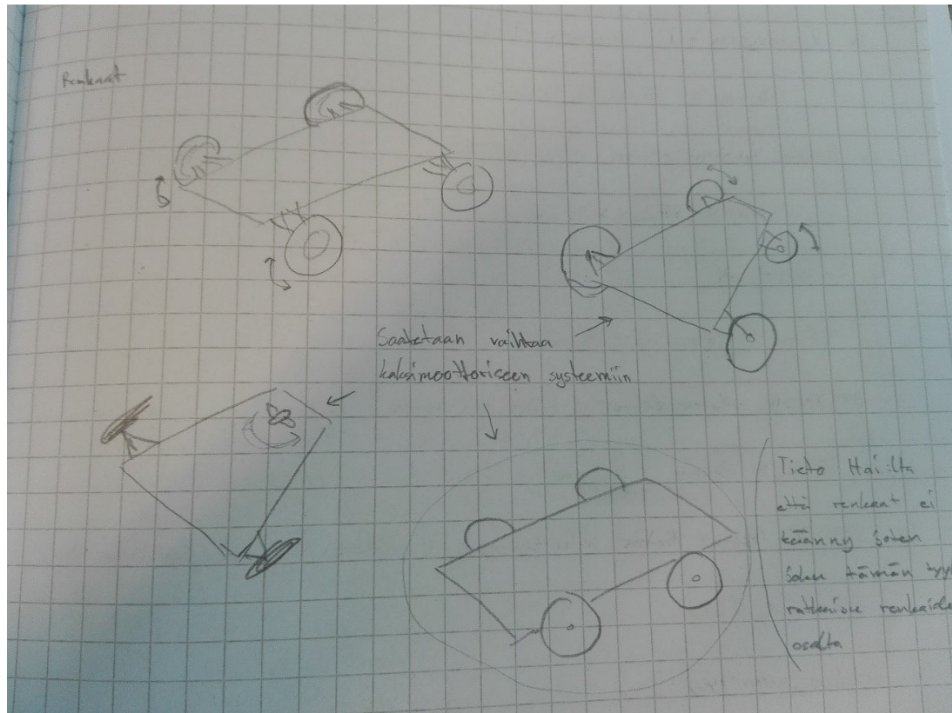
3 SUUNNITTELU

Minirobottiauton rungon suunnittelu lähti liikkeelle konseptisuunnittelulla, erilaisten ideoiden etsimisellä ja olemassa oleviin ratkaisuihin tutustumalla. Konseptisuunnittelu alkoi nopeiden mallien paperille piirtämisellä ja eteni nopeiden mallinnusten tekemiseen Rhinoceros 5-ohjelmalla. Esitelin ideoitani Hai Phamille mallinuksista ottamillani kuvankaappauksilla sähköpostin välityksellä, joiden pohjalta hän kommentoi omia suunnitelmiaan ja konseptien sopivuutta.

3.1 Vaihtoehtoja

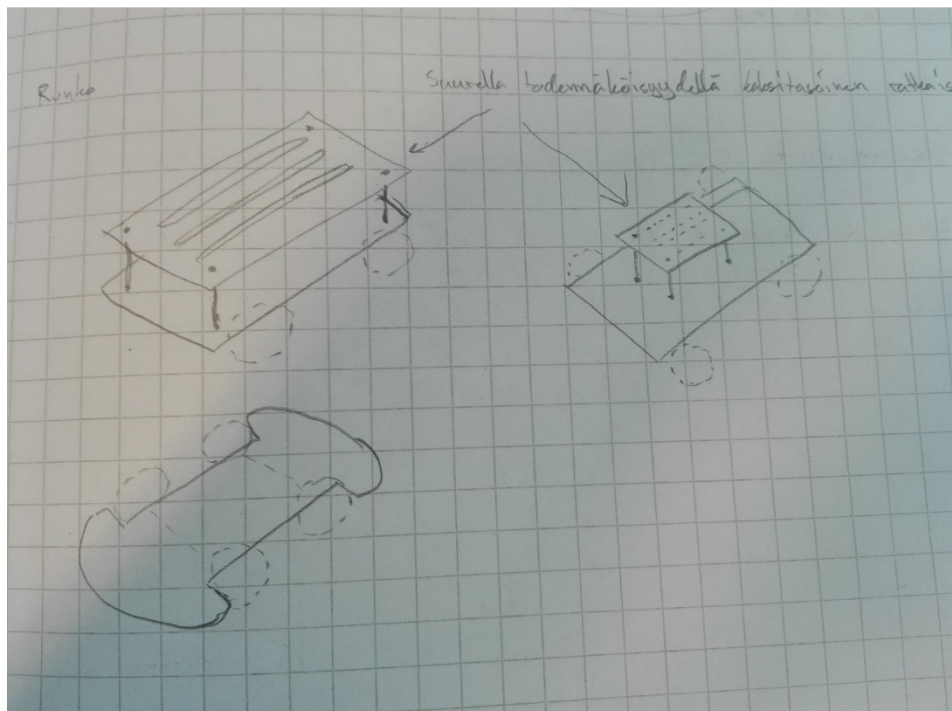
Paperille tekemäni hahmotelmat käsittelevät lähinnä renkaiden sijoittelua ja rungon vaihtoehtoja. Muutama konsepti sisälsi ideoita ja toiminta periaatteita $1/8$ ja $1/10$ mittakaavojen rc-autoista, mutta komponenttien ja kokonaispainon ollessa suurempia isoa osaa olemassa olevista ratkaisuista ei voinut suoraan soveltaa opetuslujan suunnittelussa.

Konsepti-ideoista paperille päätyi neljä erilaista, kuvassa 3 nähtävää, renkaiden toiminnallisuus periaatetta. Ensimmäinen on takavetoinen systeemi servon avulla kääntyvillä etupyörillä, joka kumpusi suoraan erilaisista radio-ohjattavista ratkaisuista. Toinen konsepti on muuten samanlainen paitsi kääntyvät renkaat ovat takana. Konseptin ideana on pienentää kääntösädettä. Kolmannessa vetävät renkaat ovat myös edessä, mutta servolla kääntyvät takarenkaat on korvattu vapaasti kääntyvällä renkaalla. Kääntösäteen pieneminen on huomattava aiempiin verrattuna. Neljännessä konseptissa kääntyvät renkaat on jätetty kokonaan pois ja korvattu neljällä itsenäisesti moottoroidulla renkaalla. Toimintaperiaate mahdollistaa lähes täysin paikoillaan kääntymisen ja on tuttu joistain käytössä olevista maansiirto- ja työmaarakkaisuista.



Kuva 3. Konseptikuva 1, renkaiden asettelu ja toiminta.

Seuraavaksi siirryin pohtimaan rungon mahdollisia malleja, huomioon ottaen käyttöympäristön ja tarpeet. Käyttötarkoituksena opetus ja ympäristönä sisätilat ohjasivat vahvasti paperille asti päässeitä ajatuksia rungosta. Esimerkiksi sisätilat käyttöympäristönä vähensi vedeltä suojautumisen merkitystä ja iskunvaimennuksen kriittisyyttä lopputuloksessa. Paperille kirjasin kuvassa 4 näkyviä ideoita.



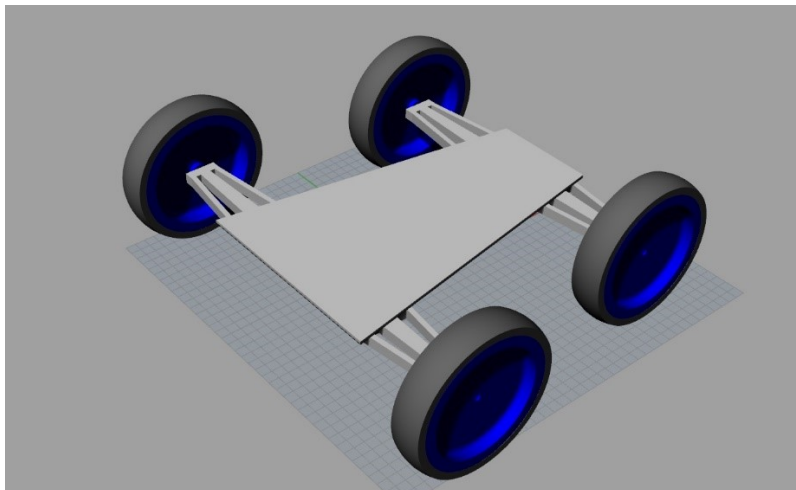
Kuva 4. Konseptikuva 2, rungon ja tasojen vaihtoehtoja

Konseptikuvissa hahmottelin erilaisia, melko avoimia, runkoratkaisuja joista opetustarkoitus hyötyisi. Ja jo varhaisessa vaiheessa oli selvää, että Visionary-T-konenäkökamera hyötyisi korotetusta alustasta. Tästä johtuen kaksitasoiset konseptit olivat heti esillä alkusuunnittelussa.

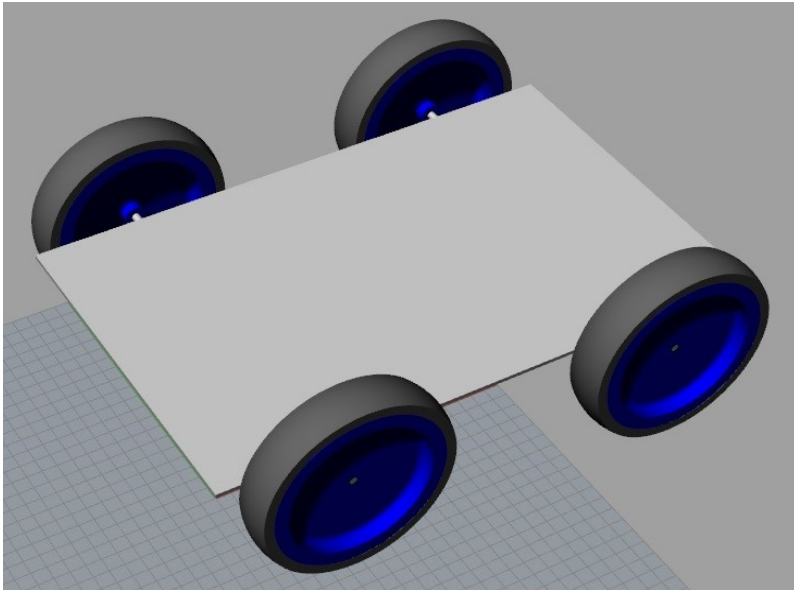
3.2 Konsepteista sähköisiksi malleiksi

Konsepti-ideoiden muuttamisessa tietokone malleiksi ja esittämisessä sähköisessä muodossa käytin Rhinoceros 5 mallinnus ohjelmaa. Ohjelmalla tehdyillä nopeilla mallinuksilla ja niistä ottamillani kuvakaappauksilla (kuvat 5,6,7 ja 8) toin ideoitani esille ohjausjärjestelmää suunnittelevalle Hai Phamille.

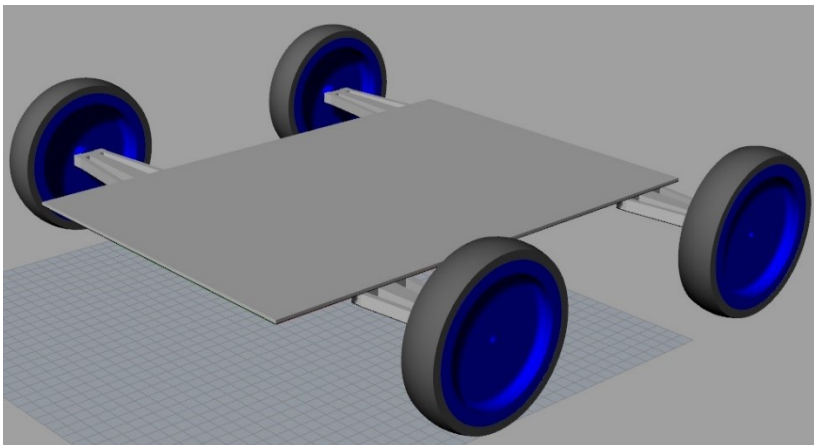
Mallinnusteni pohjalta käydyssä keskustelussa Hain Phamin kanssa, päätimme valita lähtökohdaksi kuvan 6 mukaisen kääntymättömien renkaiden vaihtoehdon. Neljän itsenäisesti moottoroidun renkaan ratkaisun sopiessa parhaiten Hai Phamin alkusuunnitelmiin, se näyttikin hyvin potentiaaliselta vaihtoehdolta. Näiden nopeiden mallinnusten jälkeen aloitin moottorien ja kameratason paikkojen suunnittelun.



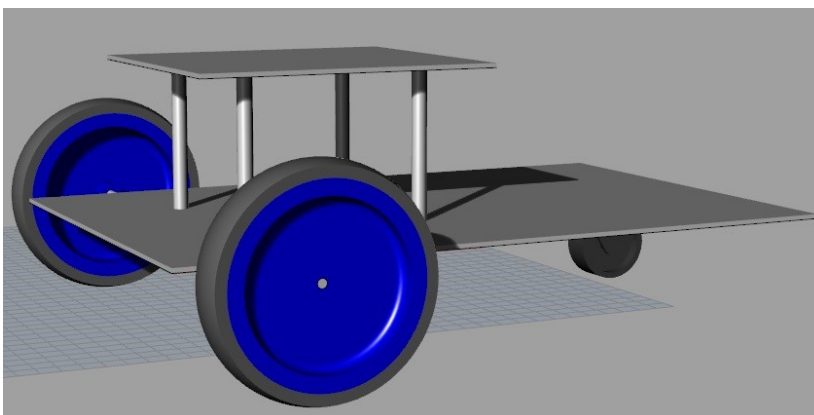
Kuva 5. Vaihtoehto kääntyvistä takarenkaista.



Kuva 6. Vaihtoehto kääntymättömistä renkaista.



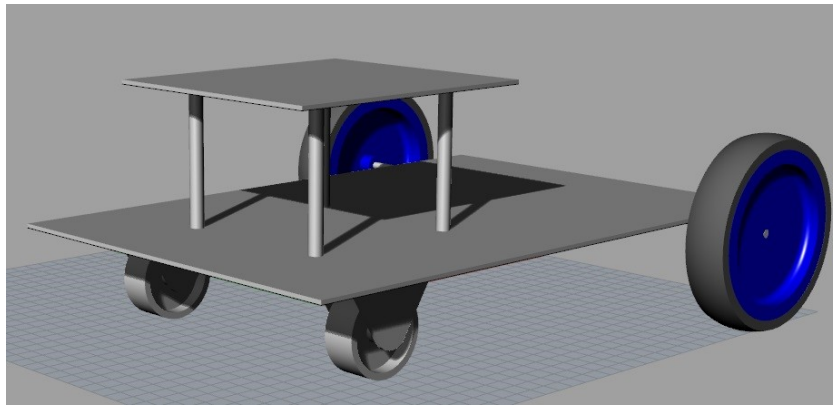
Kuva 7. Vaihtoehto kääntyvistä eturenkaista.



Kuva 8. Vaihtoehto vapaasti kääntyvästä renkaasta.

Suunnittelun jo edettyä kävi ilmi, Hai Phamin suunnalta, että parempi vaihtoehto olisi laskea moottoreiden lukumäärää neljästä kahteen. Tämä muutos nostikin kaksimoottorisen ja vapaasti kääntyvällä renkaalla varustetun vaihtoehdon sopivimmaksi. Muutoksen vaikutus näkyi lähes kaikkien komponenttien sijoittelussa ja tilan tarpeessa, joten aloitin jatkosuunnittelun uudestaan.

Aluksi valitsimme lähtökohdaksi kuvan 9 mukaisen systeemin, jossa vapaasti kääntyvät renkaat olisivat edessä ja moottorilliset renkaat takana. Suunnittelun edettyä tulini kuitenkin siihen johtopäätökseen, että alustasta tulisi vakaampi vetävien renkaiden ollessa edessä. Keskusteltuani ohjaavan opettajani kanssa vaihdoin renkaiden järjestystä. Näin alustasta tulee vakaampi, varsinkin matalien kynnysten ylityksessä, ja arvaamattomat liikesuunnan muutokset vähenevät.



Kuva 9. Nopea mallinnus edessä olevista vapaasti kääntyvistä renkaista.

3.3 Idean jalostus

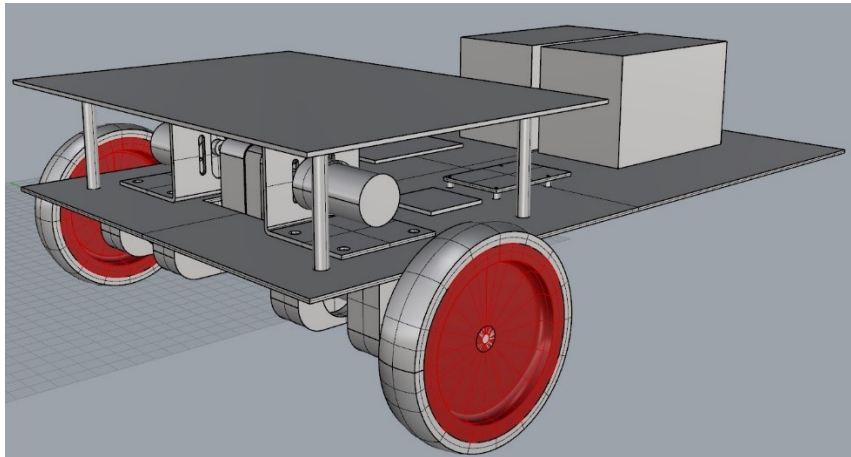
Kun renkaiden määrä ja sijoittelu oli sovittu, aloitin komponenttien tilan tarpeen arvioinnin ja paikoituksen suunnittelun. Tässä vaiheessa päätin painavimpien lisättävien komponenttien paikat, pyrkien tasapainottamaan kuorman jakautumista alustalla. Samalla aloitin osien tarkemman suunnittelun Creo Parametric 4.0 -ohjelmalla, jolla teen myös lopulliset kooneenpiirustukset.

3.3.1 Komponenttien paikat

Visionary-T konenäkösensorin ja Exide Litium -akkujen ollessa huomattavasti muita elektronisia komponentteja painavampia, sijoitin konenäkösensorin alustoineen eteen ja akut taakse tasapainottamaan alustaa kuvan 10 mukaisesti. Kuvasta 10 ilmenee myös muiden elektronisten osien hahmoteltuja paikkoja.

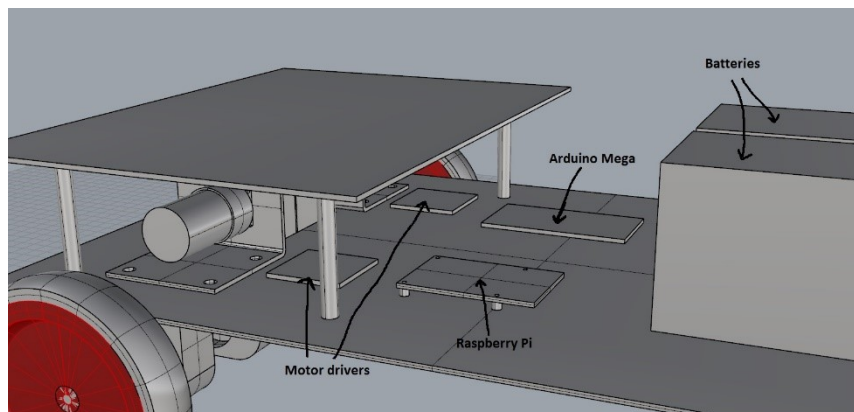
Päädyn tuomaan moottorit alustan yläpuolelle, tavoitteenani alustan ja kytkentöjen selkeydet. Lisäksi moottorit ovat näin paremmassa suojassa

mahdollisilta kolhuilta. Voimansiirtona moottoreilta akseleille päätin käyttää hammashihna ratkaisua.



Kuva 10. Nopea mallinnus osien sijoittelusta.

Ohjauspiirinosien sijoittelun esittelin Hai Phamille sähköpostin välityksellä käyttäen kuvan 11 mukaista havainne kuvaa. Ja kun alustavat paikoitukset oli tehty, siirryin tekemään tarkemmat piirustukset kiinnitysosista ja paikoista Creo Parametric -ohjelmalla.



Kuva 11. Ohjauspiirinosien sijoittelu.

3.3.2 Materiaalin valinta

Suunnittelun alussa runkorakenteen mahdollisina materiaaleina pidin alumiinia, hiilikuitua ja teräspeltiä. Suunnittelun yhden painopisteen ollessa helppo valmistettavuus, ajatus sopivimmasta materiaalista muodostui melko varhaisessa vaiheessa. Alla listaan materiaalien, opinnäytetyöhöni nähdessä, hyviä ja huonoja puolia.

Alumiinin hyviä puolia ovat sen

- tiheys
- muokattavuus
- saatavuus
- korroosion kesto
- seosten erilaiset ominaisuudet

Alumiinin huonoja puolia ovat sen

- pieni kimmokerroin
- puhtaan alumiinin pieni murtolujuus

Hiilikuidun hyviä puolia ovat

- sen alhaisin tiheys kolmesta vaihtoehdosta
- sen hyvä lujuus

Hiilikuidun huonoja puolia ovat sen

- sopimattomuus joillekin työstömenetelmille
- harvinaisuus verrattuna muihin vaihtoehtoihin

Teräksen hyviä puolia ovat sen

- saatavuus
- työstettävyys
- hyvä lujuus
- hyvä kimmokerroin

Teräksen huonoja puolia ovat sen

- tiheys, joka on suurin kolmesta vaihtoehdosta

Helpon ja turvallisen työstettävyyden ollessa tärkeä asia tässä opinnäytetyössä hiilikuitu putosi melko nopeasti pois listalta, sillä jotkut perusvalmistusmenetelmät tälle materiaalille ovat hankalasti toteutettavissa. Alumiinin ja teräksen kohdalla kaikki valmistusmenetelmät ovat sen sijaan mahdollisia. Alumiinin ja teräksen välillä päätin valita päämateriaaliksi alumiinin lähinnä sen moninkertaisen keveyden takia, alumiinin tiheyden ollessa $2,7 \text{ g/cm}^3$ ja teräksen $7,85 \text{ g/cm}^3$. Alumiinin pienen lujuuden voi kiertää valitsemalla jonkun alumiinin seosvaihtoehtoista, joidenkin seosten yltäessä murtolujuudeltaan teräksen tasolle tai jopa yli. Listaani materiaali ehdotuksiani tarkemmin lopputulososion alla, mutta voin sanoa jo tässä vaiheessa, että en piirustuksissakaan vaadi tiettyä materiaalia vaan annan tilaajan tai valmistajan valita haluamansa alumiinilaadun itse. Tausta-ajatuksena tässä on se, että jos piirustuksieni pohjalta tehdään useampi alusta ei ole tarpeellista vaatia jotain tiettyä, turhan tarkasti rajattua, materiaalia. Materiaalina voi näin ollen käyttää parhaimmassa tapauksessa jo varastosta löytyvää ainesta. Turhien lisäkulojen vähentyessä kynnykseni, tämän Hai Phamin ja minun suunnitteleman minirobottiauton toteutukseen, toivottavasti laskee.

3.4 Valmiina ostettavat osat

Valmisosista pyrin valitsemaan sellaisia jotka ovat helposti saatavilla ja hinnaltaan kohtuullisia. Suunnittelussa pyrin siihen, että lopputulokseen sopisi monenlaiset valmiina ostettavat osat ja että valitsemani osat voidaan melko vähäisillä muutoksilla korvata muun tyyppisillä ratkaisuille tilaajan niin halutessa.

3.4.1 Renkaat

Renkaiden valinnassa käytin samoja saatavuuden ja edullisuuden periaatteita, jotka mainitsin aiemmin. Vetoakseleille päätin valita, kuvan 12 mukaisen, halkaisijaltaan 150mm renkaan. Ajatuksena oli valita halkaisijaltaan isohko rengas helpottamaan matalien esteiden, kuten kynnysten, ylitystä. Valitsemani rengas on, Biltemassa myytävä, kumipintainen ja polypropeenivanteinen pyörä. Se voidaan kuitenkin halutessa korvata millä tahansa muulla, halkaisijaltaan 12mm akselille sopivalla, renkaalla.



Kuva 12. Halkaisijaltaan 150mm rengas (Biltema 2018).

Vapaasti kääntyviksi renkaiksi valitsin, Clas Ohlsonissa myytävän, kuvassa 13 nähtävän kalustepyörän. Siinä on halkaisijaltaan 75mm rengas ja se on kokonaiskorkeudeltaan 102mm. Nämäkin pyörät voidaan korvata halutessa muilla vaihtoehdoilla, mutta alustalevyyn on tehty kiinnitysreiät juuri näitä varten. Tästä johtuen korvaajien valinta on hankalampaa kuin etupyörien kohdalla.



Kuva 13. Vapaasti kääntyvä halkaisijaltaan 75mm rengas (Clas Ohlson 2018).

3.4.2 Hammashihnat ja -pyörät

Hammasyöriksi ja -hinoiksi valitsin, Konetekniikan yksikön muissakin projekteissa käyttämät, T2 profiilin 6mm levyisen hammashihnan ja sille yhteensopivat hammashihnapyörät. Hammashihnapyörien (kuva 14) selkeä ruuvikiristysliitäntä sopii hyvin Hai Phamin valitsemien moottoreiden akseliin ja omassa suunnittelussa tein rungon akseleihin samalaisen liitäntäpinnan. Sekä moottorin akselin että vetoakselin päähän tulevat hammasyörät ovat tällä hetkellä samankokoisia. Jos vääntöä tai pyörimisnopeutta halutaan myöhemmin muuttaa, se voidaan tehdä helposti hammasyörien keskinäistä välityssuhdetta muuttamalla.



Kuva 14. 20 hampainen GT2 hammashihnapyörä (Prenta Oy 2018a).

Hammashihnan (kuva 15) leveyden lisäksi sille tulee määrittää pituus. Hammashihnan pituuden laskemisessa tarvitaan tieto akselien välisestä etäisyydestä ja hammasyörien jakohalkaisijoista. Usein hammasyörien valmistajat ilmoittavat pyöriensä jakohalkaisijat, mutta jos tieto puuttuu jakohalkaisijan voi laskea itse. Muun muassa Esko Valtasen Tekniikan Taulukkokirjan 12. painoksen sivulta 341 löytyy kaavat sekä jakohalkaisijan että hihnanpituuden laskuun. Jakohalkaisija saadaan kaavalla 1 ja sen tulos sijoitetaan hihnanpituus kaavaan 2.

$$D = \frac{z p}{\pi} \quad (1)$$

missä

- p on jako
- z on hammasluku

$$L = 2 C + \frac{\pi}{2} (D + d) + \frac{(D - d)^2}{4 C} \quad (2)$$

missä

- C on akseliväli
- D on isomman hammaspyörän jakohalkaisija
- d on pienemmän hammaspyörän jakohalkaisija



Kuva 15. 6mm:n levyunen T2 hammashihna (Prenta Oy 2018b).

Valitsemillani hammashihnapyörillä varustettuna sain hihnanpituudeksi 188mm. Hihna voidaan leikata tämän pituiseksi metritavara hihnasta, mutta johtuen moottorin kiinnityksen säädettävyydestä hihna voidaan valita myös eri valmistajien tarjoamista 180, 190 tai 200mm valmishihnoista.

3.4.3 Laakerit

Runkoratkaisun vetoakselit tarvitsevat yhteensä neljä laakeria. Valitsin laakeriksi urakuulaakerin, jonka sisähalkaisija on 15mm, ulkohalkaisija 32mm ja leveys 9mm. Kyseisen kokoisia urakuulalaakereita tarjoaa ainakin IKH.

Alustan melko kevyen massan, akseleiden alhaisten pyörimisnopeuksien ja todennäköisen alhaisen käyttöasteen takia muutkin laakeriratkaisut ovat varmasti käyttökelpoisia. Laakeripesien suunnittelussa kiinnitin huomiota siihen, että ne olisivat materiaalin vahvuuksiltaan riittäviä ja vähäisillä muutoksilla sopivia isommille, pienemmille tai syvemmille laakereille.

4 LASKENTA JA SIMULOINTI

Tein, osin limittäin suunnittelun kanssa, varmentavia laskelmia tukemaan tekemiäni valintoja materiaalien ja rakenteiden suhteen. Käytin apuna ANSYS Workbench nimistä ohjelmaa tehdessäni yksinkertaisia simulointeja kokonaisjännityksistä ja taipumista.

4.1 Painopiste

Alustan ollessa jo lähes valmis, näin tarpeelliseksi tarkistaa sen painopisteen paikan. Alustan matalalla oleva painopiste pienentäisi kaatumisriskiä ja koska alustalle lisätään suhteessa melko painavia komponentteja runko itsessään ei saisi olla kovin yläpainoinen. Koska tein laskelmat ilman että minulla oli lopullisia rungonosia punnittavana, käyttämäni massat ovat Creo Parametric -ohjelman arvioita lopullisista massoista valitsemalleni materiaalille. Tästä johtuen painopisteen paikka on vain suuntaa antava.

Painopistettä laskettaessa osille tulee määrittää massan lisäksi niiden omien painopisteiden etäisyys valitsemastani origosta. Suurimmalla osalla osista tämä oli selkeää mutta muutamalle osalle jouduin tekemään yksinkertaistuksia. Taulukossa 1 on nähtävillä painopisteen laskussa tarvittavat osien tiedot lukumäärineen ja kuvassa 16 näkyy painopisteen ja valitsemani origon paikat. Alustan ollessa symmetrinen yhden koordinaattiakselin suhteen en nähnyt mielekkäänä ottaa sitä mukaan laskuihin.

Taulukko 1. Osien massat ja massakeskipisteiden etäisyydet origosta

Osa	lukumäärä	massa (kg)	etäisyys origosta	
			x (mm)	y (mm)
Runko	1	2,07	280	2
Kamerataso	1	0,907	130	86
Laakeripesä	4	0,33	95	-30
Rengas	2	0,263	95	-35
Takarengas	2	0,198	520	-64,5
Moottorin kiinnitys	2	0,13	95	32
Akseli	2	0,087	95	-35
Akunkiinnitysteline	1	0,078	367	10
Akunkiinnitysteline 2	1	0,078	542	10
Akunkiinnitystappi	2	0,05	455	49,5
Laakeri	4	0,04	95	-35
Kameratasonjalka	2	0,04	40	42
Kameratasonjalka 2	2	0,04	220	42
Akunkiinnityssalpa	1	0,035	455	101
	kokonaismassa	6,264		

Alustan painopisteen x- ja y-koordinaatti suhteessa valitsemaani origoon voidaan laskea, esimerkiksi Tammertekniikan Tekniikan kaavaston sivulta 93 löytyvillä, kaavoilla 3 ja 4.

$$x = \frac{\sum m_n x_n}{m} \quad (3)$$

missä

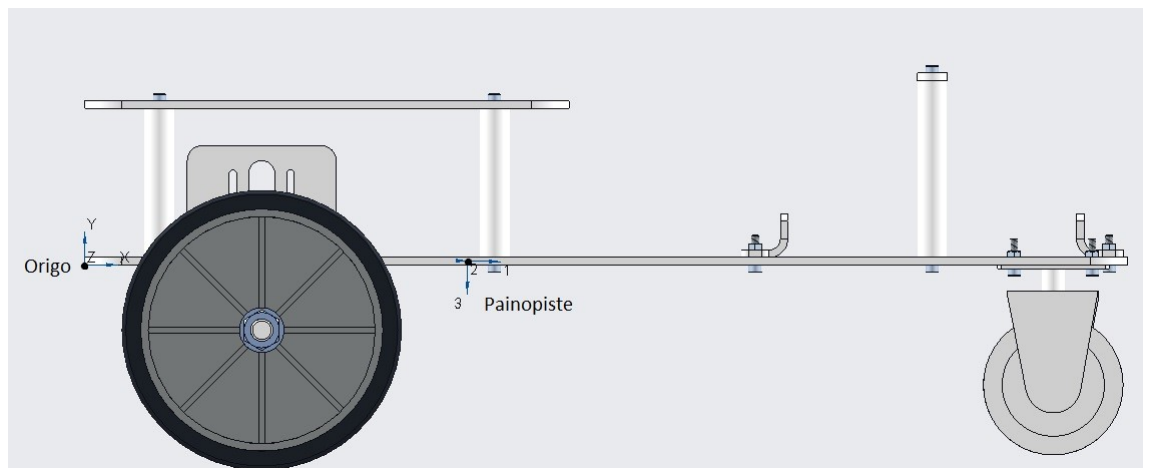
- m_n on osan massa
- x_n on osan massakeskipisteen etäisyys origosta x-suuntaan
- m on alustan yhteenlaskettu massa

$$y = \frac{\sum m_n y_n}{m} \quad (4)$$

missä

- y_n on osan massakeskipisteen etäisyys origosta y-suuntaan

Painopisteen etäisyydeksi origosta x-akselin suuntaan sain 205,7mm ja y-akselin suuntaan 1,9mm. Painopiste osoittautui olevan varsin sopivassa paikassa ja alusta ei ole niin yläpainoinen kuin aluksi ajattelin.



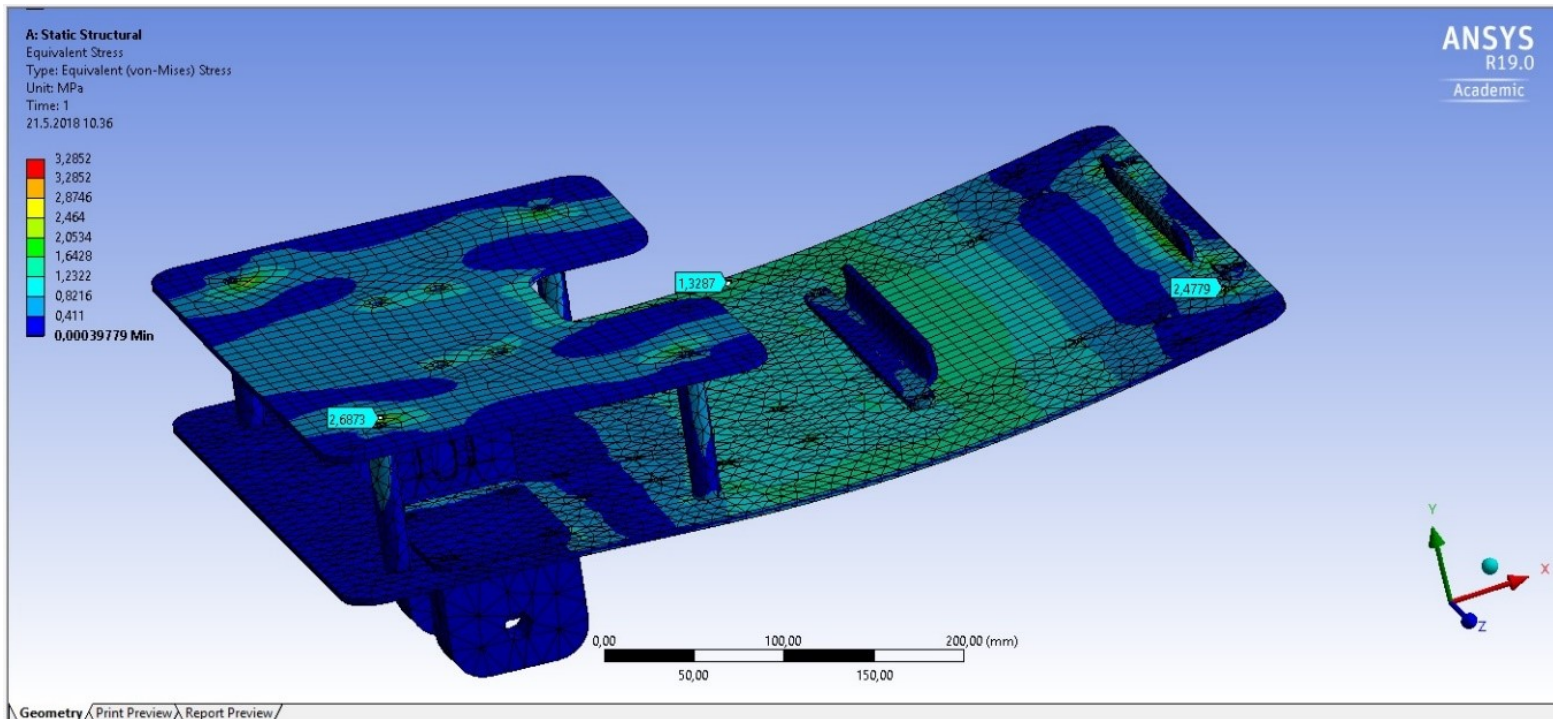
Kuva 16. Painopisteen sijainti origoon nähden.

4.2 Jännitysten ja taipumien simulointi

Pohjan runkoratkaisuni kestävyydelle loin valitsemalla paksuudeltaan tarpeeksi isoja levyjä, mutta halusin tehdä päätöksiäni tukemaan kokonaisjännityksen ja taipuman simulointeja ANSYS Workbench 19 nimisellä FEM (englannista Finite Element Method) –analyysiohjelmalla. ANSYS Workbench ohjelmalla voi simuloinnin lisäksi luoda kappaleita jo itsessään, mutta helppo osien tuonti muista ohjelmista nopeuttaa prosessia huomattavasti. CAD-mallin tuonti Creo Parametric:ista onnistui kätevästi .stp tiedostomuodossa.

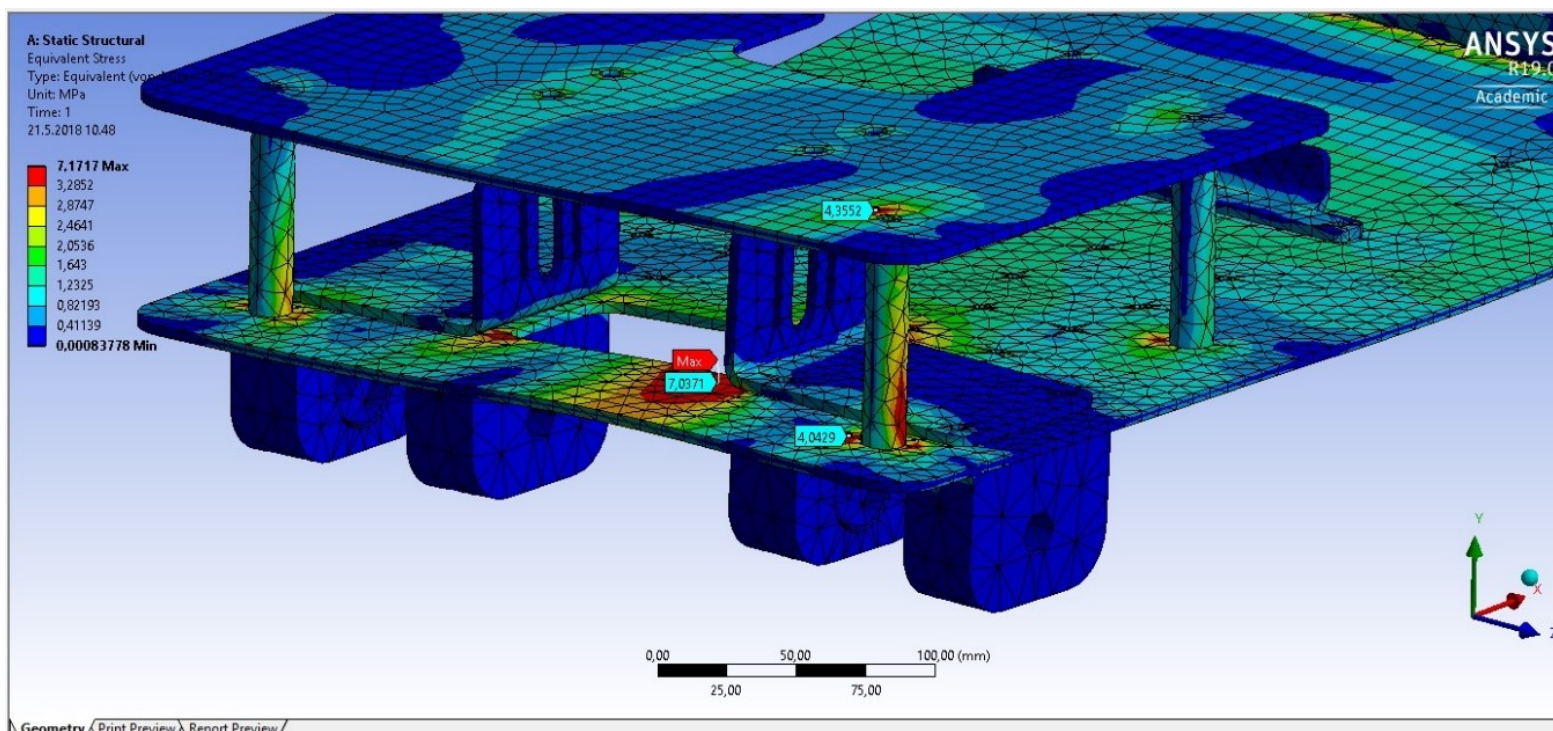
Päätin simuloida ANSYS Workbenchillä neljää erilaista tilannetta, kaksi tilannetta rungolle ja kaksi vetoakselille. Workbenchin eri toiminnoista kokonaisjännityksen selvittämisessä käytin von Misesin hypoteesin mukaista toimintoa. Ohjelma ei nimeä alumiiniseosta josta tiedot ovat, mutta käyttää alumiiniseoksen kimmokertoimena 71 GPa ja myötörajana 280 MPa. Arvot viittaavat melko kovalujuuksiseen alumiininseokseen ja esimerkiksi joillain 7000-sarjan alumiiniseoksilla on vastaavat lujuusarvot.

Ensimmäinen simulointi tilanne on alustan normaalitilanne, kun painavimmat lisättävät komponentit, Visionary-T -sensori ja akut, ovat kiinnitetty alustaan. Komponenttien massaa simulaatiossa kuvaa voimat jotka kohdistuvat niiden oikeisiin kiinnityskohtiin. Kokonaisjännitys tilanne on nähtävissä kuvassa 17. Kuvasta nähdään, että tilanteessa vaikuttavat voimat jäävät noin 3 MPa mikä on reilusti alle pehmeimpienkin alumiinilaatujen myötörajojen ja kohdistuu lähinnä kameratason ja takarenkaiden kiinnityskohtiin. Samaan aikaan taipumat jäävät maksimissaan 0,20 mm. Taipumaa on liioiteltu kuvissa 17, 18, 19 ja 20 lähes satakertaisesti jotta taipuman kohdat tulisivat selkeämmin esille.



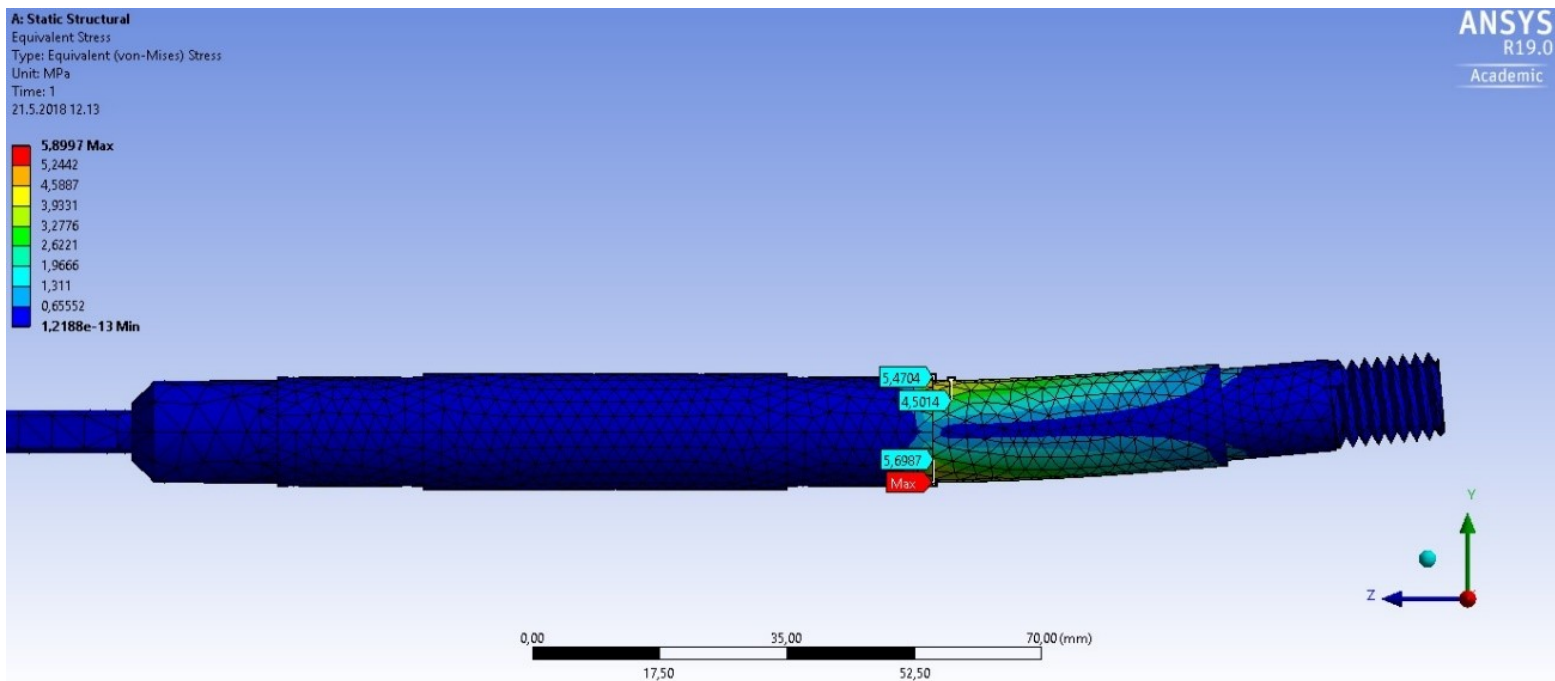
Kuva 17. Kokonaisjännitys tasaisella alustalla kokonaismassalla.

Toinen simulointi tilanne kuvaa tilannetta jossa alusta on tuettu vain kolmella renkaalla, esimerkiksi ei-kohtisuoraan ylitettävä kynnyks. Kuvasta 18 on nähtävillä tilanteessa esiintyviä jännityksen arvoja ja taipumaa. Jännityksen suurimmat arvot ovat noin 7 MPa luokkaa ja kohdistuu tällä kertaa tukevan etuakselin kiinnitysten alueelle ja kameratason kiinnityksiin, maksimi taipuman jäädessä kuitenkin 0,34 mm.



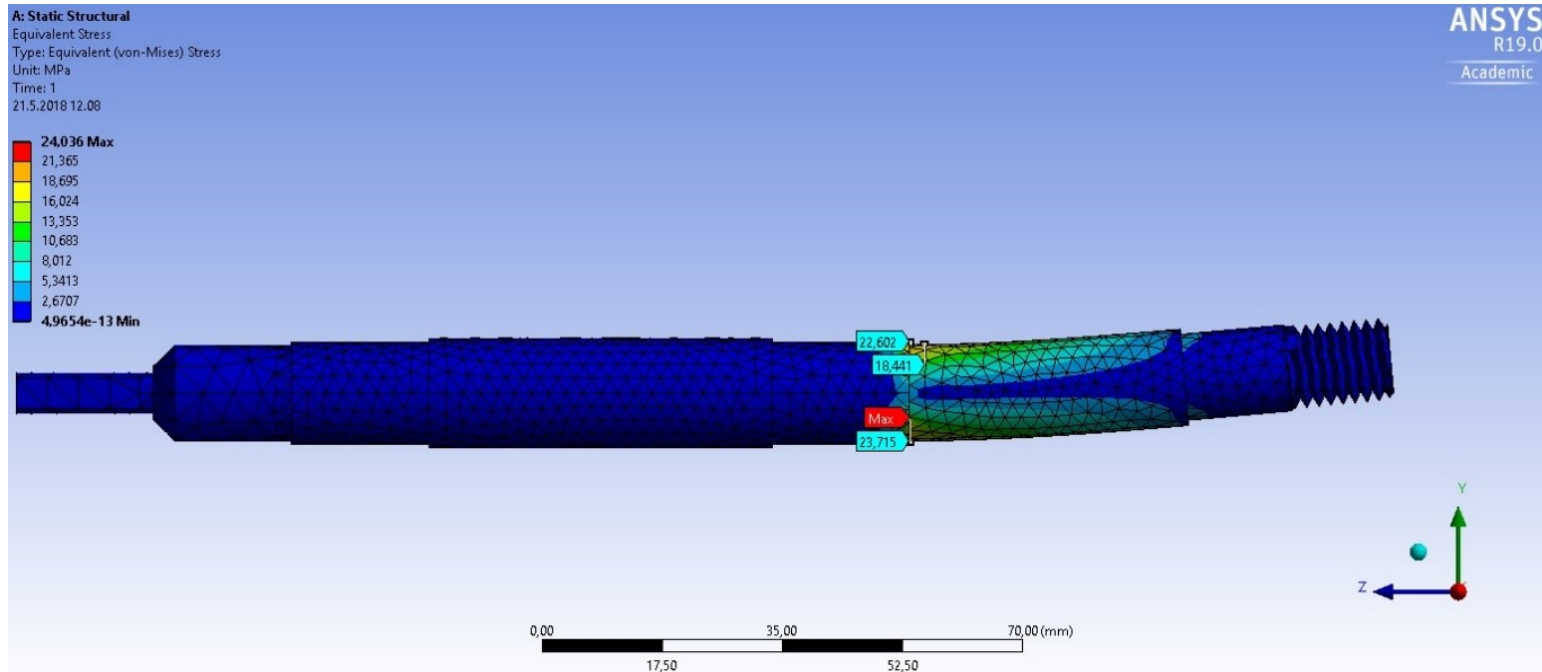
Kuva 18. Kokonaisjännitys kun paino vain kolmella renkaalla.

Kolmas simulointi tilanne kuvaa akselin normaalitilannetta massan jakautuessa kaikille renkaille. Akseli on tilanteessa tuettu laakerien toimesta niille tarkoitetuilta alueilta ja noin neljäsosaa alustan massasta kuvaa renkaan kiinnityskohtaan sijoitettu 27 N voima. Kuvasta 19 on nähtävillä tilanne, maksimi kokonaisjännityksen paikka ja taipuma. Kokonaisjännitys saa maksimissaan noin 5,9 MPa arvon, taipuman ollessa 0,013 mm.



Kuva 19. Akselin kokonaisjännitys normaalitilanteessa

Neljäs simulointi tilanne kuvaa törmäystä, esimerkiksi seinään tai ovenkarmiin, jossa koko minirobottiauton massa on hetkellisesti toisen vetoakselin varassa. Olen yksinkertaistanut tilannetta siten että asetelma on melko samanlainen kuin kolmannessakin tilanteessa mutta vaikuttava voima on suurempi. Tällainen yksinkertaistus ei kuvaa tilannetta kaikista tarkimmin mutta, minirobottiauton suunnitellun liikenopeuden ollessa alhainen, sillä päästään samoihin mittaluokkiin. Kuvassa 20 nähdään kokonaisjännitysten arvoja tilanteessa. Kokonaisjännityksen maksimiarvo on odotetusti muita tilanteita isompi, noin 24 MPa, mutta on silti moninkertaisesti pienempi kuin alumiiniseosten myötörajat jättäen varmuusluvun sopivaksi suurimassa osassa seoksista. Tilanteen maksimi taipuma jää 0,05 mm.



Kuva 20. Akselin kokonaisjännitykset törmäystilanteessa

Kaikki neljä simulointi tilannetta osoittaa minulle, että valitsemani materiaalinvahvuudet ja rakenteet ovat normaalitilanteissa reilusti turvallisen puolella. Varsinkin kun ei valita raaka-aineeksi pehmeimpiä alumiinilaita. Ja antaa sopivan yleiskatsauksen mahdollisiin ongelma kohtiin.

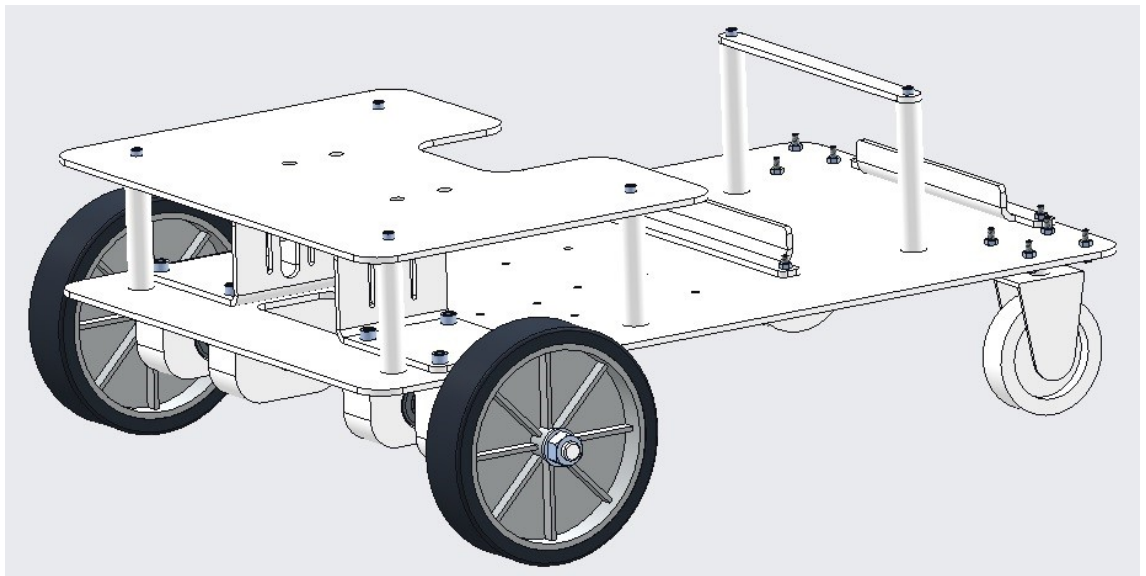
ANSYS Workbench –ohjelma tarjosi mielestäni sopivanlaisen varmistuksen pohtimiini kysymyksiin. Ja vaikka osan tilanteista voisi melko helposti laskea myös manuaalisesti ohjelman helppous ja nopeus lyö laudalta käsin laskennan moninkertaisesti. ANSYS Workbench –ohjelmaa voisi käyttää myös rakenteiden ja materiaalinvahvuuksien optimointiin lujuuden näkökulmasta, mutta en nähnyt sille tarvetta tämän projektin tiimoilta. Muissa työelämälähtöisissä projekteissa tästä ominaisuudesta on varmasti hyötyä.

5 LOPPUTULOKSET

5.1 Pääpiirteiden esittely

5.1.1 Koneenpiirustukset

Opinnäytetyön lopputuloksena on kuvan 21 näköinen kokonaisuus, josta on olemassa selkeät osa- ja kokoonpanopiirustukset. Olen jakanut kokoonpanopiirustuksen, liite 8, sisällön kolmeen vaiheeseen selkeyttääkseni prosessia ja yrittäen näyttää osien paikat yksiselitteisesti. Lisäsin kokoonpanopiirustukseen myös osion, jossa erittelen lisättävien komponenttien paikkoja helpottaen niiden asennusta ja vähentäen mahdollisia sekaannuksia.



Kuva 21. Kokoonpanokuva runkoratkaisusta.

Koneenpiirustusten lisäksi lisäsin palautettavaan materiaaliin levy osien DFX muotoiset tiedostot ja laakeripesästä STEP muotoisen tiedoston. Ajatuksena oli helpottaa ja nopeuttaa valmistusratojen tuottamista CNC-koneille, jos runkoratkaisuni joskus valmistetaan useampi kappale.

5.1.2 Valmistusmenetelmistä ja materiaaleista

Alumiini on materiaalina valmistusystävällistä, tästä johtuen suunnittelemini osien valmistuksessa voidaan käyttää monia erilaisia menetelmiä. Osista ainakin, liitteiden 1 ja 7 mukaiset, akselit ja laakeripesät voidaan valmistaa esimerkiksi CNC-sorvaamalla ja -jyrsimällä. Kun taas kameratason jalkojen ja akunkiinnitys tappien, liitteet 6 ja 3, valmistukseen riittää oikeanmittaisten osien leikkaus ahiosta ja vaadittavien kierteiden teko.

Levystä valmistettavat osat, liitteet 2, 4, 5, 9 ja 10, voidaan valmistaa helposti esimerkiksi vesileikkaamalla, lisäksi niistä moottorinkiinnitys ja akunkiinnitystelineet viimeistellään taivuttamalla ne oikeaan muotoon. Vesileikkaus on valmistusmenetelmänä tarkka ja sillä päästään tyypillisesti 0,1-0,2mm leikkaustarkkuuksiin. Se ei myöskään aiheuta materiaalille lämmöstä johtuvia muodonmuutoksia tai karkenemisiä. Lisäksi alumiini on erittäin hyvin vesileikattavaa ja tuotteista saadaan edullisesti hyvälaatuisia. (ProLaser Oy 2016.)

Suunnittelemani runkoratkaisun valmistamiseen tarvitaan kolmenlaisia aihioita. Suuriman osan osista voidaan valmistaa 4mm paksusta levystä. Jos painoa halutaan tuoda alaspäin myös ohuimmat levyt soveltuvat, mutta silloin lujuus ja painonsietokyky laskevat. Kun taas akseleiden, kameratason jalkojen ja akunkiinnitys tappien aihiona voidaan käyttää halkaisijaltaan 16mm pyörötankoa. Laakeripesien aihiona voidaan käyttää 80x80mm neliötankoa tai jopa 80x60mm, jos sellaista on saatavilla. Piirustuksissakin ehdottamani EN AW-5754 alumiiniseosta on yleisesti saatavilla 4mm levyinä ja EN AW-6082:ta sekä 16mm pyörötankoina, että 80mm neliötankona.

5.2 Opinnäytetyöpohjalta heränneitä ajatuksia

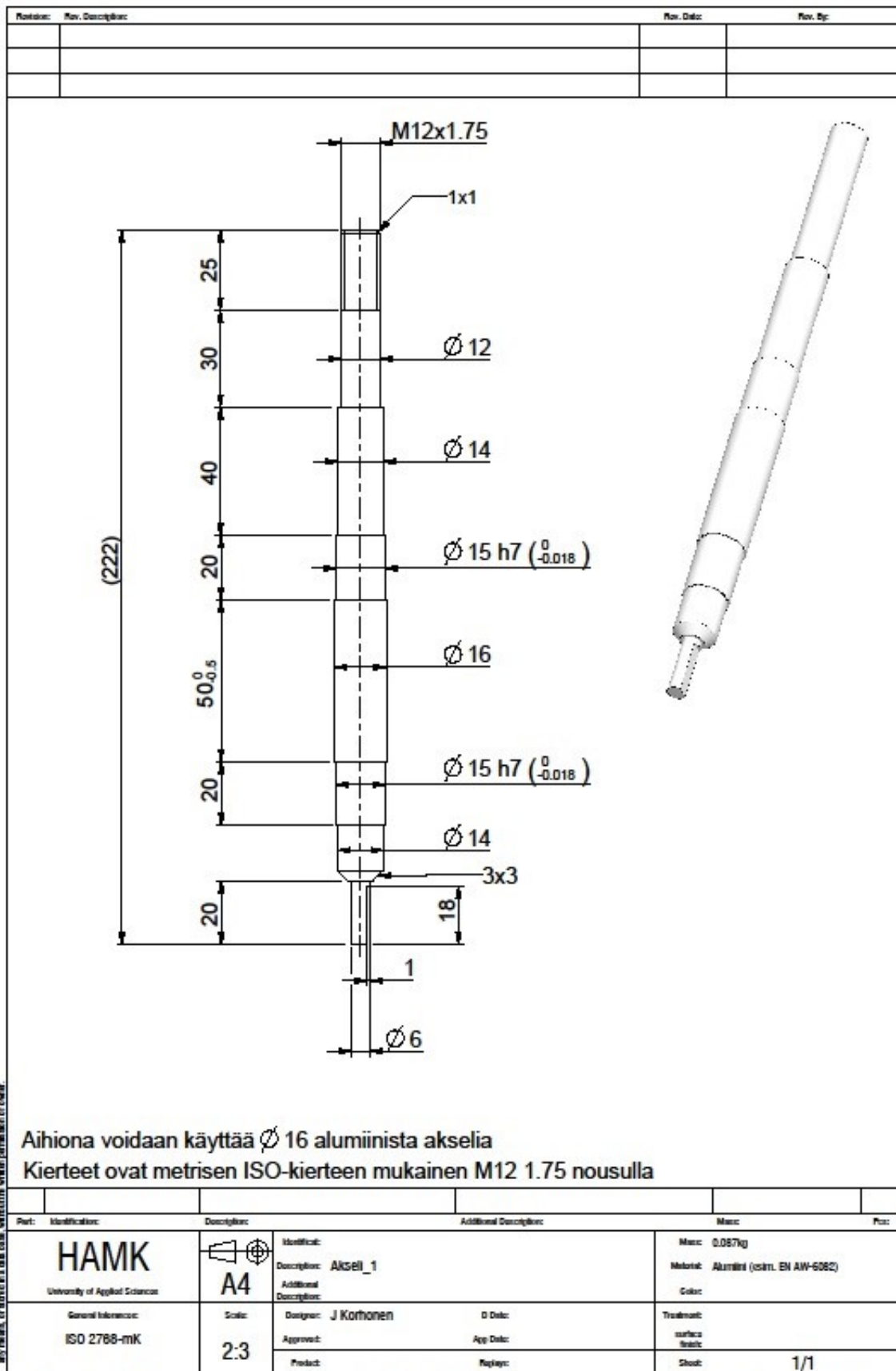
Opinnäytetyötä tehdessä löysin monenlaisia koottavia minirobottisarjoja joista monet toimivat jonkinlaisella radio-ohjauksella, mutta yllättävän moneen valmispakettiin kuului myös erilaisia itsehavaitsevia sensoreita. Tällaiset sensoreilla varustetut sarjat olivat ymmärrettävästi kalliimpia, mutta useimmat eivät olleet niin kalliita etteikö erilaiset oppilaitokset voisi sellaisia hankkia. Oppilaitosten ja harrastelijoiden jatkuva kysynnän kasvu on varmasti myös lisännyt erilaisten valmistajien ja markkinapaikkojen tarjontaa.

Toinen ajatus mikä opinnäytetyötä tehdessä heräsi, koskee robotiikan ja automaatiotekniikan opetusta. Oppilaitosten, varsinkin toisen asteen ja sitä ylempien, opetustarjonnan suunnittelussa ja apuvälineiden hankinnoissa tarvitaan olla nykyään hyvin hereillä. Nopea tekniikan ja laitteiden kehitys tarkoittaa, että myös opetuksen ja apuvälineiden tulee olla ajan tasalla. Haasteita syntyy varmasti siitä tasapainottelusta uuden tekniikan ja varmemman testatun tekniikan välillä. Olisi suuri harmi, jos oppilaitos kohdentaisi opetustaan ja hankintojaan sellaiseen tekniikkaan joka osoittautuu kohta umpikujaksi. Mutta toisaalta myös jo lähes vanhentuneen tekniikan opetus ja hankinta ei ole ehkä se paras vaihtoehto. Olen henkilökohtaisesti iloinen, että nopea tekniikan kehitys herättelee eri tahoja, yksilöistä aina teollisuuteen ja päättäviin elimiin asti, pohtimaan kantojaan ja asennoitumisiaan uusia tekniikoita ja teknologioita kohtaan.

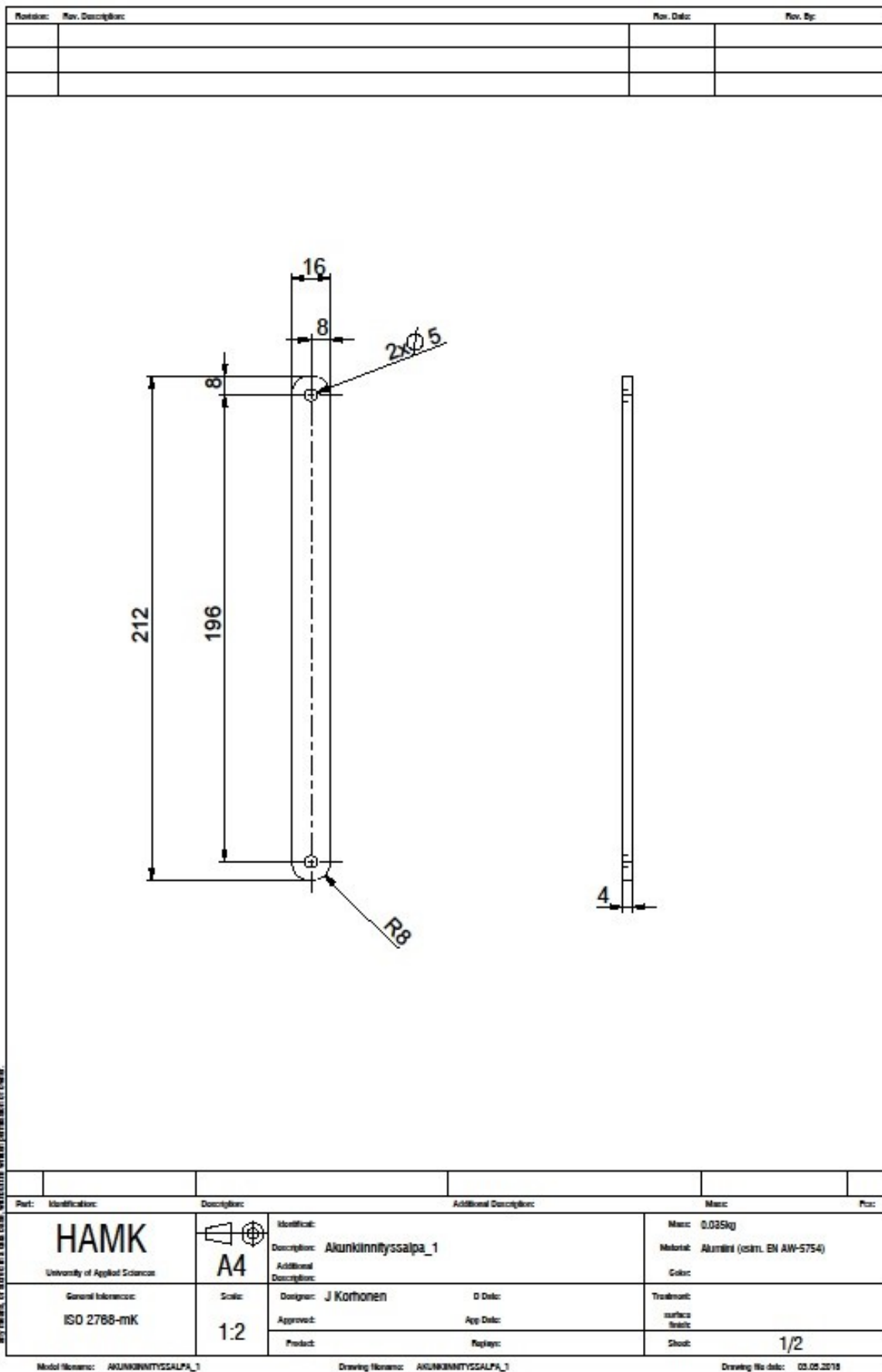
LÄHTEET

- Biltema (2018). Työkalut / Työpenkki ja säilyttäminen / Pyörä. Haettu 18.5.2018 osoitteesta <http://www.biltema.fi/fi/Tyokalut/Tyopenkki-ja-sailyttaminen/Pyora/Pyora-2000016588/>
- Clas Ohlson (2018). Pienrauta / Pyörät / Kalustepyörät. Haettu 18.5.2018 osoitteesta <https://www.clasohlson.com/fi/Kalustepyora/Pr308650000>
- HAMK (n.d). Valkeakoski – tekniikkaa ja liiketaloutta. Haettu 25.4.2018 osoitteesta <http://www.hamk.fi/tietoa-hamkista/kampukset-ja-kartat/Sivut/valkeakoski.aspx>
- Prenta Oy (2018a). Moottorit ja voimansiirto / GT2-20-6 hammashihnapyörä. Haettu 18.5.2018 osoitteesta <http://www.prenta.fi/shop/moottorit-ja-voimansiirto/451-gt2-20-6-hammashihnapyora.html>
- Prenta Oy (2018b). Moottorit ja voimansiirto / T2-hammashihna. Haettu 18.5.2018 osoitteesta <http://www.prenta.fi/shop/moottorit-ja-voimansiirto/451-gt2-20-6-hammashihnapyora.html>
- ProLaser Oy (2016). Vesileikkaus. Haettu 25.5.2018 osoitteesta <http://www.prolaser.fi/vesileikkaus.html>
- Raspberry Pi Foundation (n.d). Raspberry Pi 3 -ohjauspiirilevy. Haettu 25.4.2018 osoitteesta <https://www.raspberrypi.org/products/raspberry-pi-3-model-b/>
- SICK Sensor Intelligence (2018a). 3D-konenäkö Visionary-T. Haettu 25.4.2018 osoitteesta <https://www.sick.com/fi/fi/konenaekoe/3d-konenaekoe/visionary-t/c/g358152>
- SICK Sensor Intelligence (2018b). 3D-konenäkö Visionary-T. Haettu 25.4.2018 osoitteesta <https://www.sick.com/fi/fi/konenaekoe/3d-konenaekoe/visionary-t/v3s110-2aaaaa/p/p551868>

Liite 1 Akseli_1 osapiirustus

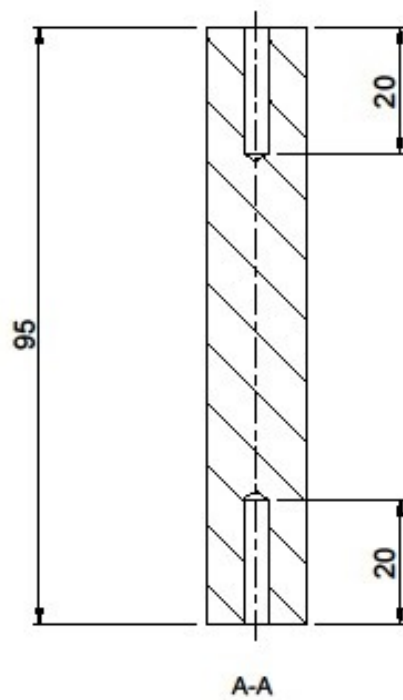
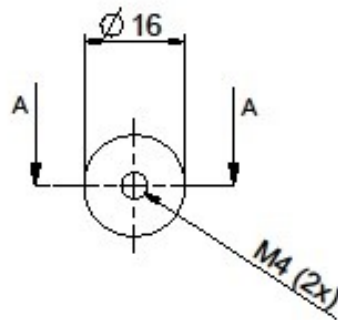


Liite 2 Akunkiinityssalpa_1 osapiirustus



Liite 3 Akunkiinnitystappi_1 osapiirustus

Revision:	Rev. Description:	Rev. Date:	Rev. By:



Kierteet ovat metrisen ISO-kierteen mukaisia M4 0,7 nousulla

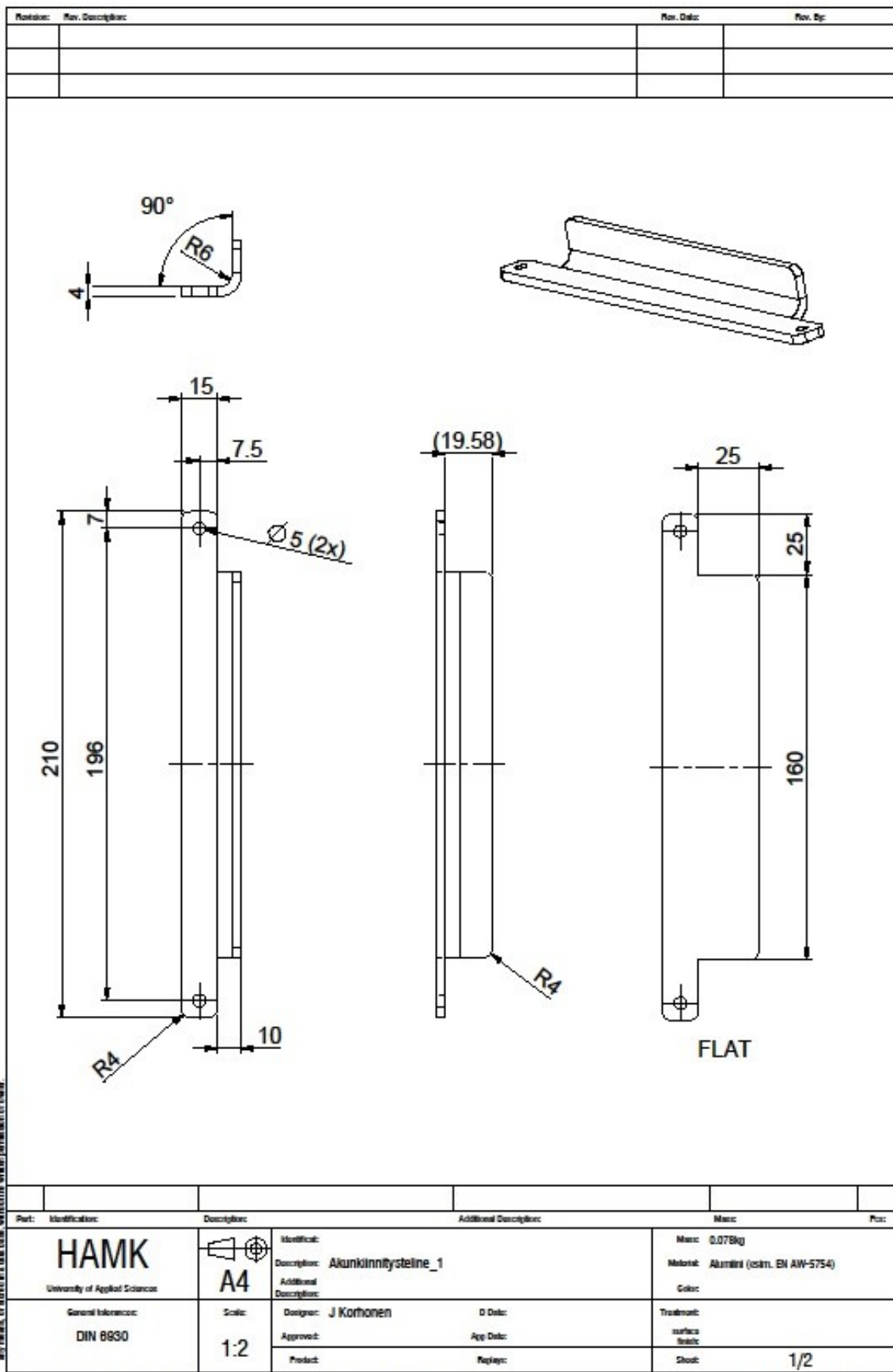
Part:	Identification:	Description:	Additional Description:	Mass:	Proc:
HAMK University of Applied Sciences	 A4	Identif: Description: Akunkiinnitystappi_1 Additional Description:		Mass: 0,050kg Material: Alumiini (ositt. EN AW-6062) Color:	
		General Information: ISO 2788-mK	Scale: 1:1	Designer: J Korhonen Approved: Product:	D Date: App Date: Replaces:

Model Name: AKUNKIINNITYSTAPPI_1

Drawing Name: AKUNKIINNITYSTAPPI_1

Drawing No date: 03.05.2018

Liite 4 Akunkiinnitysteline_1 osapiirustus



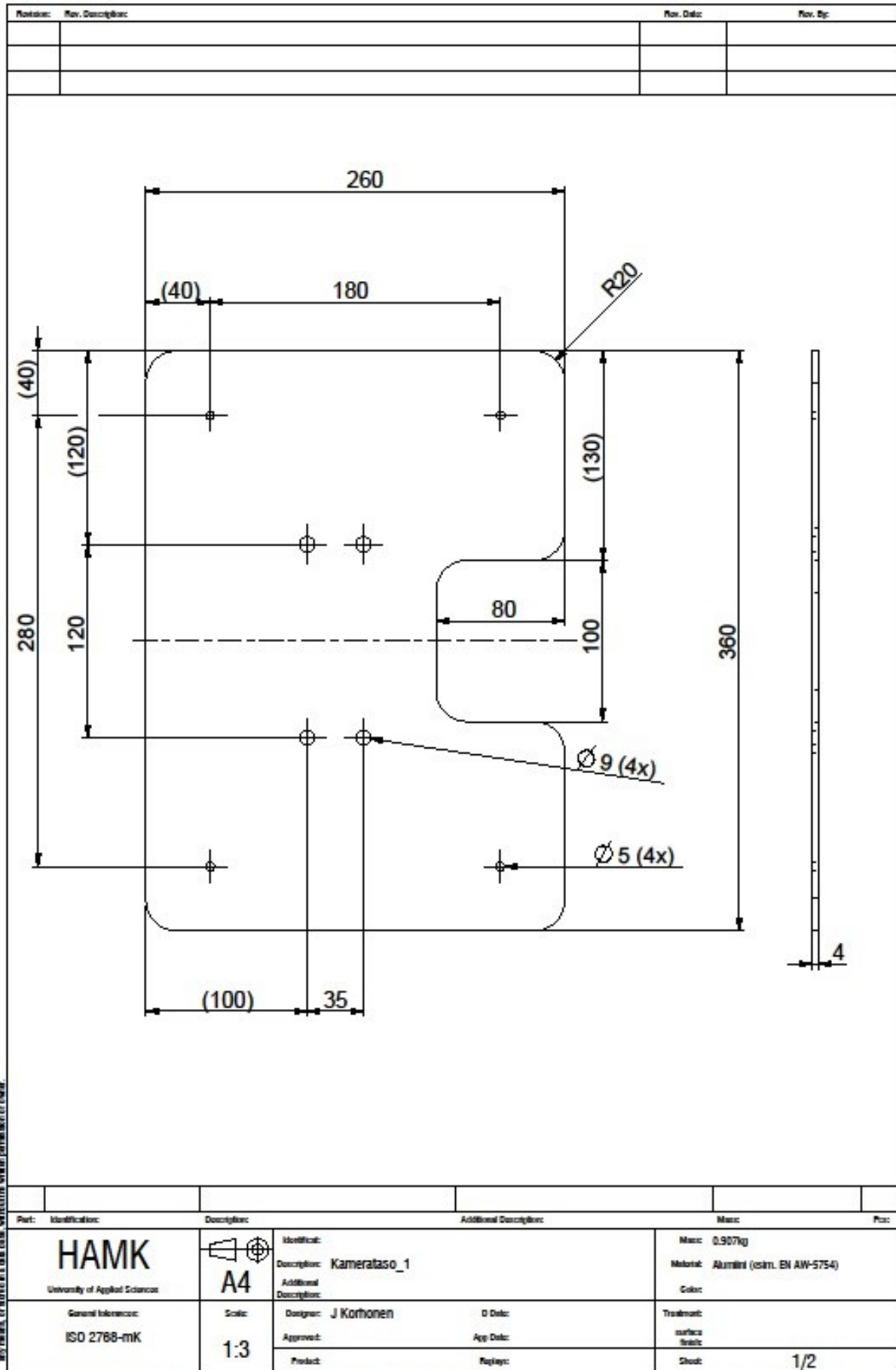
No part of this document may be reproduced or distributed in any form or by any means, or stored in a retrieval system, without the written permission of HAMK.

Model Name: AKUNKIINITYSTELINE_1

Drawing Name: AKUNKIINITYSTELINE_1

Drawing No date: 03.05.2018

Liite 5 Kamerataso_1 osapiirustus



No part of this document may be reproduced or disseminated in any form or by any means, or stored in a data base, without the written permission of owner.

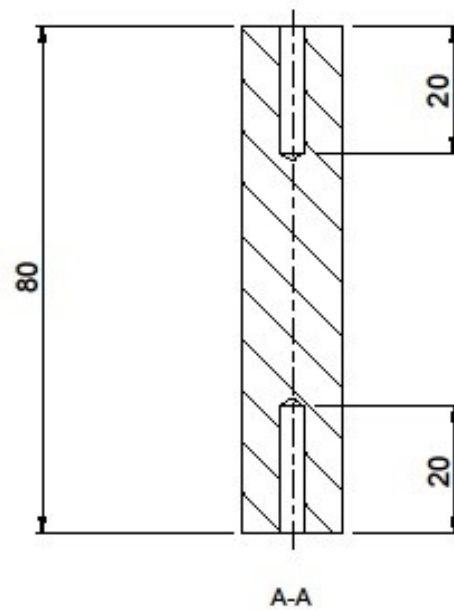
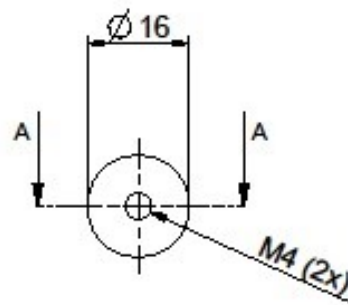
Model Name: KAMERATASO_1

Drawing Name: KAMERATASO_1


Drawing file date: 03.05.2016

Liite 6 Kameratasonjalka_1 osapiirustus

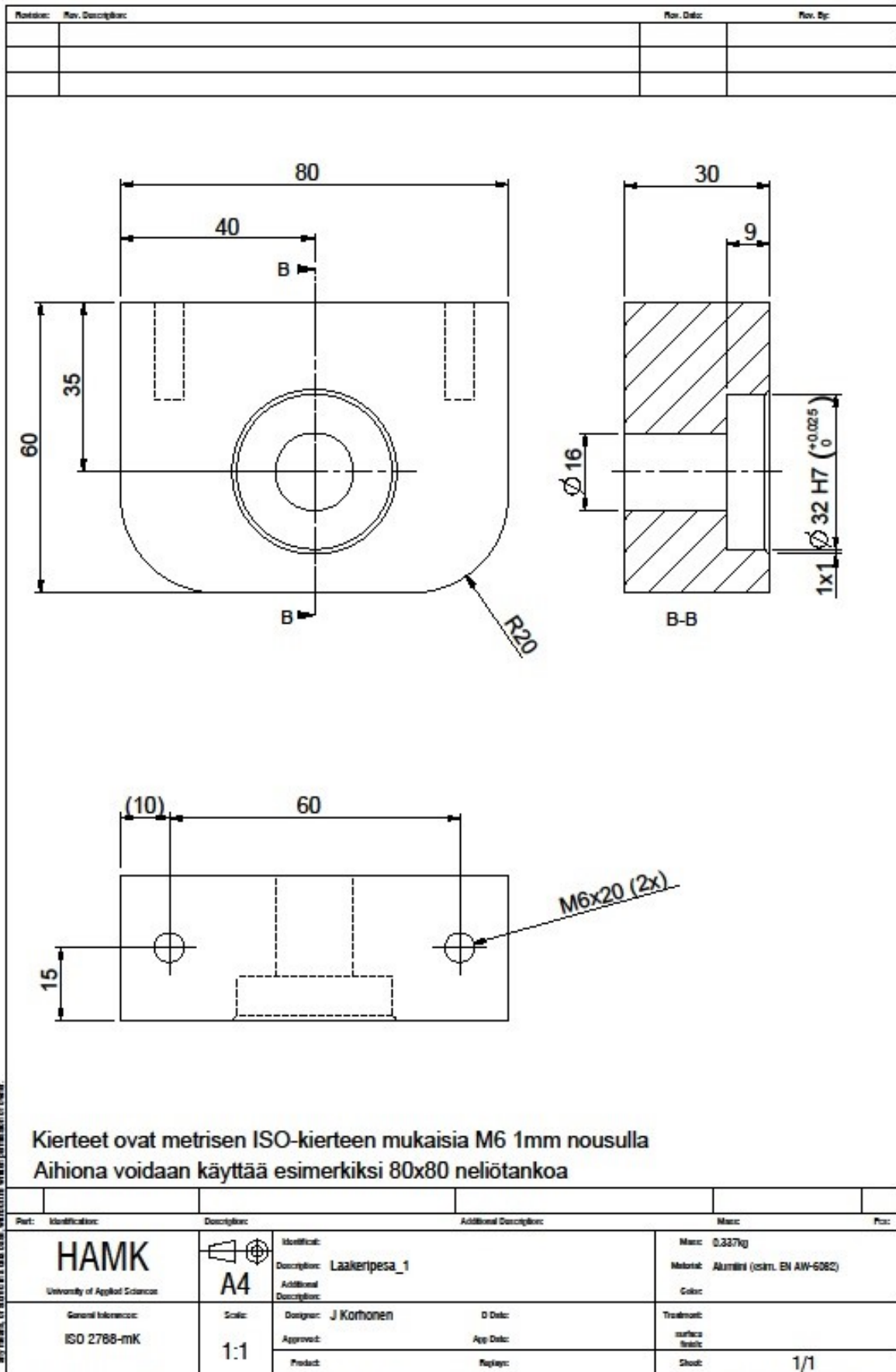
Rev. No:	Rev. Description:	Rev. Date:	Rev. By:



Kierteet ovat metrisen ISO-kierteen mukaisia M4 0.7 nousulla

Part:	Identification:	Description:	Additional Description:	Misc:	Pos:
	HAMK University of Applied Sciences	 A4	Modified: Description: Kameratasonjalka_1 Additional Description:	Misc: 0.043kg Material: Alumiini (ositt. EN AW-6082) Color:	
General Information:	ISO 2788-mK	Scale: 1:1	Designer: J Korhonen Approved: Product:	Treatment: surface finish: Shed:	1/1
	Model Name: KAMERATASONJALKA_1		Drawing Name: KAMERATASONJALKA_1		Drawing No date: 03.05.2019

Liite 7 Laakeripesa_1 osapiirustus



Liite 8 Minirobotiauton_runko kokoonpanopiirustus

100
101
102
103
104
105
106
107

Vaihe 1

Vaihe 2

Vaihe 3

1:10

Part	Identification	Description	Material	Quantity	PCS
17	Runkolevy_1			1	
18	Kamerataso_1			1	
15	Laakeripala_1			4	
14	150mm rengas	150x30mm rengas 12mm:n akselille		2	
13	Vapaastatitryyri rengas	lakonastatitryyri 102mm, renkaan halkaisija 75mm		2	
12	Moottorinkehys			2	
11	Akseli_1			2	
10	Akselinnyrkasle_1			2	
9	Akselinnyrkasle_1			2	
8	Urutuskalteeni 15x32x8			4	
7	Kameratasolevy_1			4	
6	Akselinnyrkasle_1			1	
5	Kuusiokantainen DIN634 - 8.8 - M12			2	
4	Aluslaatta DIN15-A 12			4	
3	Kuusiokantainen DIN912 - 8.8 - M8x20			8	
2	Kuusiokantainen DIN912 - 8.8 - M4x18			24	
1	Kuusiokantainen DIN634 - 8.8 - M6x4			12	

HAMK
University of Applied Sciences

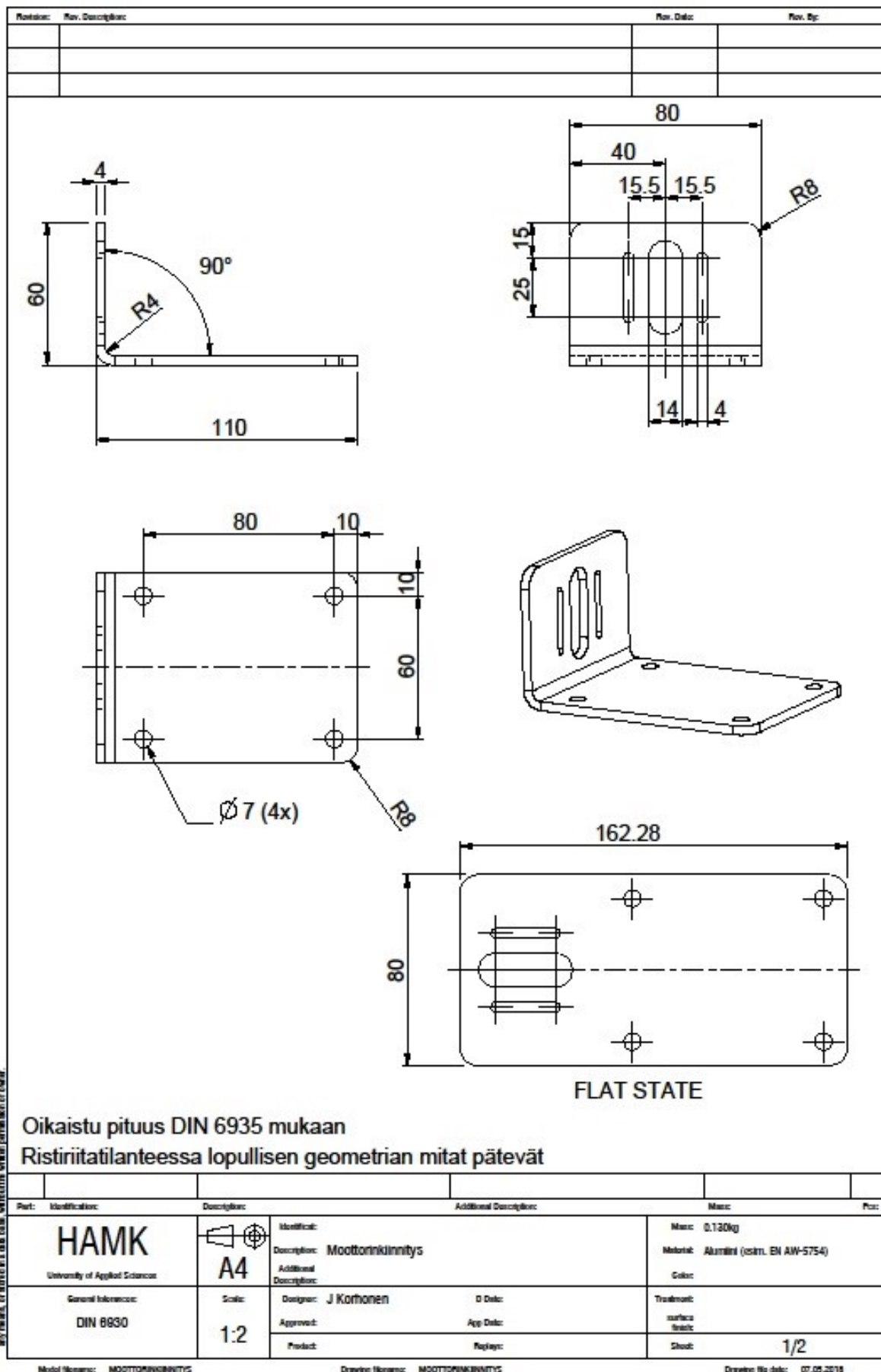
Identifikaatio: A3
Kuvaus: Minirobotiauton runko

Yleistiedot:
 Designer: J Korhonen
 Date:
 Approved:
 App Code:
 RefCode:
 Project:
 Material: 8.473kg
 Color:
 Treatment:
 Surface finish:
 Sheet: 1/2

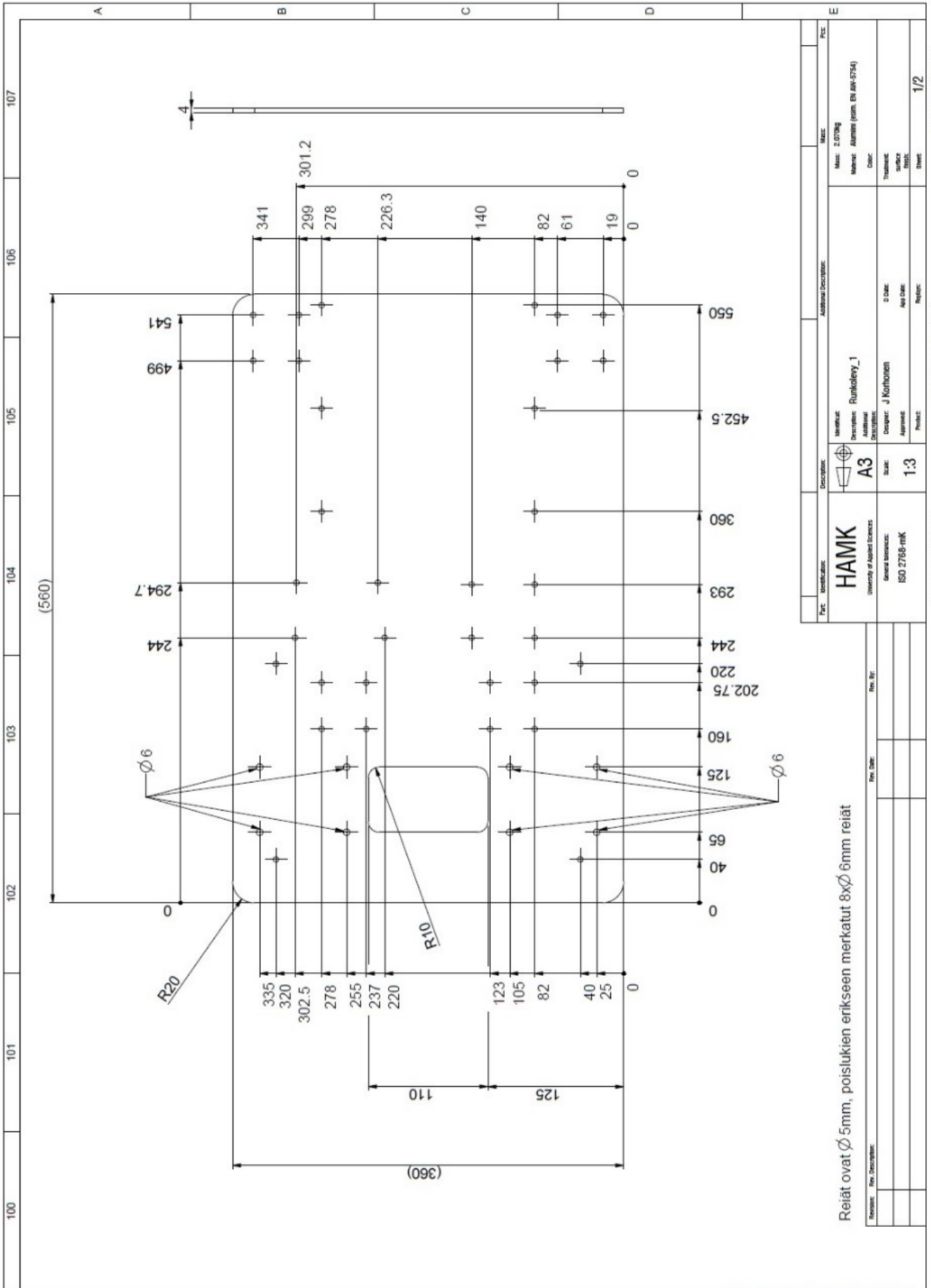
Model Name: MINIROBOTIAUTON_RUNKO
Drawing No: 30.05.2018

No part of this document may be reproduced or distributed in any form or by any means, electronic or mechanical, without the written permission of HAMK.

Liite 9 Mootorinkiinnitys osapiirustus



Liite 10 Runkolevy_1 osapiirustus



Right of the document is reserved or distributed in any form or by permission, or other a 3D file, without the written consent of HAMK.