

Turvakotelon suunnittelu ja valmistuskustannusten arviointi

Lauri Tiihonen

Opinnäytetyö

Toukokuu 2019

Tekniikan ala

Insinööri (AMK), hyvinvointiteknologian tutkinto-ohjelma

Tekijä(t) Tiihonen Lauri	Julkaisun laji Opinnäytetyö, AMK	Päivämäärä Toukokuu 2019
	Sivumäärä 46	Julkaisun kieli Suomi
		Verkojulkaisulupa myönnetty: x
Työn nimi Turvakotelon suunnittelu ja valmistuskustannusten arviointi		
Tutkinto-ohjelma Insinööri (AMK), hyvinvointiteknologian tutkinto-ohjelma		
Työn ohjaaja(t) Petri Luosma, Matti Siistonen		
Toimeksiantaja(t) TT Nyman		
Tiivistelmä <p>Tuotekehitysprojektin tavoitteena oli suunnitella yritykselle TT Nyman, turvakotelo avainten säilytykseen. Siitä tuli valmistaa toiminnallinen prototyyppi. Opinnäytetyön tavoitteena oli myös perehtyä eri valmistusmenetelmiin, joilla turvakotelo voitaisiin valmistaa. Tavoitteena oli selvittää miten eri valmistusmenetelmien kannattavuus muuttuu, kun tuotteen valmistusmäärät muuttuvat.</p> <p>Turvakotelon tuli olla helppokäyttöinen ja murtosuojattu. Sen piti olla paristokäyttöinen, ja avaamisen tuli tapahtua elektronisella kulkutunnisteella. Toimintaympäristö turvakotelolla on ulkona, joten sen piti sopia toimintaympäristöönsä ja säilyä toimintakuntoisena pakka-sellakin. Kotelon avaamiseen tuli olla varajärjestelmä siltä varalta, että paristot loppuvat. Kotelossa käytettävien komponenttien tuli olla vettä sietäviä tai niiden tuli olla siten suo-jattuja, ettei vesi pääse niiden kanssa kosketuksiin.</p> <p>Tietoperustassa perehdyttiin tuotekehitysprojektin eri vaiheisiin ja tehtiin markkinaselvi-tystä markkinoilla olemassa olevista vastaavanlaisista tuotteista. Perehdyttiin myös valmis-tusmenetelmiin, joita voitaisiin käyttää turvakotelon valmistuksessa ja siihen, miten eri val-mistuksen menetelmissä valmistuskustannukset muodostuvat. Tuotekehitysprojekti toteutet-tiin TT Nymanilta saatujen vaatimusten pohjalta.</p> <p>Työn tuloksena saatiin neuvoo-antava tulos siitä, mikä valmistusmenetelmä on kustannuk-siltaan kannattavin vaihtoehto kulloisellakin valmistusmäärällä. Tuloksena saatiin myös prototyyppi ja piirustukset, joiden avulla tuotetta voidaan kehittää jatkossa.</p>		
Avainsanat (asiasanat) Turvakotelo, tuotekehitys, prototyyppi, RFID, 3D-tulostus, valmistuskustannukset, hiekka- valu, tarkkuusvalu, CNC-jyrsiminen		
Muut tiedot (salassa pidettävät liitteet)		

Author(s) Tiihonen Lauri	Type of publication Bachelor's thesis	Date May 2019 Language of publication: Finnish
	Number of pages 46	Permission for web publication: x
Title of publication Designing a lockbox and evaluating of manufacturing costs		
Degree programme Degree Programme in Wellness Technology		
Supervisor(s) Luosma Petri, Siistonen Matti		
Assigned by TT Nyman		
Abstract <p>The goal of the product development project was to design a key lockbox for the assignor TT Nyman. A functional prototype of the product had to be made. The aim of the project was also to study different manufacturing methods that could be used in making the lockbox and to determine how the profitability of manufacturing methods changes when manufacturing volumes change.</p> <p>The lockbox needed to be easy to use and secure. It had to be battery powered and it should be unlocked with an electronic passcode. Its operating environment is outdoors, so it had to blend in with its surroundings and remain operational even in the winter. There needed to be a backup method for opening the lockbox in case the batteries have run out. The components that were used needed to be moisture resistant or they needed to be protected so that water cannot get in contact with them.</p> <p>The theoretical part consisted of the theory of product development process and it also included a market survey of similar products. Moreover, different manufacturing methods that were suitable for manufacturing the lockbox were studied, as well as how they affect manufacturing costs. The product development project was conducted out in accordance of the requirements given by TT Nyman.</p> <p>The result gives a recommendation on the most profitable manufacturing method alternative for the given manufacturing quantities. In addition, the results include a prototype and drawings which can be used in further development.</p>		
Keywords/tags (subjects) Lockbox, product development, prototype, RFID, 3D-printing, manufacturing costs, sand casting, investment casting, CNC-milling		
Miscellaneous (Confidential information)		

Sisältö

1	Opinnäytetyön lähtökohdat.....	4
1.1	Opinnäytetyön tausta ja tavoitteet.....	4
1.2	Opinnäytetyön toteutus ja tutkimusmenetelmät.....	4
2	Tuotekehitys	5
2.1	Menetelmät.....	5
2.1.1	Geneerinen tuotekehitysprosessi menetelmänä	5
2.1.2	DFMA-menetelmä	7
2.2	Vaatimuslista	8
2.3	Prototyyppi.....	8
3	RFID eli radiotaajuinen tunnistus	9
4	Valmistusmenetelmät	10
4.1	Valaminen.....	10
4.1.1	Valamisen perusteet.....	10
4.1.2	Hiekkamuottimenetelmä.....	12
4.1.3	Tarkkuusvalumenetelmä	13
4.2	CNC-jyrsintä.....	14
4.3	3D-tulostus	16
4.3.1	Binder jetting (sideaineen ruiskutus menetelmä).....	17
5	Valmistuskustannusten määräytyminen	18
5.1.1	Komponenttikustannukset	18
5.1.2	Kokoonpanokustannukset.....	19
5.1.3	Yleiskustannukset	19

6	Valmistusmenetelmien kustannustenvertailu	19
7	Turvakotelon suunnittelu	21
7.1	Lähtötilanne.....	21
7.2	Markkinaselvitys.....	23
7.3	Konseptin suunnittelu	27
7.4	Lukon valinta	30
7.5	3D-malli.....	32
7.6	Prototyypin valmistus.....	35
8	Pohdinta.....	37
	Lähteet	39
	Liitteet	41
	Liite 1. Valmistuskustannusten vertailu eri valmistusmenetelmien välillä....	41
	Kuviot	
	Kuvio 1. Viisi askelinen konseptin luonti menetelmä	6
	Kuvio 2. Kestomuotin käyttö	11
	Kuvio 3. Tarkkuusvaluprosessi	13
	Kuvio 4. CNC-jyrsin	15
	Kuvio 5. Sideaineen ruiskutus menetelmä.....	17
	Kuvio 6. Valmistuskustannuksen elementit	18
	Kuvio 7. Suositeltu valmistusmenetelmä	21
	Kuvio 8. Abus avainkaappi	24
	Kuvio 9. Sentinel PL998	25
	Kuvio 10. Supra.....	25
	Kuvio 11. Masterlock 5403EURD	26
	Kuvio 12. Masterlock 5441EURD	26
	Kuvio 13. Ensimmäinen luonnos	28
	Kuvio 14. Konsepti luonnos V.1.....	29
	Kuvio 15. Konsepti luonnos V.2.....	29
	Kuvio 15. Ensimmäinen mallinnus	32

Kuvio 16. Hajotettu kuva lokeron ensimmäisestä versiosta	33
Kuvio 17. Takaperspektiivi.....	34
Kuvio 18. Etuperpektiivi	34
Kuvio 19. Hajotettu kuva valmiista lokerosta	35
Kuvio 20. Lukkokoneisto.....	36
Kuvio 21. Valmis prototyyppi	37

Taulukot

Taulukko 1. Valmistuskustannusten vertailu eri menetelmien välillä	20
Taulukko 2. Kannattavin valmistusmenetelmä	21
Taulukko 3. Vaatimuslista	23
Taulukko 4. Markkinoilla olevien tuotteidenvertailu	27
Taulukko 5. Komponenttien valinta	30
Taulukko 6. Lukkovaihtoehtoja	31

1 Opinnäytetyön lähtökohdat

1.1 Opinnäytetyön tausta ja tavoitteet

Idea opinnäytetyönaiheesta lähti toimeksiantajayrityksen tarpeesta helpottaa hoitohenkilökunnan työtä. Työn tavoitteena oli suunnitella TT Nyman yrityksen antamien vaatimusten pohjalta avainten säilytyskotelo. Tämä mahdollistaisi sen, ettei hoitajilla tarvitsisi olla mukanaan ainuttakaan avainta kotikäyntejä tehdessään. Lokero asennettaisiin ulko-oven viereen, ja sen sisällä säilytettäisiin ulko-oven avainta. Kotelossa oleva lukkomekanismi olisi elektroninen ja RFID-tunnisteella toimiva. Kotikäyntejä tekevällä hoitajalla olisi mukanaan vain avainkortti, jolla hän saisi lokeron auki, ja lokerossa olisi tarvittavat avaimet taloon sisäänpääsyyn.

Tavoitteena tuotekehitysprojektissa oli myös perehtyä eri valmistusmenetelmiin ja materiaaleihin, joilla avainten säilytyslokero voitaisiin valmistaa. Valmistusmenetelmän taloudellinen kannattavuus määräytyy suurelta osin valmistettavan tuotteen sarjakoosta. Tavoitteena olikin löytää sopivin valmistusmenetelmä eri sarjakoille.

Tuotteesta tuli tehdä myös valmistuspiirustukset. 3D-mallin pohjalta tuli valmistaa 3D-tulostamalla tuotteesta konkreettinen prototyyppi, jolla saadaan testattua konseptin toimivuutta.

1.2 Opinnäytetyön toteutus ja tutkimusmenetelmät

Opinnäytetyö toteutettiin tuotekehittämisprojektina, jossa sovellettiin Ulrichin ja Eppingerin generisen tuotekehitysprosessin menetelmää ja DFMA, -menetelmän oppeja. Tuote suunniteltiin yritykseltä saatujen vaatimusten pohjalta ja siitä tuotettiin piirustukset sekä prototyyppi. Prototyypin valmistuksen jälkeen mahdollisesti tulevat jatkotoimenpiteet rajattiin opinnäytetyön ulkopuolelle. Suunnittelussa tuli huomioida valmistettavuus sekä käytettävyys. Opinnäytetyö oli kehittämistutkimusta, koska siinä pyrittiin aikaansaamaan muutosta nykytilaan. Tutkimuskysymyksiksi muotoutuivat seuraavat kysymykset:

- Miten tuote on järkevintä toteuttaa ja onko se mahdollista toteuttaa halutuilla ominaisuuksilla?
- Millä valmistusmenetelmillä tuotetta kannattaa valmistaa?

- Mikä valmistusmenetelmä on kustannustehokkain valinta kulloisellakin valmistusmäärällä?

Tutkimusote työssä oli kvalitatiivinen, koska tutkimusaineiston keräys tapahtui dokumenttien pohjalta. Menetelmä soveltui työhön paremmin kuin kvantitatiivinen menetelmä, koska työssä esitetyt kysymykset olivat luonteeltaan avoimia.

2 Tuotekehitys

2.1 Menetelmät

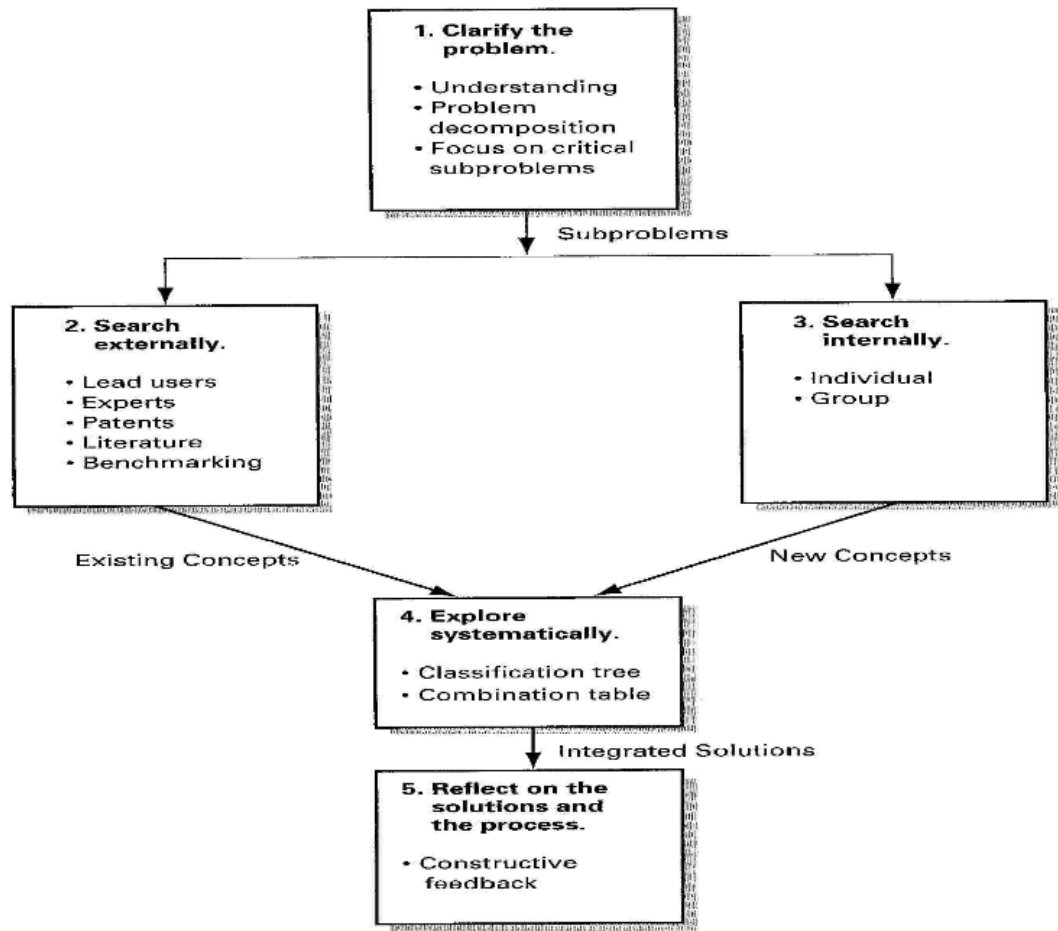
2.1.1 Geneerinen tuotekehitysprosessi menetelmänä

0. Tehtävän asettelu

Ulrichin ja Eppingerin tuotekehitysprosessi koostuu kuudesta eri vaiheesta, joista ensimmäinen on suunnittelu. Suunnitteluvaihe käydään läpi ennen projektin varsinaista aloittamista. Siinä arvioidaan tuotteen toteutettavuus eli onko se, teknologisesta näkökulmasta mahdollista toteuttaa. Siinä tutkitaan, sopiiko se yrityksen tavoitteisiin ja määritetään kenelle tuote on suunnattu eli kenelle sitä markkinoidaan. Tärkeänä osana on myös se, mitä vaatimuksia ja rajoitteita tuotteelle asetetaan. Varsinainen tuotekehitysprojekti alkaa näiden vaiheiden jälkeen. (Ulrich & Eppinger 2012, 13–15.)

1. Konseptin kehittäminen

Käyttäjän tarpeiden ja tuotteelle asetettujen vaatimusten pohjalta luodaan konsepteja, joista jatkokehitykseen valitaan lupaavimmat. Konseptien kehittäminen on suhteellisen nopeaa muihin tuotekehitysprosessin vaiheisiin nähden, mutta sen vaikutus prosessin onnistumisen kannalta on merkittävä. Kuvio 1 esittää viisivaiheisen menetelmän konseptin luomiseen. Heikosta konseptista on hankala saada aikaan hyvää tuotetta. Ongelmia kannattaakin lähestyä järjestelmällisesti ja jaotella ne pienempiin osiin.



Kuvio 1. Viisi askelinen konseptin luonti menetelmä (Ulrich & Eppinger 2012, 120)

Konsepti sisältää yleensä lyhyen kuvauksen tuotteen tekniikasta ja toiminnallisista ominaisuuksista. Jos suunniteltava tuote on fyysinen esine, sisältää konsepti useimmiten myös piirretyn luonnoksen siitä. (Ulrich & Eppinger 2012, 15.)

2. Järjestelmätason suunnittelu

Toisessa vaiheessa jaotellaan tuotteen osat toiminnallisiksi kokonaisuuksiksi ja tehdään osalistaus. Tuotteen eri osien toimintaa mietitään ja havainnollistetaan toimintakaavioilla. Pääkomponentit määritetään ja niiden suunnittelu aloitetaan. Tuotteen valmistamista ja kokoonpanoa valmistusteknisestä näkökulmasta katsoen suunnitellaan alustavasti. (Ulrich & Eppinger 2012, 15.)

3. Yksityiskohtien suunnittelu

Tuotteen lopulliset mitat määritetään ja kaikki tuotteen valmistukseen tarvittavat piirustukset tehdään kolmannen vaiheen aikana. Tuotteen valmistuksessa käytettävät

menetelmät ja materiaalit valitaan sekä tehdään valmistuksessa tarvittava dokumentaatio. Valmistusmenetelmiä valittaessa huomioidaan valmistuskustannukset, jotta tuotantokustannukset saadaan halutulle tasolle. Päätetään, millainen on tuotteen valmistusketju eli mitä osia tilataan alihankkijoilta ja mitä valmistetaan itse. (Ulrich & Eppinger 2012, 15.)

4. Testaus ja parantelu

Neljännän vaiheen aikana tuotteesta tehdään prototyyppisiä ja niiden käytännön toimivuutta testataan. Testeillä pyritään selvittämään, suoriutuuko tuote sille annetusta tehtävästä tarpeeksi tehokkaasti ja onko luotettavuus halutulla tasolla. Testeistä saatujen tulosten perusteella, tuotteeseen saatetaan tehdä viimehetken muutoksia ennen varsinaista tuotannon aloitusta. (Ulrich & Eppinger 2012, 15.)

5. Tuotannon ylös ajo

Viidennessä vaiheessa tuotetta aletaan tuottamaan sille suunnitellulla tuotantolinjalla ja tuotantoprosessissa mukana olijat harjaantuvat tuotteen valmistukseen. Ensimmäisiä valmiita tuotteita saatetaan antaa valituille asiakkaille, jotta mahdolliset ongelmat saataisiin selville. Tuotantoa ei aina aloiteta suoraan täydellä kapasiteetilla, vaan se voi olla asteittaista. (Ulrich & Eppinger 2012, 16.)

2.1.2 DFMA-menetelmä

DFMA eli Design for Manufacturing and Assembly on suunnittelumetodi, jota käyttämällä pyritään alentamaan tuotteenvalmistus- ja tuotantokustannuksia ja valmistukseen käytettävää aikaa ja samalla parantamaan tuotteen laatua. Menetelmän käyttö alkaa jo konseptisuunnitteluvaiheessa. Konsepteja arvioidaan myös kustannusten kannalta, vaikka tässä vaiheessa tiedot kustannuksista ovat vajavaisia. Mitä pidemmälle projektissa edetään, sitä tarkempaa tietoa valmistus- ja kokoonpanokustannuksista saadaan. Suunnittelumenetelmä koostuu viidestä vaiheesta ja iteroinnista:

1. valmistuskustannusten arviointi
2. komponenttien kustannusten vähentäminen
3. kokoonpanon kustannusten vähentäminen
4. tukitoimintojen kustannusten vähentäminen
5. arvioidaan päätösten vaikutusta tuotteeseen

Jos kustannusvähennyksien katsotaan heikentävän tuotteen suorituskykyä tai muita ominaisuuksia niin merkittävästi, ettei se ole hyväksyttävää, palataan suunnittelussa alkuun ja prosessi toistetaan. Koko tuotekehitysprojektin aikana tämä saattaa toistua useita kertoja. (Ulrich & Eppinger 2012, 255–257.)

Toimenpiteitä kustannusten säästämiseksi ovat

1. kokoonpanovaiheiden vähentäminen
2. sopivan valmistus yksikkömäärän valitseminen
3. komponenttien ja prosessien standardisointi
4. yksittäisten osien yhdistäminen
5. kokoonpanoprosessin yksinkertaistaminen
6. osamäärän minimointi
7. kokoonpanon virheiden minimointi

(Ulrich & Eppinger 2012, 264–273.)

2.2 Vaatimuslista

Tuotekehitysprojektissa suunnittelun työkaluna käytetään vaatimuslistaa. Siihen kirjataan vaatimukset ja toivomukset, joita tuotteella halutaan olevan. Vaatimukset luokitellaan kolmeen eri luokkaan. Kiinteät vaatimukset (KV), vähimmäisvaatimukset (VV) ja toivomukset (T). Kiinteät vaatimukset on saavutettava kaikissa olosuhteissa. Vähimmäisvaatimusten tasolle on päästävä ja niiden ylittäminen on suotavaa. Toivomukset pyritään toteuttamaan, jos niistä saadun lisäarvon katsotaan olevan kustannukset huomioon ottaen järkevää. (Tuomaala 1995, 80–81.)

2.3 Prototyyppi

Prototyyppi voi olla fyysinen esine tai ei-konkreettinen esitys, kuten esim. simulaatio, tai se voi olla yhdistelmä kumpaakin. Kaikilla prototyypeillä pyritään havainnollistamaan vähintään yhtä tuotteen ominaisuutta, jota halutaan tarkastella. Prototyyppi voi olla täyden mittakaavan esitys, joka pyrkii olemaan mahdollisimman lähellä lopullista tuotetta. Sellainen voidaan antaa muutamalle valitulle asiakkaalle testausta varten, jotta saadaan selville viimeiset ongelmakohdat, ennen yleistä julkistamista. Prototyyppi voi olla myös yksittäinen osa, jonka käytännön toimivuutta halutaan testata. Monesti prototyypistä tehdään kaksi versiota, joista toinen kuvaa tuotteen toiminnallisia ominaisuuksia ja toinen on ulkomuodoltaan lähellä lopullista tuotetta. Tällai-

nen lähestymistapa on monesti helpompi toteuttaa projektin aikaisemmassa vaiheessa kuin tarkka prototyyppi. Prototyyppejä rakennetaan, jotta mahdolliset virheet tulevat ajoissa esiin ja niihin päästään puuttumaan hyvissä ajoin. (Ulrich & Eppinger 2012, 291–294.)

Prototyypin rakentamiseen on olemassa monia eri syitä. Yleensä sillä pyritään saamaan selville, miten hyvin konsepti toimii käytännössä ja miten se vastaa asiakkaan tarpeisiin. Sitä voidaan käyttää myös hyväksi, kun kommunikoidaan yrityksen sisällä tai muiden projektissa mukana olevien tahojen kanssa. Ihmisillä voi olla vaikeuksia ymmärtää pelkän 3D-mallin tai piirustuksen pohjalta, millaisesta tuotteesta on kyse. Tämän kaltaisessa tilanteessa on fyysisestä prototyypistä hyötyä, koska se on helpompi käsittää. Monimutkaista tuotetta rakennettaessa on prototyypin tekemisestä hyötyä niissä tilanteissa, kun halutaan saada selville, miten eri komponentit käyvät yhteen. Prototyyppi saatetaan valmistaa myös yrityksen johdon pyynnöstä. Johto saattaa haluta nähdä prototyypin, jolla havainnollistetaan että tuotteen kehityksessä on päästy haluttuun tavoitteeseen. (Ulrich & Eppinger 2012, 294–296.)

3 RFID eli radiotaajuinen tunnistus

RFID (Radio Frequency Identification) on nimitys, jota käytetään kun puhutaan radiotaajuuksilla toimivista tekniikoista. Tekniikkaa käytetään viivakoodiin tapaan tuotteiden tunnistamiseen. RFID-menetelmän etuna viivakoodiin nähden on se, että tunnistaminen ei vaadi suoraa katsekontaktia sekä se, että tunnisteen tietoja voidaan päivittää. Menetelmässä tarvittava tieto tallennetaan RFID-tunnisteeseen ja luetaan RFID-lukijalla radioaaltojen välityksellä. Metodia käytetään myös kulkutunnisteissa. (Mitä on RFID? n.d.)

NFC eli Near Field Communication on RFID:hen perustuva teknologia, jota tyypillisesti käytetään tiedonkeruussa, kulunvalvonnassa ja maksamisessa. Lukuetäisyys tällä menetelmällä on 0-10 cm. Tämä tekniikka löytyy monista matkapuhelimista. Tunniste reagoi automaattisesti, kun se viedään lähelle lukijalaitetta, jolloin se toteuttaa tunnistamiseen ohjelmoidun prosessin. (RFID ja NFC. n.d.)

HF eli High Frequency on RFID-teknologia, jonka tyypillisiä sovelluksia ovat tuot-
teidentunnistus ja kulunvalvonta. Tunnistusetäisyys on 0-1 metriä ja taajuutena siinä
käytetään kansainvälisesti vapaata 13,56 MHz:in taajuutta. (RFID ja NFC. n.d.)

4 Valmistusmenetelmät

Työssä tarkasteltaviksi valmistusmenetelmiksi valittiin hiekkavalaminen, tarkkuusva-
laminen, CNC-jyrsintä ja 3D-tulostaminen sideaineen ruiskutusmenetelmällä. Mene-
telmiä valittaessa vaatimuksena oli se että menetelmän tuli soveltua metallisten
osien valmistukseen. Valmistusmenetelmiksi valittiin tarkoituksella 3D-tulostus ja
CNC-jyrsintä, koska niiden tiedettiin soveltuvan parhaiten prototyyppien ja pienten
erien valmistamiseen. Hiekkavalun ja tarkkuusvalun tiedettiin sopivan paremmin
suurten valmistusmäärien valmistamiseen. Työssä haluttiinkin selvittää millä valmis-
tusmäärillä kannattaa siirtyä käyttämään ns. massatuotantoon soveltuvaa menetel-
mää kuten hiekkavalua.

4.1 Valaminen

4.1.1 Valamisen perusteet

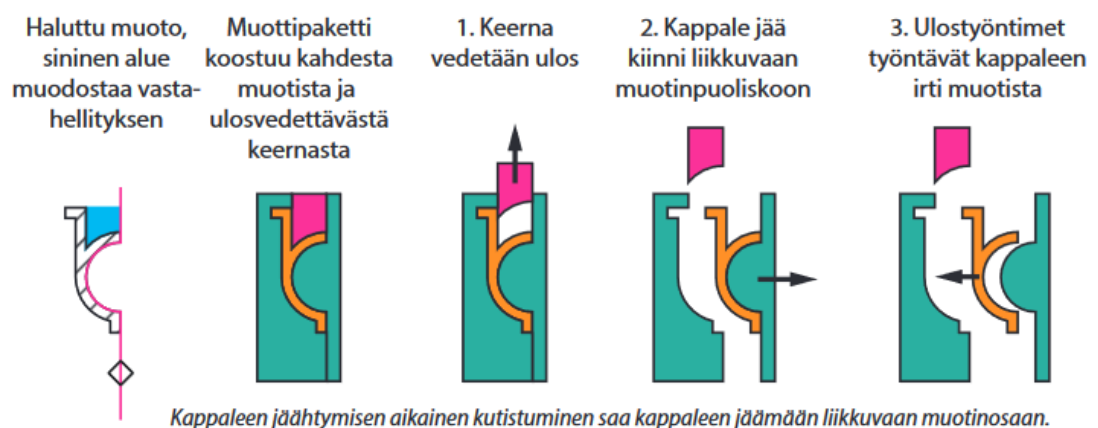
Valaminen on valmistusmenetelmä, jolla päästään nopeasti raaka-aineesta valmi-
seen tuotteeseen. Sen käyttö valmistuksessa mahdollistaa sen, että valmistettavan
kappaleen muotoilussa on vähän rajoituksia. Menetelmässä kiinteä metalli sulate-
taan sulatusuunissa nestemäiseen olomuotoon, minkä jälkeen metalli kaadetaan
muottiin, joka on halutun muotoinen, ja metallin annetaan jähmettyä siinä. Kappa-
leen jähmetyttyä muotti puretaan valukappaleen ympäriltä. Seuraavaksi osa siirtyy
jälkikäsittelyyn, joka voidaan jakaa kuuteen osaan

1. keerna- ja muottijätteen poisto
2. Valukkeiden poisto
3. jakopintapurseen, valukkeiden jäännösten ym. ylimääräisen aineen poisto
4. korjaukset, kuten huokosten ja imujen korjaushitsaus
5. tarkastus, lämpökäsittely ja pintakäsittely
6. tavarankuljetus ja käsittely.

(Ihalainen, E., Aaltonen, K., Aromäki, M., Sihvonen, P. 2011, 66,94.)

Valumuotit voidaan jakaa kahteen kategoriaan, kertakäyttöisiin ja kestromuotteihin. Kertakäyttöiset muotit valmistetaan hiekasta, joka kovetaan sideaineella ja hajotetaan, kun valukappale on jähmettynyt. Kertamuottiin saadaan tehtyä halutun kappaleen mukainen muoto käyttämällä valumallia. Valumalli on valmistettu yleensä puusta, muovista tai metallista. Valumallin valmistusmateriaalin valintaan vaikuttavat useat eri tekijät. Mallia tehtäessä on huomioitava metallin jäähtyessä tapahtuva kutistuma. Keernoja voidaan joutua käyttämään, jos valukappaleeseen halutaan monimutkaisia muotoja, kuten pitkiä reikiä. Keernat valmistetaan keernahiekasta ja ne laitetaan muottiin tehtyihin keernasijoihin. (Ihalainen, E., Aaltonen, K., Aromäki, M., Sihvonen, P. 2011, 76–77.)

Kestomuotit rakennetaan siten, että valukappale saadaan muotista ulos ilman, että muottia tarvitsee rikkoa. Muotit ovat siis uudelleen käytettäviä. Kuvio 2 havainnollistaa kestromuotin käyttöprosessia. Muotit ovat tavallisesti kaksiosaisia ja ne on valmistettu työkaluteräksestä. (Honkavaara, T. 2014.)



Kuvio 2. Kestomuotin käyttö (Honkavaara, T. 2014.)

Kestomuottien valmistaminen on kalliimpaa kuin hiekkamuottien, joten niitä on järkevä käyttää vain sarjatuotannossa. Muoteilla päästään tarkempaan mittatarkkuuteen kuin hiekkamuoteilla, ja kappaleen jäähtyminen on niissä myös nopeampaa. (Ihalainen, E., Aaltonen, K., Aromäki, M., Sihvonen, P. 2011, 77,89.)

Valamisella voidaan päästä hyvinkin tarkkoihin mittavaatimuksiin, mutta se riippuu valumenetelmästä. Mittatarkkuuden lisääminen kasvattaa valmistuskustannuksia. Materiaaliin suhteen valamisessa on vähän rajoituksia, koska lähes kaikkia metalleja

ja metalliseoksia voidaan valaa. (Ihalainen, E., Aaltonen, K., Aromäki, M., Sihvonen, P. 2011, 66–67.)

4.1.2 Hiekkamuottimenetelmä

Hiekkamuottimenetelmässä käytettävät valumuotit ovat kertakäyttöisiä, ja ne valmistetaan valumallin mukaan hiekasta, joka kovetetaan sideaineilla. Hiekkamuottimenetelmässä pystytään käyttämään keernoja, jolloin saadaan tehtyä monimutkaisiakin muotoja. Kovettuneet hiekkamuotin puolikkaat laitetaan vastakkain ja muottiin kaadetaan sulamateriaali. Valettavan materiaalin suhteen tällä menetelmällä ei ole mitään rajoituksia. Pienin valettava kappale painaa 100 grammaa ja ylärajana on 200 000 tonnia. Taloudellisesti kannattava sarjakoko on 1-100, kun käytetään käsin kaavausta, ja 50–1000 konekaavausta käyttäessä. Pinnanlaatu vaihtelee menetelmästä ja hiekanlaadusta riippuen välillä 300–900 RMS. (Honkavaara, T. 2014.)

Hiekkavalamisessa syntyvät kustannukset voidaan jakaa kolmeen eri osa alueeseen, joita ovat materiaalikulut, tuotantokulut ja työstökulut. Materiaalikuluihin kuuluu valussa käytetty metalli ja metallin sulatus. Materiaali valinta vaikuttaa sulatuskuluihin, koska materiaaleilla on eri sulamispisteet. Kuitenkin sulatuskustannusten vaikutus kuluihin on vähäinen verrattuna metallin hintaan. Valussa käytetyn materiaalin hinta saadaan selville, kun tiedetään osan paino ja sen kilohinta. Materiaalikuluihin laskeaan myös valussa käytetty muottihiekka ja keernahiekka. (Hiekkavalu. n.d.)

Tuotantokuluihin kuuluvat kaikki valuprosessin aikana tehtävät toimenpiteet. Näitä ovat valumuotin teko, keernojen valmistaminen, valaminen ja valumuotin purkamisen sekä puhdistaminen. Mitä isompi valettava osa on, sen suuremmiksi valumuotin purkamisesta ja puhdistuksesta syntyvät kustannukset muodostuvat. (Hiekkavalu. n.d.)

Työstökulut syntyvät osan valamista varten tehtävästä valumallista. Sen valmistuskuluihin vaikuttaa se, miten iso tai monimutkainen osa on kyseessä. Myös se, mistä materiaalista valumalli tehdään, vaikuttaa työstökuluihin. Se, mistä materiaalista valumalli tehdään, riippuu valettavasta sarjakoosta. Suuria valmistusmääriä varten valumalli täytyy valmistaa kestävästä materiaalista. (Hiekkavalu. n.d.)

4.1.3 Tarkkuusvalumenetelmä

Tarkkuusvalussa käytetään valumuotin materiaalina keramiikkaa. Muotit valmistetaan vahamallien avulla (ks. kuvio 3) ja ne ovat kertakäyttöisiä. Vahamallien tekoa varten tarvitaan kestmuotti, joka voi olla metallista tai silikonista valmistettu. Vahamallit tehdään pursottamalla tai ruiskuvalumenetelmällä. Vahan päälle rakennetaan keraamikuori, minkä jälkeen vaha poistetaan muotista sulattamalla se. Tämän jälkeen muotti on valmis valamista varten ja siihen voidaan valaa mitä tahansa materiaalia. Menetelmä soveltuu hyvin erittäin pienille ja tarkkuutta vaativille kappaleille, joilta vaaditaan myös hyvää pinnalaatua välillä 50–125 RMS. Taloudellisesti kannattava sarjakoko on 1–50 prototyypeille sekä suurille kappaleille, ja 500–10 000 pienille kappaleille. Valettavien kappaleiden painot ovat tyypillisesti luokkaa 1 g - 10 kg. (Honkavaara, T. 2014.)



Kuvio 3. Tarkkuusvaluprosessi (Tarkkuusvalu prosessi. n.d)

Tarkkuusvalussa syntyy kuluja monesta eri prosessin vaiheesta. Työstökuluja tulee heti valmistusprosessin alussa, kun valmistetaan kestmuotti vahamallien tekoa varten. Materiaalikulua syntyy kestmuottiin käytettävästä materiaalista, valmistukseen käytettävästä vahasta, keraamista ja varsinaisesta valumateriaalista. Tuotantokuluja syntyy kaikissa valmistuksen vaiheissa. Näitä vaiheita ovat kestmuotin teko,

vahamallien valmistaminen, keraamisen kuoren valmistaminen, vahanpoisto, muotin poltto, osan valaminen, valuosan muotista poistaminen ja jälkityöstö. (Boothroyd, Dewhurst & Knight. 2011, 566–596.)

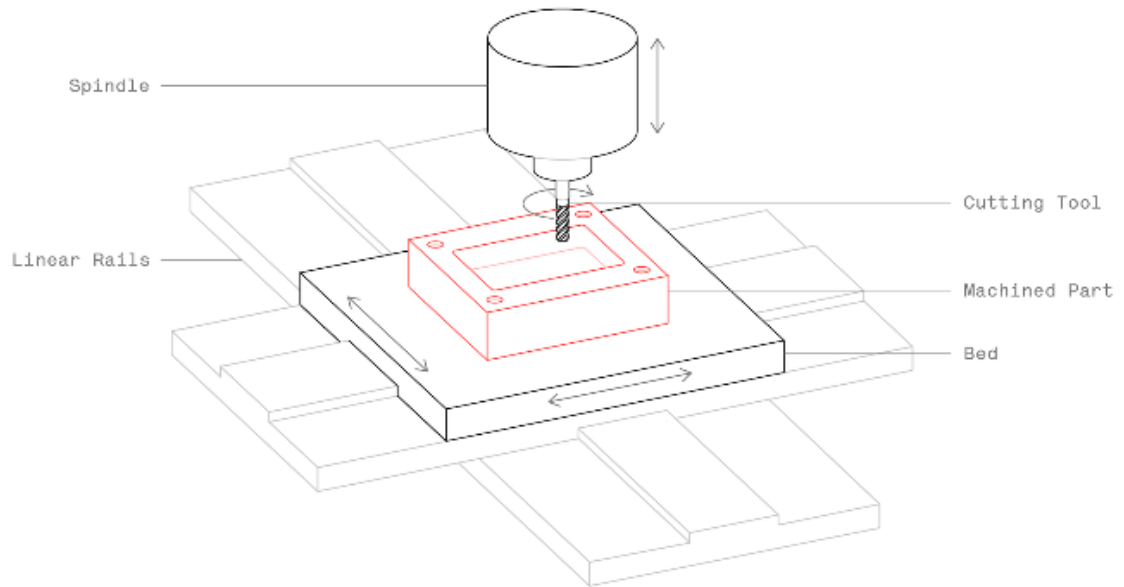
4.2 CNC-jyrsintä

CNC eli Computer Numerical Control (tietokoneistettu numeerinen ohjaus) on lastuava valmistusmenetelmä. Sillä saadaan valmistettua mittatarkkoja osia ja se on varteenotettava menetelmä yksittäiskappaleille ja keskisuurille sarjoille. CNC-jyrsinkoneita on erityyppisiä. Monissa CNC-jyrsinkoneissa, kuten kuvion 4 jyrsimellä, terällä on vain kolme liikeakselia x, y ja z-akselit. Näillä koneilla pystytään tuottamaan yleisimmät muodot. On myös olemassa jyrsinkoneita, joilla on viisi liikeakselia. Näissä koneissa myös alustaa ja terän asentoa pystytään muuttamaan, jolloin saadaan tehtyä monimutkaisiakin osia. (CNC-jyrsintä valmistusmenetelmänä. n.d.)

Jyrsittävän materiaalin suhteen on hyvin vähän rajoituksia. Menetelmän suurimpia suunnittelua rajoittavia asioita ovat jyrsinterän muoto, joka on aina pyöreä. Sen vuoksi valmistettavaan kappaleeseen aina tulee pyöristyksiä. Rajoittavana tekijänä on myös se, että jyrsinterä ei aina pääse käsiksi kaikkiin työstettävän kappaleen osiin, koska kappale on kiinnitettynä jyrsinpöytään. Tämän vuoksi kappale saatetaan joutua uudelleen asemoimaan tai suunnittelemaan osa siten, että kaikki halutut muodot saadaan luotua ilman uudelleen asemointia. Ohuiden seinämien ja muiden hentojen ominaisuuksien tekeminen on myös hankalaa, koska liian ohuet piirteet hajoavat leikkuuvoimien vaikutuksesta. (CNC-jyrsintä valmistusmenetelmänä. n.d.)

Valmistusprosessi alkaa, kun osasta piirretään cad-malli. Tämän jälkeen työstökoneen käyttäjä muuntaa cad-tiedoston CNC-ohjelman ymmärtämäksi g-koodiksi, joka kertoo työstökoneelle kaiken, mitä se tarvitsee kappaleen valmistamiseksi. Seuraavaksi työkappale kiinnitetään jyrsinkoneen pöytään. Työkappaleen oikea asemointi on tärkeää, jotta saadaan aikaan mittatarkkoja tuotteita. Sitten työstöohjelma käydään läpi ja jyrsinterät poistavat ylimääräisen materiaalin. Terät poistavat ensin nopeasti materiaalia luoden kappaleesta likimääräisen mallin. Tämän jälkeen terät käyvät osan läpi viimeisen kerran, jolloin saadaan haluttu mittatarkkuus. Koneistuksen

jälkeen kappaleesta poistetaan jyrsimisen aikana syntyneet purseet. (CNC-jyrsintä valmistusmenetelmänä. n.d.)



Kuvio 4. CNC-jyrsin (CNC-jyrsintä valmistusmenetelmänä. n.d)

CNC-jyrsinnän kulut muodostuvat siinä käytetystä materiaalista, työkalukustannuksista ja tuotantokuluista. Tuotantoon kuluva aika koostuu valmisteluista, työstettävän kappaleen asennuksesta jyrsimeen, leikkuusta, seisonnasta ja kuluneiden jyrsinterien vaihtaminen uusiin. Näiden työvaiheiden nopeuttamisella voidaan pienentää valmistuskustannuksia. Valmisteluihin ja työstettävän kappaleen jyrsimeen asennukseen käytettävään aikaan ei vaikuta valmistettava kappale, vaan työntekijän ammattitaito. (Kustannusten syntyminen CNC-jyrsinnässä n.d). Jyrsinkoneen valmistelu kustannukset uuden osan tekoa varten eivät ole riippuvaisia osan valmistusmääristä. Näin ollen on kannattavampaa valmistaa suurempia määriä kerralla. (CNC-jyrsinnän hinta. n.d.)

Osan työstämiseen kuluvaan aikaan pystytään vaikuttamaan valitsemalla sopiva valmistusmateriaali ja oikeanlainen työstöaiho. Valinta on tärkeä jyrsinnässä syntyvien kulujen minimoimiseksi. Materiaalin täytyy olla työstettävyydeltään hyvä, jotta saadaan aikaan hyvä pinnanlaatu, eivätkä jyrsinterät kulu ennenaikaisesti. Valistumäärät CNC-jyrsinnässä ovat tyypillisesti 1-1000 kappaleen luokkaa. (Kustannusten syntyminen CNC-jyrsinnässä n.d). Materiaalin valinnassa kannattaa olla huolellinen, koska yleensä yli 50 prosenttia CNC-jyrsinnän kustannuksista tulee materiaalikuluista. (Boothroyd, Dewhurst & Knight, 2011, 302)

4.3 3D-tulostus

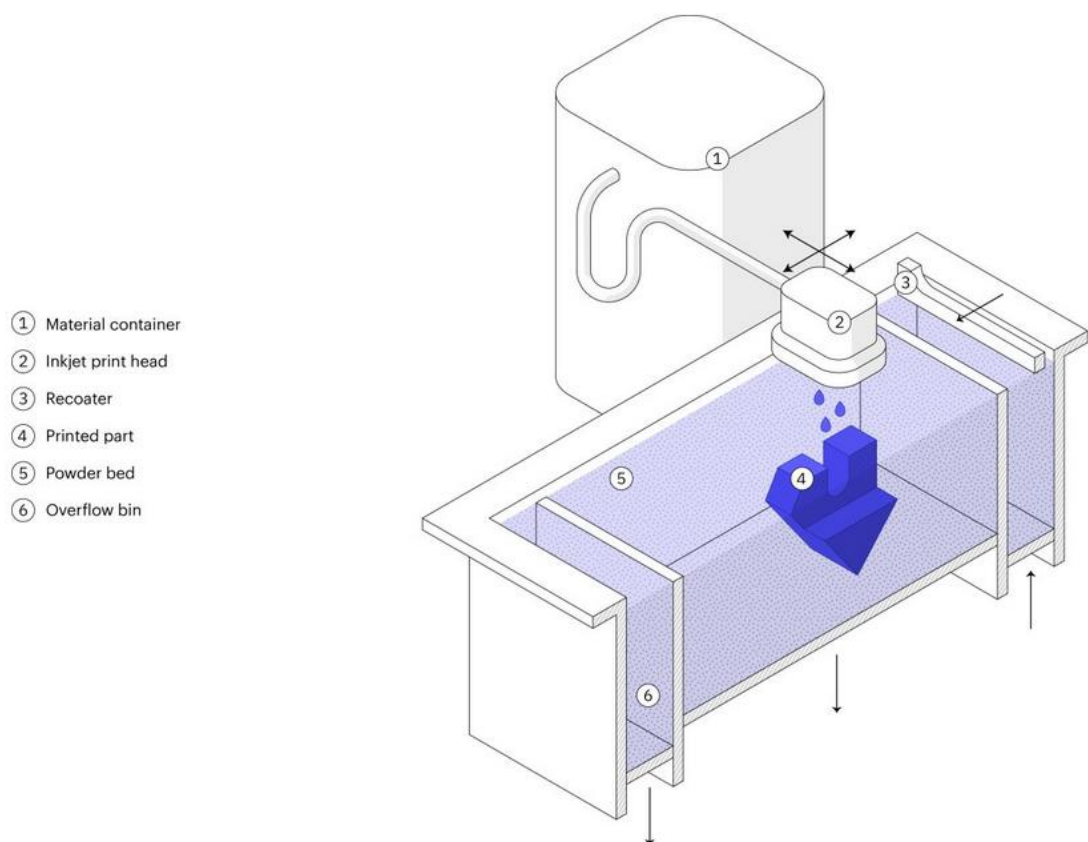
3D-tulostus eroaa valmistusmenetelmänä verrattuna perinteisiin ainetta poistaviin menetelmiin. 3D-tulostuksessa materiaalia lisätään kerroksittain tulostusalustalle, kunnes on saatu aikaan halutun muotoinen kappale. Tulostaminen sopii erityisesti prototyyppien tai pienten erien tekoon. Sillä voidaan valmistaa hyvin monimutkaisiakin geometrioita omaavia kappaleita. Yleisimmät tulostuksessa käytettävät materiaalit ovat muoveja. Kuitenkin myös metalleja voidaan tulostaa. Käytettävissä olevat materiaalivaihtoehdot riippuvat tulostusmenetelmästä. Tyypillisesti osan tulostaminen kestää 4-18 tuntia riippuen osan koosta ja siitä, millainen tulostusmenetelmä on kyseessä. Monesti osat vaativat myös jälkikäsittelyä, jotta tulostetulle osalle saadaan haluttu pinnanlaatu. (Opas 3D-tulostamiseen. n.d.)

Ennen tulostamista osasta täytyy olla tehtynä 3D-malli, joka pitää tallentaa stl-muotoon. Stl-formaatti jakaa kappaleen pinnan kolmioksi. Mitä tarkempi kappale, sitä enemmän- ja pienempiä kolmiot ovat. Stl-tiedosto viipaloidaan tulostusohjelmalla kaksiulotteisiksi viipaleiksi. Kerrospaksuus vaihtelee tulostimesta ja siinä olevista asetuksista riippuen 0,02-0,3 mm välillä. Ohuempien kerrosten tulostus parantaa tulosteentarkkuutta, mutta samalla pidentää tulostukseen käytettävää aikaa. (Stl-formaatin määrittäminen. n.d.)

3D-tulostusmenetelmät on luokiteltu seitsemään eri ryhmään. Opinnäytetyössä tarkasteltaviksi menetelmäksi valittiin binder jetting menetelmä, koska vain sillä sekä metal extrusion ja DMLS/SLM menetelmillä voi tulostaa metallisia osia. Metal extrusion jätettiin pois vertailusta, koska se soveltuu vain yksittäisten osien tekoon ja se on silti kalliimpi vaihtoehto kuin perinteiset valmistusmenetelmät kuten CNC-jyrsintä, varsinkin silloin, jos valmistettava osa on yksinkertainen. Toinen ongelma on se, että sillä tuotetut osat ovat huokoisia ja sen vuoksi lujuus ominaisuuksiltaan heikompia kuin muilla 3d-tulostusmenetelmillä valmistetut metalli osat. DMLS/SLM menetelmät jätettiin myös pois, koska niiden käyttäminen on järkevää vain erittäin vaativissa kohteissa, kuten avaruus- ja ilmailusovelluksissa. Niillä tehtyjen osien hinnat ovat tyypillisesti 5000–10 000 \$ luokkaa. Binder jetting menetelmä on jopa 10 kertaa halvempi vaihtoehto. (Metallisten osien 3D-tulostuksen esittely. n.d.)

4.3.1 Binder jetting (sideaineen ruiskutus menetelmä)

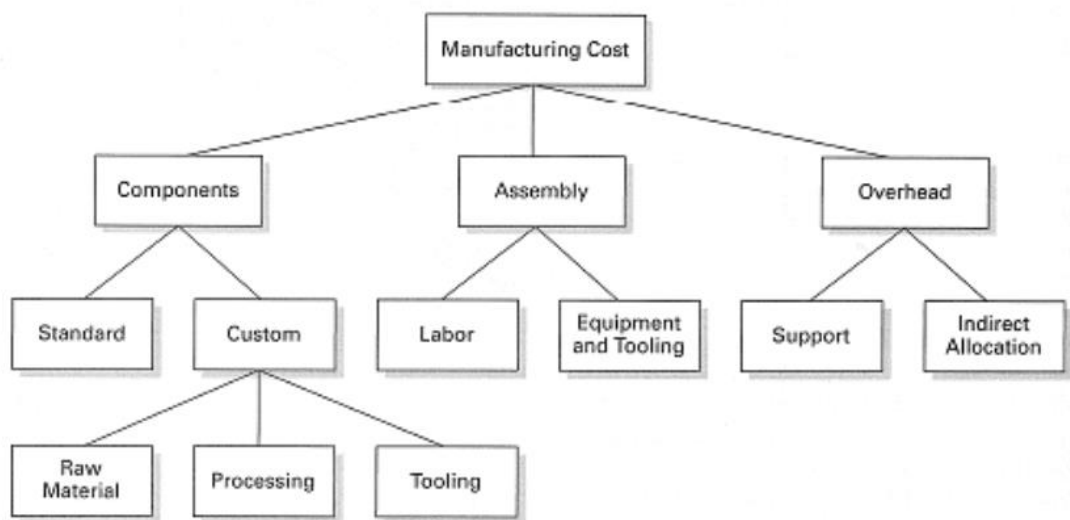
Tulostusprosessi on kaksiosainen. Ensimmäisessä vaiheessa tulostimen kärki ruiskuttaa liimaa ohuiden puuterikerrosten päälle. Kerrokset liimautuvat ja muodostavat kappaleen (ks. kuvio 6). Tulostus tapahtuu yksi kerros kerrallaan. Kerroksien paksuus on yleensä 50 µm. Kun kerros on saatu tehtyä, tulostusalusta liikkuu alaspäin ja kaavain levittää uuden pulverikerroksen. Tämä toistuu kunnes osa on valmis. Tulostuksen jälkeen osa käy läpi jälkikäsittely prosessin. Ensin osa puhdistetaan paineilmalla ylimääräisestä puuterista. Seuraavaksi osa laitetaan sulatusuunin, jossa sideaineet palavat pois ja metallihiukkaset sitoutuvat toisiinsa muodostaen lopullisen osan. Osien tulostuksessa tulee ottaa huomioon, että osa kutistuu n. 20 % sulatuksen aikana. Valmistuskustannukset muodostuvat tulostukseen käytetystä materiaalista, tulostukseen käytetystä ajasta ja jälkikäsittelystä syntyvistä kuluista. (Sideaineenruiskutus menetelmän esittely. n.d.)



Kuvio 5. Sideaineen ruiskutus menetelmä (Opas 3D-tulostamiseen. n.d.)

5 Valmistuskustannusten määräytyminen

Tuotteen suunnittelussa mahdollisuus vaikuttaa valmistuskustannuksiin on suurin projektin alussa. Mitä pidemmälle projektissa edetään, sitä kalliimmaksi ja hankalamaksi muutoksien tekeminen tulee. Siksi onkin tärkeää jo mahdollisimman aikaisessa vaiheessa miettiä millä suunnitteluratkaisuilla päästään haluttuun tavoitteeseen kustannustehokkaasti. (Koneensuunnitteluoppi 1990, 484.) Valmistuskustannukset voidaan jakaa kolmeen osaan, (ks. kuvio 8.) joita ovat komponentit, kokoonpano ja yleiskustannukset. (Ulrich & Eppinger 2012, 258)



Kuvio 6. Valmistuskustannuksen elementit (Ulrich & Eppinger 2012, 258)

5.1.1 Komponenttikustannukset

Komponentit voivat olla joko standardiosia tai tilaustyönä kyseistä osaa varten tehtyjä. Standardiosat voivat olla esim. pultteja, ruuveja, piirilevyjä tai kytkimiä. Standardiosien hinnat saadaan yleensä selville yrityksen aikaisempien projektien osienhankinta tiedoista tai pyytämällä hintanoteerausta myyjältä. Tulee kuitenkin muistaa, että standardiosien hankintahintaan vaikuttaa paljolti se, miten suuresta eräkoosta on kyse. (Ulrich & Eppinger 2012, 258–261.)

Tilaustyönä tehty osa on yleensä käyttökelpoinen vain kyseisessä tuotteessa. Tilaustyöosat voidaan valmistaa yrityksen sisällä tai teettää alihankkijalla. Osan hinta muodostuu valmistukseen käytetyistä raaka-aineista, työstöstä ja koneistuksesta. Raaka-

ainekustannukset saadaan selville laskemalla osan massa ja lisäämällä siihen valmistukseen käytettävästä menetelmästä riippuen hukkaan menevää raaka-ainetta. Työ-
tökuluihin kuluu työntekijän palkka ja osan valmistukseen käytettävien koneiden
käyttökustannukset. Koneistuskulut sisältävät osan valmistusta varten tehtävien va-
lumuottien, leimasimien tai leikkureiden valmistuskulut. (Ulrich & Eppinger 2012,
258–262.)

5.1.2 Kokoonpanokustannukset

Tuotteet koostuvat yleensä useammasta kuin yhdestä osasta. Näin ollen niiden val-
mistaminen edellyttää kokoonpano vaihetta. Tästä aiheutuu työvoimakustannuksia.
Kokoonpanossa saatetaan myös käyttää laitteita, joiden hankinta ja käyttö aiheutta-
vat kustannuksia. (Ulrich & Eppinger 2012, 258.)

5.1.3 Yleiskustannukset

Yleiskustannuksiksi määritellään kaikki muut kustannukset, joita tuotteen valmistuk-
sen aikana ilmenee. Ne voidaan jakaa tuki- ja epäsuoriin kustannuksiin. Tukikustan-
nuksiin kuuluvat ne kustannukset, jotka mahdollistavat tuotteen valmistamisen. Niitä
ovat mm. rahti, laitteidenhuolto ja varastointi. Epäsuoria kustannuksia aiheutuu mm.
kiinteistönhuollosta. (Ulrich & Eppinger 2012, 259.)

6 Valmistusmenetelmien kustannustenvertailu

Valmistusmenetelmiä, joiden kustannuksia vertailtiin työssä, olivat CNC-jyrsintä, 3D-
tulostus, hiekkavalu ja tarkkuusvalu. Vertailtaviksi menetelmiksi valikoitiin sellaiset
valmistusmenetelmät, joiden uskottiin olevan todennäköisiä vaihtoehtoja turvakote-
lon varsinaisessa valmistuksessa. Vertailuun valittiin tarkoituksella sellaisia menetel-
miä kuten 3D-tulostus, jonka tiedettiin soveltuvan parhaiten valmistusmääriltään
pienten erien tuotantoon. Tarkoituksena oli selvittää, mikä valmistusmenetelmä on
kannattavin milläkin valmistusmäärällä. Tuloksena saadut kustannukset koskevat ai-
noastaan turvakotelon ydinosa valmistuksessa syntyviä kustannuksia. Tuotteen
muut osat eivät sisälly kustannuksiin.

Turvakotelon ydinosan valmistuskustannukset saatiin selville internetistä löytyvillä kustannusten arviointityökaluilla. Tulokset kasattiin Excel-taulukoihin ja ne on esitetty liitteessä 1. Saadut tulokset ovat tarkkoja CNC-jyrsinnällä ja 3D-tulostukselle, koska niiden hinta-arviot perustuivat valmistettavan osan stl-tiedoston analysointiin ja koska ne olivat virallisia valmistus tarjouksia. Hiekka- ja tarkkuusvalun valmistuskustannusten hintatiedot ovat suuntaa-antavia. Niissä hinta-arvioiden perustana toimi valmistettavan osan paino ja arvio osan geometrisestä monimutkaisuudesta. Hinta-arvioita pyrittiin saamaan useammasta eri lähteestä jokaiselle valmistusmenetelmälle, jotta saataisiin aikaan luotettavampi tulos. Tarkkuusvalu on ainoa valmistusmenetelmä, jolle saatiin kustannustenarvio vain yhdestä lähteestä.

Valmistumäärä	CNC-jyrsintä (Hinta €/kpl)	3D-tulostus (Hinta €/kpl)	Hiekkavalu (Hinta €/kpl)	Tarkkuusvalu (Hinta €/kpl)
1	721,2	761,8	2336,0	N/A
10	215,2	730,0	240,9	N/A
100	102,6	698,7	31,6	N/A
500	102,7	719,0	13,0	N/A
1000	102,5	720,7	6,6	8,2
10000	102,5	720,7	4,4	8,2
100000	102,5	720,7	4,2	8,2

Taulukko 1. Valmistuskustannusten vertailu eri menetelmien välillä

Taulukosta 1 nähdään miten paljon yhden turvakotelon ydinosan valmistus maksaa eri valmistusmenetelmillä. Taulukossa 2 on nähtävissä kustannuksiltaan edullisin menetelmä kulloisellekin valmistusmäärälle. Yksittäiskappaleita valmistettaessa ovat CNC-jyrsintä ja 3D-tulostus melkein tasoissa ja menetelmän valinta perustuukin tässä tapauksessa enemmän siihen mistä materiaalista osa halutaan valmistaa. Jos valmistettava osa olisi geometrialtaan monimutkainen, voisi 3D-tulostus olla kannattavampi valinta. Tässä tapauksessa osat olivat kuitenkin sen verran yksinkertaisia muodoiltaan, että CNC-jyrsintä oli hieman halvempi vaihtoehto. Valmistusmäärän kasvaessa 10 kappaleeseen on CNC-jyrsintä edullisin vaihtoehto. On kuitenkin otettava huomioon, että hiekkavalu ei ole kustannuksiltaan kovinkaan paljoa kalliimpi vaihtoehto. Kun valmistusmäärät ovat 100 kappaletta tai enemmän, on hiekkavalu kustannuksiltaan selvästi paras valinta. Suuremmilla valmistus määrillä tarkkuusvalu on varteenotettava vaihtoehto, varsinkin jos tuotteelle halutaan parempaa pinnanlaatua ja tarkkoja yksityiskohtaisia muotoja.

Valmistumäärä	Kannattavin valmistusmenetelmä
1	CNC-jyrsintä/3D-tulostus
10	CNC-jyrsintä
100	Hiekkavalu
500	Hiekkavalu
1000	Hiekkavalu
10000	Hiekkavalu
100000	Hiekkavalu

Taulukko 2. Kannattavin valmistusmenetelmä

Kuviosta 7 nähdään 3dhubs sivuston antamat suositukset, siitä mikä valmistusmenetelmä kannattaa valita metallista valmistettavalle osalle. Kun näitä suosituksia vertaa taulukossa 2 oleviin tuloksiin nähdään, että ne ovat hyvin samanlaiset lukuun ottamatta hiekkavalun poissaoloa suositeltavista menetelmistä.

Recommended process reference table

No. of parts	1's	10's	100's	1000's
Plastic	3D Printing	3D Printing (consider: CNC)	CNC (consider: Injection Molding)	Injection Molding
Metal	3D Printing & CNC*	CNC (consider: 3D Printing)	CNC (consider: Investment Casting)	Investment or Die Casting

Kuvio 7. Suositeltu valmistusmenetelmä (Suositellun prosessin vertailutaulukko n.d.)

7 Turvakotelon suunnittelu

7.1 Lähtötilanne

Yrityksen tarpeesta lähteneen projektin tavoitteena oli suunnitella yrityksen antamien vaatimusten pohjalta säilytyslokero, tuottaa piirustukset siitä ja rakentaa prototyyppi. Turvakotelon tuli olla siten suunniteltu, että sen väkisin avaaminen olisi mahdollisimman hankalaa. Lokeron avausmekanismi tuli toimia elektronisella lukolla, joka aukeasi RFID-tunnisteella. Kotelon käyttöympäristö tulisi olemaan ulkona, mikä asetti omanlaisensa vaatimukset suunnittelulle.

Avainkorttien käyttö tuo mukanaan myös mahdollisuuden etäseurantaan ohjelmiston avulla. Se antaa mahdollisuuden tarkkailla avainkorttien käyttöä eli nähdään reaaliajassa esimerkiksi kuinka kauan hoitokäynti kestää. Pystytään näkemään myös millä kortilla on käyttöoikeudet mihinkäkin lukkoon ja niitä voidaan muuttaa tarvittaessa ohjelmistossa. Ohjelmisto-osio ei kuulu opinnäytetyön piiriin, vaan se on mahdollinen jatkokehityksen kohde tulevaisuudessa.

Avainlokeron tuotekehityksessä käytettiin soveltaen geneeristä tuotekehitys menetelmää (Ulrich & Eppinger) ja kiinnitettiin huomiota myös valmistettavuuteen DFMA-menetelmän oppien mukaisesti. Projekti alkoi siitä, kun saatiin TT Nyman:lta tietoja siitä, mitä ominaisuuksia tuotteella piti olla ja mikä sen käyttötarkoitus olisi. Saatiin myös lista suunnittelussa huomioitavista asioista ja luonnos, joka havainnollisti millaista ulkonäkö- ja muotoa tuotteelle haluttiin. Näiden tietojen pohjalta aloitettiin projekti, jossa ensimmäinen tehtävä oli vaatimuslistan (ks. taulukko 3) luominen toimeksiantajalta saatujen tietojen perusteella. Tämän jälkeen tehtiin markkinaselvitystä, jossa tutkittiin onko vastaavanlaisia tuotteita jo markkinoilla.

Kiinteät vaatimukset (KV)

Vähimmäisvaatimukset (VV)

Toivomukset (T)

Vaatuslista Avainsäilölle			
Muutos päivämäärä	Vaatimusten luokittelu	Vaatus	Muistiinpanot
10.8.2018	KV	Kannen tulee aueta saranalla alalaidasta tai liukumalla ylös.	
10.8.2018	VV	Avainsäilön sisäosan tulee olla terästä, valurautaa tai lujuudeltaan vastaavaa materiaalia.	
10.8.2018	KV	Riittävän tukeva kiinnitysseinään, ettei avainsäilöä saa irti rikkomatta seinärakenteita.	
10.8.2018	KV	Erillinen ulkokuori aukeavankannenpäälle, joka parantaa tuotteen yleisilmettä.	
10.8.2018	KV	Kannessa läpikuultava alue josta näyttö näkyy.	
10.8.2018	KV	Kaiken elektroniikan tulee olla sisäkuoren sisällä murtovarmuuden vuoksi, näyttöä ja virtalähdettä lukuun ottamatta.	
10.8.2018	KV	Lukituslappu toimii sähköservolla.	
10.8.2018	VV	Vesitiivis ettei elektroniikka kastu tai veden kestävä elektroniikka.	
10.8.2018	KV	Murtovarma.	
10.8.2018	KV	Pystytään kiinnittämään erimateriaaleista valmistettuihin ulkoseiniin.	
10.8.2018	VV	Helppo asentaa ja käyttää.	
10.8.2018	T	Huomaamaton, ei pistä silmään muusta ympäristöstä.	
12.8.2018	KV	Jos paristoista loppuu virta, on kansi saatava auki rikkomatta tuotetta.	

Taulukko 3. Vaatuslista

7.2 Markkinaselvitys

Markkinaselvityksen tarkoituksena oli selvittää onko vastaavanlaista tuotetta jo olemassa ja jos on, niin miten ne on toteutettu. Selvitystä tehtäessä löydettiin aluksi avainten säilytyslokeroita vain muutamalta eri valmistajalta ja ne olivat täysin mekaanisia. Vasta pidemmän etsimisen jälkeen, löytyi yksi avainlokeroita valmistava yritys, jonka tekemä avainten säilytyslokero on ominaisuuksiltaan ja toiminnollisuudeltaan hyvin lähellä meidän suunnitelmiamme.

Avainlokeroita vertailtaessa kiinnitettiin huomiota ratkaisuihin, joihin eri valmistajat olivat tuotteissaan päätyneet. Tarkasteltaviksi asioiksi valikoitui kysymyksiä, joita ei vielä projektin tuotteensuunnittelussa ollut ratkaistu. Kysymyksiä joihin pyrittiin saamaan vastauksia

- Mistä kohti tuote on saranoitu ja mihin suuntaan se aukeaa?
- Mistä materiaalista se on valmistettu?
- Miten seinään kiinnitys on toteutettu?
- Millainen lukkomekanismi tuotteessa on?
- Hintaluokka?

Saksalainen yritys abus valmistaa kuvioissa 8 näkyvää seinään kiinnitettävää abus 787 avainkaappia. Tuotteen myyntiargumentti on se, että se poistaa tarpeen piilottaa avaimia ovimatonalle tai kukkaruokkuun. Siinä on neljälukuinen koodilukko, johon saa itse laitettua haluamansa tunnusluvun ja tarvittaessa voi vaihtaa sen. Tuote on täysin mekaaninen, eikä se tarvitse paristoja. Runko on metallia ja kansi on sinkkiva-
luu. Lokero on saranoitu alareunastaan ja se aukeaa alaspäin.



Kuvio 8. Abus avainkaappi (Abus N.d.)

Sentinel PL998 on samaan käyttötarkoitukseen suunniteltu, kuin edellä mainittu abus 787. Sitä mainostetaan helppona ja turvallisena paikkana vaikkapa vara-avaimille. Kuvioista 9 nähdään että tuotteessa on muovikansi, joka suojaa numeronäppäimistöä sateelta.



Kuvio 9. Sentinel PL998 (Avainsäilö N.d.)

Supra S7 Big Box Keysafe on Kuviossa 10 oleva avaintensäilytyslokero, jossa voidaan säilyttää monta avainta ja kulkukorttia samanaikaisesti. Se on suunniteltu kestävään ja se soveltuu erityisesti yrityskäyttöön.



Kuvio 10. Supra (Keysafe N.d.)

Masterlockin valmistama turvakotelo 5403EURD (ks. Kuvio 11) avainten säilytykseen on ominaisuuksiltaan hyvin samanlainen, kuin ensimmäisenä esitelty abuksen 787. Ainoat eroavaisuudet näiden kahden välillä ovat kosmeettisissa eroavaisuuksissa ja asennusruuvien kiinnityspaikkojen sijoittelussa.



Kuvio 11. Masterlock 5403EURD (Masterlock 5401 N.d.)

Viimeinen markkinointiselvitykseen sisällytetty tuote on toinen Masterlockin valmistamista tuotteista (ks. Kuvio 12). Se on ainoa avainlokeron ominaisuuksiltaan lähellä opinnäytetyössä suunniteltavaa tuotetta. Siinä on elektroninen lukko, joka voidaan avata joko näppäilemällä tunnusluku tai käyttämällä kännykkään ladattavaa sovellusta. Sovellus muodostaa bluetooth-yhteyden puhelimen ja avainlokeron välille, jolloin lokero aukeaa ilman tunnusluvun näppäilyä. Sovelluksella voidaan jakaa tilapäisiä tunnuslukuja tai vaikka tiettyinä viikonpäivinä toimivia tunnuslukuja asuntoon sisäänpääsyä tarvitseville. Sovelluksessa voidaan spesifioida minä aikana mikäkin annettu tunnusluku on voimassa ja pääsyoikeuksia voidaan muuttaa tarvittaessa. Sovelluksesta voidaan myös nähdä kuka on avannut lukon ja mihin kellonaikaan se tapahtui.



Kuvio 12. Masterlock 5441EURD (Masterlock bluetooth 5441 N.d.)

Nimi	Tunnistaumistapa	Lukkotyypä	Paino (Kg)	Materiaali	Hinta €	Miten saranoitu	Paristo
Abus 787	Nelinumeroinen yhdistelmä lukko	Mekaaninen	0,85	Kotelo metallia ja kansi sinkkiä	39,9	Alareunasta	Ei
Sentinel PL998	10 numeroinen näppäimistö	Mekaaninen	0,5	Valettu metalli	49,5	Alareunasta	Ei
KeySafe S7 Big Box	11 numeroinen näppäimistö	Mekaaninen	1,7	N/A	65,06	Alareunasta	Ei
MasterLock 5403EURD	Nelinumeroinen yhdistelmä lukko	Mekaaninen	0,55	Metalli	45,95	Alareunasta	Ei
MasterLock 5441EURD	10 numeroinen näppäimistö sekä bluetooth yhteys	Elektroninen	1,02	Sinkki	189,22	Alareunasta	Kyllä

Taulukko 4. Markkinoilla olevien tuotteidenvertailu

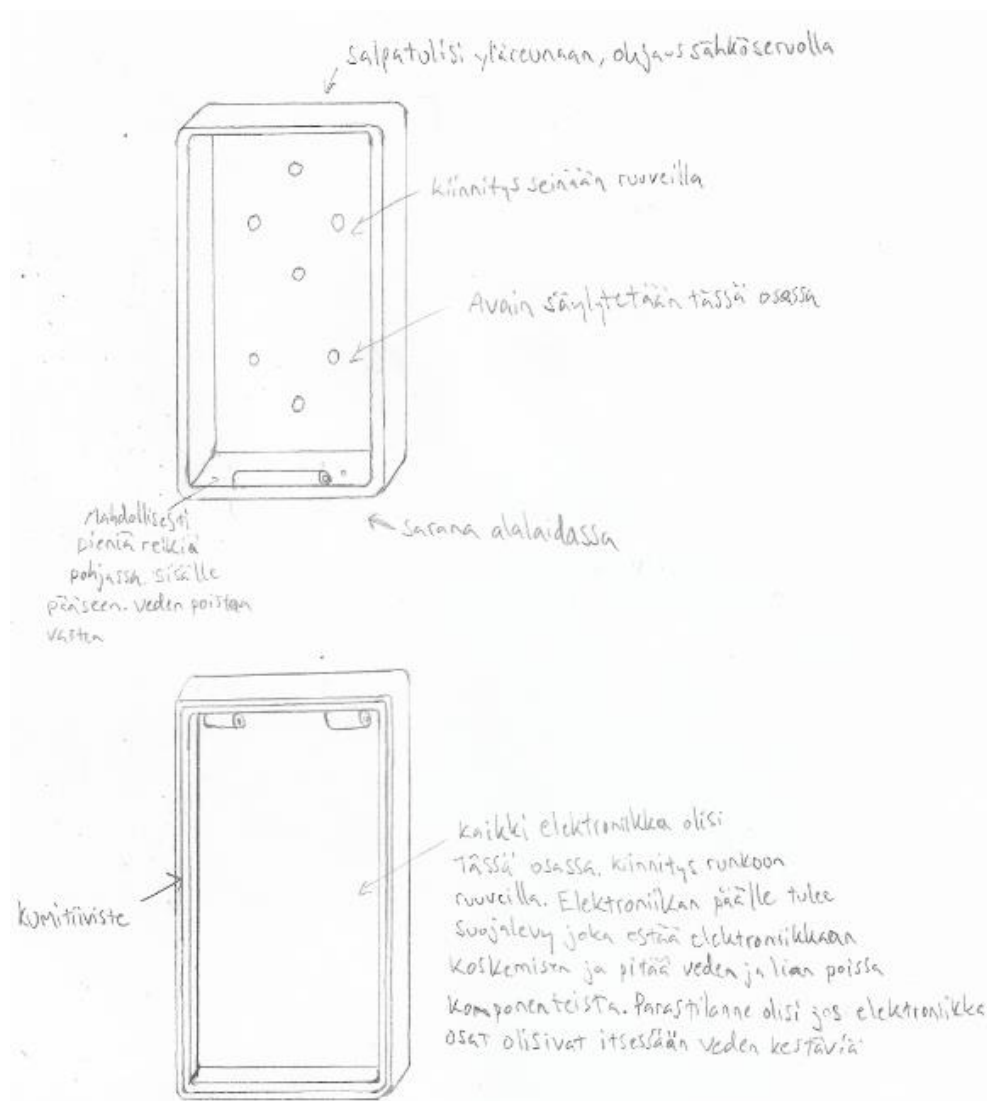
Taulukosta 4 nähdään, että avainlokerot ovat ominaisuuksiltaan ja hinnoiltaan lähellä toisiaan. Ainoana poikkeuksena on MasterLockin 5441EURD. Kaikilla valmistajilla, tuotteiden paikalleen asennusta varten oli lokeroitten takaseinissä neljä ruuvireikää. Ainoa eroavaisuus kiinnityksissä oli ruuvireikien sijoittelu. Osalla valmistajista, reiät olivat sijoitettu kulmiin ja osalla ne olivat keskellä ylä- ja alareunassa sekä keskellä vaakareunoissa. Valmistajien sivuilta löytyi kaiken kaikkiaan hyvin niukasti tietoja tuotteista. Valmistajien ja jälleen myyjien antamissa tiedoissa oli joissain tapauksissa eroavaisuuksia. Markkinaselvityksestä oli kuitenkin hyötyä. Sen avulla saatiin selville miten vastaavanlaiset tuotteet on tehty. Saatiin myös osviittaa siihen miten lokeron kansi kannattaa saranoita.

7.3 Konseptin suunnittelu

Konseptien suunnittelu alkoi toimeksiantajan antamien tietojen ja markkina selvityksestä saatujen tietojen pohjalta. Lokeron mittoja ei tässä vaiheessa vielä mietitty, koska ei ollut varmuutta siitä minkälainen lukitusmekanismi tuotteeseen tulee. Lukitusmekanismin mitat vaikuttavat merkittävästi tuotteen mittoihin.

Lokeroon tulevan kannen toimintamekanismin tuli olla toimeksiantajan vaatimusten mukaan, joko alareunastaan saranoitu tai liukukansi. Liukukansi karsiutui kuitenkin vaihtoehtona, koska sen kanssa toimivat lukot olivat liian isoja. Komponenteista löytyi yksi lukko, joka olisi voinut toimia liukukannen kanssa, mutta komponenteista kasaaminen ei tässä tapauksessa muista syistä toteutunut. Markkinaselvityksessä löydetty tuotteet olivat kaikki alareunastaan saranoituja, mikä myös puolsi päätöstä saranan sijoittamiseen alareunaan.

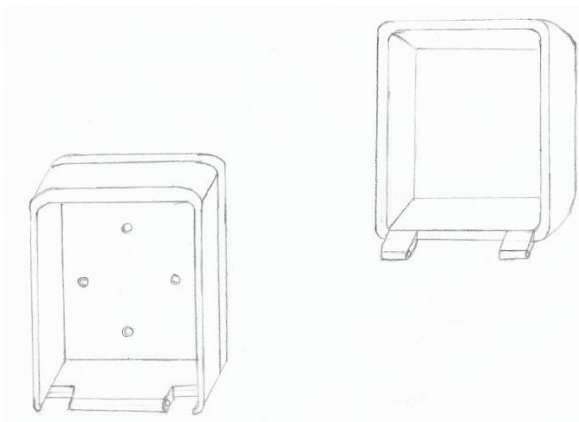
Tuotteen tuli olla mahdollisimman murtovarma. Tämän vuoksi sarana täytyi suunnitella siten, ettei sitä pysty purkamaan ilman voimakeinoja. Sarana on kaksi kappaletta toisiinsa yhdistävä nivel, joka tässä tapauksessa on pyörötanko. Jotta pyörötanko saadaan asennettua murtovarmasti, täytyi lokerosta tehdä moniosaisempi. Kuvio 13 on ensimmäisiä luonnoksia lokerosta. Ydinosaan jonka sisään avain tulee, koostuu kannesta ja rungosta. Näiden yhdistämiseen käytettäisiin saranaa. Lokeron lukitusmekanismi tulisi yläosaan ja lokero kiinnitettäisiin haluttuun paikkaan ruuveilla, rungon takaseinämässä olevista rei'istä. Kanteen kiinnitettäisiin liimaamalla muovinen kuori, joka toimii sateensuojana ja parantaisi tuotteen ulkonäköä.



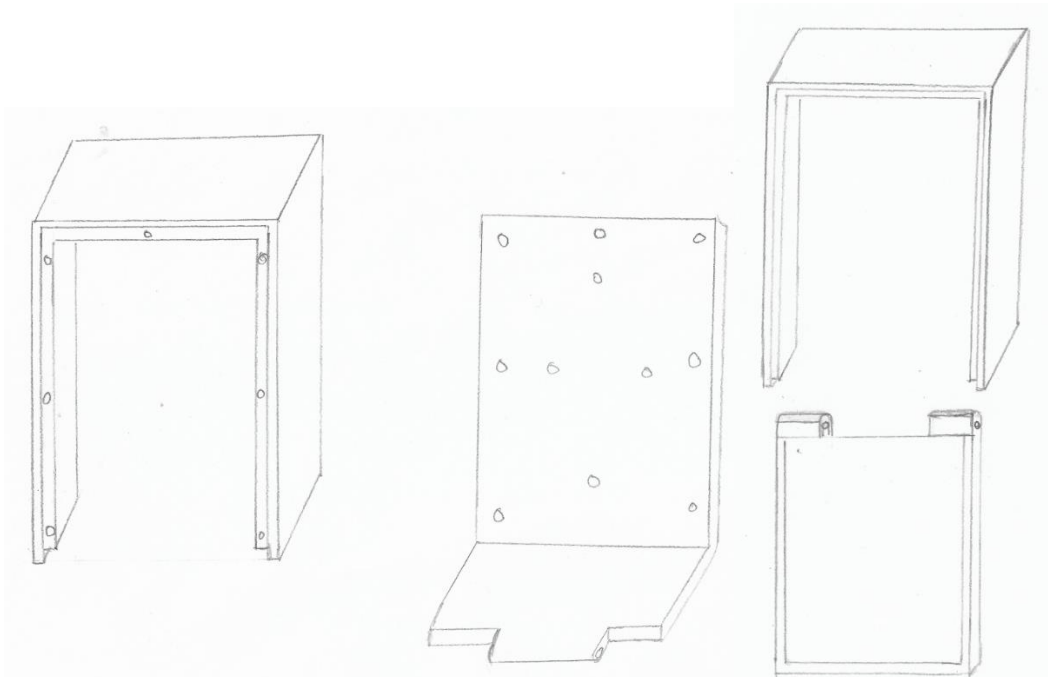
Kuvio 13. Ensimmäinen luonnos

Ensimmäisen konseptin saranamekanismia tarkemmin tarkasteltaessa huomattiin, ettei kannen ja rungon yhdistäminen ole mahdollista. Yhdistämiseen käytettävää

pyörötankoa ei olisi pystytty asentamaan. Tästä havainnosta saatiin ajatus muuttaa tuotteen rakennetta kolmiosiseksi. Näin saranana toimiva pyörötanko saadaan asennettua, muiden osien kasauksen yhteydessä. Rakenteen muuttaminen merkitsi sitä, että piti keksiä miten eri rungonosat saadaan liitettyä toisiinsa. Erilaisia kiinnitysmenetelmiä tutkittua päädyttiin siihen tulokseen, että paras tapa osien yhteen liittämiseen tässä tapauksessa olisi pulttien käyttäminen. Lukon kiinnittämistä varten, metallirunkoon piti joka tapauksessa tehdä reiät ja kierteet pultteja varten. Tästä syystä ei muutaman uuden reiän tekoa pidetty merkittävänä ongelmana, vaikka se lisäisi hieman työstökustannuksia ja pidentäisi tuotteen kasausaikaa.



Kuvio 14. Konsepti luonnos V.1



Kuvio 15. Konsepti luonnos V.2

Kun ensimmäisen konseptin puutteet huomattiin, aloitettiin muiden konseptien suunnittelu. Piirrettiin kaksi uutta konseptia. Näistä kahdesta ovat Kuviot 14 ja 15. Kummassakin konseptissa, ydinosa jossa avainta säilytetään, koostuu kolmesta osasta. Erot konseptien välillä olivat lähinnä kansiosan muodoissa ja ulkonäössä. Näiden konseptien teon jälkeen, aloitettiin 3D-mallintaminen. Lopullinen konsepti selkiytyi kuitenkin vasta silloin, kun osien yhteen sopivuutta ja toimivuutta päästiin tarkastelemaan mallinnusohjelmalla.

7.4 Lukon valinta

Tuotteeseen tarvittiin elektroninen lukko, joka aukeaisi RFID-tunnisteella. Lukko ja RFID-lukija oli tarkoitus olla paristolla toimivia, koska kiinteän sähkön vetäminen laitteelle toisi lisäkustannuksia. Lokero ei välttämättä ole kovinkaan montaa vuotta aina yhdessä paikassa, joten verkkoon kytkemistä ei pidetty järkevänä ratkaisuna. Lukko voi olla täysin valmis kaupallisen valmistajan tekemä tai osista kasattu.

Elektronisen RFID-tunnisteella toimivan avausmekanismin toteuttamista varten tarvitaan ainakin seuraavat komponentit:

- RFID-lukija
- Pienoistietokone/hallintayksikkö
- Elektronisesti ohjattulukko
- Virran syöttöparistoista
- Muuntaja

Komponentti valinta	Tuote	Käyttöjännite	Hinta
RFID-lukija	SparkFun RFID Starter Kit 125 kHz	2.8-5V DC	39,9
Pienoistietokone	SparkFun ESP32 Thing	2.2-3.6V DC	29,9
Elektronisesti ohjattulukko	Lukkomallinen solenoidi 12 V DC	9-12V DC	28,89
Virran syöttö	Paristokotelo		4,9
Muuntaja	Säädettävä Step-Up DC-DC-muuntaja		4,9
		Yhteensä	108,49

Taulukko 5. Komponenttien valinta

Saatavilla olevia komponentteja tutkittaessa, ei löytynyt montaa käyttötarkoitukseen sopivaa osaa. Elektronisesti ohjattuja lukkoja löytyi ainoastaan yksi, joka voisi toimia tässä käyttö kohteessa. Muita komponentteja löytyi elektroniikkaharrastajien sivustoilta kuten sparkfun.com sivustolta. Komponenttien hinnat olivat kuitenkin kalliita, (ks. taulukko 5.) verrattuna mahdolliseen valmiiseen kaupalliseen ratkaisuun. Asia joka komponenteista kasaamisessa myös arvelutti, oli se miten ne saadaan siististi

sopimaan avainlokeron sisälle ilman että esim. kosteus ei muodosta ongelmia. Tämän ongelman ratkaisu olisi vaatinut jonkinlaisen roiskevesitiiviin kotelon tekemistä, johon kaikki elektroniikka saataisiin lukkoa lukuun ottamatta. Komponenteista kasaaminen olisi myös vaatinut tietokoneella ohjelmointia. Myöskään suurempia valmistusmääriä ajatellen, komponenteista kasaaminen ei ole järkevää, jos tarjolla on paremmin toimiva kaupallinen valmisvaihtoehto. Yllä mainittujen seikkojen vuoksi päädyttiin käyttämään kaupallista valmista ratkaisua.

Lukon valinnassa kiinnitettiin huomiota seuraaviin asioihin

- hinta
- lukon ulkoiset mitat
- aukeaa elektronisesti RFID-tunnisteella ja saatava auki vaikka virta on lopussa
- saatavuus
- tarpeeksi luja, käyttökohde huomioiden
- käyttölämpötila
- käytettävyys.

Lukon nimi	Mitat mm (Lev, Kor, Syv)	Hinta	IP-luokitus/Käyttölämpötila	Asennettavuus	Saatavuus
Tronic Mifare	110, 120, 24	221	IP65/ -5 °C...+ 70 °C	Kohtalainen	OK
KEYA KTS RFID	68.6, 90, 32	108	Sisäkäyttöön	Kohtalainen	OK
Armstrong	57.6, 118.1, 19	58.5	N/A	Huono	N/A
Dormakaba evolo 2110	100, 125, 25	N/A	0 °C...+ 50 °C	Huono	OK
PSLOCKS BEETLE 3V	40, 40, 12	N/A	N/A	Hyvä	Vain yli 100kpl erissä
PSLOCKS SOLO13	60, 60, 20	N/A	N/A	Hyvä	Vain yli 100kpl erissä
WOOCH Cabinet Lock Kit	N/A	49.72	-30 °C...+ 80 °C	Hyvä	OK

Taulukko 6. Lukkovaihtoehtoja

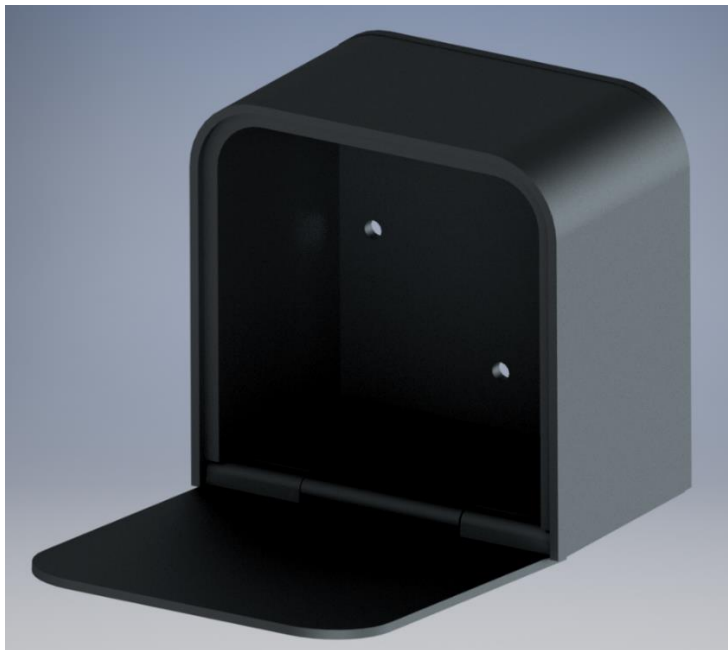
Taulukossa 6 olevat neljä ylintä lukkoa karsiutuivat pois, niiden suhteessa suuren koon takia. Niiden asentaminen olisi vaatinut lokeronmittojen kasvattamista suhteetoman paljon. Näiden lukkojen käyttökohteiksi on ajateltu pukukaapit tai vastaavanlaiset kohteet, joissa lukon koolla ei ole niin suurta merkitystä ja joissa ovi on sara-noitu sivulta. Myös se että lukot oli tarkoitettu sisäkäyttöön, oli karsiva tekijä.

Lukko valinnassa päädyttiin Wooch cabinet lock:kittiin sen hinnan, saatavuuden ja ilmoitetun käyttölämpötilan perusteella. Lukkoon pystyi myös syöttämään virtaa ulkoisesta lähteestä, minkä avulla lukon saa auki vaikka paristot ovat tyhjä. Lukko varoittaa äänimerkillä jos virta on vähissä. Vaikka lukosta ei ollut ulkoisia mittoja ilmoitettuna, pystyi kuvista päättelemään että se on mitoiltaan lähellä PSlocksin solo13:sta. Sen lukitusmekanismi oli myös hyvin samankaltainen kuin PSlocksin lukoissa. Jos PSlocksin lukkoja olisi saanut tilattua yksittäiskappaleina, olisi päädytty käyttämään

jompaakumpaa niistä. Niiden etuina oli pienikoko ja hyvä asennettavuus. Niihin oli myös saatavilla lisäosia, joista olisi voinut olla projektissa hyötyä kuten esim. erillinen ulkoinen antenni.

7.5 3D-malli

Osien mallinukseen käytettiin Autodesk Inventor Professional 2019 ohjelmaa. Projektin tavoitteena oli luoda osista 3D-mallit, joista tulostettaisiin prototyyppi JAMK:ista löytyvillä 3D-tulostimilla. Osista tehtiin myös piirustukset, joiden avulla olisi helppo jatkaa tuotteen jatkokehitystä. Konseptien pohjalta mallinnettiin niitä kumpaakin yhdistelevä kokoonpanon (ks. kuvat 15,16 ja 17). Osiensuunnittelussa käytettiin apuna valuatlaksen valutuotteiden suunnitteluopasta. Sieltä löytyviä oppeja käytettiin varsinkin silloin, kun tehtiin päätöksiä seinämäpaksuuksien, pyöristysten ja muotojen suunnittelun suhteen. Mitään standardia ei löytynyt, joka olisi käsitellyt säilytyslokeroiden turvallisuusvaatimuksia tai lujuusominaisuuksia. Kotelon pitäisi siis käytännössä olla vain sen verran luja, että sen avaaminen väkisin on työläämpää, kuin muut asuntoon murtautumisen menetelmät.



Kuvio 15. Ensimmäinen mallinnus

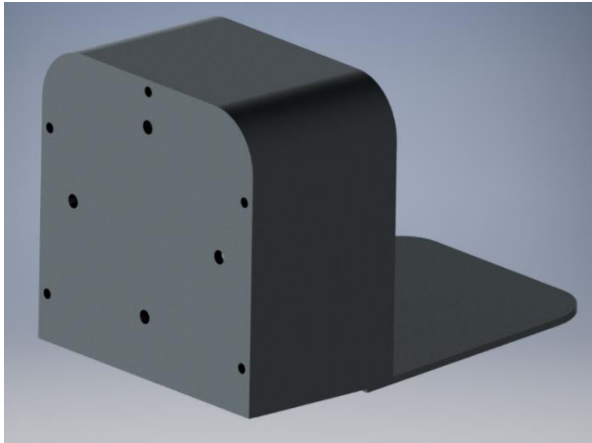
Konsepti koostui kolmesta pääkomponentista (ks. kuvio 21). Kannen ja takaosan yhdisti toisiinsa pyörötanko. Se laitettaisiin paikoilleen kasauksen yhteydessä, ennen kuin taka- ja sivuosa on asennettu paikoilleen, koska sivuosa estää sen liukumisen

ulos. Sivuosaan tehtiin reunus, jotta kun lokero on kiinni, kansi- ja sivuosa muodostavat yhtenäisen sileäntason. Se vaikeuttaisi tuotteen väkisin avaamista, koska kannen ja sivuosan väliin jäävä rako olisi sen verran pieni, ettei siihen mahdu työkalua jolla sitä pystyisi vääntämään auki. Samankaltainen reunus oli myös kaikissa markkinaselvityksen tuotteissa.



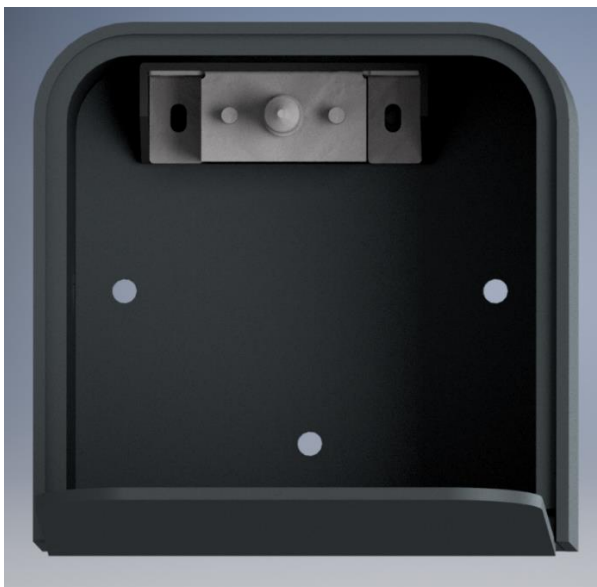
Kuvio 16. Hajotettu kuva lokeron ensimmäisestä versiosta

Taka- ja sivuosa liitettäisiin toisiinsa pulteilla. Se vaikutti parhaalta ratkaisulta verrattuna muihin vaihtoehtoihin, kuten kiilatappien tai muiden vastaavien puristusliitosten käyttämiseen. Kuviossa 17 näkyy 5 pienempää 4 mm reikää, joihin pultit ruuvataan. Neljä 7 mm reikää on tarkoitettu lokeron seinään asentamista varten. 4 mm pultteihin päädyttiin, koska niitä pidettiin pienimpinä mahdollisimpina, jotka kuitenkin kestäisivät vaaditut rasitukset. Koska käytettiin 4 mm pultteja, sivuosalle kertyi seinämäpaksuutta 8 mm. Paksumpien seinämien vuoksi, piti myös sivuosan pyörityksiä kasvattaa. Aluksi se ei vaikuttanut ongelmalta, mutta pian huomattiin sen kasvattavan tarpeettoman paljon tuotteen leveyttä, koska lukkokoneistoa ei voi asentaa pyöristettyyn osaan (ks. kuvio 18). Tämä aiheutti tarpeetonta tyhjää tilaa ja lisäsi tuotteen painoa.



Kuvio 17. Takaperspektiivi

Kun osat oli saatu mallinnettua ja niistä oli kokoonpano tehtynä, mallinnettiin myös lukon komponentit. Tämä tehtiin siksi, että pystyttäisiin tietokoneella tarkastelemaan miten osat sopivat yhteen ja jotta voitaisiin päättää niiden tarkasta asemoinnista ennen varsinaisen prototyypin valmistusta.



Kuvio 18. Etuperpektiivi

Sivu- ja takaosan kiinnitys pulteilla vaikutti huonolta ratkaisulta, mitä pidemmälle projektissa edettiin. Sille yritettiin mieltä vaihtoehtoisia ratkaisuja. Kunnes keksittiin, että voitaisiin käyttää tuotteen seinään kiinnitysruuveja korvaamaan ne 5 pulttia, joilla sivu- ja takaosat oli alun perin tarkoitus kiinnittää toisiinsa. Kuten kuvio 19 voi nähdä, tämä ratkaisu muutti varsinkin sivuosan rakennetta. Osat liittyvät toisiinsa ruuveilla, joilla kokokotelo kiinnitetään seinään. Rakennetta näin muuttamalla, saa-

tiin yksinkertaistettua tuotteen kasaamista ja vähennettyä valmistukseen käytettävien vaiheiden määrää. Pystyttiin myös kaventamaan tuotteen leveyttä 20 mm:iä ja ohentamaan seinämäpaksuutta, jolloin tuotteen paino keveni 0,788 kg alkuperäiseen verrattuna. Arviot painoista saatiin mallinnusohjelmasta ja käytettynä materiaalina oli valurauta.

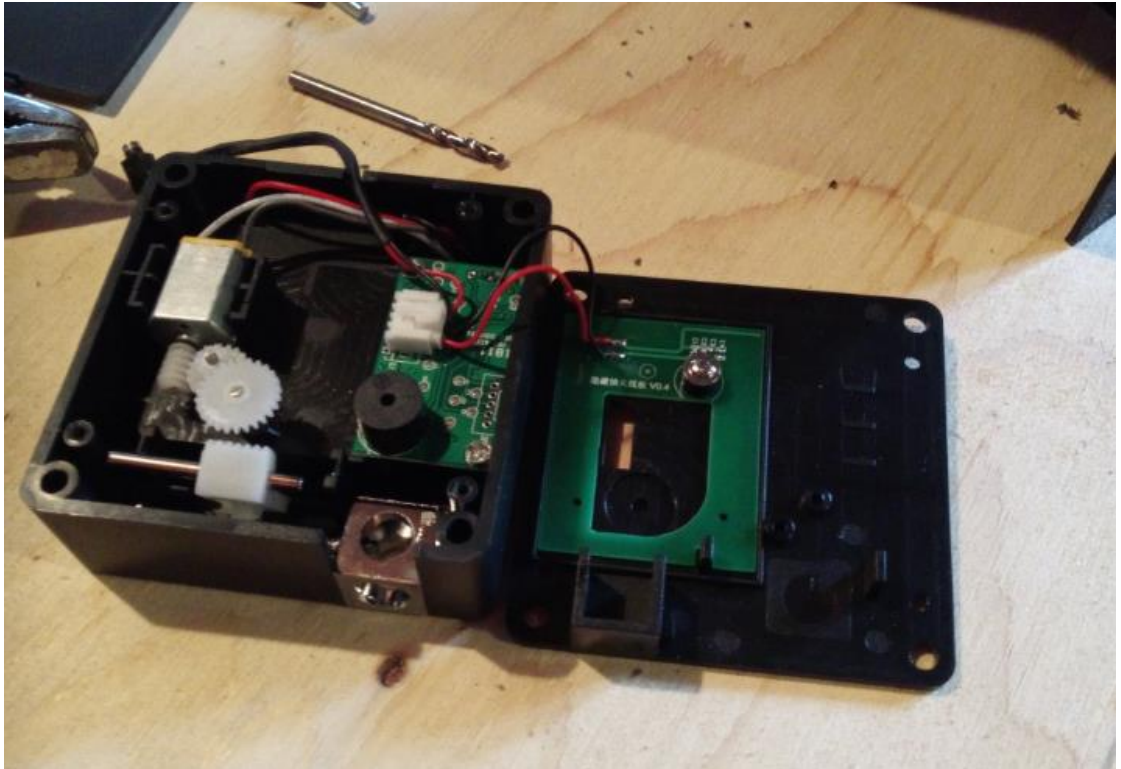


Kuvio 19. Hajotettu kuva valmiista lokerosta

7.6 Prototyypin valmistus

Prototyypin valmistaminen tapahtui 3D-tulostamalla. Tulostukseen käytettiin JAMK:in rajakadun toimipisteellä olevia Felix 3D-tulostimia. Tulostimet käyttivät tulostusmateriaalina PLA eli polyaktidi nimistä muovia. Felix-tulostumien ohjaukseen käytettiin repetier host-nimistä ohjelmaa.

Ennen tulostamista, tulostettavat osat tallennettiin tulostimen ymmärtämään stl-tiedostomuotoon. Tiedostot ladattiin repetier host-ohjelmaan, jossa olevalla viipalointi ohjelmalla luotiin tulostukseen tarvittava g-koodi. Tietokoneella luotiin yhteys tulostimeen, minkä jälkeen tulostaminen voitiin aloittaa. Kaikki osat tulostettiin lukuun ottamatta saranana toimivaa pyörötankoa, koska se oli kätevämpi ostaa kaupasta kuin tulostaa.



Kuvio 20. Lukkokoneisto

Kun osat oli saatu tulostettua, oli vuorossa prototyypin osien kasaaminen. Ensimmäiseksi tehtiin kierteet pultteja varten, joilla lukkukoneisto ja sen vastin osa kiinnitettiin runkoon. Tämän jälkeen irrotettiin kuviossa 20 oikeilla puolella oleva antenni. Prototyypissä kaikki osat ovat muovisia, joten RFID-antenni olisi toiminut alkuperäisellä paikallaakin. Varsinaisessa tuotteessa osat ovat metallista, mikä estää antennin toiminnan. Prototyypin haluttiin olevan mahdollisimman lähellä lopullista tuotetta, minkä vuoksi antennin paikkaa siirrettiin. Antennin johdot katkaistiin ja se irrotettiin alustasta. Se siirrettiin kannen ulkopuolelle, minkä jälkeen sen johdot juotettiin takaisin yhteen. Seuraavaksi osat kasattiin yhteen. Kosmeettisena elementtinä toimiva muovikuori kiinnitettiin kanteen takiaisnauhalla. Lopullisessa versiossa muovikuoren kiinnitys tapahtuisi liimaamalla.

Prototyypin kasaamisessa ei haluttu käyttää mitään liian pysyviä kiinnitys ratkaisuja, koska sen haluttiin olevan helposti purettavissa esittelyä varten. Valmis prototyyppi näkyy kuviossa 21. Prototyyppi toimi testattaessa odotetusti, eikä mitään tuotteen toimintaan vaikuttavia vikoja havaittu.



Kuvio 21. Valmis prototyyppi

8 Pohdinta

Tavoitteena opinnäytetyössä oli turvakotelon suunnittelu ja prototyypin valmistus TT Nyman:in toimeksiannosta. Tuotteen suunnittelussa tuli huomioida yritykseltä saatuja vaatimuksia ja käyttöympäristön asettamia ehtoja. Työssä kartoitettiin myös erilaisia valmistusmenetelmiä, joita kotelon valmistuksessa voitaisiin käyttää. Tarkoituksena oli selvittää, mikä valituista menetelmistä on kustannuksiltaan edullisin vaihtoehto kulloisellakin valmistusmäärällä.

Projektin alussa asetetut tavoitteet saavutettiin. Prototyypin, 3D-mallien ja valmistuspiirustusten avulla pystytään tuotteen kehittämistä jatkamaan haluttuun suuntaan. Valmistuspiirustukset jätettiin opinnäytetyön tuloksista pois toimeksiantajan pyynnöstä. Työssä tehtyä valmistuskustannusten vertailua pystytään hyödyntämään mahdollisissa tulevissa projektin vaiheissa. Sitä voidaan käyttää apuna edullisimman

valmistusmäärän ja valmistusmenetelmän valinnassa, jos ollaan esim. tekemässä lisää prototyyppisiä laajempaa testausta varten tai valmistamassa ensimmäistä tuotantoerää.

Valmistuskustannuksien vertailusta saatuja tietoja voidaan käyttää myös silloin, kun tehdään alustavaa kustannusarviota kokonaistuotantokuluista. Valmistuskustannusten hintatiedot saatiin netistä löytyviltä sivustoilta, joilla voi tilata itse suunniteltuja osia tai saada suuntaa antavaa arvioita valmistuskustannuksista. CNC-jyrsinnälle ja 3D-tulostamiselle saatuja hintoja voidaan pitää tarkkoina, koska ne ovat virallisia tarjouksia. Tarjoukset saatiin, valmistuksessa käytettävän materiaaliin ja valmistettavan osan 3D-tiedoston analysoinnin perusteella. Hiekkavalun ja tarkkuusvalun hinnat eivät ole virallisia hintatarjouksia, vaan niiden hintatiedot ovat suuntaa-antavia arvioita. Niille saadut valmistushinnat perustuvat valmistettavan kappaleen painoon ja arvioon osan geometrisesta monimutkaisuudesta. Tarkkuusvalu on ainoa valmistusmenetelmä, jolle saatiin hinta-arvio vain yhdestä lähteestä.

Jatkoa ajatellen, jos turvakotelo valmistetaan yli 100 kappaletta, kannattaa harkita lukkokoneiston vaihtamista. Lukon valintaa tehtäessä ei voitu käyttää pslock-lukkoja, koska niiden minimi tilausmäärä on 100 kpl. Jos valmistusmäärät ovat 100 kappaletta tai yli, voi pslock-lukko olla paras vaihtoehto, koska ne ovat lähes puolet pienempiä verrattuna prototyyppissä käytettyyn lukkoon. Näin voitaisiin pienentää kotelon kokoa ja vähentää valmistuskustannuksia.

Jatkokehitystä ajatellen turvakotelossa olevan elektroniikan kastuminen roiske- tai kondenssiveden vuoksi voi aiheuttaa ongelmia, ainakin kotelon ulkopuolella olevan antennin osalta. Ennen ulkotestausta kannattaisi herkät osat suojata vettä hylkivällä pinnoitteella. Ulkotesteissä tulisi selvittää

- pääseekö kotelon sisälle vettä
- miten hyvin seinään kiinnitys mekanismi käytännössä toimii
- toimiiko prototyyppi odotetulla tavalla
- pärjääkö kotelossa oleva elektroniikka ulkona kosteudessa ja pakkasessa.

Lähteet

Abus avainkotelo. n.d. Abus-yrityksen verkkosivustolla. Viitattu 2.10.2018.

<https://www.abus.com/us/Home-Security/KeyGarage/787>

Avainsäilö. n.d. Avainsäilö sentinel pl998 apsafe.fi verkkosivustolla. Viitattu

4.10.2018. <http://kauppa.apsafe.fi/avainsailo-sentinel-pl998-p-1178.html>

Boothroyd, G., Dewhurst, P., Knight, W. 2011. Product Design for Manufacture and Assembly. 3. p. USA: Taylor and Francis Group, LLC.

CNC-jyrsintä valmistusmenetelmänä. n.d. 3D Hubs-yrityksen verkkosivustolla. Viitattu

5.2.2019. <https://www.3dhubs.com/knowledge-base/cnc-machining-manufacturing-technology-explained>

CNC-jyrsinän hinta. n.d. CNCxpress-yrityksen verkkosivustolla. Viitattu 2.2.2019.

<https://cncxpress.com/cnc-machining-price/>

Hiekkavalu. n.d. Custompart.Net-yrityksen verkkosivustolla. Viitattu 5.10.2018.

<https://www.custompartnet.com/wu/SandCasting>

Honkavaara, T. 2014. Valutuotteiden suunnitteluopas ValuAtlas.fi verkkosivustolla.

Viitattu 2.10.2018. <http://www.valuatlas.fi/?q=node/385>

Ihalainen, E., Aaltonen, K., Aromäki, M., Sihvonen, P. 2011. Valmistustekniikka. 14. p. Otatieto/Gaudeamus, Helsinki University Press.

Kustannusten syntyminen CNC-jyrsinnässä. n.d. Custompart.Net-yrityksen

verkkosivustolla. Viitattu 13.12.2018. <https://www.custompartnet.com/wu/milling>

Mastelock bluetooth 5441. n.d. Mastelock-yrityksen verkkosivustolla. Viitattu.

8.10.2018. <https://www.masterlock.eu/home-personal/product/5441EURD>

Masterlock 5401. n.d. Masterlock-yrityksen verkkosivustolla. Viitattu 8.10.2018.

<https://www.masterlock.eu/home-personal/product/5401EURD>

Medics24. n.d. Medics24 internet-sivusto. Viitattu 16.9.2018.

<https://medics24.com/fi/>

Metallisten osien 3D-tulostuksen esittely. n.d. 3D Hubs-yrityksen verkkosivustolla.

Viitattu 3.12.2018. <https://www.3dhubs.com/knowledge-base/introduction-metal-3d-printing>

Mitä on RFID? n.d. RFIDLabin verkkosivusto. Viitattu 20.9.2018.

<http://www.rfidlab.fi/rfid-teknologia/mita-on-rfid/>

Opas 3D-tulostamiseen. n.d. 3D Hubs-yrityksen verkkosivustolla. Viitattu 1.12.2018.

<https://www.3dhubs.com/guides/3d-printing/>

RFID ja NFC. n.d. Toptunniste-yrityksen verkkosivustolla. Viitattu 21.9.2018.

<https://toptunniste.fi/rfidnfc-teknikka/>

S7 iso avainkotelo. n.d. Keysafe-yrityksen verkkosivustolla. Viitattu 7.10.2018.

<https://keysafe.co.uk/s7-big-box-keysafe.html>

Stl-formaatin määrittäminen. n.d. Aipwork-yrityksen verkkosivustolla. Viitattu 2.2.2019.
<https://aipworks.fi/3d-tulostus/tietoa/stl-formaatti/>

Sideaineenruiskutus menetelmän esittely. n.d. 3D Hubs-yrityksen verkkosivustolla. Viitattu 3.12.2018. <https://www.3dhubs.com/knowledge-base/introduction-binder-jetting-3d-printing>

Suosittelun prosessin vertailutaulukko. n.d. 3D Hubs-yrityksen verkkosivustolla. Viitattu. 25.4.2019. <https://www.3dhubs.com/knowledge-base/3d-printing-vs-cnc-machining>

Tarkkuusvalu prosessi. n.d. Blayson-yrityksen verkkosivustolla. Viitattu 16.12.2018. <https://www.blayson.com/technical/investment-casting-process>

Tuomaala, J. 1995. Luova koneensuunnittelu. Tampere: Tammertekniikka.

Ulrich, K.T.& Eppinger, S.D. 2012. Product Design and Development. 5. p. New York, USA: McGraw-Hill.

Valtanen, E. 2012. Tekniikan taulukkokirja. 19. p. Jyväskylä: Genesis-Kirjat.

Liitteet

Liite 1. Valmistuskustannusten vertailu eri valmistusmenetelmien välillä

Valmistuskustannusten arviointi CNC-jyrsinnässä			
Materiaali			
Alumiini 6061 T6			
Valmistusmäärä Kansi	Hinta \$/kpl (3dhubs)	Hinta \$/kpl (xometry)	Hinta keskiarvo
1	142,3	158,6	150,4
10	39,9	38,2	39,0
100	20,3	13,1	16,7
500	14,7	18,5	16,6
1000	13,4	19,5	16,5
Valmistusmäärä Sivulevy			
1	199,2	528,2	363,7
10	69,8	155,8	112,8
100	42,5	65,7	54,1
500	34,7	73,6	54,1
Valmistusmäärä Takalevy			
1	198,0	393,4	295,7
10	69,0	110,7	89,9
100	45,7	43,1	44,4
400	38,5	50,6	44,5
Valmistusmäärä	Hinta €/kpl (3dhubs)	Hinta €/kpl (xometry)	Hinta keskiarvo
1	480,5	962,0	721,2
10	159,2	271,3	215,2
100	96,6	108,6	102,6
500	78,2	127,1	102,7
1000	77,1	128,0	102,5
CNC-jyrsintä on edullisinta kun valmistusmäärät ovat yli 100 kpl.			Valuutan vaihtokurssi 0,8906
Osien edullisin valmistushinta on 102,5 €			
Lähteet:			
3dhubs.com	https://www.3dhubs.com/manufacture/		
xometry.com	https://get.xometry.com/quote?_ga=2.84857232.88141025.1557330071-1053277693.1550482785		

Valmistuskustannusten arviointi 3D-tulostuksessa binder jetting menetelmällä				
Materiaali				
Steel/bronze 420ss/br				
Valmistusmäärä	Hinta € (all3dp)	Hinta €/kpl (all3dp)	Hinta € (sculpteo)	Hinta €/kpl (sculpteo)
1	850,1	850,1	847,5	847,5
10	7954,4	795,4	8050,8	805,1
100	77744,6	777,4	78812,4	788,1
500	388665,8	777,3	394062,0	788,1
1000	782497,5	782,5	788124,0	788,1
Valmistusmäärä	Hinta € (exone)	Hinta €/kpl (exone)	Hinta keskiarvo €/kpl	
1	587,9	587,9	761,8	
10	5894,2	589,4	730,0	
100	53048,2	530,5	698,7	
500	295801,7	591,6	719,0	
1000	591603,3	591,6	720,7	
Binder jetting on edullisinta kun valmistusmäärät ovat yli 100 kpl.				
Osien edullisin valmistushinta on 698,7 €				
Lähteet:				
all3dp.com	tps://craftcloud.all3dp.com/?utm_source=all3dp&utm_campaign=footer			
sculpteo.com	www.sculpteo.com/en/upload/			
exone.com	ww.exone.com/Lets-Get-Started			

Valmistuskustannusten arviointi hiekkavalu menetelmää käytettäessä.						
Materiaali						
Alumiini 355 T7						
Valmistusmäärä	Hinta \$ Materiaali (custompartnet)	Hinta \$ tuotanto (custompartnet)	Hinta \$ työstö (custompartnet)	Kokonaishinta €	Hinta €/kpl	Hinta keskiarvo €/kpl
1	3	14	2606	2336,0	2336,0	2336,0
10	19	80	2606	2409,1	240,9	240,9
100	174	770	2606	3161,6	31,6	31,6
500	865	3829	2606	6501,4	13,0	13,0
1000	1729	4592	4263	9426,1	9,4	6,6
10 000	17274	30188	7344	48810,2	4,9	4,4
100 000	172715	301833	27903	447482,9	4,5	4,2
Materiaali						
Hiiliteräs						
Valmistusmäärä	Hinta \$ Työstö (iron-foundry)	Hinta €/kpl (iron-foundry)	Valuutan vaihtokurssi 0,8906			
N/A, mutta suurempi kuin 1000	1500	3,8				
N/A = not available						
Lähteet:						
iron-foundry.com	http://www.iron-foundry.com/cast-steel-price-calculator.html					
	http://www.iron-foundry.com/mould-pattern-cost-cast-iron-sand-castings-steel-castings.html					
	http://www.iron-foundry.com/cast-iron-prices-pound-kilogram-ton.html					
custompartnet.com	https://www.custompartnet.com/estimate/sand-casting/					

Valmistuskustannukset tarkkuusvalu menetelmää käytettäessä.				
Materiaali		Valuutan vaihtokurssi 0,8906		
Hiiliteräs				
Valmistusmäärä	Hinta \$ Työstö (iron-foundry)	Hinta €/kpl (iron-foundry)		
N/A mutta suurempi kuin 1000	1500	8,2		
N/A = not available				
Lähteet:				
iron-foundry.com	http://www.iron-foundry.com/cast-steel-price-calculator.html			
	http://www.iron-foundry.com/casting-price-calculator-faq.html			
	http://www.iron-foundry.com/cast-iron-prices-pound-kilogram-ton.html			
	http://www.iron-foundry.com/mould-pattern-cost-cast-iron-sand-castings-steel-castings.html			

Valmistuskustannusten vertailu eri valmistusmenetelmien välillä, kun valmistumäärät vaihtelevat.				
Valmistusmäärä	CNC-jyrsintä (Hinta €/kpl)	3D-tulostus (Hinta €/kpl)	Hiekkavalu (Hinta €/kpl)	Tarkkuusvalu (Hinta €/kpl)
1	721,2	761,8	2336,0	N/A
10	215,2	730,0	240,9	N/A
100	102,6	698,7	31,6	N/A
500	102,7	719,0	13,0	N/A
1000	102,5	720,7	6,6	8,2
10000	102,5	720,7	4,4	8,2
100000	102,5	720,7	4,2	8,2
Valmistusmäärä	Kannattavin valmistusmenetelmä	N/A = not available		
1	CNC-jyrsintä/3D-tulostus			
10	CNC-jyrsintä			
100	Hiekkavalu			
500	Hiekkavalu			
1000	Hiekkavalu			
10000	Hiekkavalu			
100000	Hiekkavalu			