

Tuukka Järvenpää

## **ÄLYLUKON SUUNNITTELU**

# ÄLYLUKON SUUNNITTELU

Tuukka Järvenpää  
Opinnäytetyö  
Kevät 2021  
Konetekniikan tutkinto-ohjelma  
Oulun ammattikorkeakoulu

# TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu  
Konetekniikka, koneautomaatio

---

Tekijä: Tuukka Järvenpää  
Opinnäytetyön nimi suomeksi: Älylukon suunnittelu  
Opinnäytetyön nimi englanniksi: Designing a smart lock  
Työn ohjaaja: Petri Juntila  
Työn valmistuslukukausi ja -vuosi: kevät 2021  
Sivumäärä: 40 + 0 liitettä

---

Opinnäytetyö tehtiin Ovikun Oy:n tilauksesta. Ovikun Oy on lukitus- ja turvallisuus- alalla toimiva yritys. Yritys on tuoteistanut Suomen markkinoille älylukon ja halua laajentaa myös Keski-Euroopan markkinoille. Opinnäytetyössä haluttiin kokeilla, miten keskieuropalaiseen lukkorunkoon tehty älylukko toimisi.

Opinnäytetyössä suunniteltiin ja valmistettiin älylukon mekaniikka. Tavoitteena oli, että prototyyppi saadaan liitettyä lukkorunkoon ja että prototyyppi saa lukon pyörähtämään.

Työssä edettiin tuotekehityksen vaiheiden mukaisesti. Ennen suunnittelun aloittamista tehtiin esitutkimus, jossa käytiin läpi Euro DIN -lukkorungon ominaisuuksia sekä keskieuropalaiset ovityypit, joihin älylukko mahdollisesti asennettaisiin. Apuna tutkimuksissa käytettiin myös muiden valmistajien älylukkoja. Tiedon etsinnän lisäksi mitattiin tarvittava vääntömomentti Euro DIN -lukkorungon kääntämiseen. Tietoa lukkorungoista ja tarvittavista dimensioista löydettiin lukkovalmistajilta sekä tutkimalla rautakauppojen tarjontaa.

Esisuunnitteluvaiheessa oli saatu tietyt reunaehdot kuten kotelon maksimidimensiot. Opinnäytetyön tilaajan toiveesta tehtiin konsepti kolmesta eri voimansiirron tavasta, joista tilaaja valitsi yhden, jota alettiin jatkokehittämään.

Yksityiskohtaisessa suunnittelussa mallinnettiin tarvittavat komponentit SolidWorksilla. Luodut mallit 3D-tulostettiin tai koneistettiin. Loput tarvittavat komponentit ostettiin ja prototyyppi koottiin tilaajan toimistotiloissa. Prototyyppien toimintaa testattiin kloseissa, jotka ovat pienoismalleja ovesta ja sisältävät normaalin lukkorungon.

Viimeisin prototyyppi ei saanut lukkorunkoa kääntymään kokonaista kierrosta kuormituksen alla. Prototyyppissä oli ongelmia voimansiirron akselistossa ja kotelossa, jotka olivat huonosti mitoitettuja. Prototyyppin toiminta oli riittävä ja tilaaja hyväksyi työn.

---

Asiasanat: 3D-tulostus, prototyyppi, älylukko

## ABSTRACT

Oulu University of Applied Sciences  
Bachelor of Mechanical Engineering, Machine Automation

---

Author: Tuukka Järvenpää  
Title of thesis: Designing a smart lock  
Supervisor: Petri Junttila  
Term and year when the thesis was submitted: spring 2021  
Pages: 40 + 0 appendices

---

This thesis was commissioned by Oviku Oy. Oviku Oy is a company operating in the field of locking and security. The company has commercialized a smart lock for the Finnish market and wants to expand to the Central European market. The aim of the thesis was to test how a smart lock made to a Central European lock frame would work.

In this thesis the goal was to design and manufacture a working prototype of a smart lock. The prototype must be able to turn the lock body it was designed for.

The work proceeded according to the stages of product development: Before starting the design, a preliminary study was carried out to review the features of the Euro DIN lock frame and the Central European door types on which the smart lock could possibly be installed. Smart locks from other manufacturers were also studied in the research. In addition to the research, the required torque for turning the Euro DIN lock body was measured. Information on lock frames and the required dimensions was found from lock manufacturers and by researching the supply of hardware stores.

At the pre-design stage, certain boundary conditions had been obtained, such as the maximum dimensions for the housing. At the request of the client, a concept was made of three different transmission methods, from which the client chose one, which was further developed.

In the detailed design, the necessary components were modeled with SolidWorks. The created models were 3D-printed or machined. The remaining necessary components were purchased, and the prototype was assembled in the client's office space. The operation of the prototype was tested in blocks that are scale models of the door and include a normal lock body.

The latest prototype did not cause the lock body to turn a full turn under load. The prototype had problems with the gearbox that was poorly dimensioned. The operation of the prototype was sufficient for the client to accept the work.

---

Keywords: 3D-printing, prototype, smart lock

# SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ	3
ABSTRACT	4
SISÄLLYS	5
SANASTO	6
1 JOHDANTO	7
2 ÄLYLUKOT	8
2.1 Älylukitus	8
2.2 Vertailu	9
3 HAMMASPYÖRÄVOIMANSIIRTO	10
3.1 Hammaspyöräparin välityssuhde	11
3.2 Vaihteiston suunnittelu	13
4 SUUNNITTELUN LÄHTÖKOHDAT	15
5 SUUNNITTELUPROSESSI	17
5.1 Esitutkimus	17
5.2 Esisuunnittelu	20
5.3 Yksityiskohtainen suunnittelu	24
5.4 Prototyypit	33
6 YHTEENVETO	36
LÄHTEET	38

## **SANASTO**

3D-tulostaminen	ainetta lisäävä valmistusmenetelmä
Euro Cylinder	standardin BS EN 1303:2015 mukainen lukkosylinteri
Euro DIN	standardin Euro DIN 18 251 mukainen lukkorunko
FDM	ainetta pursottava valmistusmenetelmä
klossi	pienoismalli ovesta
prototyyppi	mallikappale
RDIF	radiotaajuinen etätunnistus
SLS	ainetta lisäävä lasersintrausmenetelmä
SolidWorks	3D-mallinnusohjelma
telki	lukon kieli
WLAN	langaton lähiverkko

# 1 JOHDANTO

Työn tilaaja Oviku Oy tuotteistaa ja kaupallistaa erilaisia turvallisuusratkaisuja kulluttajille. Oviku Oy:llä on Suomen markkinoilla mobiililla ohjattava älylukko pohjoismaiseen lukkotyyppiin. Yritys haluaa laajentaa Keski-Euroopan markkinoille älylukolla, joka on suoraan jälkiasennettavissa oveen.

Tavoitteena opinnäytetyössä on suunnitella ja valmistaa toimiva älylukon prototyyppi Euro DIN -standardin mukaiseen lukkoympäristöön. Älylukon käyttötarkoituksena on ohjata lukkoa, lukkorunkoa tai ovea mobiililaitteella. Älylukko tuli suunnitella siten, että se on jälkiasennettavissa ilman oveen tai lukkoon tehtäviä rakenteellisia muutoksia. Tuotteen vaatimuksena oli, että älylukon virta tulee neljästä litium-AA-paristosta. Toisena vaatimuksena oli lukon vapaa manuaalinen kääntö älylukon asennuksen jälkeen, eli älylukon laitteiston tulee kytkeytyä irti lukon kääntömekanismista, kun älylukko ei ole käytössä.

Suunnittelun ja prototyypin lisäksi tulee tehdä kilpailija-analyysi toisista kilpailijoista, joilla on tuote, joka kiinnittyy Euro DIN -standardin mukaiseen lukkoon. Suunnitteluun käytetään SolidWorks-mallinnusohjelmaa ja prototyypin valmistuksessa 3D-tulostamista. Työ tehdään tiiviissä yhteistyössä sähköautomaatiopuolen opiskelijan kanssa, jonka projektiopintoina on suunnitella ja ohjelmoida älylukkoon piirilevy. Tämän lisäksi mukana on myös työn tilaaja ja ohjaava opettaja.

## 2 ÄLYLUKOT

Älylukon määrittelemisen on haastavaa, sillä ala on uusi. Käytännössä älylukutuksesta puhutaan silloin, kun lukko avataan esimerkiksi älypuhelimella normaalin avaimen sijaan. Älylukitus mahdollistaa kulkulupien jakamisen esimerkiksi koodilla, kulkutunnisteella tai mobiilisovelluksella. Lisäksi älylukoissa on ominaisuuksia, joita normaaleissa lukoissa ei ole, kuten mahdollisuus liittää älylukko kodin äly- tai hälytysjärjestelmiin. Lukon virtalähteenä on yleensä joko sähköverkko tai paristot. Pelkkä sähköllä toimiva lukko ei ole kuitenkaan automaattisesti älykäs, sillä lukon ominaisuudet määrittävät älykkyyden. (1.)

### 2.1 Älylukitus

Älylukituksessa käytettyjä kulkulupien jakamistekniikoita on useita, mutta yleisin on älypuhelimella tapahtuva avaaminen, koska se on perusominaisuutena suurimassa osassa älylukkoja. Kaikissa vertailussa käytetyissä älylukoissa päätoiminen älylukon ohjaaminen tapahtuu älypuhelimella älylukolle tarkoitettua ohjelmaa käyttäen. Tämä mahdollistaa kulkulupien jakamisen sovelluksessa toisille henkilöille ja poistaa tarpeen perinteiseen avaimeen. Lisäksi sovelluksista on mahdollista nähdä älylukkojen kulunvalvonnan, josta lukon omistaja saa tietää, milloin lukkoa on käytetty. (2.)

Ohjelmat käyttävät pääasiassa Bluetoothia älylukon ohjaukseen. Tämän lisäksi joissain markkinoilla olevissa älylukoissa on mahdollisuus ostaa lisälaitteita, joilla älylukkoa voi ohjata esimerkiksi erillisellä painikkeella, numerokoodilla tai RDIF-tunnisteella. Tämän lisäksi esimerkiksi Danalock v3 -älylukossa on ominaisuus, jolla lukko aukeaa automaattisesti, kun se havaitsee lähestyvän kulkuluvan haltijan Bluetoothilla (2). Jotkut älylukot on myös mahdollista yhdistää lisälaitteella internettiin, jolloin lukkoa voi ohjata kauempaa kuin Bluetoothilla olisi mahdollista. (3.)



## 2.2 Vertailu

Tilajalle laadittuun raporttiin sisällytettiin arvio mahdollisista kilpailijoista älylukkomarkkinoilla. Kaikkia vertailussa olevia lukkoja ohjataan pääosin älypuhelimella. Vertailuun etsittiin pääasiassa vain älylukkoja, joiden asentaminen ei tarvitse muutoksia lukkorunkoon tai lukkoon, mutta poikkeuksiakin löytyy. Vertailussa käytettiin tunnetuimpien älylukkovalmistajien tuotteita europrofiilin lukkoihin (taulukko 1). Älylukkojen vertailuun otettiin mukaan Desi Utopic 0K (4), Yale Linus (5), Danalock v3 (2), Nuki 2.0 (6) sekä älylukon prototyyppi.

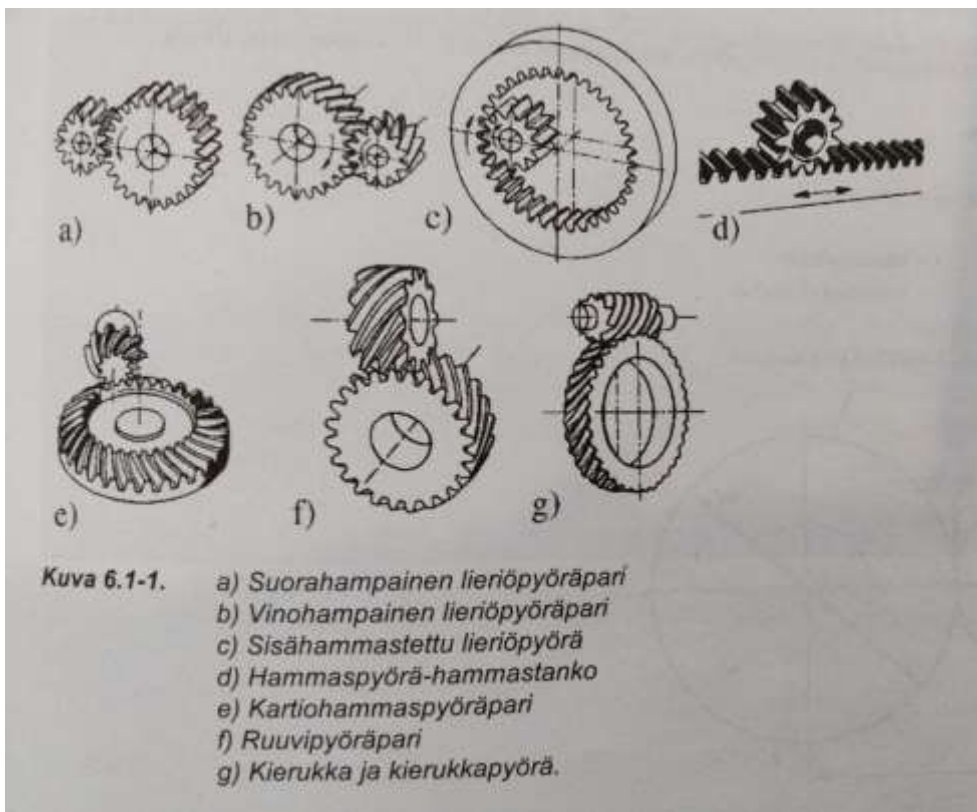
TAULUKKO 1. Älylukkovertailu

Lukitusjärjestelmä	Nuki 2.0 (6)	Desi Utopic 0K Type A (4)	Yale Linus (5)	Danalock v3 (2)	Älylukon prototyyppi
<b>Tunnistusperiaate</b>	Bluetooth, lisävarusteena: kauko-ohjain, numerokoodi, lisälaitteella mahdollisuus yhdistää lukko internettiin.	Bluetooth, lisävarusteena: kauko-ohjain, numerokoodi, sormenjälkitunnistin	Bluetooth, lisävarusteena: numerokoodi, lisälaitteella mahdollisuus yhdistää lukko internettiin	Bluetooth, lisävarusteena: numerokoodi, lisälaitteella mahdollisuus yhdistää lukko internettiin	Bluetooth
<b>Älypuhelin-avaus</b>	Kyllä	Kyllä	Kyllä	Kyllä	Kyllä
<b>Käyttäjän li-säys/poisto</b>	Älypuhelinsovelluksella	Älypuhelinsovelluksella	Älypuhelinsovelluksella	Älypuhelinsovelluksella	Älypuhelinsovelluksella
<b>Virtalähde</b>	Paristot	Paristot, mahdollisuus ladata paristot USB portin kautta	Paristot	Paristot	4x litium-AA-paristoa
<b>Kytkeä murtohälyttimeen</b>	Ei	Ei	Kyllä	Ei	Ei
<b>Vaatiiko muutoksia lukon osiin</b>	Ei	Kyllä, sisäpuolen avain pitää katkaista ja asentaa lukkosylinteriin	Ei	Kyllä, vaatii erillisen lukkosylinterin	Ei
<b>Ulkoisen valmistusmateriaali</b>	Muovinen runko, metallinen kääntönuppi	Alumiini	Alumiini	Alumiini	Muovinen runko, metallinen kääntönuppi
<b>Hinta</b>	199 €	154 \$	249 €	195 €	Ei arviota

### 3 HAMMASPYÖRÄVOIMANSIIRTO

Hammaspyörävoimansiirtoa voidaan käyttää tehon ja vääntömomentin välittämiseen silloin, kun kuormat ja momentit ovat erikoisen suuria, kun akselit ovat lähellä toisiaan tai kun pyritään mahdollisimman pieneen rakennekokoon. Hammaspyörillä saadaan tarkka välityssuhde ja pyörimisnopeus myös hammaskosketuksen reuna-alueella. (7, s. 70.)

Hammasvoimansiirtoon voidaan käyttää useita erilaisia hammaspyöriä. Hammaspyörät voivat olla ulko- tai sisähammastettuja suora- tai vinohampaisia pyöriä. Kun halutaan muuttaa aksiaaliliike rajalliselle kulma-alueelle rajoittuvaksi pyörimisliikkeeksi tai päinvastoin voidaan käyttää hammaspyörä-hammastankoyhdistelmää. Mikäli akselit eivät ole samansuuntaisia, voidaan käyttää kartiopyöriä, ruuvipyöriä tai kierukkavälitystä. Pääsääntöisesti akselien välinen kulma on 90 astetta. Kartiopyöriä käytetään pääsääntöisesti pienillä välityksillä ja suurilla tehoilla. Kierukka eli matovaihteen etuna on suuri välityssuhde yhden pyöräparin välillä (8, s. 329). Nämä hammaspyörätyypit näkyvät kuvassa 1.



KUVA 1. Hammaspyörätyypit (8, s. 329)

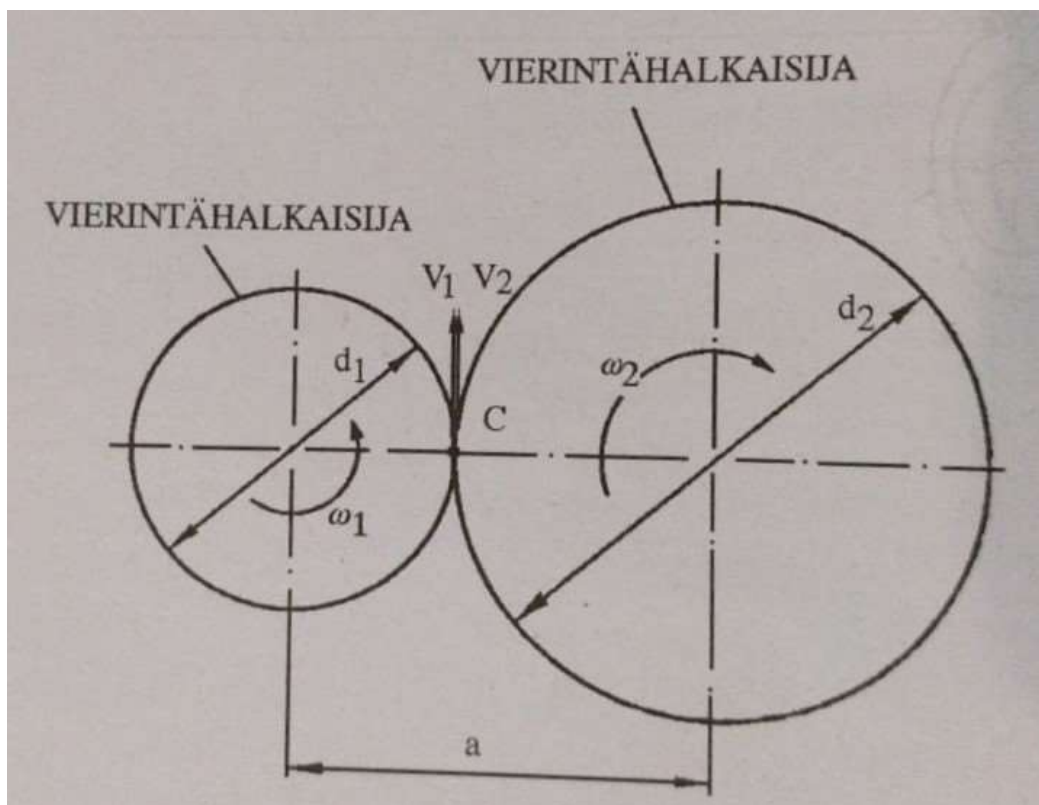
### 3.1 Hammaspyöräparin välityssuhde

Hammaspyöräparin välityssuhde on kulmanopeuksien ja pyörimisnopeuksien suhde. Hammasvaihte on pakkoliikkeinen ja välityssuhde säilyy vakiona riippumatta hampaiden silloisesta kosketusasemasta. (8, s. 329.)

Pyörimisnopeuden muuttamistarpeen ollessa suuri voidaan nopeus muuttaa usealla hammaspyöräparilla. Tavallisimmin käytännössä pyörimisnopeutta alennetaan, jolloin välityssuhde  $i > 1$ . (8, s. 330.)

Välityssuhteella muutetaan ensiö- ja toisioakselin pyörimisnopeutta. Kun pyörimisnopeutta muutetaan hitaammaksi alennusvaihteella, vääntömomentti kasvaa samassa suhteessa kuin pyörimisnopeus pienenee. Toisaalta jos pyörimisnopeutta kasvatetaan ylennysvaihteella, vääntömomentti pienenee samassa suhteessa kuin pyörimisnopeus kasvaa. (9, s. 301.)

Hammaspyöräpari voidaan kuvitella toisiaan vasten luistottomasti vieriviksi lieriöiksi (kuva 2). Näitä lieriöitä kutsutaan vierintälieriöiksi ja vastaavia halkaisijoita vierintähalkaisijoiksi. Vierintähalkaisijat sivuavat toisiaan vierintäpisteessä C, jossa kehänopeuksien  $V_1$  ja  $V_2$  on oltava yhtä suuret, jotta luistoa ei tapahtuisi.



KUVA 2. Hammaspyöräpari kuviteltuna toisiaan vasten vieriviksi lieriöiksi (8, s. 330)

Jos hammaspyörien kehänopeudet vierintäpisteessä C ovat samat, voidaan välityssuhde laskea käyttäen kaavaa 1. (9, s. 323.)

$$i = \frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{n_1}{n_2} = \frac{d_2}{d_1} = \frac{z_2}{z_1} \quad \text{KAAVA 1}$$

$i$  = välityssuhde

$\omega$  = kulmanopeus

$n$  = pyörimisnopeus

$d$  = jakohalkaisija

$z$  = hammasluku eli hampaiden lukumäärä

Jos tiedetään tarvittava momentti sekä voimanlähteen tuottama momentti, voidaan niitä käyttää tarvittavan välityssuhteen laskemiseen. Ensio- ja toisiomomentin suhde on sama kuin hammasvaihteen välityssuhde ja se lasketaan käyttämällä kaavaa 2. (9, s. 323.)

$$i = \frac{M_1}{M_2}$$

KAAVA 2

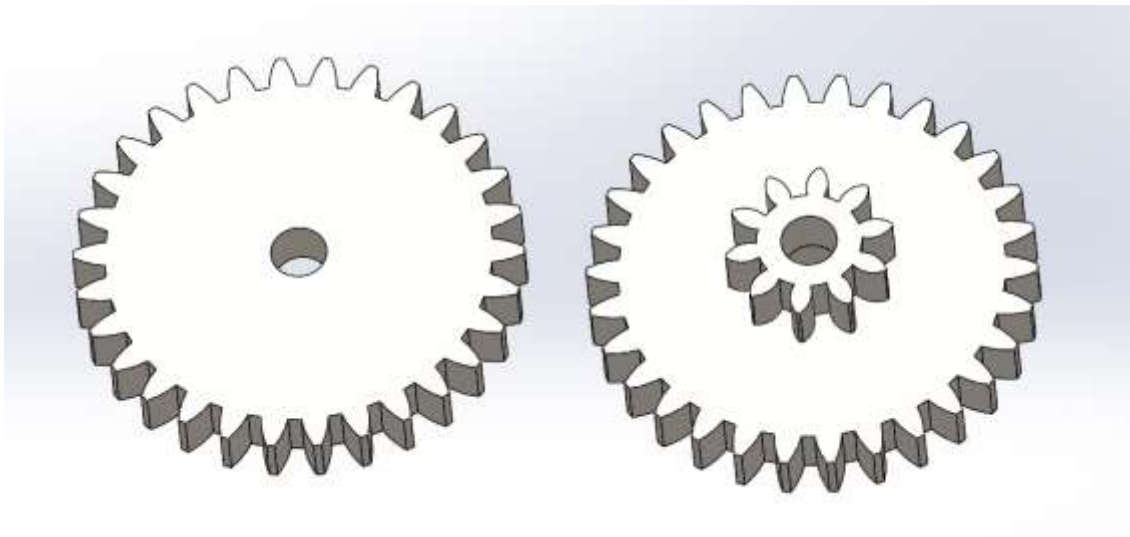
$M_1$  = toisioakselin momentti

$M_2$  = ensiömomentti eli voimanlähteen tuottama momentti

### 3.2 Vaihteiston suunnittelu

Yksiparisessa hammasvaihteistossa välityssuhde on yleensä pieni, koska välityssuhde tulee hammaspyörien välisestä kokoerosta. Jos halutaan 50 välityssuhde, tulee ensiöpyörän olla 50 kertaa pienempi kuin toisiopyörän. (9, s. 301.)

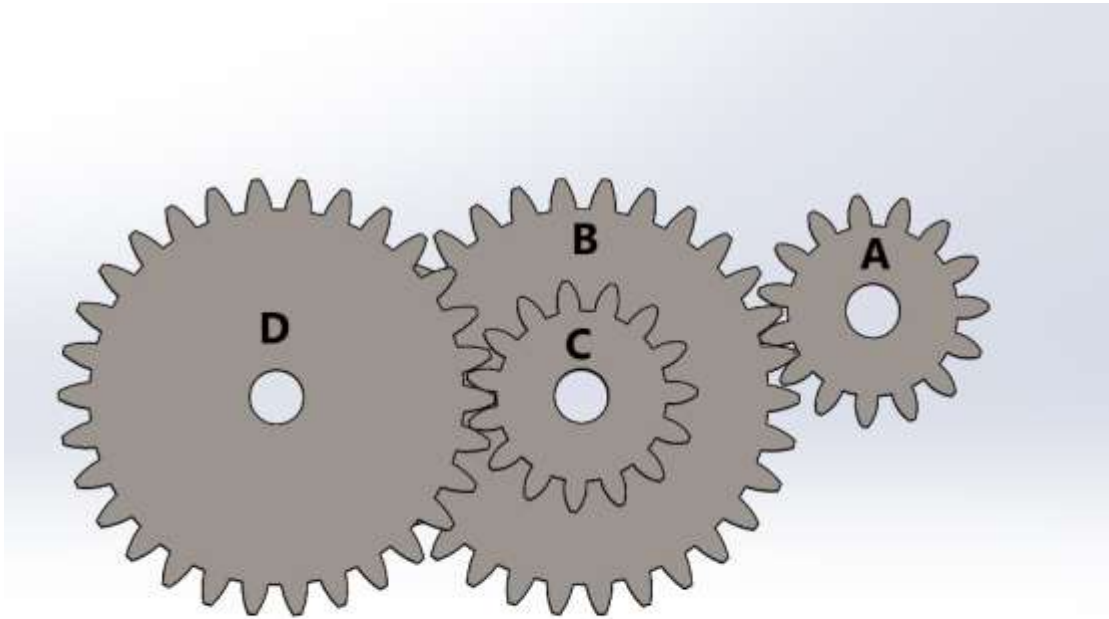
Kun käytetään yksinkertaisia hammaspyöriä, vain vaihdelaatikon ensimmäisellä ja viimeisellä hammaspyörällä on merkitystä välityssuhteeseen. Niiden välissä olevia pyöriä kutsutaan välihammaspyöriksi (*idler*) ja niitä voidaan käyttää pyörimissuunnan vaihtamiseen tai silloin, kun hammaspyörien akselien etäisyys on pitkä (9, s. 326). Kuvassa 3 on vasemmalla yksinkertainen ja oikealla yhdistetty hammaspyörä.



KUVA 3. Yksinkertainen ja yhdistetty hammaspyörä

Kun suunnitellaan hammasvaihteistoa, jossa on suuri välityssuhde, on järkevää käyttää yhdistettyjä hammaspyöriä. Yhdistetyt hammaspyörät ovat hammaspyöriä, jotka on kiinnitetty samaan akseliin, ja ne pyörivät samalla nopeudella. Tämä

mahdollistaa suuret välityssuhteet (9, s. 324). Kuvassa 4 näkyy vaihdelaatikko, jossa keskellä on yhdistetty hammaspyörä.



KUVA 4. Hammasvaihteisto yhdistetyllä hammaspyörällä

Kun käytetään yhdistettyjä hammaspyöriä välityssuhteen voi laskea kaavalla 3. (9, s. 324.)

$$i = \left(\frac{z_B}{z_A}\right)\left(\frac{z_D}{z_C}\right)$$

KAAVA 3

$i$  = välityssuhde

$z$  = hammaspyörien hammasluvut

## 4 SUUNNITTELUN LÄHTÖKOHDAT

Aloituspalaverissa työn tilaaja toimitti listan vaatimusmäärittelyistä, jonka pohjalta tehtiin vaatimuslista (taulukko 2). Vaatimuslistaan on täytetty ominaisuudet, jotka prototyypin tulee täyttää.

TAULUKKO 2. Prototyypin vaatimuslista

KV,VV, T	Vaatimus
	1. Geometria
KV	Tuotteen tulee sopia euro profiilin lukkorunkoon
	2. Voimat
VV	Tuotteen tulee pystyä vääntämään 0.291Nm momentti
	3. Sähköiset komponentit
KV	Käyttövoima tulee neljästä kappaleesta litium AA-paristoja
KV	Moottorin tulee toimia 12V jännitteellä
KV	Tuotteessa tulee olla anturointi paikkatietojen saamiseksi
	4. Aine/materiaali
KV	Materiaalina käytetään pikamallinnusmuovia
	5. Asennus
KV	Tuotteen tulee olla jälkiasennettavissa ilman oveen/lukkoon tehtäviä muutoksia
KV	Tuotteen mekanismin tulee olla ympäripyörivä
KV	Lukon tulee olla käytettävissä normaalisti sähkölukon asennuksen jälkeen
	KK=Kiinteä vaatimus
	VV= Vähimmäisvaatimus
	T=Toivomus

Suunnittelun lähtökohtana on älylukko, joka on suoraan jälkiasennettavissa europrofiilin lukkorunkoon, ilman oveen tai lukkorunkoon tehtäviä muutoksia. Älylukko tulee asentaa oven sisäpuolelle ja se sijoittuu lukon pinnalle. Oven lukituksen tulee olla avattavissa oven sisäpuolelta kääntämällä älylukkoa käsin ilman, että älylukon kääntömekanismi on kytkettynä. Oven tulee olla avattavissa ulkopuolelta normaalisti avaimella. Älylukon tulee olla irrotettavissa ilman, että lukkoon tai oveen jää asennuksesta jälkeä.

Älylukon virran pitää tulla neljästä kappaleesta litium-AA-paristoja. Älylukkoon tulee suunnitella sisälle anturointi, jolla saadaan lukkopesän asentotieto. Asentotietoja käytetään älylukon kalibrointiin.



## 5 SUUNNITTELUPROSESSI

### 5.1 Esitutkimus

Esitutkimuksessa perehdyttiin eri älylukkovalmistajien tuotteisiin purkamalla ne osiin ja katsomalla niiden toimintaperiaate. Samalla tutkittiin, voisiko joitain niissä olevia ratkaisuja käyttää hyödyksi omassa prototyypissä. Esitutkimuksessa tutkittiin myös lukkorunkoa. Lukkorungosta piti selvittää sen toimintaperiaate, koska se eroaa huomattavasti suomessa normaalisti käytössä olevasta. Lisäksi piti selvittää lukkorungon kääntämiseen tarvittava vääntömomentti.

Opinnäytetyössä käytetty lukkorunko on DIN 18 251 -standardin mukainen lukkorunko (kuva 5), jossa on BS EN 1303:2015 -standardin mukainen lukkosylinteri. (18; 19.) Lukossa on yleensä jatkuvasti avain kiinni oven sisäpuolella, ja sitä voidaan käyttää oven avaamiseen kahvan sijasta. Vaihtoehtoisesti oven sisäpuolella avainpesän tilalla voi olla myös kääntövipu. Prototyyppi suunniteltiin vain ensimmäisenä mainittuun vaihtoehtoon.



KUVA 5. DIN 18251 -standardin Euro Cylinder -lukkorunko (10)

Lukon toimintaperiaate on seuraava: Neutraalissa asennossa vain lukon telki eli ”kieli” on työntyneenä oven karmissa olevaan vastaleukaan. Lukko lukittautuu kääntämällä lukon sylinteriä neutraalista asennosta myötäpäivään yhden kierroksen, jolloin lukossa oleva lukituskiila työntyy vastarautaan. Kun lukkoa käännetään toinen kierros myötäpäivään, lukituskiila työntyy ääriasentoon ja lukko lukittautuu ”takalukkoon”. Neutraalista asennosta vastapäivään käännettäessä telki vetäytyy lukkopesään ja oven voi avata. Avaimen voi poistaa lukkopesästä jokaisen täyden kierroksen välissä. Kuvassa 6 näkyy europrofiilin lukkosylinteri.



*KUVA 6. Europrofiilin lukkosylinteri (12)*

Esitutkimuksessa tuli myös ottaa selvälle lukon ja lukkopesän dimensiot, ovityypit, joita käytetään kyseisen lukkorungon kanssa, oven yleinen avautumissuunta, lukkopesän etäisyys lukkorungon selkälävystä, sekä lukkopesän kääntämiseen tarvittava vääntömomentti. Ovityyppien selvittämiseen kuului myös kahvan paikan selvittäminen eli se, onko kahva ylä- vai alapuolella lukkopesää.

Älylukon prototyypin maksimidimensioiksi määräytyi 60 mm leveyssuunnassa, 70 mm syvyysuunnassa sekä tarvittava määrä korkeussuunnassa. Myynnissä olevissa lukkorungoissa lukkopesän etäisyys lukkorungon reunasta on 60 mm tai yli (13), ja älylukko sijoittuu keskelle lukkopesää, joten älylukon ja oven reunan väliin jää 30 mm tilaa. Korkeussuuntaan jätettiin tässä vaiheessa vielä liikkumavaraa korkeuden rajoittuessa vain oven kahvaan, joka on tyypillisesti lukon yläpuolella. Siksi myös prototyyppi suunniteltiin siten, että se sijoittuu oven kahvan alapuolelle

Lukon vääntämiseen tarvittava voima mitattiin koulusta löytyneellä jousitoimisella vaa'alla. Lukkopesän avaimeen teipattiin 20 cm mittainen pala viivoitinta ja sitä vedettiin käsin jousitoimisella vaa'alla niin kauan, että lukkopesä kääntyi 360 astetta. Mittaus toistettiin kymmenen kertaa ja laskettiin vaa'alla näkyneiden suurimpien voimien keskiarvo. Tämä arvo valittiin lähtötiedoissa lukon kääntämiseen tarvittavaksi vääntömomentiksi.

Voiman momentti lasketaan kaavalla 4 (14, s. 92).

$$M = F \times r$$

KAAVA 4

$$F = \text{voima}$$

$$r = \text{voiman vaikutussuoran etäisyys akselista (Nm)}$$

Voima lasketaan kaavalla 5 (14, s. 91).

$$F = ma$$

KAAVA 5

$$m = \text{massa}$$

$$a = \text{kiihtyvyys}$$

$$a = G$$

$$G = 9,1 \text{ m/s}^2$$

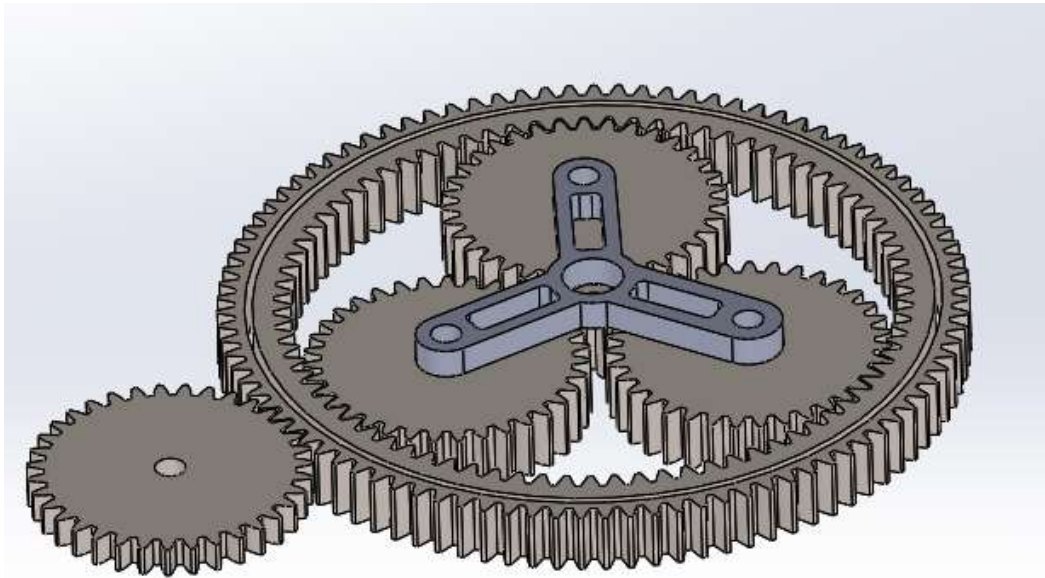
Tarvittavan vääntömomentin suuruudeksi mitattiin 0,291 Nm. Heti sovittiin, että tarvittava vääntömomentti kaksinkertaistetaan teoriassa tarvittavasta 0,6 Nm:n. Syynä tähän oli prototyypissä todennäköisesti ilmenevät energiahäviöt vaihteistossa sekä hammaspyörien välillä.

## 5.2 Esisuunnittelu

Esisuunnittelun alkaessa olivat tiedossa kaikki älylukkoon vaadittavat ominaisuudet sekä älylukon maksimidimensiot. Kun nämä olivat tiedossa, tilaaja halusi, että älylukon voimansiirron tavasta tehtäisiin kolme eri konseptia. Konsepteiksi valikoituivat planeettahammaspyörästö, suora hammaspyörästö sekä matohammaspyörästö. Jokaisesta vaihtoehdosta tehtiin SolidWorksilla alustava konsepti, joka esitettiin tilaajalle.

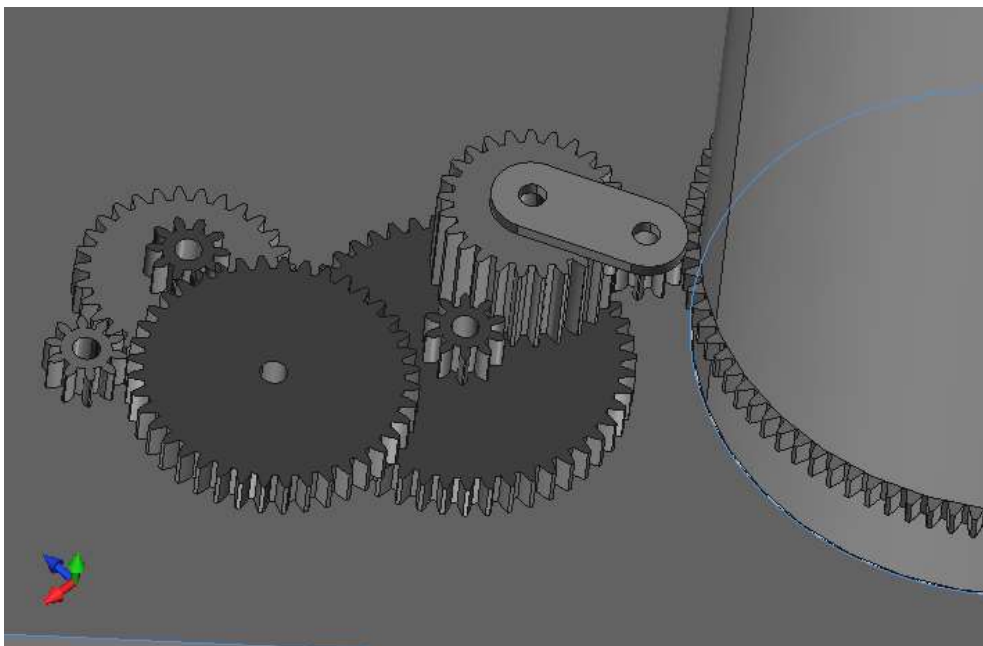
Matohammaspyörästöstä tehtiin konsepti oletuksella, ettei se todennäköisesti tule käyttöön. Syynä tähän oli suuret energiahäviöt, jotka tiedettiin jo aiemmasta Ovikun tuotteesta. Tilaaja ei myöskään halunnut matopyörällä tehtyä voimansiirtoa, koska se olisi ollut hyvin samanlainen aiemman tuotteen kanssa. Itse vaihdelaatikko on erittäin yksinkertainen eikä vie paljoa tilaa, mutta kyseisessä hammaspyörä ratkaisussa hyötysuhde voi olla erittäin heikko riippuen matopyörän ja matoakselin välisestä välityssuhteesta. Suuremmalla välityksen alennuksella matopyörän ja matoakselin välinen kitka on huomattavasti suurempi ja yksi hammaspyöräpari voi laskea hyötysuhdetta jopa 50 % (15). Tämän seurauksena sopivan sähkömoottorin löytäminen voi osoittautua hankalaksi.

Planeettavaihte oli toinen vaihtoehto. Konseptia piirrettäessä huomattiin, että ymmärrys planeettavaihteista on rajallinen. Tämän lisäksi konseptitason planeettahammaspyörästö oli liian suuri mahdutettavaksi koteloon. Alustavaan kotelon konseptiin oli tarkoitus myös mahduttaa patterit toiselle puolelle koteloa, ja ne eivät mahtuneet kokoonpanoon ilman kotelon dimensioiden kasvattamista, joten konseptin jatkokehittämisestä luovuttiin. Planeettavaihteiston konsepti näkyy kuvassa 7.



*KUVA 7. Planeettavaihdekonsepti*

Kolmantena konseptiesityksenä oli suoralla hammastuksella tehty vaihdelaatikko. Konsepti tehtiin välityssuhteella 218:1. Konseptin hyvinä puolina nähtiin sen lineaarisuus, pieni koko sekä helppo muokattavuus. Tämän seurauksena suora konsepti valittiin jatkokehittettäväksi. Konseptin suunnitteluvaiheessa kytkimen suunnittelu oli vielä kesken, joten konseptivaihteisto ei ollut realistisesti toimiva. Suora konsepti näkyy kuvassa 8.



*KUVA 8. Suoran vaihteiston konsepti*

Hammaspyörien materiaaliksi valittiin muovi sen helpon saatavuuden vuoksi. Hammaspyörien moduuliksi valikoitui 0.5 jo konseptien suunnitteluvaiheessa, koska tämän moduulin hammaspyöriä oli helpoiten saatavissa eri verkkokaupoista sekä moduulin hammaspyörien koko oli tarpeeksi pieni vaihteiston rajatulle tilalle.

Kun oli valittu hammaspyörien materiaali ja voimansiirtotapa, alettiin etsimään sopivaa moottoria. Moottorin valitsemiseen oli tarjolla kattava valikoima eri verkkokaupoista. Haasteena oli eri mittayksiköt, joita verkkokaupat käyttivät moottorin tuottaman vääntömomentin ilmoittamiseen. Tilaajan toiveesta etsittiin kolme moottoria, joista valittiin yksi. Moottorin valinnassa tuli ottaa huomioon sen tuottama vääntömomentti, pyörimisnopeus, virran tarve sekä dimensiot. Lopulta päätettiin Mootio Componentsin FC-280-SC-16220-moottoriin (17).

Kyseisessä moottorissa ilmoitettu vääntömomentti on 36,1 g\*cm eli 0,0035 Nm. Moottori valittiin, koska sen pyörimisnopeus ja vääntö sopivat hyvin tähän projektiin. Moottorin suuren pyörimisnopeuden vuoksi moottorin nopeus on riittävä siihen, että lukko kääntyy ripeästi suurellakin välityssuhteella. Kuvassa 17 on esitetty moottorin spesifikaatiot.

Motor specifications							
Nominal voltage	No load speed	No load current	Max. speed performance	Max. current performance	Max. torque performance	Blocking current	Locking torque
12 V	7900 rpm	0.06 A	6715 rpm	0.351 A	36.1 g*cm	2 A	235 g*cm

KUVA 9. Moottorin spesifikaatiot (17)

Moottorin valinnan jälkeen voitiin laskea tarvittava teoreettinen välityssuhde. Tarvittavan teoreettisen välityssuhteen laskeminen tapahtuu jakamalla tarvittava vääntömomentti moottorin tuottamalla vääntömomentilla. Tässä tapauksessa tarvittava toisiomomentti 0,6 Nm eli 6 118 g\*cm, joka jaettiin moottorin tuottamalla ensiomomentilla 36,1 g\*cm.

Ensiö- ja toisiomomentin suhde on sama kuin hammasvaihteen välityssuhde ja se lasketaan käyttämällä kaavaa 2.

$$\frac{6118g * cm}{39g * cm} = 157$$

Teoreettiseksi välityssuhteeksi tuli 157. Välityssuhdetta muokattiin myöhemmin laskettua suuremmaksi, koska otettiin huomioon hammaspyörien väliset energiahäviöt.

Vaihdelaatikon hyötysuhde lasketaan käyttämällä kaavaa 6. Lasku tehtiin huonoimmalla ja parhaimmalla hyötysuhteella per hammaspyörien kontakti ja otettiin näiden keskiarvo eli 0,96. (16.) Vaihdelaatikossa hammaspyöräkontakteja on viisi kappaletta. Laskussa ei otettu huomioon akseleiden pyörimisestä aiheutuneita energiahäviöitä.

Hyötysuhde hammaskontaktiparien välillä lasketaan kaavalla 6 (15).

$$\eta = \eta_h \cdot X$$

KAAVA 6

$\eta$  = vaihdelaatikon hyötysuhde

$\eta_h$  = yhden hammaspyöräkontaktin hyötysuhde

$X$  = hammaspyöräkontaktien lukumäärä

Kaavalla 6 saatiin vaihdelaatikon hyötysuhteeksi 81 %. Koska akselien pyörimisestä aiheutuvaa energiahäviöitä ei tiedetty, lisättiin välityssuhteeseen hieman ylimääräistä muokkaamalla vaihdelaatikkoa. Teoreettisesti tarvittavaa välityssuhdetta 157:1 suurennettiin lopulliseen välityssuhteeseen 210:1.

Prototyypin anturointi päädyttiin toteuttamaan ilmaisinkytkimellä sekä valoanturilla. Ilmaisinkytkimellä toteutettavaan anturointiin päädyttiin sen ollessa yksinkertaisin vaihtoehto. Ilmaisinkytkin liukuu kääntönappia vasten lukon pyöriessä, ja saa paikkatiedon kääntönappiin tehtävästä avauksesta. Valoanturoinnin toteutus suunniteltiin siten, että vaihdelaatikon läpi tulee akseli, johon laitetaan pala kiiltävää teippiä, jota käytetään älylukon kalibrointiin. Valoanturin paikka piirilevyllä sovittiin yhdessä elektroniikkasuunnittelijan kanssa.

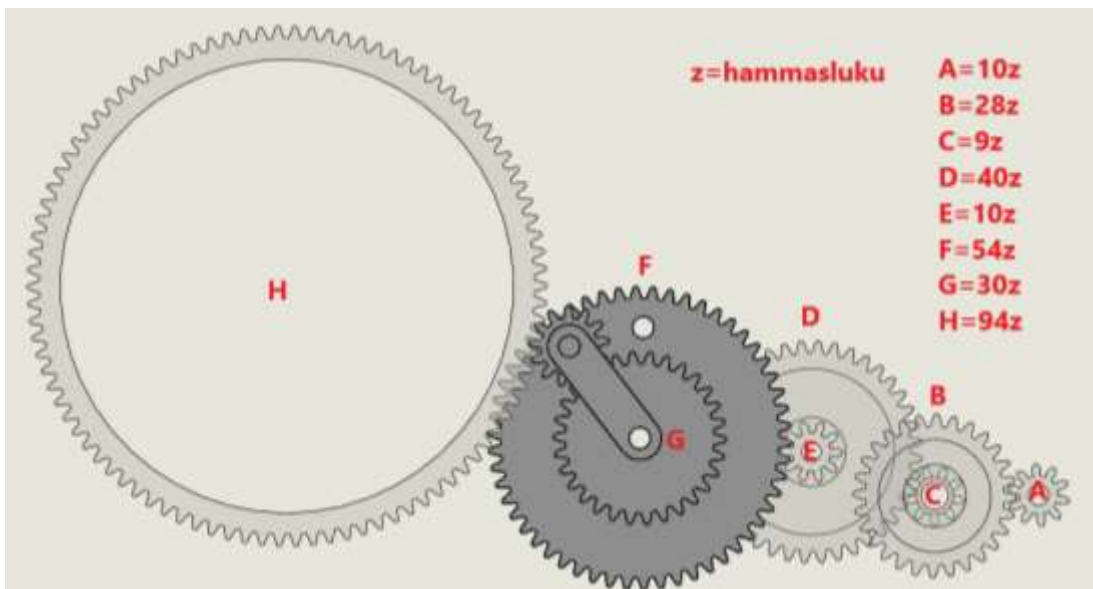
### 5.3 Yksityiskohtainen suunnittelu

Yksityiskohtainen suunnittelu aloitettiin suunnittelemalla kotelo ja vaihdelaatikko. Koteloon piti ensimmäisenä suunnitella paikka paristokotelolle, jolla saatiin tietoon vaihdelaatikon maksimidimensiot. Kun paristoille löytyi oikea paikka, voitiin alkaa suunnitella vaihdelaatikkoa.

Vaihdelaatikon suunnittelua aloittaessa oli valittu moottori sekä tiedettiin tarvittavat välityssuhteet, jotka vaihdelaatikon tulee välittää. Vaihdelaatikkoa suunniteltaessa huomattiin, että kaikkia tarkoitettua kokoisia hammaspyöriä ei ollut verkko-kaupoissa. Tämän seurauksena vaihdelaatikko suunniteltiin siten, että ensin etsittiin sopivat hammaspyörät ja vaihdelaatikko suunniteltiin niiden mukaan.

Hammasvaihteiston välityssuhde lasketaan käyttäen kaavaa 3 ja vaihdelaatikon hammaslukuja kuvasta 10.

$$i = \left(\frac{28}{10}\right) \left(\frac{40}{9}\right) \left(\frac{54}{10}\right) \left(\frac{94}{30}\right) = 210$$



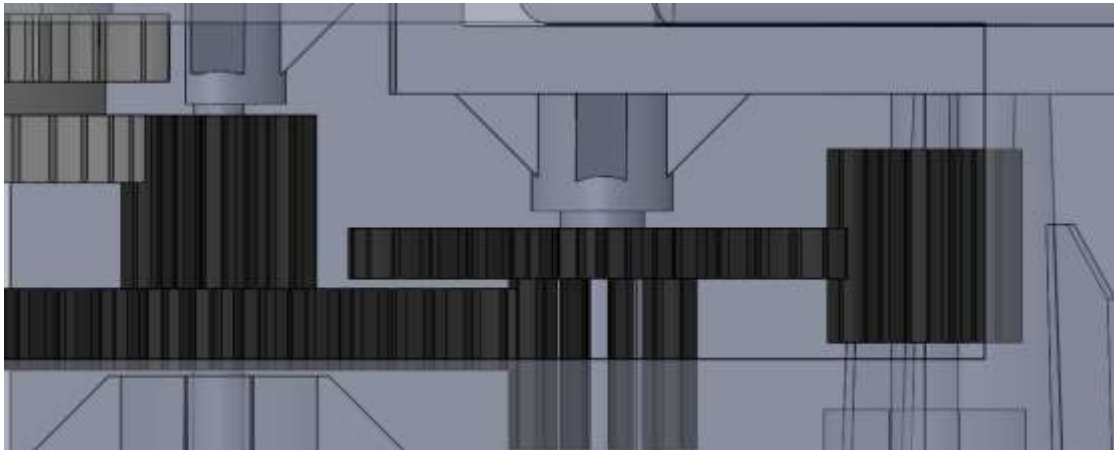
KUVA 10. Vaihdelaatikon hammaspyörät

Vaihdelaatikko piti suunnitella tarkasti. Erityisesti huomioon tuli ottaa akselien etäisyys toisistaan, koska hammaspyöräkontaktit piti suunnitella optimaalisiksi.



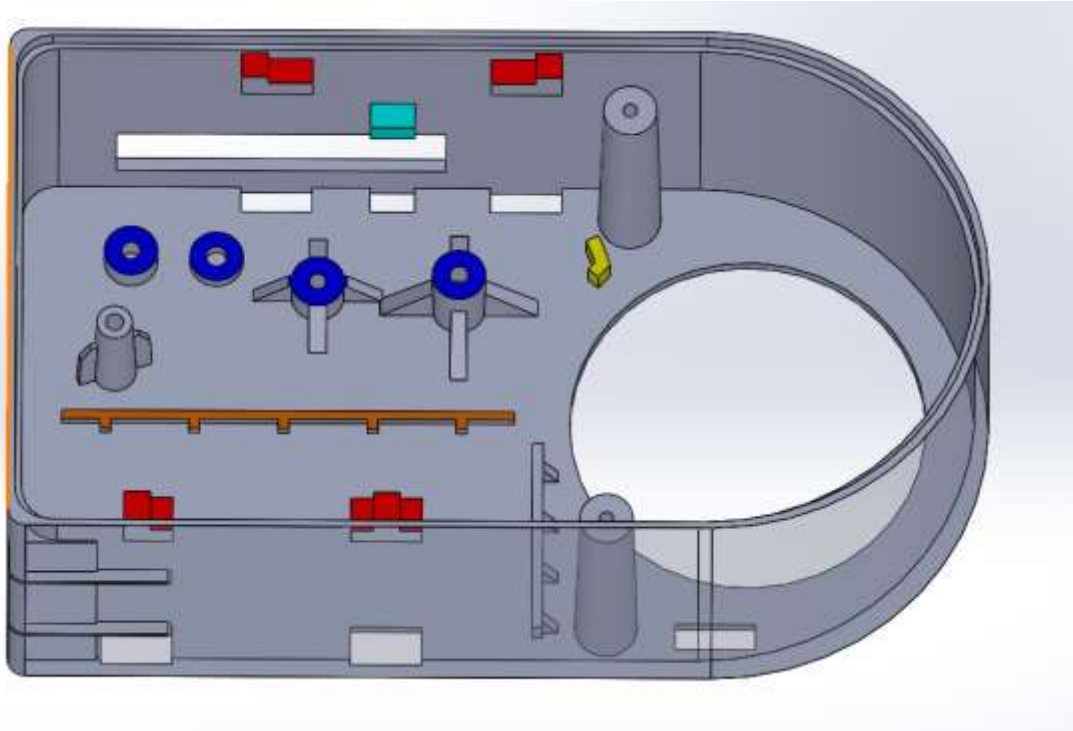
Tämän toteuttamista helpotti verkkokaupasta saatavat STEP-mallit, joita pystyi käyttämään apuna 3D-mallinnuksessa.

Vaihdelaatikon akselien tuet piti korottaa siten, että hammaspyörät ovat kontaktissa optimaalisesti. Tämä tarkoittaa, että hammaspyöräkontakti tapahtuu hammaspyörän tyvestä, kuten näkyy kuvassa 11. Tämä ei kuitenkaan ollut mahdollista kytkimeen yhdistyvässä hammaspyörässä, koska kytkin osuisi pyörähtäessään viereiseen hammaspyörään.



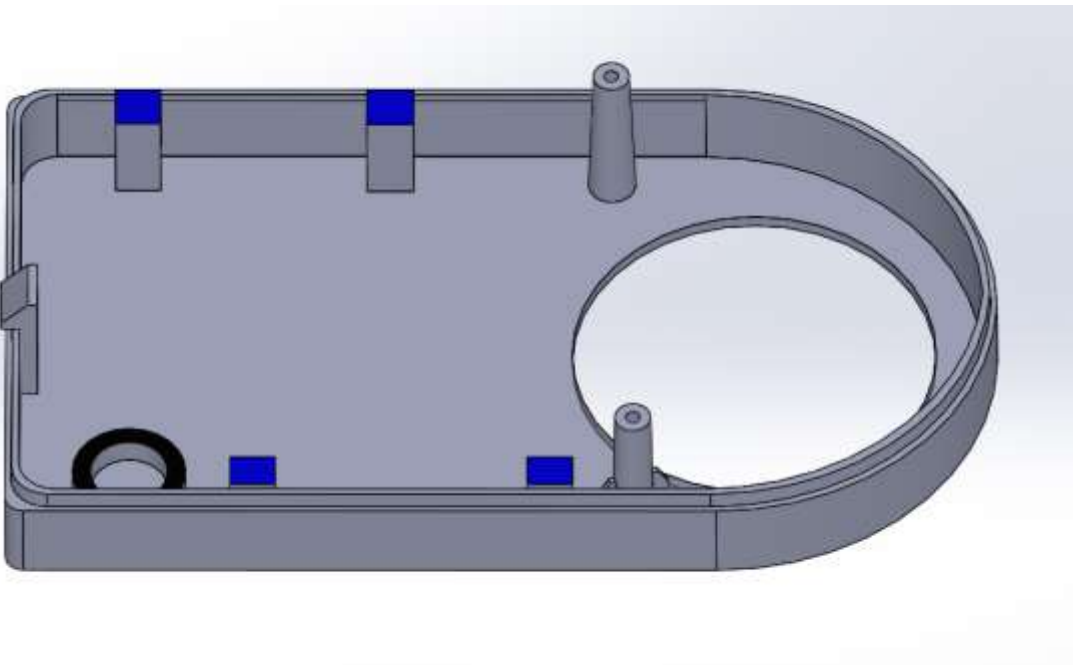
*KUVA 11. Hammaspyöräkontakti*

Koteloon piti myös tehdä tuet piirilevylle sekä avaukset pohjaan, joilla välilevy kiinnitetään koteloon. Piirilevyn tuet suunniteltiin siten, että piirilevy asettuu tukien päälle ja kotelon kansi tukee piirilevyn paikalleen. Piirilevyn tuet suunniteltiin ruis-kumuovivalutekniikkaa ajatellen, minkä seurauksena liikkuville muotin osille jätettiin avaukset kotelon pohjaan. Tämän lisäksi koteloon tehtiin pohjaan avauksia, joita käytettiin välilevyn ja kotelon väliseen kiinnittämiseen, sekä kotelon kylkeen avaus, jonka avulla näkee vaihdelaatikon. Piirilevyn tuet näkyvät kuvassa 12 punaisena ja vaihdelaatikon akselin tuet sinisenä.



*KUVA 12. Kotelo*

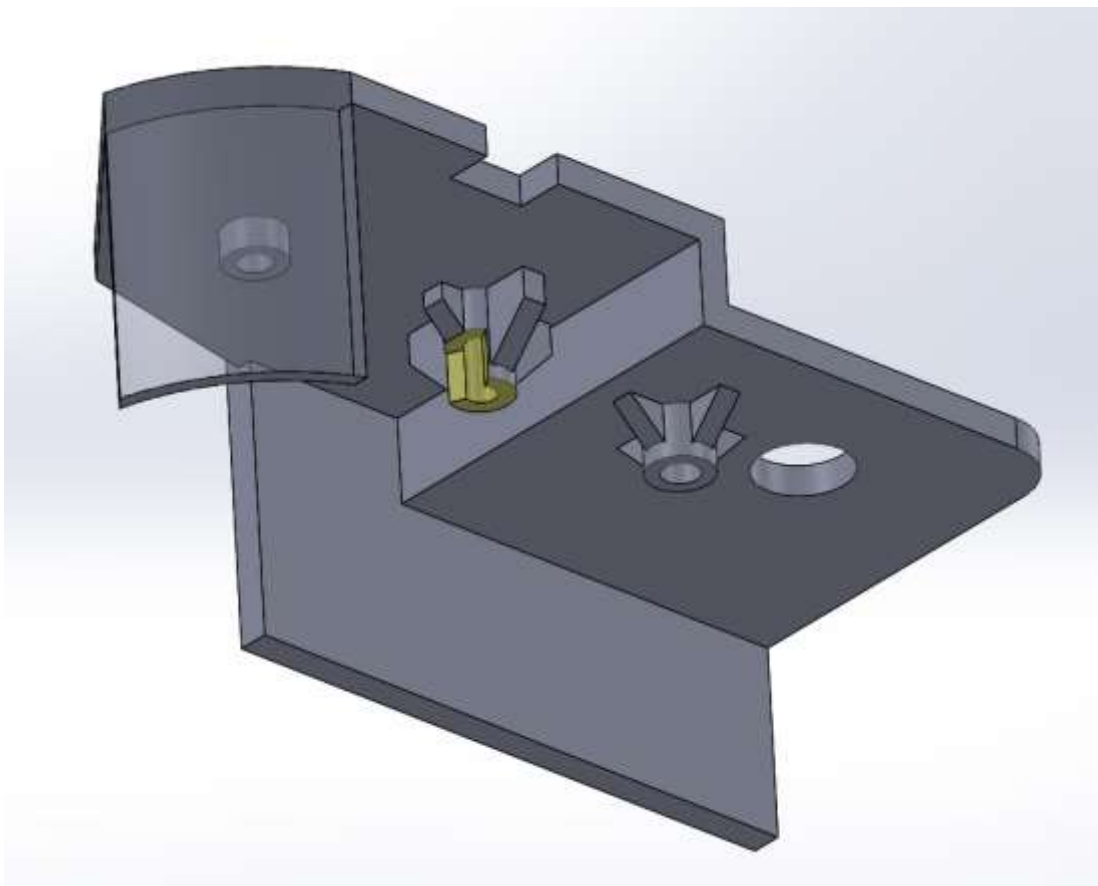
Kotelon kanssa suunniteltiin kotelon kansi. Kannen suunnittelussa piti huomioida moottorin tukeminen kanta vasten. Kannen tehtävänä on myös tukea kääntönuppia sekä sivuttais- että pystysuunnassa. Kansi näkyy kuvassa 13.



*KUVA 13. Kotelon kansi*

Kannen kiinnitys jäi puuttelliseksi kääntönupin puolelta, ja kansi pääsi lipsahtamaan irti aina, kun kääntönuppi pyöri. Korvaavaksi kiinnitystavaksi voisi ottaa käyttöön ruuvitornit, jotka eivät ole tällä hetkellä käytössä. Tämän lisäksi kantta ei voinut saada kiinni, kun moottori oli paikallaan. Moottori tuen reuna ottaa moottoriin kiinni, estäen kannen kiinni painamisen. Tämä on helppo korjata muokkaamalla moottorituen paikka oikein piirustuksissa ja tulostamalla uuden kannen.

Seuraavana suunniteltiin välikotelo, jonka päätoiminen tehtävä on tukea vaihdelaatikon akseliston yläpuoli sekä toimia tukena sähkömoottorille. Samalla sen tehtävänä on erottaa patterikotelo sekä vaihdelaatikko toisistaan ja suojata älyluokkon muita komponentteja vaihdelaatikon öljyltä. Välikotelon akselintuet korotettiin, jotta vaihdelaatikon hammaspyörät pysyvät oikeassa linjassa toisiinsa nähden. Lisäksi keskimmäisen akselituen tuen reunaa piti avata, koska se oli kytkimen pyörähtämisen tiellä. Välikotelo ja akselitukeen tehty avaus näkyvät kuvassa 14.

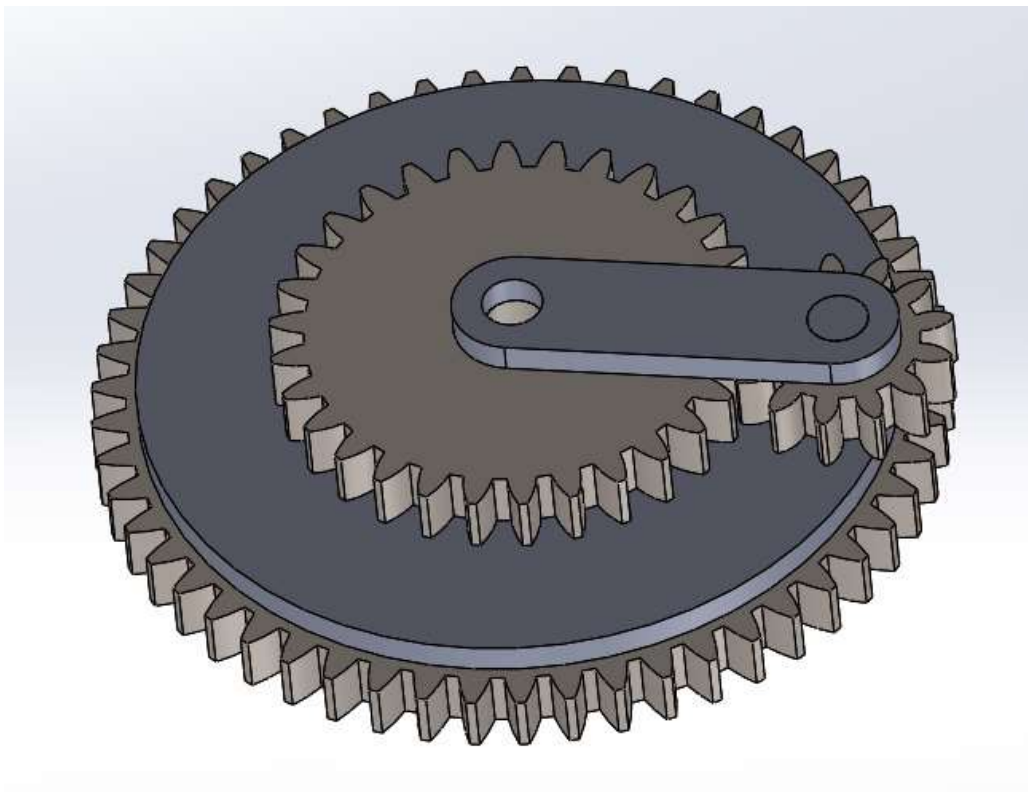


KUVA 14. Välikotelo

Vaihdelaatikon viimeisimmän hammaspyörän tuen reikä tulee läpi välikotelosta, koska valoanturoinnin toteutus suunniteltiin samalle akselille kytkimen kanssa. Anturointi suunniteltiin siten, että heijastava teippi sijoitetaan 1 mm etäisyydelle piirilevyllä olevasta valoanturista. Teippi pyörii samalla akselilla kuin kytkin, jolloin älylukko saa asentotiedot kytkimen pyörimisen mukana.

Välikotelo valmistettiin 3D-tulostamalla PLA-muovista FDM-menetelmää käyttäen. Tulostuksen laatu aiheutti ongelmia kokoonpanossa, koska mekaanisesti poistettava tukimateriaali sijoittui moottorin tuen kohdalle eikä moottori istunut paikallaan suorassa.

Seuraavana piti suunnitella kytkin hammaspyörästä ja kääntöelementin välille. Kytkimen tuli kytkeä vaihdelaatikko kääntöelementtiin ainoastaan, kun moottori lähtee käyntiin ja kytkeä se irti moottorin sammussa. Irti kytkeytyminen toimii peruuttamalla moottorilla lyhyen hetken, jotta kytkin irtaantuu kääntönupista. Kytkimen toiminta vaatii, että se pyörii akselin mukana. Tämän seurauksena kytkin tulee liittää akseliin ahdistusliitoksella tai liimalla. Kytkin näkyy kuvassa 15.

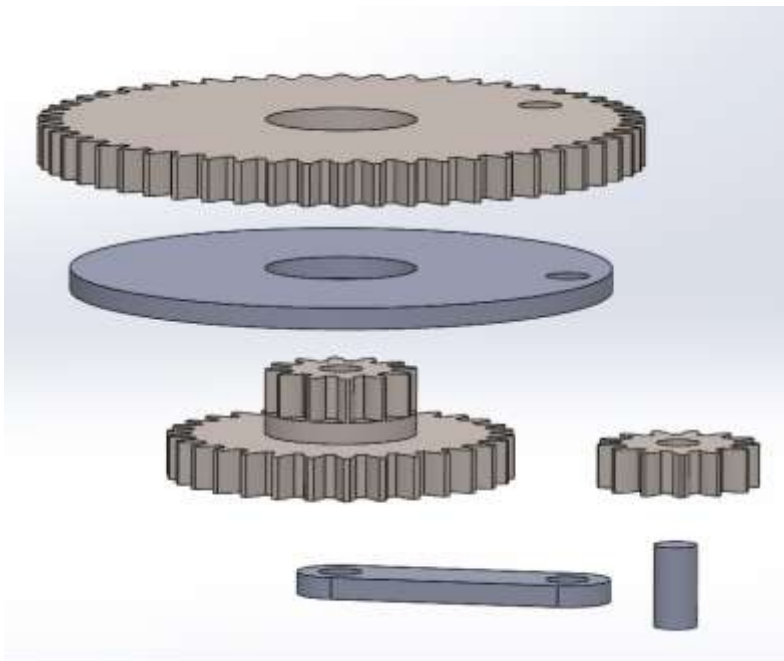


*KUVA 15. Mekaaninen kytkin*

Kytkimen kokoonpanoon kuului pieniä osia, jotka olivat hammaspyörästön loppupäässä vääntävien voimien altistuksessa, joten ne päätettiin tehdä metallista. Vaihtoehtoina tässä vaiheessa olivat sintraus, vesileikkaus tai osien koneistaminen. Kääntönupin kokoonpanossa oleva 94-hampainen hammaspyörä yritettiin valmistaa Oamkin tiloissa vesileikkaamalla, mutta vesileikkurissa ei ollut tarpeeksi pientä suutinpäätä ja leikkaus epäonnistui.

Myös hammaspyörien koneistamista mietittiin, mutta koululla ei ollut 0.5 moduulin sarjaa, jolla hammaspyörien CNC-koneistaminen olisi ollut mahdollista. Tämän seurauksena kytkimen hammaspyörät päädyttiin valmistamaan metallisintramalla messingistä SLS-menetelmää käyttäen. Samalla menetelmällä teetettiin myös hammaspyörä kääntöelementtiin sekä kytkimen voimansiirtotanko.

SLS-menetelmällä tehtyjen osien pinnanlaatu oli heikko, ja se aiheutti ongelmia kytkimen kokoonpanossa. Kappaleisiin jäi rakeinen pinta, jonka seurauksena kokoonpano oli mahdotonta ilman rakeisen pinnan poistoa. Rakeinen pinta poistettiin käsin käyttämällä viilaa ja hiekkapaperia, jonka seurauksena liitoskohtiin jäi väljää ja kokoonpanossa piti käyttää apuna liimaa. Kytkimen komponentteihin kuuluu kolme hammaspyörää, voimansiirtotanko, akseli ja välilevy, jotka näkyvät kuvassa 16.

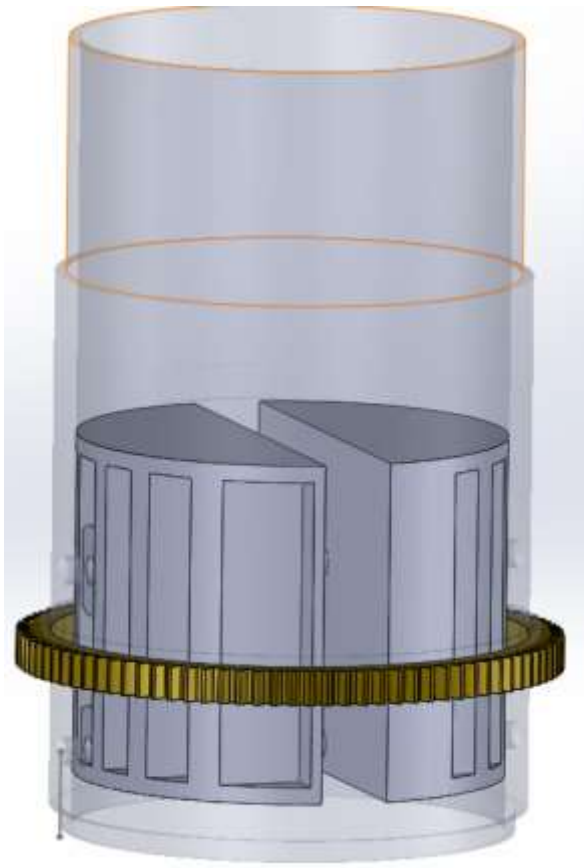


KUVA 16. Kytkimen räjäytyskuva

Kytkin toimi tarkoitetulla tavalla, mutta ei täydellisesti. Kytkimen pieni hammaspyörä pääsi liikkumaan akselin suuntaisesti. Seuraavaan versioon tulisi varmistaa, että kytkimen kokoonpanon pieni akseli on oikean kokoinen ja kiinnitetty paikalleen esimerkiksi ahdistusliitoksella. Lisäksi kytkimen komponentit tulisi valmistaa koneistamalla, koska SLS-menetelmällä 3D-tulostetun messingin pinnanlaatu ei sovi hammaspyörien valmistukseen ilman jälkikäsittelyä.

Seuraavana suunniteltiin kääntöelementti. Sen tarkoituksena on pyörittää lukkosylinterissä olevaa avainta. Kääntöelementin voimansiirto toteutettiin liittämällä siihen ahdistusliitoksella 94-hampainen hammaspyörä. Kääntöelementin materiaaliksi valittiin alumiini ja se valmistettiin koneistamalla, koska epäiltiin, että muovista 3D-tulostettava kääntönuppi ei tulisi kestäväksi. Kääntönuppiin tehtiin lovi, jota käytetään sen asentotiedon kalibroinnissa yhdessä piirilevyssä olevan ilmaisinkytkimen avulla. Ilmaisinkytkin tunnistaa kääntöelementin position jokaisen täyden kierroksen kohdalla kääntönupissa olevan loven avulla.

Kääntöelementtiin piti suunnitella myös osa kääntöelementin sisälle, jonka tehtävänä on pyörittää lukkosylinterissä olevaa avainta. Osia valmistettiin kaksi kappaletta ja ne 3D-tulostettiin PLA-muovista. Osat sijoitettiin kääntöelementin sisälle, ja ne kiinnitettiin kääntönuppiin kahdella ruuvilla. Osien koko mitoitettiin siten, että kokoonpanossa niiden väliin jää 6 mm rako. Tämä mitta valittiin esitutkimusvaiheesta olleesta avaimesta, jonka paksuus oli 3 mm. Kääntönuppi sekä pyöritysosat sen sisällä näkyvät kuvassa 17.

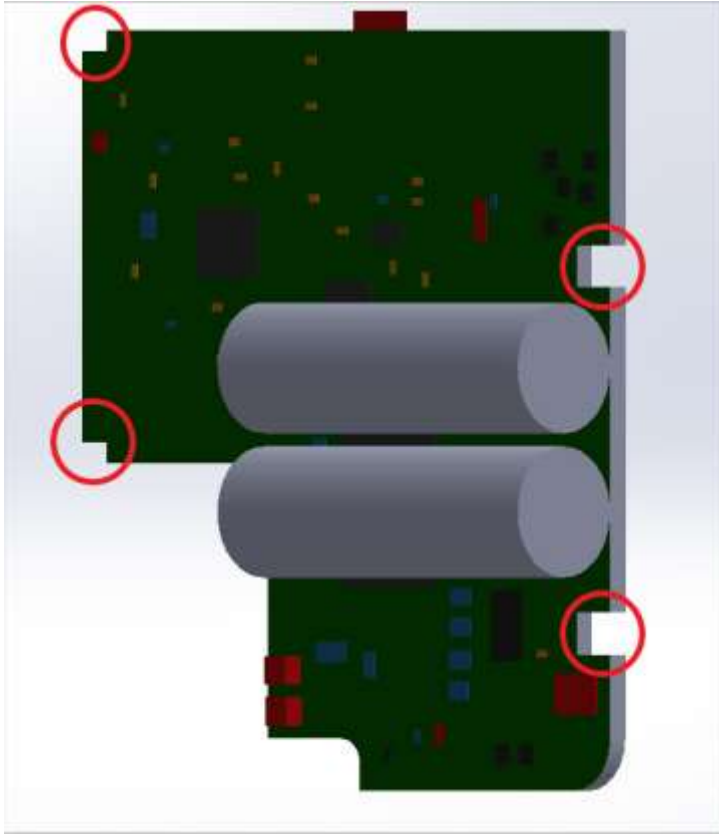


*KUVA 17. Kääntöelementti ja avaimen pyöritysosa*

Prototyypin testattaessa suunnittelussa käytetty lukkopesä sekä avain oli hukassa, ja toisen tarjolla olevan lukkopesän avain oli paksumpi kuin sille suunniteltu rako, eikä se mahtunut kääntöelementin sisään. Tämän seurauksena seuraavaan versioon tulisi muokata kääntöosat joko pienemmiksi, jotta avaimelle jää enemmän tilaa, tai tehdä pyöritysosasta jousella toimiva, jolloin avaimen paksuudella ei olisi merkitystä ja se olisi aina kosketuksessa avaimeen.

Piirilevyn suunnittelu tehtiin yhteistyössä elektroniikkasuunnittelijan kanssa. Piirilevyn dimensiot ja ulkomuodon määräsi mekaniikkasuunnittelija. Tämän lisäksi anturointi piti saada piirilevyllä oikeaan kohtaan. Piirilevyn piti saada avaus sähkömoottorille sekä piirilevyjen tukien kohdat piti saada tyhjäksi piirilevyn komponenteista. Myös piirilevyille tulevat kaksi kondensaattoria piti saada mekaniikkasuunnittelijan määräämään kohtaan, jotta ne eivät ole mekaniikan tiellä.

Piirilevy tuettiin neljästä eri kohtaa kotelon ja kotelon kannen väliin. Kuvassa 18 piirilevyn tukien kohdat on ympyröity ja ilmaisinkytkimen paikka näkyy keskellä ylhäällä.

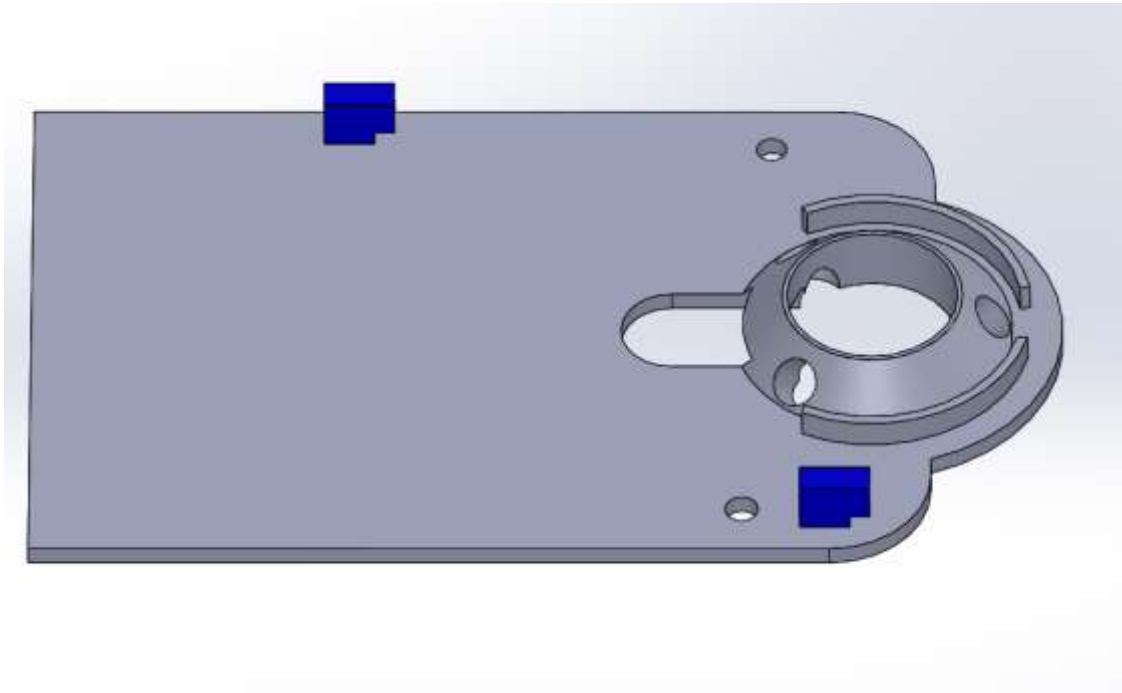


*KUVA 18. Piirilevy*

Viimeisenä suunniteltiin välilevy lukkosylinterin ja älylukon välille. Välilevyn tarkoituksena on toimia rajapintana älylukon ja lukkosylinterin välillä. Välilevy tuli suunnitella siten, että se pitää älylukon tiukasti paikallaan. Levyn kiinnitys lukkosylinteriin tapahtuu kolmella ruuvilla, jotka pureutuvat lukkosylinterin kylkeen. Ruuvit asennetaan paikalleen käyttämällä kierreinserttejä.

Levyn kiinnitystä ei saatu toimimaan oikealla tavalla prototyypissä, koska ruuvien reiät oli mitoitettu ottamatta huomioon standardikoon kierreinserttejä. Tämä on helppo korjata muokkaamalla piirustusta ja 3D-tulostamalla uuden välilevyn. Välilevy valmistettiin 3D-tulostamalla PLA-muovista, ja se näkyy kuvassa 19.

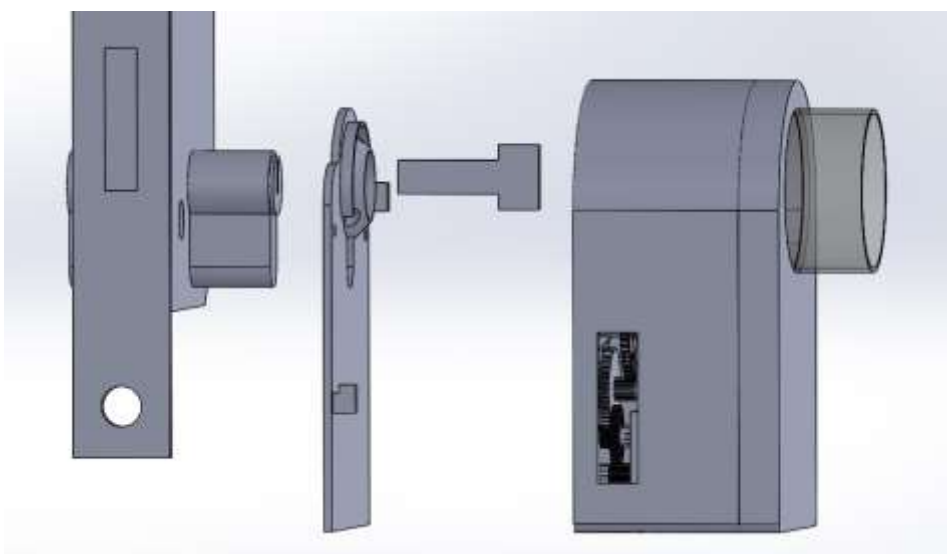




*KUVA 19. Välilevy*

#### **5.4 Prototyypit**

Tässä vaiheessa oli kaikki tarvittavat suunnitelmat prototyypin valmistamiseen. Työssä jarrutti kesäloma sesonki sekä ongelmat osien saatavuudessa. Kääntönupin saamisessa kesti noin kolme kuukautta. Lisäksi osien 3D-tulostaminen tuotti vaikeuksia opiskelijatulostimien vaihtelevan toimintavarmuuden vuoksi. Kuvassa 20 näkyy valmiin prototyypin asennusjärjestys lukkorunkoon.



*KUVA 20. Prototyypin asennus lukkoon*

Ensimmäisen prototyypin komponentit saatiin valmiiksi 2019 syksyllä. Heti koamisvaiheessa huomattiin, ettei prototyyppi toimi, koska PLA-muovista 3D-tulostetut osat eivät kestäneet kokoonpanoa. Kotelon ja välikotelon vaihteiston tuet katkesivat tehden kokoonpanosta mahdotonta. Tämän seurauksena tukien halkaisijaa kasvatettiin millimetrillä ja tukien kylkeen lisättiin siivekkeet, joiden toivottiin estävän katkeaminen. Samalla päätettiin tutkia kokoonpanoa muiden virheidenvaralta ja alkaa valmistelemaan toista prototyyppiä.

Toiseen prototyyppiin korjattiin välikotelon ulkomuotoa, vaihteiston tukia sekä muokattiin piirilevyn tuet oikeaan muotoon. Lisäksi koteloon tehtiin katseluaukko, jonka avulla vaihdelaatikkoa pääsee tutkimaan sen pyöriessä.

Välikotelo piti vahvistaa, koska se ei kestänyt ensimmäisen prototyypin kokoonpanoa. Tämä toteutettiin lisäämällä välikotelon seinämien materiaalipaksuuteen 1 mm kohtiin, joihin sitä oli mahdollista lisätä. Samalla välikotelon vaihteiston tuet muokattiin siten, että hammaspyörät kohtaavat optimaalisesti, eivätkä pääse liikkumaan akselien suuntaisesti. Hammaspyörille jätettiin 0.5 mm liikkumavaraa akselien suuntaisesti, jotta ne varmasti mahtuvat pyörimään. Tämän lisäksi muokattiin piirilevyn tukia, koska yksi tuki oli piirilevyn tiellä, eikä piirilevy istunut tukien päälle tarkoitetulla tavalla.

Toisen prototyypin komponentit tulostettiin, minkä jälkeen prototyyppi koottiin ja saatiin pyörimään. Prototyypin mekaniikka toimi toivotulla tavalla, kun sitä ei kytketty lukkoon kiinni. Toimintaa ei pystytty kokeilemaan klossissa, koska suunnittelussa käytetty lukko ja avain olivat hukassa, eikä klossissa olevan lukon avain sopinut kokonaan kääntöelementin sisälle. Silti tällä avaimella saatiin testattua toisen prototyypin toimintaa sen verran, että huomattiin siinä esiintyvät viat.

Suurimpana vikana on vaihteiston toiminta. Toisen prototyypin vaihteisto meni lukkoon, kun se joutui kuormituksen alle. Prototyypin toimintaa kuormituksen alla testattiin käyttämällä liian suurta avainta, joka juuri ja juuri mahtui hieman kääntöelementin sisälle. Kuormituksen alla näkyi, kun välikotelo liikahti, jonka jälkeen vaihteisto lakkasi pyörimästä. Syyksi epäiltiin vaihteiston välikotelon huonoa kiinnitystä, jonka seurauksena välikotelo pääsee liikahtamaan tai vääntymään kuormituksen alla. Tämän seurauksena vaihteisto lukittautuu.

Vaihteiston lukittautumisen voisi yrittää korjata poistamalla välikotelon ja kääntönupin vieressä oleva ruuvitorni ja laajentamalla välikotelon tukirakenteita vanhan ruuvitornin päälle. Tämän lisäksi kannen rakennetta pitää muokata, koska kansi ei sulkeudu, jos moottori on asennettuna. Syyksi epäillään virhettä moottorin tuen paikoituksessa. Myös kannen kiinnitys tulisi muokata esimerkiksi ruuvitorneilla tapahtuvaksi.

Välilevyn ruuvinreiät pitää mitoittaa uusiksi. Ruuvinreiät tulee mitoittaa kierreinserittien mukaisesti, jotta välikotelon ruuvaaminen lukkopesään on mahdollista.

Prototyypissä olevaa piirilevyä ei saatu yhdistettyä prototyyppiin. Piirilevyjä tilattiin kaksi kappaletta ja molemmat olivat oikosulussa jo tehtaalta tullessaan. Tämän seurauksena prototyypin anturointia ei päästy kokeilemaan. Toinen prototyyppi jäi viimeiseksi ja prototyypin toiminta koettiin tarpeeksi hyväksi opinnäytetyön hyväksymiseen.

## 6 YHTEENVETO

Opinnäytetyön tavoitteena oli suunnitella ja valmistaa prototyyppi älylukosta. Älylukko tuli suunnitella Keski-Euroopassa käytettyyn Euro DIN -standardin mukaiseen lukkoympäristöön. Älylukon tuli olla jälkiasennettavissa oveen ilman lukkoon tai lukkorunkoon tehtäviä muutoksia. Toisena vaatimuksena oli lukon vapaa manuaalinen kääntö älylukon asennuksen jälkeen, eli älylukon laitteiston tuli kytkeytyä irti lukon kääntömekanismista, kun älylukko ei ole käytössä. Prototyyppi tuli valmistaa 3D-tulostamalla.

Opinnäytetyössä ei päästy kaikkiin ennalta määrättyihin tavoitteisiin. Prototyypin mekaniikka toimi toivotulla tavalla ilman kuormitusta, mutta ei kuormituksen kanssa, koska vaihteisto lukittautui kuormituksen alla. Syyksi epäillään vaihteiston välikotelon huonoa kiinnitystä. Piirilevyä ei saatu yhdistettyä osaksi lukon kokonaisuutta suunnitteluvirheen vuoksi. Piirilevy oli oikosulussa jo tehtaalta tullessaan, eikä älylukkoon suunniteltuja toimintoja päästy testaamaan.

Älylukko tarvitsisi kolmannen prototyypin, jossa minimoidaan energiahäviöt kaikin mahdollisin tavoin. Välikotelon kiinnitystä pitäisi muokata, sekä hammasrattaiden akselit tulisi vaihtaa oikean kokoisiin. Akselit nykyisessä prototyypissä oli tehty hitsaukseen tarkoitetuista tikuista, eikä niiden paksuus ollut optimaalinen hammasrattaiden pyörimiseen. Lisäksi piirilevy tulisi saada toimivaksi, jotta älylukkoon tulevia ominaisuuksia päästäisiin testaamaan.

Myös kotelon kanteen, välilevyn ja välikoteloon tulisi tehdä muutoksia. Kotelon kannessa oleva moottorituki tulisi paikoittaa siten, että moottori on tuettu oikealla tavalla. Viimeisessä prototyypissä moottorin tuki oli kannen tiellä, eikä kansi sulkeutunut oikealla tavalla. Lisäksi kannessa olevat ruuvitornit tulisi ottaa käyttöön, että kansi pysyy kiinni, kun prototyyppiä testataan.

Välilevyn kierreinertteille tarkoitettut reiät oli mitoitettu väärin, eikä standardikokoiset insertit mahtuneet niihin. Seuraavaan prototyyppiin ne tulisi mitoittaa standardikokoon.

Välikoteloja tulisi vahvistaa sekä sen kiinnitys tarkastaa tai suunnitella uusiksi. Toisaalta kiinnityksen uudelleen suunnittelu voi osoittautua hankalaksi, sillä vaihdelaatikolle rajattu tila on pieni.

Hyvänä kehityskohteena olisi hammaspyörien vaihto metallisiin, jotta hammaspyörien kontaktipinnat saadaan mahdollisimman hyväksi. Myös kääntönuppiin ja kytkimeen tehdyt hammaspyörät tulisi tehdä eri valmistusmenetelmällä. SLS-menetelmällä valmistettujen hammaspyörien pinnanlaatu oli liian karhea ja ne piti viilata käsin, mikä aiheutti hammaspyörien hampaiden välisiä kokoeroja. Tämän seurauksena hammaspyörät eivät ole jatkuvasti kontaktissa keskenään, mikä aiheutti nykimistä vaihdelaatikossa.

## LÄHTEET

1. Niskanen, Janika. 2020. Avaimeton älylukko. Assa Abloy. Saatavissa: <https://www.yale.fi/fi/yale/etusivu/blogi/alylukot/> Hakupäivä 18.3.2021.
2. Danalock V3 Smart Lock. 2021. Danalock. Saatavissa: <https://danalock.com/products/danalock-v3-smart-lock/> Hakupäivä 3.2.2021.
3. Linus Connect Bridge. Assa Abloy. Saatavissa: <https://yalehome.co.uk/linus-smart-lock-connect-bridge/>. Hakupäivä 10.5.2021.
4. Desi Utopic OK Type A Smart Lock. 2021. Desi Smart Lock Systems. Saatavissa: <https://www.electroniclock.com/utopic-ok-type-a-smart-lock/>. Hakupäivä 20.1.2021.
5. Linus Smart Door Lock. Yale. Saatavissa: <https://yalehome.co.uk/linus-smart-door-lock/>. Hakupäivä 26.1.2021.
6. Your electronic door lock for your home: Nuki Smart Lock 2.0. 2021. Nuki Home Solutions. Saatavissa: <https://nuki.io/en/smart-lock/> Hakupäivä 1.2.2021.
7. Blom, Seppo – Fonselius, Jaakko – Kalliokoski, Juha – Laitinen, Esko – Laveri, Harri – Pekkola, Kari – Sampo, Arto – Suosara, Eero – Suosara, Karri 1988. Koneautomaatio - Mekanisointilaitteet. 1. painos. Helsinki: Valtion painatuskeskus.
8. Björk, Timo – Hautala, Pekka – Huhtala, Kalevi – Kivioja, Seppo – Kleimola, Matti – Lavi, Markku – Martikka, Heikki – Miettinen, Juha – Ranta, Aarno – Rinkinen, Jari - Salonen, Pekka. 2014. Koneenosien suunnittelu. 6. painos. Helsinki: Sanoma Pro Oy.

9. Mott, Robert L. 2004. Machine Elements in Mechanical Design. 4th edition. New Jersey: Pearson Prentice Hall.
10. F.850.1.03.R - Mortise lock for euro cylinder - stainless steel. Handlie. Saatavissa: <https://handlie.eu/products/f-850-1-03-r-mortise-lock-for-euro-cylinder-stainless-steel> Hakupäivä 22.11.2020.
11. Lukituksen termit tutuiksi. Assa Abloy. Saatavissa: <https://www.abloy.com/fi/suunnittelijoille-ja-valmistajille/tietoa-lukituksesta/sanakirja/> Hakupäivä 19.11.2020.
12. Euro Profile Nickle Cylinder lock. 2018. Sealco Scotland. Saatavissa: <https://www.sealco-scotland.co.uk/product/uap-anti-snap-40-40-nickle-cylinder-3/> Hakupäivä 22.11.2020.
13. Series 300 CE. 2019. Dormakaba. Saatavissa: <https://www.dormakaba.com/re-source/blob/509716/8b02607456bb5ad186d438d71ed76cca/24589-tbr-300ce-locks-gb-07-19-pdf-data.pdf> Hakupäivä 23.5.2021.
14. Mäkelä, Mikko – Soininen, Lauri – Tuomola, Seppo – Öistämö, Juhani 2005. Tekniikan kaavasto. 5., uudistettu painos. Tampere: Tammertekniikka.
15. Gearbox efficiency. 2021. x-engineer. Saatavissa: <https://x-engineer.org/automotive-engineering/drivetrain/transmissions/drivetrain-losses-efficiency/> Hakupäivä 11.1.2021.
16. Know which gear is more efficient. 2017. Max power gears. Saatavissa: <http://maxpowergears.com/know-gear-efficient/>. Hakupäivä 20.1.2021.
17. Motor Current DC, Voltage 12.00V, R.P.M. 7900.00rpm - FC-280 SC 16220. Mootio Components. Saatavissa: <http://www.mootio-components.com/motor->

[current-dc-voltage-1200v-rpm-790000rpm-fc-280-sc-16220\\_refe\\_004933.html#.YBrjt3mxWUm](#) Hakupäivä 3.2.2021.

18. BS EN 1303:2015. Building hardware. Cylinder for lock. Requirements and test methods. British Standards Institution.

19. DIN 18251. Locks - Mortise locks and multipoint locks - Terms, definitions and dimensions. Deutsches Institut für Normung.