



Juuso Arvelin

# Itsepalvelukioskin tuotekehitys

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Konetekniikka

Insinöörityö

3.5.2022

## Tiivistelmä

Tekijä:	Juuso Arvelin
Otsikko:	Itsepalvelukioskin tuotekehitys
Sivumäärä:	33 sivua + 56 liitettä
Aika:	3.5.2022
Tutkinto:	Insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma:	Konetekniikka
Ammatillinen pääaine:	Koneensuunnittelu
Ohjaajat:	Yliopettaja Pekka Salonen Johtaja, myynti ja liiketoiminnan kehitys, Jani Naukkari- nen, Solteq Oyj

---

Tämä opinnäytetyö vastaa Solteq Oyj:ltä nousseeseen itsepalvelukioskin suunnittelu-tarpeeseen. Opinnäytetyö on jatkoa organisaatiossa luodun prototyypin tuotekehityk-selle. Solteq määrittä opinnäytetyön lähtökohdaksi itsepalvelukioskin kehittämisen it-senäiseksi tuotteeksi. Suunnittelutyön tuli vastata valmistettavien osien vähentymi-seen, materiaalivalintojen optimointiin sekä kokonaismassan ja tuotantokustannusten madaltumiseen. Suunnittelutyön toissijaisina tavoitteina oli tuotteen ulkonäön moder-nisointi ja helppokäyttöisyys.

Suunnittelutyö toteutettiin DFMA-periaatteen mukaisesti, jolloin suunnittelun paino-pisteet kohdistuivat kokoonpantavuuden parantamiseen ja kustannustehokkaaseen valmistukseen. Tuotekehitys on toteutettu Autodesk Fusion 360 -ohjelmiston CAD-toimintoa ja simulointiominaisuuksia hyödyntäen. Opinnäytetyö sisältää itsepalvelu-kioskin raportin lisäksi 3D-mallinnuksen, tuotantovalmiit valmistuspiirustukset sekä kokoonpano-ohjeet tuotteelle. Valmistuspiirustukset ja kokoonpano-ohjeet ovat Solte-qin omaisuutta, jonka vuoksi niitä ei sisällytetä julkaistavaan opinnäytetyöhön.

DFMA-periaatteen käyttö ja materiaalivalintojen optimointi johti 39 %:n laskuun val-mistettavien osien määrässä. Kokonaispaino madaltui 62 %. Opinnäytetyöllä saavu-tettiin kaikki työlle osoitetut toiveet ja kriteerit.

Avainsanat: tuotesuunnittelu, ohutlevy, valmistettavuus, kokoonpanta-vuus

## Abstract

Author: Juuso Arvelin  
Title: Product Development of a Self-service Kiosk  
Number of Pages: 33 pages + 56 appendices  
Date: 3 May 2022

Degree: Bachelor of Engineering  
Degree Programme: Mechanical Engineering  
Professional Major: Machine Design  
Supervisors: Jani Naukkarinen, Director, Sales and Business Development  
Pekka Salonen, Principal Lecturer

---

This thesis was assigned by Solteq PLC. The company had a need for the design of a self-service kiosk that had been started as a product development prototype. Solteq defined the development of the self-service kiosk as a standalone product as the starting point of this thesis. The primary objective of the design work was to meet the requirements of the reduction of parts to be manufactured, the optimization of material choices and the reduction of total mass and production costs. The secondary objectives of the design work were modernization of the appearance of the product and its accessibility.

The design work was carried out according to the DFMA principle, with design priorities focused on improving assemblability and cost-effective manufacturing. The product design development work was implemented using the CAD functionality and simulation capabilities of Autodesk Fusion 360 software. In addition to the self-service kiosk re-port, the thesis includes 3D modeling, production-ready manufacturing drawings and assembly instructions for the product. The manufacturing drawings and the assembly instructions are the property of Solteq, because of which they are not included in the thesis to be published.

The use of the DFMA principle and optimization of the material choices resulted in a 39% decrease in the number of parts to be manufactured. The total weight decreased by 62%. The thesis achieved all the objectives and met the requirement criteria assigned to the work.

Keywords: product design, sheet metal, manufacturability, assemblability

# Sisällys

## Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Kohdeorganisaatio ja kehitettävä tuote	2
2.1	Solteq Oyj	2
2.2	Itsepalvelukioski	3
3	Tuotteen suunnitteluperiaate ja tuotekehityksen prosessimalli	3
3.1	Design for manufacture and assembly, DFMA	3
3.1.1	Design for Manufacture, DFM	6
3.1.2	Design for Assembly, DFA	8
3.2	Tuotekehityksen prosessimalli	9
4	Ohutlevy ja ohutlevyosien valmistus	10
4.1	Laserleikkaus	12
4.2	Taivuttaminen	15
4.3	Särmäys	17
4.4	Fusion 360	19
5	Prosessikuvaus	20
5.1	Prototyypin esittely	20
5.2	Suunnitteluprosessi	22
5.3	Elementtianalyysi, FEA	27
5.4	Tulokset	30
6	Pohdinta	32
	Lähteet	34

## Liitteet

Liite 1: SSC-self-service\_checkout\_parts (poistettu julkisesta versiosta)

Liite 2: SSC-self-service\_checkout\_assemblies (poistettu julkisesta versiosta)

## Lyhenteet

- CAD: Computer Aided Design. Tietokoneavusteinen suunnittelu.
- CAE: Computer Aided Engineering. Tietokoneavusteinen suunnitteluohjelmisto.
- CAM: Computer Aided Manufacturing. Tietokoneavusteinen valmistus.
- DFA: Design for Assembly. Kokoonpantavuuden suunnittelu.
- DFM: Design for Manufacture. Valmistettavuuden suunnittelu.
- DFMA: Design for Manufacture and Assembly. Valmistettavuuden ja kokoonpantavuuden suunnittelu.
- FEM: Finite Element Method. Elementtimenetelmä.
- FEA: Finite Element Analysis. Elementtianalyysi.
- PCB: Printed Circuit Board. Painettu piirilevy

## 1 Johdanto

Koveneva kansainvälinen kilpailu edellyttää tuotekehitykseltä aiempaa nopeampia ja teknisesti kehittyneempiä tuotteita. Tämä koskee tuotekehityksen lisäksi rationaalista valmistustapaa. Muuttuvassa maailmantilanteessa ja hintaeroosio-paineessa uuden tuotteen nopea ja laadukas saatavuus tarvittavassa volyymissä on keskeinen asia tuotteen katetuoton perspektiivistä. (Lempiäinen & Savolainen 2003: 6.) Globaali tilanne luo tuotesuunnittelulle ja tuotannolle aiempaa vahvempia paineita, erityisesti materiaalien saatavuuden vuoksi.

Opinnäytetyön tarkoituksena on vastata Solteq Oyj:ltä ilmenneeseen itsepalvelukioskin suunnittelutarpeeseen. Suunnittelutyö on jatkoa organisaatiossa luodulle itsepalvelukioskin prototyypille. Opinnäytetyön lähtökohtana oli itsepalvelukioskin kehittäminen itsenäiseksi kustannustehokkaaksi tuotteeksi. Sisäkäyttöön kohdennetun tuotteen suunnittelutyön tuli vastasta valmistettavien osien vähentymiseen, materiaalivalintojen parannukseen sekä kokonaisuusmassan ja tuotantokustannusten madaltumiseen. Suunnittelulta toivottiin lisäksi tuotteen ulkonäön modernisointia ja helppokäyttöisyyttä.

Suunnittelutyö pohjautuu Esa Hietikon (2015: 46.) kuvaamaan tuotekehityksessä yleisesti käytettyyn prosessimalliin. Itsepalvelukioskin suunnittelu rajautuu synteisiin, analyysiin ja optimointiin. Tuote on suunniteltu valmistettavaksi metallipinnoitetusta muovattavasta ohutlevyteräksestä DX51D ZF100-B:stä ja rakenneteräs S355J2WH:sta. Suunnittelu on toteutettu Autodesk Fusion 360-ohjelmalla. Valmistus- ja kokoonpanosuunnitteluun pohjautuva DFMA-suunnitteluperiaate mahdollisti kohdeorganisaation kriteereihin yltämisen.

Tuotekehityksessä käytetyllä prosessimallilla ja DFMA-suunnitteluperiaatteella saavutettiin kaikki Solteq Oyj:n asettamat toiveet. Valmistettavien osien lukumäärä laski 39 % ja prototyypin kokonaispaino madaltui 62 %. Kokoonpantavuusindeksin tulos on parantunut 39,7 % ja laitteen huollettavuusindeksi on

kohentunut 60,5 %. Näillä tuloksilla pystyttiin takaamaan mittava valmistuskustannusten lasku.

## **2 Kohdeorganisaatio ja kehitettävä tuote**

Tässä kappaleessa esitellään opinnäytetyön kohdeorganisaationa toiminut IT-alan moniosaaja Solteq Oyj ja itsepalvelukioski teoriaan pohjaten.

### **2.1 Solteq Oyj**

Solteq Oyj on IT-palveluiden ja ohjelmistoratkaisujen tarjoaja, jonka toiminta on fokusoitunut liiketoiminnan digitalisaatioon ja toimialakohtaisiin ohjelmistoihin. Solteqin keskeisiin toimialoihin lukeutuvat kauppa, teollisuus, energia ja palvelut. Toiminnalla pyritään ratkaisemaan toimialakohtaisia muutostarpeita tuotekehityksen ja asiantuntijapalveluiden avulla. (Solteq 2022b.)

Solteqin toiminta jakautuu kahteen liiketoimintasegmenttiin, Solteq Softwareen ja Solteq Digitaliin. Solteq Software on erikoistunut tuotekehitykseen ja ohjelmistoratkaisuihin ja Solteq Digital IT-asiantuntijapalveluihin. (Solteq 2022a.) Solteq on perustanut Robotics-liiketoimintayksikön, joka keskittyy yhtiön omien ohjelmistotuotteiden ja -palveluiden kehittämiseen. Robotics-liiketoiminnan keskiössä ovat tekoälyn, koneoppimisen ja robotiikan yhdistäminen vahvemmaksi osaksi Solteqin tuote- ja palveluvalikoimaa. (Solteq 2022b.)

Pohjoismaisen Solteqin toimintaa on Suomen lisäksi Ruotsissa, Norjassa, Tanskassa, Puolassa sekä Iso-Britanniassa (Solteq 2022a). Solteq-konsernin liikevaihto oli vuonna 2021 69,1 miljoonaa euroa. Liikevaihto on kasvanut edellisvuoteen verraten 14,2 %. Liikevoitto oli 7,1 miljoonaa euroa, jossa kasvua 33,1 %. Konsernin liikevoittoprosentti vuodelta 2021 on 10,3. (Solteq 2022c.) Solteqin palveluksessa työskentelee yli 650 IT-alan ammattilaista (Solteq 2022b).

## 2.2 Itsepalvelukioski

Useat organisaatiot ja teollisuudenalat hyödyntävät itsepalvelukioskeja yhtenä heidän palvelukanavistansa. Niitä hyödynnetään muun muassa pankeissa, ravintoloissa, hotelleissa, ruokakaupoissa ja terveydenhuollossa. (Algarawi & Khan 2021.)

Itsepalvelukioskeilla on useita erilaisia käyttötarkoituksia toimialasta riippuen (Algarawi & Khan 2021). Niitä hyödynnetään esimerkiksi lääkärivastaanotoille ilmoittautumisessa, ruokaostosten maksamisessa ja postipaketin noutamisessa (Ergonomic solutions 2019). Tarkoituksenmukainen itsepalvelukioskien käyttö lisää työn tehokkuutta, alentaa palvelukustannuksia ja keventää henkilöstön työtaakkaa (Algarawi & Khan 2021).

Itsepalvelukioski on itsenäinen rakenne, jota käytetään asioimiseen tai tiedon jakamiseen (Ergonomic solutions 2019). Itsepalvelukioskit eroavat staattisista opasteista, sillä ne voivat sisältää erilaisia lisätarvikkeita ja graafisen käyttöliittymäsovelluksen (Kelsen 2010: 182). Rakenteeltaan itsepalvelukioskit ovat useimmiten jalustallisia ja kosketusnäyttöllisiä laitteita, joihin sisällytetään asiakastarpeen mukaisesti lisätarvikkeita. Lisätarvikkeet voivat olla muun muassa maksupäätte, tulostin, viivakoodinlukija tai RFID-lukija.

## 3 Tuotteen suunnitteluperiaate ja tuotekehityksen prosessimalli

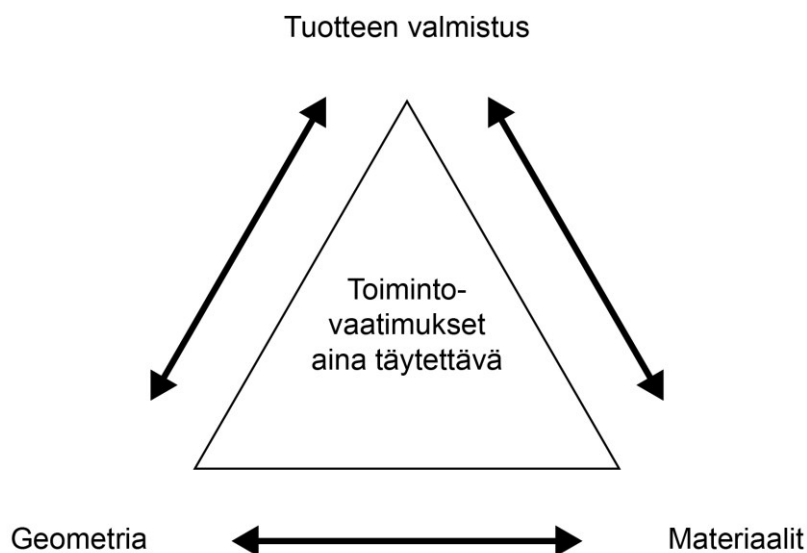
### 3.1 Design for manufacture and assembly, DFMA

DFMA eli design for manufacture and assembly on suunnitteluperiaate, jonka pyrkimyksenä on leikata tuotteen valmistukseen ja kehitykseen kuluva aikaa ja kustannuksia. DFMA koostuu kahdesta erillisestä metodista, jotka ovat DFM (design for manufacture) ja DFA (design for assembly). (Boothroyd, Dewhurst & Knight 2011: 1.)

Boothroyd, Dewhurst ja Knight (2011: 1) kuvaavat kirjassaan *Product Design for Manufacture and Assembly*, että DFMA:ta voidaan hyödyntää kolmessa eri päätoiminnossa:

1. Tuotesuunnittelutiimin opastamisessa tuoterakenteen yksinkertaistamiseksi, valmistus- ja kokoonpanokustannusten vähentämiseksi sekä parannusten kvantifioimiseksi.
2. Kilpailijoiden tuotteiden arvioimisessa ja heidän valmistus- ja kokoonpanohaasteiden kvantifioimisessa.
3. Kustannusarviointityökaluna, joka tukee kustannusten hallinnassa ja tarvaratoimittajien sopimusten neuvottelussa.

Kuva 1 selventää, että DFMA:ta käytettäessä toimintovaatimusten on täyttyvä, vaikka pyrkimyksenä on tuotteen vaivaton valmistaminen. Kuva on toteutettu Eskelisen ja Karsikkaan (2013: 7) kuvaa mukaillen.



Kuva 1. Toimintovaatimukset DFMA:ssa

DFMA:n käyttö vähentää suunnittelusta johtuvia valmistusongelmia, koska siinä hyödynnetään valmistuksesta vastaavien työntekijöiden asiantuntemusta ja kokemusta. DFMA:n käytöllä voidaan vähentää tuotannossa ja kokoonpanossa esiintyviä ongelmia (Boothroyd ym. 2002: 5–7). Asiantuntijayhteistyöllä saadaan valmistettua kokoonpantavuudeltaan ja valmistettavuudeltaan parempi tuote.

Eskelinen ja Karsikas kuvaavat valmistus- ja kokoonpanosuunnittelun lähtökoh-  
tana olevan periaatteet, joita hyödyntämällä pyritään murtamaan kuvitteellinen  
muuri suunnittelijoiden ja organisaation valmistusosaston väliltä (2013: 7). Muu-  
rin on katsottu johtuvan viidestä eri pääsyystä:

1. Suunnittelija yrittää pakolla hyödyntää modulaarisia ja standardisoituja ratkaisuja unohtaen valmistukselliset moduulit.
2. Tuotteen valmistaja haluaa kohentaa tuotantolaitteita ja ehdottaa muutoksia tuotteeseen mahdollistaakseen joustavan tuotannon omassa tehtaassaan. Tällöin muutokset tehdään tuotantojärjestelmän ominaisuudet edellä. Tämän kaltaisessa toimintamallissa tuotteen vaatimukset eivät ole muutosten lähtökohtana.
3. Toisinaan haasteen lähtösyö löytyy organisaatiokulttuurista. Työtävät voivat rakentaa muurin suunnittelun ja valmistuksen välille. Toiveena olisi, että organisaatio kannustaisi aiempaa vahvemmin ryhmätyöhön ja poikitekniseen työskentelytapaan.
4. Useissa tapauksissa suunnittelijoilla on hatara osaaminen valmistusmenetelmistä ja niihin liittyvistä DFMA-näkökulmista ja -ohjeista.
5. Monien osien alihankinta toteutetaan ympäri maailmaa, jolloin tuote kokoonpannaan maantieteellisesti toisaalla. Tämän lisäksi myyntipisteet voivat sijaita edellä mainittuihin peilaten eri paikassa. (Eskelinen & Karsikas, 2013: 9.)

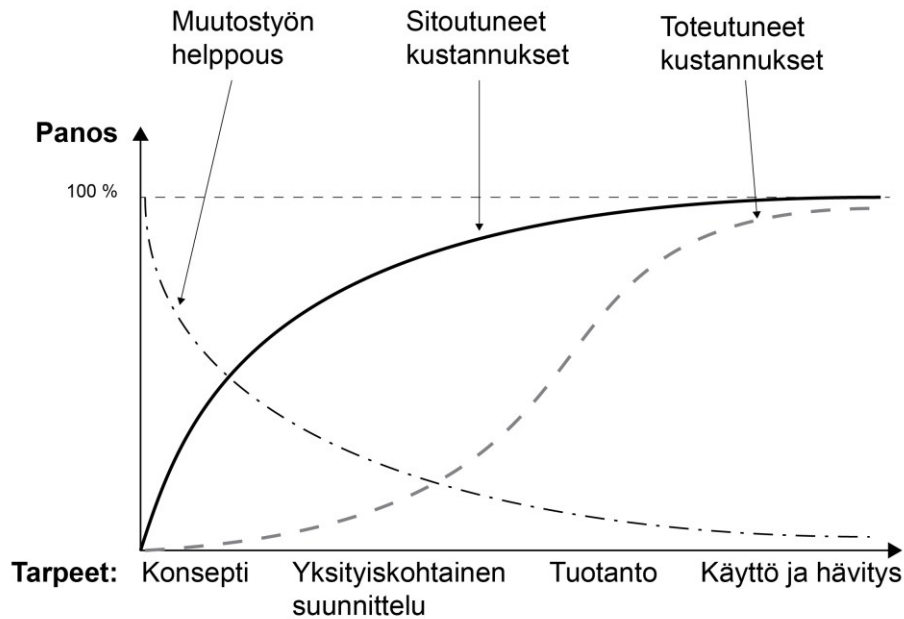
DFMA:n keskeisimmiksi eduiksi voidaan määrittää muun muassa nopeus, matalammat kokoonpanokustannukset, parempi laatu ja kestävyys sekä lyhyempi kokoonpanoaika. Perinteisimmin DFMA:ta on hyödynnetty aloilla, joiden on tuotettava tehokkaasti korkealaatuisia tuotteita suurella volyymilla. Suunnitteluperiaatetta hyödynnetään esimerkiksi auto- ja kuluttajatuotteiden suunnittelussa. (Design buildings 2021.)

### 3.1.1 Design for Manufacture, DFM

DFM, eli Design for Manufacture, on systemaattinen lähestymistapa, jolla pyritään varmistamaan suunniteltavan tuotteen sujuva ja tehokas valmistettavuus sille valitulla valmistusmenetelmällä. Lähestymistavan keskeisenä ajatuksena on pitää valmistettavuus suunnittelun keskiössä, aina kehitysprojektin alkuvaiheilta sen loppuun saakka. Valmistettavuus edellä suunniteltu tuote mahdollistaa kehitysprojektin onnistumisen. (Pere 2021: 25–3.)

Lähestymistapa pitää sisällään kaikki menetelmät ja järjestelyt, joilla pystytään yksinkertaistamaan tuotekonstruktion valmistamista ja täten alentamaan tuotteen valmistuskuluja. DFM:ää voi kiteytetysti kuvata tietokantapohjaiseksi systemaattiseksi tuotekehitysmenetelmäksi, joka edesauttaa tuotekehitystiimiä suunnittelemaan mahdollisimman helposti valmistettavan tuotteen. Menetelmään sisältyy suosituksia, tarkastuslistoja, peruseriaatteita sekä peukalosääntöjä, joita hyödynnetään suunnittelutyössä. (Lempiäinen & Savolainen 2003: 13.)

Kustannustehokkuus on keskeisessä asemassa DFM:ssä. Suuri osa suunniteltavan tuotteen elinkaarikustannuksista sitoutuu jo suunnitteluvaiheessa, kuten kuvasta 2 selviää. Kuva on luotu Lempiäisen ja Savolaisen (2003: 15.) kuvaa mukaillen.



Kuva 2. Kustannusten sitoutuminen DFM:ssä

Kuvassa havainnollistetaan, kuinka tuotteen kustannukset toteutuvat, sitoutuvat ja kuinka työlästä muutosten tekeminen on kussakin tuotteen elinkaaren vaiheessa. DFM:n hyödyntäminen vaikuttaa tuotteen elinkaarikustannuksiin niissä vaiheissa, joissa ne sitoutuvat.

Lempiäinen ja Savolainen (2003: 14–15) kertovat kokemuksen osoittaneen, että valmistettavuuteen keskittyminen suunnittelun alkuvaiheessa ei johda merkittävään suunnittelukustannuksien kasvuun verrattuna ns. perinteiseen tuotekehitysprojektiin. Valmistettavuus edellä toteutettu suunnittelu edellyttää merkittävästi vähemmän investointeja automaatioon, kuin mitä tuotteen aiemman version valmistuksen automatisointi olisi tullut maksamaan. On tapauksia, joissa automaatioinvestoinnit ovat vähentyneet jopa 90 %, kun suunnittelussa on huomioitu valmistettavuus. Olemassa olevan tuotesuunnitelman optimointi ylläpitää työvoimakustannuksien matalaa tasoa. Valmistuskustannuksia saadaan madallettua, kun tuotteen rakennetta mietitään DFM-menetelmien perspektiivistä. DFM-metodiikan tarkoituksena on saavuttaa sama tuotannollinen tulos pienemmillä riskeillä ja investointikuluilla.

### 3.1.2 Design for Assembly, DFA

DFA, eli Design for Assembly on lähestymistapa, jolla pyritään varmistamaan tuotteen vaivaton, nopea ja kustannustehokas kokoonpantavuus (Pere 2021: 25–3). Kokoonpantavuus on laajalti käytetty apukeino, kun pyrkimyksenä on hyödyntää olemassa olevaa kokoonpanoprosessia tulevilla kehitysprojekteissa. DFA tuo esiin kokoonpanon perspektiivistä olennaiset näkökulmat, kuten osien takertuvuuden, paikoitettavuuden ja sekaantumisen. (Lempiäinen & Savolainen 2003: 13.) Tuotesuunnittelun alkuvaiheista saakka tulee huomioida tuotteen kokoonpantavuuteen vaikuttavat tekijät. DFA:lla pyritään yksinkertaistamaan tuotteen valmistus- ja kokoonpanoprosessia ja kohentamaan lopputuotteen laatua (Pere 2021: 25–3).

Lempiäinen ja Savolainen (2003: 69) kiteyttävät kokoonpanotyön suoritusten yksinkertaistamisen kulminoituvan osien toimintojen yhdistämiseen ja osien vähentämiseen tuotteessa. DFA-apuneuvot edesauttavat tuotetta toimimaan paremmin ja luotettavammin. Sen lisäksi se helpottaa tuotteen huollettavuutta ja parantaa tuotteen ympäristökuormitusta. Kokoonpantavuuden kehittämisen keskiössä on DFM:n tavoin vankka yhteistyö tuotekehitystiimin ja kokoonpanotiimin välillä.

DFM:n ja DFA:n merkitystä verrattaessa voidaan yleisesti todeta, että kokoonpantavuus on tärkeämmässä roolissa kuin valmistettavuus. Toteama perustuu siihen, että kokoonpanotyö on työvoimavaltaisempaa kuin osien valmistus. Näiden lisäksi osien lukumäärään vaikuttaminen konstruktiossa on olennaista, sillä niiden määrän vähentämisellä vaikutetaan suorasti tuotteen kiinteisiin kustannuksiin. (Lempiäinen & Savolainen 2003: 69–70.)

Lempiäisen ja Savolaisen (2003: 70) mukaan Boothroydin ja Dewhurstin (1991) kokoonpantavuusindeksi voidaan laskea kaavan 1 mukaisesti. Kaavassa  $N$  on välttämättömien osien summa ja  $T_{\text{kok}}$  on tuotteen arvioitu kokonaiskokoonpanoaika.

$$\mu_{Kokoonpantavuus} = \frac{100 \times N \times 3 [\text{sek}]}{T_{kok}} \quad (1)$$

Lempiäisen ja Savolaisen (2003, 70) mukaan Boothroydin ja Abbatiellon (1996) luoma huollettavuusindeksi voidaan laskea kaavan 2 mukaisesti. Kaavassa  $N_m$  merkitsee teoreettista pienintä irrotettavien osien lukumäärä.  $T_d$  kuvastaa purku-aikaa ja  $T_r$  uudelleen kokoonpanoaikaa.

$$\eta_{Huollettavuus} = \frac{900 \times N_m}{T_d + T_r} \quad (2)$$

Valmistettavuutta voidaan arvioida laskukaavojen lisäksi erilaisten arviointilomakkeiden avulla. Erilaisia pisteytystaulukoita ja -malleja hyödyntämällä voidaan pyrkiä arvioimaan kappaleen ja kokoonpanon valmistus- ja kokoonpanoystävällisyyttä. Taulukoita ja malleja on vapaasti saatavilla internetistä. Taulukot voivat yksinkertaisimmillaan olla kyllä/ei-formaatilla toteutettuja tarkastuslis-toja, joiden avulla varmistetaan keskeisten DFMA-näkökulmien toteutuminen. Usein DFMA-näkökulmat konkretisoituvat laadittavissa valmistusdokumen-teissa, jonka vuoksi teknisten piirustusten ja tietokoneavusteisten mallien tarkastuslomakkeet voivat olla hyödyllisiä apuvälineitä valmistus ja kokoonpanoystävällisyyden varmistamiseen. Täytetyt tarkastuslomakkeet ja dokumentoidut tarkastusvaiheet tuovat lisäarvoa tuotteen laadunvarmistukselle. (Eskelinen & Karsikas 2013: 98.)

### 3.2 Tuotekehityksen prosessimalli

Hietikon (2015, 46) mukaan tuotekehityksessä hyvin yleisesti käytössä oleva prosessimalli kattaa seuraavat vaiheet:

- tarpeen tunnistaminen
- ongelman määrittely
- synteesi
- analyysi
- optimointi
- testaus

- tuotannon käynnistäminen
- arviointi.

Hietikon kuvaama prosessimalli on kattava ja loogisesti etenevä, joten sitä hyödynnettiin löyhästi opinnäytetyöprosessissa. Itsepalvelukioskin tuotekehitysprosessissa työ rajataan synteesisistä optimointiin. Muut prosessimallin osa-alueet sijoittuvat opinnäytteeseen peilaten aihepiirin ulkopuolelle.

Hietikko kertoo synteisillä tarkoitettavan luovaa työn vaihetta, jossa ideoidaan ratkaisuja erilaisiin ilmenneisiin ongelmiin. Ratkaisut yhdistetään luovan ideoinnin jälkeen yhdeksi kokonaisuudeksi. Prosessivaihe jatkuu analyysivaiheeseen, jossa varmistetaan mekaniikan ja lujuusopin näkökulmasta konseptin toimintaa ja kestävyyttä. Näin saadaan varmuus tuotteen toimintakyvystä. Tarvittaessa palataan synteisivaiheeseen ja ideointiin, muutoin jatketaan optimointiin. Optimointivaiheeseen kuuluu detaljisuunnittelua, jonka aikana tuote löytää lopullisen muotonsa ja suurin osa valmistuskustannuksista määräytyy. (Hietikko 2015: 46.)

## **4 Ohutlevy ja ohutlevyosien valmistus**

Tavanomaisesti ohutlevykäsitteen rajana on pidetty 3–4 millimetrin ainevahvuutta (Matilainen 2011: 3). Määritelmässä on myös poikkeavuuksia. Esimerkiksi maailmanlaajuisesti toimiva teräsyhtiö SSAB (2022) kuvaa ohutlevyn olevan paksuudeltaan tavallisesti 2–15 millimetrin paksuista. Useat ohutlevytuotteiden valmistusmenetelmät ovat soveltuvia mainittua suuremmillekin ainevahvuuksille. Ohutlevytuotteiden rakenneratkaisut ovat yleispäteviä, kun tavoitteena on keventää rakenteita jäykkyydestä tinkimättä. Näistä esimerkkeinä muun muassa kennorakenteet ja kotelomaiset rakenteet. Ohutlevytekniikkaa hyödynnetään nykyään myös raskaassa koneenrakennusteollisuudessa. Tämä on mahdollistanut materiaalia säästävien, kilpailukykyisten ja laadukkaiden tuotteiden tuottamisen hyvin kustannustehokkaalla tavalla. (Matilainen 2011: 3.)

Itsepalvelukioskin ohutlevyosien valmistusmateriaaliksi valikoitui standardin SFS-EN 10346 -mukainen metallipinnoitettu muovattava ohutlevyteräs, DX51D

ZF100-B. Runkoputkien ja jalustan materiaaliksi valikoitui S355J2WH-rakenneteräs. Teräsosat pulverimaaltaan hyvän korroosiokestävyyden saavuttamiseksi.

DX51D ZF100-B on niukkahiilinen teräs, jota kuvataan muovautuvuudeltaan taitutus- ja profiloitilaatuiseksi (Matilainen ym. 2011: 16). ZF100-B:llä tarkoitetaan sinkki-rautaseospinnoitetta, jossa vähimmäismassa on molempien puolien pinnoitteet yhteenlaskettuna  $100 \text{ g/m}^2$ , B:n kuvastaessa materiaalin pinnanlaatua (SFS-EN 10346.). S355J2WH on luja ja säänkestävä teräs, joka lukeutuu standardiin SFS-EN 10219-3:2020. Standardiin lukeutuu kylmämuovattut hitsatut teräksiset rakenneputket.

Taulukon 1 kuvaamat mekaaniset ominaisuudet ovat voimassa DX51D:ssä kuukauden päästä valmistusajankohdasta (Matilainen ym. 2011: 17). Taulukko on luotu standardin SFS-EN 10346 tietojen mukaisesti. Kyseinen standardi pitää sisällään jatkuvatoimisella kuumaupotusmenetelmällä pinnoitetut kylmämuovattavat ohutlevyteräkset. (SFS-EN 10346.) Opinnäytetyöhön valikoitujen materiaalien soveltuvuus ja tekniset toimitusehdot on tarkastettu edellä mainituista standardeista.

Taulukko 1. DX51D:n mekaaniset ominaisuudet (SFS-EN 10346)

Nimike	Numerotunnus	Pinnoitetyyppien tunnuks	Myötöraja $R_e^a$ (MPa)	Murtolujuus $R_m$	Murtovenymä $A_{80}^b$ % (min.)
DX51D	1.0917	+Z, +ZF, +ZA, +ZM, +AZ, +AZ	-	270...500	22

<sup>a</sup> Mikäli korostunutta myötörajaa ei esiinny, käytetään 0,2 %-venymisrajaa  $R_{p0,2}$ ; mikäli korostunut myötöraja esiintyy, arvot ovat voimassa alemmalle myötörajalle  $R_{eL}$ .

Taulukossa 2 esitetään S355J2WH:n mekaaniset ominaisuudet. Taulukko on luotu standardin SFS-EN 10219-3:2020 tietojen mukaisesti.

Taulukko 2. S355W2H:n mekaaniset ominaisuudet seinämävahvuuden ollessa  $\leq 3$  mm (SFS-EN 10219-3:2020)

Nimike	Numerotunnus	Ylempi myötöraja $R_{eH}$ vähintään (MPa)	Murtolujuus $R_m$ (MPa)	Murtovenymän vähimmäisarvo A % <sup>a</sup>
S355J2WH	1.8645	355	510...680	20

<sup>a</sup> Seinämänpaksuuksilla  $\geq 3$  mm ja poikkileikkauksen mitoilla  $D/T < 10$  (pyöreä) ja  $(B+H)/2T < 10$  (neliö tai suorakaide), murtovenymän vähimmäisarvosta vähennetään 4. Poikkileikkauksen mitoilla  $D/T > 10 \dots < 15$  (pyöreä) ja  $(B+H)/2T > 10 \dots < 12,5$  (neliö tai suorakaide), murtovenymän vähimmäisarvosta vähennetään 2.

#### 4.1 Laserleikkaus

Laserleikkauksen käyttö teollisuudessa on yleistynyt viimeisten vuosikymmenten aikana. Yleistymiseen on vaikuttanut se, että sillä voidaan leikata hyvin monia materiaaleja leikattavan muodon ollessa lähes vapaa. Laserleikkaukseen soveltuvat metallien lisäksi monenlaiset muut materiaalit. Leikkausprosessin eduksi voidaan mainita nopeus, hyvälaatuiset valmistetut tuotteet ja vähäinen jälkityöstön määrä. Laserleikkaus voidaan toteuttaa polttoleikkauksena, sulatettavana leikkauksena, tai edellä mainittujen yhdistelmänä. Lasersädettä hyödynnetään leikattavan materiaalin sulattamiseen tai höyryttämiseen, leikkauskäsitteen poistaessa ylimääräisen materiaalin leikkausrailoista. (Parviainen & Havas 2011: 158.)

Suunnittelijan on tärkeää huomioida laserleikkaus osana tuotesuunnittelua. Huomioitavia asioita ovat mm. mittatarkkuus, railon leveys, pinnankarheus, purseet ja laserleikatun reunan väsymislujuus (Parviainen & Havas 2011: 162–163).

Keskimääräisesti laserleikkauksella saavutettava mittojen tarkkuus on noin 0,1 mm materiaalipaksuuden ollessa alle 10 mm. Leikkausprosessi vaikuttaa huomattavasti tarkkuuden vaihteluun. Laserleikkauksen lopputuloksesta arvioidaan kartiomaisuus, railon leveys, pinnankarheus sekä kappaleen kokonaistarkkuus. Leikatun pinnan laatu voi vaihdella eri kohdissa tuotetta. Laserleikkauksen

mittatarkkuus on runsaasti parempi, kun sitä verrataan perinteiseen polttoleikkaukseen. Laserleikkauksen eduksi voidaan laskea se, että jatkotyövaiheena usein esiintyvä koneistus voidaan ohittaa kokonaan. Suunnittelijan on hyvä huomioida, että laserleikkauksen tarkkuus ei riitä sovitetarkkuuksiin, mutta on riittävä normaaleihin levyosien välisiin liitoksiin. (Parvinen & Havas 2011: 162.)

Yleisimmin laserleikkauksella saavutettu railon leveys on 0,05–1,0 mm. Leveys riippuu lasersäteen polttopisteen halkaisijasta, sen asemasta ja leikattavan materiaalin paksuudesta. Useimmiten laserleikkauksella pyritään saavuttamaan mahdollisimman kapea railo, mutta paksumpien materiaalien kohdalla suurempi railon leveys edesauttaa sulan poistumista. (Parvinen & Havas 2011: 162.)

Ohuiden materiaalien kohdalla päästään laserleikkauksella hyvin tasaiseen pinnanlaatuun. Paksummilla materiaaleilla railon reunassa voi esiintyä näkyviä uurteita ja muotoja. Paksumpien materiaalien kohdalla pinnankarheudeksi saavutetaan arviolta n. 10 µm. Laserpolttoleikkauksella saavutetaan parempi pinnankarheus kuin sulattavalla laserleikkauksella. Laserpolttoleikkauksella 1,5 mm paksuisella materiaalilla voidaan saavuttaa jopa 3 µm pinnankarheus. (Parvinen & Havas 2011: 162.)

Laserleikkauksessa sula materiaali poistui railosta, jolloin se voi tarttua railon reunaan ja aiheuttaa purseita. Yleisesti ottaen purseita ei synny laserleikkauksessa, jos leikkausparametrit ovat oikein. Purseiden esiintyminen ei ole normaalia, eikä suunnittelijan ole tarvetta varautua niiden esiintymiseen. (Parvinen & Havas 2011: 162–163.)

Normaalioloissa laserleikatun materiaalin reunan väsymislujuudella ei ole erityisiä vaatimuksia, mutta esimerkiksi ilmailuteollisuuden kohdalla väsymislujuudelle on voitu asettaa erilaisia reunaehtoja, joita suunnittelijan on hyvä huomioida. (Parvinen & Havas 2011: 163.)

Laserleikkaus on muodostunut hyvin merkittäväksi leikkausmenetelmäksi erityisesti ohutlevytuotteiden kohdalla. Laitteiston asetuksen vähäisillä muutoksilla pystytään vaihtamaan leikattavia materiaaleja ja levynpaksuuksia, joka

nopeuttaa työn tekemistä huomattavasti. Laserleikkaus on hyvin joustava ja tarkka menetelmä. Sillä voidaan saavuttaa jopa ns. ylilaatua, jolloin kaikkia leikkauksen ominaisuuksia ei voida hyödyntää osana tuotesuunnittelua. (Parvinen & Havas 2011: 169.) Parvinen ja Havas (2011) avaavat ohutlevytuotteiden suunnittelijan käsikirjassa Kujanpään ym. (2005) luoman taulukon 3 laserleikkauksen hyvistä ja huonoista puolista. Taulukko on luotu kirjan taulukkoa mukailleen.

Taulukko 3. Laserleikkauksen hyvät ja huonot puolet

<b>LASERLEIKKAUS</b>	
<b>HYVÄT PUOLET</b>	<b>HUONOT PUOLET</b>
Laaja leikattavien materiaalien valikoima (myös muut kuin metallit)	Laitteiston suhteellisen korkea investointikustannus
Leikkauksen tarkkuus pienentää jälkikäsittelyn tarvetta	Toisinaan tuottaa ylilaatua, joka ei ole kustannustehokasta
Soveltuu kerrosmateriaalien leikkaamiseen	Heijastavat materiaalit hankalasti leikattavia
Erittäin kapea lämpövaikutusvyöhyke	Epäpuhtaudet leikattavan materiaalin pinnalla vaikuttavat leikkauksen laatuun
Leikkausnopeudet ohuilla materiaaleilla useita metrejä minuutissa	Laitteiston huoltaminen vaatii paljon osaamista
Mahdollisuus leikata 3D-tuotteita	Leikkausjäljen huono laatu monilla muoveilla
Soveltuu termisistä leikkausmenetelmistä parhaiten terävien nurkkien ja ohuiden kannakkeiden leikkaamiseen	Suojavarusteiden tarve; käyttäjä on suojattava lasersäteeltä
Mahdollisuus leikata reikiä, joiden halkaisija on puolet aineenpaksuudesta	
Erittäin pienet muodonmuutokset leikattavissa kappaleissa	

Laserleikkaus on toimiva ratkaisu hyvin pienille ja keskisuurille sarjoille, koska prosessi on joustava ja läpimenoajat verrattain lyhyitä. Sitä hyödyntämällä saadaan tuotettua tasalaatuisia kappaleita, vaikka kappaleen koko ja muoto vaihtelevatkin. Useissa tapauksissa yksittäisen kappaleen edullisin leikkausmenetelmä on laserleikkaus. (Parvinen & Havas 2011: 168–169.)

## 4.2 Taivuttaminen

Taivutettava tuote vaatii suunnittelijalta ymmärrystä taivutuksen periaatteista. Taivutus voidaan toteuttaa monin tavoin eri työkalujen ja suoritustavan mukaan.

Levyyn syntyvien venymien ja jännitysten kautta taivutustapahtuma voidaan yleistäen luokitella kolmeen vaiheeseen:

### 1. Taivutuksen alkuvaiheeseen eli elastiseen taivutukseen.

- Tässä vaiheessa käytettävän materiaalin taivutus on ainoastaan elastista, eikä materiaalin myötörajaa ylitetä. Taivutusvoiman poistussa levy palautuu takaisin suoraksi.

### 2. Taivutuksen etenemiseen eli elastisplastiseen taivutukseen.

- Materiaalin myötölujuus ylittyy levyn pinnassa taivutussäteen pienenessä, jolloin pintakerroksissa tapahtuu plastista muodonmuutosta. Kuormituksen lisääntyessä sisäosien myötölujuus ylittyy, taivutussäde pienenee aiempaa enemmän, jolloin levy alkaa muovautua plastisesti ulkopinnoilta keskustaa kohti.

### 3. Täysin plastiseen taivutukseen.

- Levy taivutetaan säteelle, joka on samassa suuruusluokassa levyn paksuuden kanssa. Tämä johtaa siihen, että levyn keskellä olleiden elastisten kohtien osuus pienentyy entisestään. Tällöin levyn muodonmuutos on poikkileikkauksessa lähes plastisena. (Parvinen & Havas 2011: 239.)

Taivutuksen lopputulokseen vaikuttavat monet eri tekijät, jotka suunnittelijan on hyvä huomioida jo suunnittelun aikana. Suunnittelussa tulee huomioida kappaleen koko, taivutussäde ja aihion oikaistu pituus. (Parvinen & Havas 2011: 245.)

Suunnittelijan on tärkeää tietää, että onnistuneeseen taivutukseen vaikuttaa useita eri osatekijä, jotka on huomioitava suunnittelutyössä. Näitä ovat muun muassa muodonmuutokset kappaleen rakenteessa, takaisinjousto, taivutettavan

kappaleen muoto ja taivuttavien levyosien suunnitteluohjeet. Varsinkin takaisinjousto on työläästi hallittava ilmiö.

Levy muokkaantuu taivutettaessa vahvimmin taivutuksen kohdalta, sillä ulkopinta venyy ja sisäpinta tyssääntyy. Tämän lisäksi taivutettavan levyn särmän reunoille muodostuu muodonmuutoksia, jotka ovat liitonnaaisia särmän sisäteen suhteesta levynpaksuuteen. Suunnittelijan on huomioitava, että pysyvä muodonmuutos syntyy vasta, kun venymä ylittää kimmorajaa vastaavan venymän. Muodonmuutos tapahtuu useimmiten osin elastisesti ja osin plastisesti. Riittämätön plastinen muodonmuutos johtaa takaisinjousto. (Parvinen & Havas 2011: 245.)

Takaisinjouston arvioiminen ja sen hallitseminen on erittäin vaikeaa. Automaatio ja automatisoitu kokoonpano ovat lisänneet ohutlevykappaleiden tarkkuusvaatimuksia. Tämä on johtanut siihen, että takaisinjouston ja taivutuskulmien hallinta on aiempaa tärkeämpää suunnittelutyössä. Lujien materiaalien takaisinjousto on voimakkaampaa kuin normaalilujuisilla materiaaleilla. Takaisinjousto itsessään ei ole suurikaan ongelma, mutta sen ennustettavuuden haasteet tekevät siitä monimutkaisen ilmiön. (Parvinen & Havas 2011: 247.)

Kappaleen suunnitteluvaiheessa on kiinnitettävä erityistä huomioita taivutettavan kappaleen taivutussäteeseen, taivutettavien laippojen korkeuteen ja kappaleen oikaistuun pituuteen. Tässä yhteydessä oikaistulla pituudella tarkoitetaan taivutuksen kohteena olevan aihion kokoa. Kokoon vaikuttaa suuresti levyssä taivutuksen aikana tapahtuvat muodonmuutokset.

Jokaiselle levynpaksuudelle on määritelty pienin mahdollinen taivutettavan reunan korkeus, jota kutsutaan myös minimilaippakorkeudeksi. Koneellisen särmäyksen kohdalla likiarvon saa laskettua seuraavalla kaavalla:

$$b = r_s + 2s \quad (3)$$

Kaavassa  $r_s$  kuvastaa sisäsädettä,  $b$  laipan korkeutta ja  $s$  levyn paksuutta. (Parvinen & Havas 2011: 248–249.)

Tuotteiden malli-ideat tulevat nykyisin useissa tapauksissa muotoilijoilta. Tällöin suunnittelussa edetään tuotteen ulkonäkö edellä. Toisinaan suunnittelija taas saattaa jumiutua pohtimaan, miten koneenos toimii kokoonpantavassa kokonaisuudessa, unohtaen taloudellisen ja valmistettavuuden perspektiivin. Edellä mainituista lähtökohdista etenevä suunnittelu johtaa usein taivutettavien levyosien suunnitteluvirheisiin. Taivutettavien osien suunnittelussa valmistustekninen asiantuntijuus korostuu. Valmistettavuuteen peilaten parhaat tuotteet tulee silloin, kun suunnittelija huomioi suunnittelun alusta alkaen millä menetelmillä ja mistä materiaaleista osat tullaan valmistamaan. Osien suunnitteluun on haasteellista antaa yksitelitteisiä ohjeita, mutta eri taivutusmenetelmien vertailu voi olla eduksi suunnittelussa, sillä niillä kaikilla on omat tunnusomaiset piirteensä ja tehokkuutensa. (Parvinen & Havas 2011: 255–256.)

### 4.3 Särmäys

Särmäys on yleisimmin käytetty taivutusmenetelmä. Särmäys toteutetaan särmäyspuristimella. Se on yksi yleisimmistä ohutlevyteollisuuden koneista ja niiden käyttövoima voi olla toteutettu mekaanisesti, hydraulisesti tai pneumaattisesti. Särmäykseen tarkoitettuja puristimia on monenlaisiin tarkoituksiin ja niiden ominaisuuksissa on variaatiota, niin koossa kuin tehossa. Puristimien työstöleveydet voivat vaihdella metristä kymmeneen metriin, mutta yleisimmin ne ovat leveydeltään kahdesta neljään metriä. Tarpeen mukaan koneita voidaan liittää sarjaan, jolloin pidempien kappaleiden särmäys on mahdollista. Särmäyspuristimen puristusvoima vaihtelee 100–25000 kN välillä. Puristusvoima määräytyy särmättävän levyn materiaalin ja paksuuden mukaan.

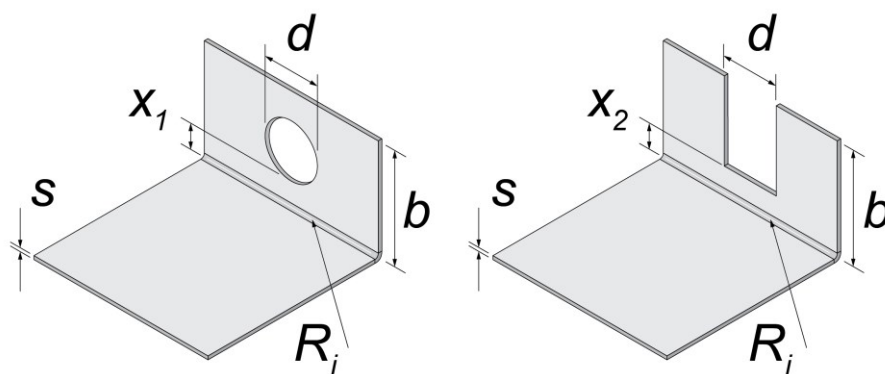
Särmäys suoritetaan useimmiten vapaataivutuksena tai pohjaaniskutaivutuksena. Näiden lisäksi taivutuksia voi tehdä elastista vastinta käyttäen. Muihin taivutusmenetelmiin verraten särmäyksen eduksi voidaan laskea, että levyyn tehtävän taivutuksen suunta on vapaa. Työstön alla olevan levyn reuna voidaan taivuttaa ylös- tai alaspäin. Levyn taivutettava sivu on vapaasti valittavissa aihion asemoinnilla. Onnistuneessa särmäyksessä tulee hallita taivutusvoima, taikaisinjousto ja aihion mittamuutokset. (Parviainen & Havas 2011: 239–242.)

Särmäyspuristimelle suunniteltaessa on olennaista huomioida taivutettavaan levynosaan jäävä paikoitusmenetelmästä johtuva mittavirhe. Mittavirheen sijainti määräytyy taivutusjärjestyksestä. Tämän vuoksi suunnittelija voi useimmissa tapauksissa vaikuttaa virheen sijoittumiseen taivutusjärjestyksen valinnalla. Pii-rustuksissa tulee ilmetä olennaiset mitat ja kohdat joihin epätarkkuudet on mahdollista jättää. Taivutetun levynosan lopullinen mittatarkkuus riippuu siitä, miten tarkasti levyaihion oikaistu mitta on ilmoitettu ja millä tarkkuudella aihio on valmistettu.

Suuri osa särmäyspuristimella tehtävistä taivutuksista tehdään konepajalla vapaataivutuksena. Tarkkoja pohjaaniskutyökaluilla tehtyjä taivutuksia tulee välttää, jos se on mahdollista. Pohjaaniskutaivutuksen käyttäminen on aiheellista näissä tapauksissa:

- Työkappaleen vaatiessa hyvän kulmatarkkuuden.
- Vaadittavan taivutuksen sisäpuolinen säde on alhaisempi kuin käytettävän levyn paksuudelle suositellaan.
- Kappaleen reiät ovat taivutuslinjan kohdalla tai sen läheisyydessä. (Parviainen & Havas 2011: 256–257.)

Useissa tapauksissa taivutettavat levynosat sisältävät reikiä ja lovia. Niitä ei voi sijoittaa liian lähelle taivutuslinjoja, mikäli niiden mittojen on tarkoitus pysyä tarkoina. Taivutussäteen ulkoreunalla oleva materiaali venyy, kun taas sisäreunalla olevan materiaalin puristuu. Tämän vuoksi reikien muoto ja sijainti muuttuvat taivutuksessa. Suunnittelijan tulee jättää tarpeeksi suuri välimatka taivutuslinjoille. Kuvassa 3 esitetyille mitoille  $x_1$  ja  $x_2$  on mahdollista laskea minimietäisyydet alla olevien kaavojen avulla. Kuva on tehty Parviaisen ja Havaksen (2011: 258) kirjassa esitetyn Trumpfin (2006) luomaa kuvaa mukailleen.



Kuva 3. Reikiä ja lovia sisältävä työkappale

Reikien ja lovien minimietäisyydet saadaan selvitettyä näitä kaavoja hyödyntäen:

$$x_1 = \sqrt{d \times s} + 0,8R_i \times \sqrt{\frac{b}{d}} \quad (4)$$

$$x_2 = 1,1\sqrt{d \times s} + 0,8R_i \times \sqrt{\frac{b}{d}} \quad (5)$$

Kaavoissa 4 ja 5  $d$  kuvaa reiän halkaisijaa tai loven leveyttä,  $s$  levyn paksuutta,  $R_i$  taivutuksen sisäsädettä ja  $b$  sivun pituutta. (Parviainen & Havas 2011: 258.)

Taivuttavasta kappaleesta on luotava levityskuva. Nykyään levynosien geometriatiedot siirtyvät suunnittelusta valmistukseen CAD-tiedostojen välityksellä.

Osat on mahdollista leikata tasopiirustusten avulla, mutta taivutustyöhön tarvitaan 3D-kuva kuvien ollessa monimutkaisia. (Parviainen & Havas 2011: 261.)

Taivutuksen onnistunut suunnittelu vaatii suunnittelijaltaan tarkkuutta ja vahvaa ammatillista osaamista.

#### 4.4 Fusion 360

Opinnäytetyön mallinnuskuvat on toteutettu modulaarisella CAD-sovelluksella, Autodesk Fusion 360:lla. Fusion 360 on pilvipohjainen 3D-suunnitteluohjelmisto, jossa CAD-, CAM- ja PCB-toiminnot yhdistyvät samalla ohjelmistoalustalla.

Ohjelmiston eduiksi voidaan määrittää muun muassa hyvä suunnittelutarkkuus, mahdollisuus reaaliaikaiseen kommunikointiin työryhmässä sekä toimintojen keskittäminen. Ohjelman käyttö jouduttaa suunnitteluvaiheesta valmistusvaiheeseen siirtymistä integroidun CAD/CAM-ohjelmistotyökalun vuoksi. (Autodesk 2020.)

Eskelinen ja Karsikas kuvaavat virtuaalimallinnuksen ja -valmistuksen tähtäävän tietokoneavusteisten keinojen käytön optimoimiseen DFMA-näkökulmia hyödynnettäessä. Tehokkaimmin DFMA:n periaatteita pääsee toteuttamaan modulaarisilla CAD-sovelluksilla, joissa tuotteen luonnostelu, suunnittelu, elementtianalyysi, simulointi ja valmistustiedon tuottaminen ovat integroidut. (Eskelinen & Karsikas 2013: 12.) Tämän vuoksi Fusion 360 oli perusteltu valinta opinnäytetyön kannalta.

## **5 Prosessikuvaus**

Tässä kappaleessa esitellään suunnittelun lähtökohtana ollut prototyyppi, varsinainen suunnitteluprosessi, elementtianalyysi ja opinnäytetyön tulokset.

### **5.1 Prototyypin esittely**

Opinnäytetyön tuotekehityksen kohteena toimi kuvassa 4 esitelty jalustalla seisova itsepalvelukioski.

Itsepalvelukioski on vankkarakenteinen, kahdesta moduulista koostuva kokonaisuus. Ylempi moduuli sisältää näytön ja reitittimen, alempi PC:n, maksupäätteen, kuittitulostimen sekä viivakoodinlukijan. Itsepalvelukioskin alemman moduulin laitteet ovat sijoitettu ulos vedettävään telineeseen, joka helpottaa tulostimen pienhuoltoa, kuten kuittirullan vaihtamista. Itsepalvelukioskin takalevyn irrottaminen mahdollistaa molempien moduulien laitteiden huoltotoimenpiteet. Tuote on suunniteltu siten, että sen moduuleita voidaan hyödyntää osana toisia tuotekokonaisuuksia.



Kuva 4. Kehitystyön lähtökohta

Kehityskohteena olleen itsepalvelukioskin tuotekehitys oli edennyt prototyyppi-vaiheeseen, jonka yhteydessä oli havaittu kehittämistarpeita. Näihin tarpeisiin opinnäytetyölläni vastaan. Solteq määrittäi opinnäytetyön lähtökohdaksi itsepalvelukioskin kehittämisen itsenäiseksi tuotteeksi, joka mahdollisti muotoilultaan vapaamman kokonaisuuden suunnittelun.

Kehittämistyön ensisijaisina tavoitteina oli valmistettävien osien vähentäminen, materiaalivalintojen optimointi sekä kokonaismassan ja tuotantokustannusten madaltaminen. Toissijaisina tavoitteina mainittiin helppokäyttöisyys ja itsepalvelukioskin ulkonäön kohentaminen. Prototyypin laitevalinnat olivat toimivat, jonka vuoksi ne jätettiin kehitystyön ulkopuolelle.

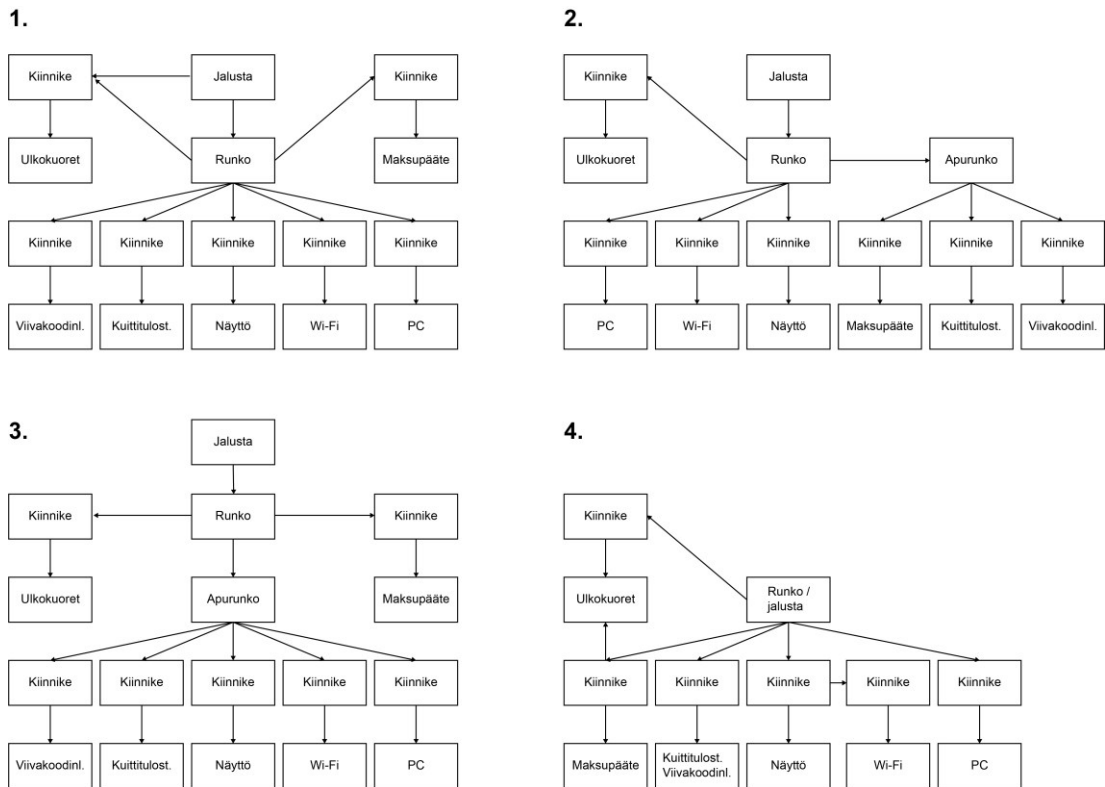
## 5.2 Suunnitteluprosessi

Suunnittelu toteutettiin Hietikon (2015: 46) prosessimallia mukaillen. Opinnäyte-työn rajauksen vuoksi suunnittelu kohdistui ainoastaan synteisiin, analyysiin ja optimointiin.

Itsepalvelukioskin suunnittelussa synteesivaiheeseen lukeutuu rakenteen hahmottelu, ulkoasun luonnostelu sekä ergonomia. Analyysivaiheeseen kuuluu rungon rakenteen ja osien kiinnityksen suunnittelu sekä elementtianalyysi. Optimoinnissa paneuduttiin osien symmetrisyyteen ja tuotteen räätälöintiin.

Suunnitteluprosessi rakentuu niistä tiedoista, jotka ovat saatavilla. Suunnittelijalla on oltava paikoitellen mittava määrä tietoa tuotteen kehittämiseksi. Ennen kuin varsinaisille visuaalisille muodoille on tarvetta, voi suunnittelija luonnostella erilaisia vaihtoehtoja kokonaisuuden muodostamiseksi. Luonnokset ovat nopeasti tehtävissä olevia, suuntaa antavia ja pääasiassa minimalistisia. Tällöin ne eivät muovaa prosessin suuntaa työn alkuvaiheessa. (Saariluoma ym. 2010: 120–121.)

Prosessin jäsentely alkoi itsepalvelukioskin rakenteen luonnostelemisesta. Luonnostelu tapahtui paperille kirjoitettujen käsitekarttojen avulla. Merkinnät alkoivat kehitettävään tuotteeseen valituista laitteista. Hahmottelu jatkui muiden komponenttien lisäämisellä. Rakenteen keskipisteeksi muodostui runko, johon jokainen laite tai mahdollinen ulkokuori saadaan kiinnitettyä. Sanallinen käsitekartta pitää ajatukset avoimempina uusille ideoille. Käsitekarttoja muodostui lopulta useampi, joista mieleisimmät ideat on otettu jatkojalostukseen. Kuvassa 5 esitellään luomiani käsitekarttoja, joista varsinaiseen toteutukseen valikoitui numero neljä.



Kuva 5. Suunnitteluprosessin käsittekarttoja

Ulkonäöllisiä piirteitä luonnosteltiin luotujen rakenteiden mallien perusteelta. Eri-laisten käsin tehtävien piirrosten tekeminen on jäsentänyt ajatuksia itsepalvelukioskin laitteiden sijoittumisesta ja tuonut uusia näkökulmia rakenteen vaatimuksista ja toteutuksesta. Käsittekartan ja luonnostelun välillä on käyty vuoropuhelua, jonka pohjalta itsepalvelukioski on alkanut muodostumaan.

Suunnittelijan ideoista voidaan luonnostella alustava malli kehitettävästä tuotteesta. Luonnokset edesauttavat arvioimaan eri vaihtoehtojen etuja ja haasteita. Monista osista muodostuva kokonaisuus, eli kokoonpano, on hyvä hahmotella sellaisenaan ennen kuin edetään muodostamaan malleja eri osista. (Hietikko 2015: 101.)

Varsinaisia luonnostelmia kertyi kymmeniä. Liian tarkkaa piirtämistä vältettiin, ettei luonnoksen hylkäämisen kynnyksesi nousisi liian korkealle siihen käytetyn ajan vuoksi. Prototyypin pohjalta näyttö on itsepalvelukioskin pääasiallinen käytettävä laite. Tämän ajan trendinä laitteista puuttuu fyysiset painikkeet, jotka voi

tuntea sormin. Tämä pistää näytön sijoituksen entistä tärkeämpään rooliin. Pelkkä fyysinen kosketus ei riitä, vaan käyttäjän tulee nähdä mitä painiketta ollaan painamassa. Tuotesijoittelu on erityisen tärkeää, jotta käyttäjän on helppo toimia ja tehdä haluamansa valinnat.

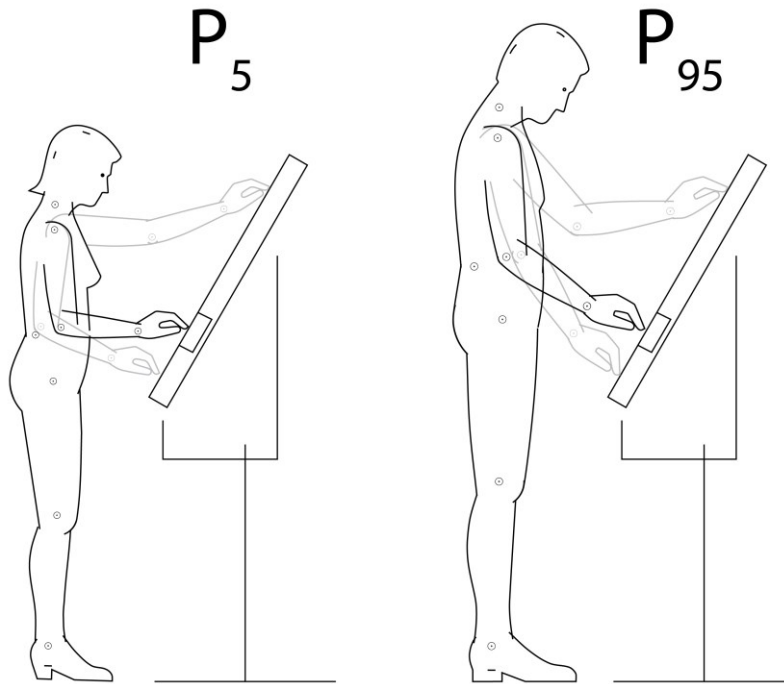
Muotokieltä suunniteltaessa huomiottiin, että näytön kallelleen asettaminen lisää tuotteen käyttömukavuutta, vaikka itsepalvelukioskin keskimääräinen käyttöaika on lyhyt. Tutustuin muun muassa peliautomaattien kabinetteihin, joissa näyttö on asetettu ergonomiasyistä 38 asteen kulmaan. Tällöin laitteen käyttöaika ei lyhennä käyttämisestä johtuva fyysinen väsymys. (Pirinen 2019: 13).

Opinnäytetyön suunnittelussa huomioitiin laitteen käyttömukavuus. Ergonomia käsittelee ihmisen ja teknisen tuotteen välisestä suhteesta. Se lähtee ihmisen ominaisuuksista ja tarpeista. (Pahl & Beitz 1992: 283.)

Käsiteltävä laite tulee suunnitella siten, että sen käyttö ei aiheuta ylimääräisiä ponnisteluja. Käyttö- ja ohjauslaitteen on keskeistä asentaa sille korkeudelle lattiasta tai maasta, jotta käyttäjä voi tarttua niihin kumartumatta ja kurkittelematta. Laitesijoittelun suunnittelussa tulee huomioida vallitseva työasento. (Jokinen 2001: 117–118.) Ergonomian avuin työ, työvälineet, ja käyttöympäristö sopeutetaan vastaamaan käyttäjän ominaisuuksia ja tarpeita. Ergonomian huomioiminen suunnittelussa lisää käyttöturvallisuutta, terveyttä ja hyvinvointia. Se edesauttaa järjestelmän häiriötöntä ja tehokasta toimintaa. (Launis & Lehtelä 2011: 19.)

Ihmisten pituus ja ruumiinosien pituusmittojen jakauma noudattaa useimmissa tapauksissa symmetristä standardijakaumaa. Suunnittelussa on olennaista tietää, kuinka suurelle osalle käyttäjistä laite soveltuu. Mittojen jakautumista tarkastellaan useimmiten prosenttipisteitä hyödyntäen. Mitan prosenttipiste  $P_x$  kuvaa arvoa, jonka alapuolelle jää  $x$  % mitatuista tapauksista. Arvolla  $P_5$  kuvataan pientä ja  $P_{95}$  suurta mitan arvoa. Näiden prosenttipisteiden välille jää 90 % mitatuista tapauksista. Edellä esitetty mittojen vaihteluväli toimii useasti suunnittelun perustana. (Launis & Lehtelä 2011: 52–53.)

Kuvassa 6 esitetään ihmisten mittojen jakautumista prosenttipisteiden kautta. Kuva vastaa likimain koko aikuisväestön arvoa 97,5 prosenttisesti. Kuva on luotu Launiin ja Lehtelän (2011: 63) kuvaaman eTyöterveyslaitoksen luoman ihmismallin pohjalta.



Kuva 6. Ergonomiamalli

DFMA-suunnitteluperiaatteen mukaisesti kokoonpantavuuden helpottamiseksi laitteessa on oltava selkeä itsestään paikalla pysyvä runko-osa ja mahdollisimman vähäinen määrä osia (Hietikko 2015: 168).

Suunnittelussa haastavin työvaihe on laitteiden sijoittaminen rungon ja näytön ympärille. Ulkomuodon tulee pysyä maltillisen kokoisena ja siistinä. Jokaiselle käyttäjälle funktionaalisen komponentin tulee olla helposti lähestyttävä. Itsepalvelukioskin käyttäjän perspektiivistä olennaisimmat laitteet ovat kosketusnäyttö, maksupääte ja kuittitulostin. Itsepalvelukioskin näyttö on sijoitettu 30 asteen kulmaan.

Laitteen ulkomuodon suunnittelu on toteutettu ulkoa sisäänpäin -periaatteen mukaisesti, lisäämällä laitteiden paikoilleensijoittelu 3D-malliin. Kokonaisuuteen on suunniteltu aluksi yksi iso laatikko, joka peittää tarvittavat laitteet. Suunnittelutyön edetessä siitä poistettiin tarpeettomat osiot. Ulkoa sisäänpäin etenevä suunnittelu helpotti erilaisten laitekokonaisuuksien ulkomuotojen vertailua. Optimaalisen muodon löydyttyä laitteet peittävä laatikko muutettiin ohutseinäiseksi rakenteeksi. Seuraavana askeleena oli ohutseinäinen rakenteen muuttaminen erillisiksi osiksi DFMA-periaatteiden mukaisesti.

Rungon rakenteeksi valikoitui tutkimustyöntuloksena kylmävalssattu 100 x 100 x 3 mm neliöputki, jotta laitteen muotokieli olisi yhtenevä luotujen hahmotelmien kanssa. Runko on suunniteltu hitsattavaksi jalustalevyyn, jonka materiaali on tukevaa 10 mm terästä. Jalustalevyn koko on suunniteltu siten, että itsepalvelukioski on itsestään lattialla seisova kokonaisuus, joka ei vaadi erillistä lisäkiinnitystä.

Rungon neliöputkeen on 3D-laserleikattu erilaisia helpotuksia. Rungon korkeuden maksimoimiseksi neliöputken yläosaan on tehty viisteitä näytön väistämiseksi. Itsepalvelukioskia varten suunniteltujen laitteiden mahdollinen vaihtuminen on huomioitu siten, että osien runkoon kiinnitys on toteutettu erillisillä kiinnikelevyillä. Laitteen vaihtuessa vain kyseinen kiinnikelevy tulee uusiksi. Rungon pystyputki on 100 mm leveä ja siihen on lisätty 40 x 40 x 3 mm profiililla oleva, 300 mm pitkä neliöputki vaakatasoon. Runkorakenteen täydentää sivuille sijoittuvat, 3 mm levyistä valmistettavat kiinnityslevyt.

Kokoonpanoon lukeutuu useampia erinäisiä taivutettavia levyosia. Osien kokoonpantavuuden kannalta kriittisimmät kohdat ovat kiinnitysreiät. Taivutuslinjojen läheisyyteen sijoittuneet reiät ja lovet mitoitettiin kaavojen 4 ja 5 avulla. Las-kutoimenpiteillä on pyritty minimoimaan muodonmuutoksesta johtuvat mitta- ja paikoitusvirheet.

### 5.3 Elementtianalyysi, FEA

FEA, eli elementtianalyysi, on tietokoneistettu menetelmä, jolla voidaan tarkastella kuinka reaali maailman esine reagoi muun muassa staattisiin rasituksiin, lämpöön tai värähtelyyn. FEA:a pidetään myös digitaalisena prototyypimenetelmänä. FEM, eli elementtimenetelmä, pilkkoo tuotteen pieniksi elementeiksi, joita voi tuotteesta riippuen tulla kymmenistä satoihin tuhansiin. Elementtityypit voivat olla tetraedrejä tai neliöitä. Joukko matemaattisia yhtälöitä ennustaa jokaisen elementin käyttäytymistä. Elementtimenetelmässä tietokone ennustaa osan tai kokoonpanon käyttäytymistä erilaisissa fysikaalisissa ilmiöissä (Autodesk 2022.)

Laitteen rakenteen monimutkaisuuden johdosta lujuuslaskentaa on analysoitu kokonaistarkisteluksi, eli tarkastelemalla koko rakennetta erillisten osien yksittäistarkastelun sijaan. Fusion 360-ohjelmassa on integroitu simulaatiopuoli, jolla suoritettiin staattisen jännityksen simulointi ja varmistetun rakenteen kestävyys. Standardin SFS-EN 1993-1-3+AC perusteella kaikille teräslajeille myötörajan minimiarvoksi voidaan asettaa 140 MPa ja myötölujuudeksi 270 MPa. (SFS-EN 1993-1-3+AC).

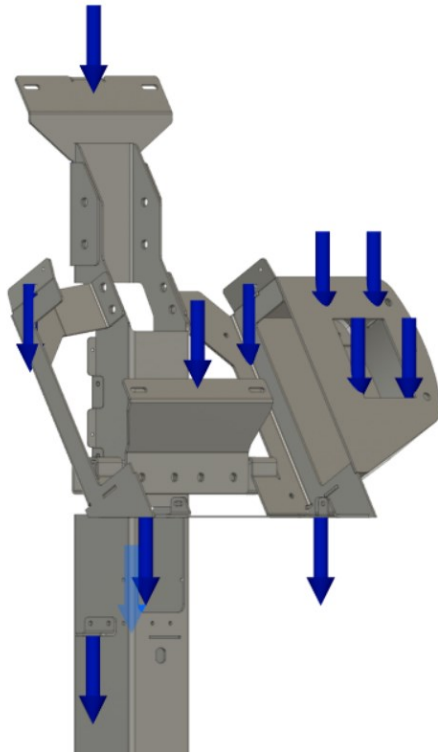
Fusion 360:lle on annettu materiaalien ominaisuudet analyysia varten.

DX51D:lle kimmokerroin 200 GPa, poissonin luku 0,3, myötölujuus 140 MPa ja murtolujuus 270 MPa. S355JR:lle kimmokerroin 210 GPa, poissonin luku 0,3, myötölujuus 355 MPa ja murtolujuus 510 MPa.

CAD-mallissa kokoonpanon osat leijuvat 3D-avaruudessa. Analysoitaessa rakennetta, ohjelmaan määritettiin osien väliset kontaktit. Erilaisia kontaktivaihtoehtoja on muun muassa pysyvä kiinnitys, erotettu kiinnitys ilman liukumista, liukuva kiinnitys ilman erotusta sekä erotus ja liukuva kiinnitys.

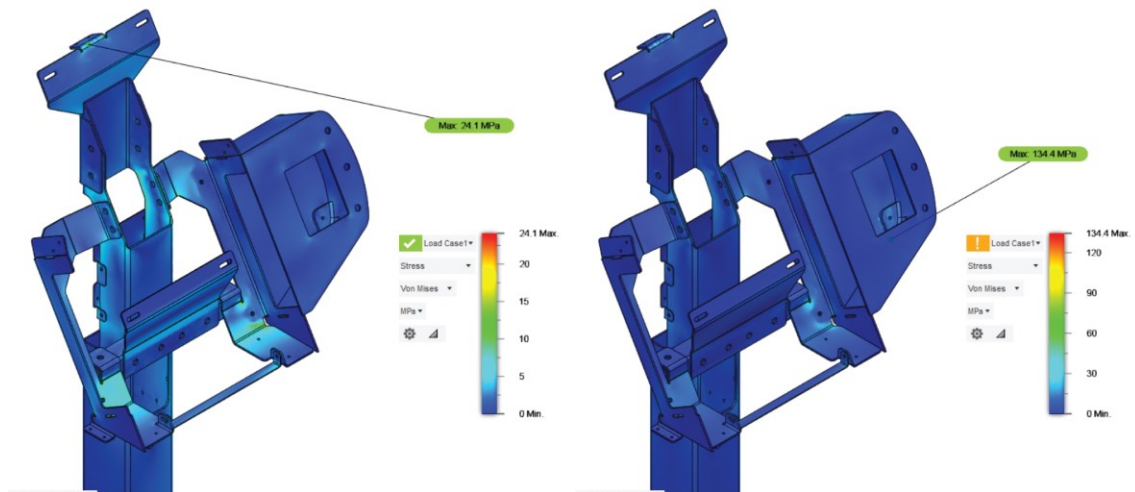
Analysoitavalla kokoonpanolla on kuusi vapausastetta: X-, Y- ja Z-akselien suuntaiset liikkeet ja jokaisen akselin ympäri kiertyminen. Simulaation tekeminen edellyttää liikeratojen rajoittamista. Itsepalvelukioski on omalla jalustallaan lattialla seisova laite, jolloin vapausasteet on rajattu jalustan pohjalevystä.

Kuvassa 7 esitetään laitteiden kohdistamien voimien kohdistuspisteet rakenteeseen. Rakenteen taustapuolella on näiden lisäksi yhden laitteen vaikuttava voima, joka ei sisälly kuvaan 7. Analyysiä varten rakennetta on yksinkertaistettu poistamalla kiinnitysosat sekä kuoret. Kuva 7 on luotu Fusion 360 -ohjelmalla.



Kuva 7. Rakenteeseen vaikuttavat voimat

Tuotteen normaalitilassa on huomioitu maan vetovoima ja laitteiden rakenteeseen tuomat rasitukset. Itsepalvelukioskissa suurimmat rasitukset tekevät kosketusnäyttö, laitteen kuoritus sekä tietokone. Kosketusnäyttö (300 N) luo suurimman rasituksen rakenteeseen. Laitteen kuoritus (45 N) ja tietokone (15 N) luovat kohtalaista rasitusta. Lisäksi kestävyuden varmistamiseksi on analysoitu laitteeseen nojaamisen tuoma lisäkuorma 150 N voimalla. Kuvassa 8 nähdään Fusion 360:n simulaatio-ohjelmalla luodut analysoinnin tulokset. Kuvassa 8 vasemmalla esitetään tuotteen normaalitila ja oikealla mahdollinen nojaamisesta johtuva lisärasitus.



Kuva 8. Analyysin tulokset

Rakenteeseen kohdistuvat rasitukset on analysoitu Von Misesin vertailujännityksen arvoina suhteessa myötörajaan. Normaalitilanteessa rakenteeseen kohdistuu 24,1 MPa:n rasitus, jonka varmuusluku myötörajaan on 5,8. Lisärasituksessa laitteeseen kohdistuu 134,4 MPa rasitus, jonka varmuusluku on 1,0.

DFMA-suunnitteluperiaatteen mukaisesti erilaisien osien määrää on pidetty alhaisena ja erillisiä osia on yhdistelty. Itsepalvelukioskin kuoret on jaoteltu valmistettavuutta ajatellen useasta osasta koostuvaan kokonaisuuteen ja jaoteltu kiinteisiin sekä irrotettavaksi tarkoitettuihin osiin. Mahdollisen kuittimateriaalin loppumisen takia kuittirulla on pystyttävä vaihtamaan. Kuittirullan vaihto onnistuu irrottamalla tulostimen ympärillä oleva kuori. Kokonaisuuteen lukeutuu myös muita laitteita, joiden huolto on mahdollistettava. Taustapuolella oleva kuoritus on jaoteltu siten, että ylin osuus on irrotettavissa avaamalla kahdeksan kiinnitysruuvia. Taustapuolen kuorituksen takaa avautuu pääsy muihin itsepalvelukioskin sisällä oleviin laitteisiin. Laitteen kuori on suunniteltu siten, että kuoren paino lepää sen alapuolella olevan kuoren päällä. Tämä keventää niin kokoonpanijan kuin huoltoa suorittavan taakkaa.

Nykypäivänä laitteita on pystyttävä räätälöimään eri asiakkaiden tarpeisiin sopiviksi. Itsepalvelukioski on suunniteltu siten, että valmistusvaiheessa

maksupäätteen pystyy vaihtamaan näytön vasemmalle puolelle tai poistamaan kokonaisuudessaan. Suunnittelutyössä on huomioitu tuotteen muunneltavuus.

## 5.4 Tulokset

Kohdeorganisaatio oli asettanut itsepalvelukioskin suunnittelutyölle useita tavoitteita ja toiveita. Ensisijaiseksi tavoitteeksi oli asetettu valmistettavien osien vähentäminen, materiaalivalintojen optimointi sekä kokonaismassan ja tuotantokustannusten madaltaminen. Edellä mainittujen lisäksi toissijaisina toiveina oli helppokäyttöisyys ja itsepalvelukioskin ulkonäön kohentaminen.

Valmistettavien osien lukumäärää on pystytty pudottamaan DFMA-lähestymistavalla 39 %. Prototyyppi koostuu 46 kappaleesta ja opinnäytetyön lopputuote 28:sta. Materiaalivalintojen kohdalla on tehty tutkimustyötä ja varmistettu, että valitut materiaalit soveltuvat sisäkäyttöisen itsepalvelukioskin valmistamiseen. CAD-mallin kautta tarkasteltuna laitteen kokonaispainoa on saatu kevennettyä 62 %. Prototyypin kokonaispaino oli n. 109,5 kg ja opinnäytetyön lopputuote painaa 41,8 kg. Hietikko (2015: 168) summaa, että jokaisen osan myötä kustannukset lisääntyvät eksponentiaalisesti. Hietikon kirjoittaman perusteella voidaan todeta, että 39 %:n lasku valmistettavissa osissa vähentää valmistuskustannuksia mittavasti. 62 %:n kokonaispainon alentuma johtaa huomattaviin säästöihin materiaalikustannuksissa.

Elementtianalyysin tulokset ovat normaalitilanteessa 24,1 MPa, varmuusluvulla 5,8 ja mahdollisessa riskitilanteessa 134,4 MPa, varmuusluvulla 1.

Kohdeorganisaatio toivoi toissijaisesti itsepalvelukioskilta helppokäyttöisyyttä ja kohennuksia ulkonäköön. Tuotteen helppokäyttöisyydessä on erityisesti huomioitu ergonomia ja käyttömukavuus. DFMA:n kautta tarkasteltuna ylläpito ja huollettavuus on parantunut huomattavasti. Irrotettavien osien painot on pidetty matalana ja suunnittelutyöllä on helpotettu osien irrotusta ja paikalleen asentamista. Ulkonäöllisesti itsepalvelukioskia on saatu modernisoitua ja kokonaisuus on tiiviimmässä tilassa.

Molemmille laitteille laskettiin kokoonpantavuusindeksi Excelillä. Laskut on toteutettu arvioidun rakenteen asennusajan pohjalta, olettaen että asennuksessa ei ilmene ongelmia. Kokoonpantavuusindeksin mukaan parannuksia on tullut 39,7 %. Laitteen huollettavuusindeksi on kohentunut 60,5 %. Itsepalvelukioskin kokoonpanoaika on pienentynyt 92 minuutista 34:n minuuttiin.

Kuvassa 9 on esiteltyä prototyyppiä ja opinnäytetyön lopputuloksena syntynyt tuote.



Kuva 9. Itsepalvelukioskit, lähtökohta vasemmalla ja lopputulos oikealla

## 6 Pohdinta

Opinnäytetyön keskiössä oli itsepalvelukioskin kehitystyö itsenäiseksi tuotteeksi. Itsepalvelukioskille asetetut tavoitteet koostuivat valmistettavien osien vähentämisestä, materiaalivalintojen optimoinnista ja kokonaismassan sekä tuotantokustannusten madaltamisesta. Kohdeorganisaatio toivoi edellä mainittujen lisäksi helppokäyttöisyyttä ja modernimpaa ulkomuotoa.

Kriteereihin lähdettiin vastaamaan DFMA-periaatteiden ja Esa Hietikon avaimella prosessimallilla. Varsinainen suunnittelu toteutettiin Autodesk Fusion 360 -ohjelmalla.

DFMA osoittautui erittäin toimivaksi suunnitteluperiaatteeksi kyseisessä kehitystyössä. Saatuja tuloksia voi kuvata kannustaviksi. Tuotteen osien lukumäärä laski 39 % ja kokonaispaino madaltui 62 %. Itsepalvelukioskin kokoonpanoindexi parantui tuotekehitysprosessin myötä 39,7 %. Huollettavuusindeksi kohtentui 60,5 %. Edellä mainittujen lisäksi tuotteen helppokäyttöisyyttä ja ulkomuotoa saatiin parannettua. Hietikon käyttämä prosessimalli auttoi opinnäytetyöprosessin suunnittelussa ja raportoimisessa. Autodeskin Fusion 360 toimi suunnittelussa kohtalaisesti. Sen kohtalaisen matala suorituskyky hidasti suunnittelua. Tulevissa projekteissa harkitsen toiseen suunnitteluohjelmaan siirtymistä. Valituilla suunnittelumetodeilla ja ohjelmilla pystyttiin vastaamaan kohdeorganisaation toiveisiin erittäin hyvin.

Suunnitteluprosessi lisäsi omaa asiantuntijuutta syventämällä DFMA:ta koskevaa ymmärrystä. Ohutlevyosia koskevat suunnittelusäännöt ovat tulleet opinnäytetyöprosessin aikana aiempaa tutuimmiksi.

Kohdeorganisaatio voi halutessaan luoda prototyypin valmistuspiirustusten ja kokoonpano-ohjeiden avulla. Tuotekehitystä voi jatkaa entisestään myös olemassa olevien dokumenttien pohjalta.

Tuotteen jatkekehitystä mietittäessä voi olla hyödyllistä puntaroida moottoroidun jalan lisäämistä tuotteeseen, jotta yhä laajempi käyttäjäkunta voi hyödyntää

laitetta. Itsenäistä jalkarakennetta on mahdollista keventää ja pienentää, jos tuotteeseen suunnitellaan lattiaan laitettava ruuvikiinnitys. Opinnäytetyön tuloksena saatiin luotua laadukas ja kustannustehokas tuote, jota on helppoa jatkojalostaa eri asiakasryhmien käyttöön.

## Lähteet

Algarawi, F. & Khan, N. 2021. Integrating Cloud with Self Service Kiosk: An Impact Study on Society Evolution. <https://online-journals.org/index.php/i-jim/article/view/27709/10437>. Viitattu 20.4.2022.

Autodesk. 2020. Fusion 360 Overview. [https://www.autodesk.fi/products/fusion-360/overview?us\\_oa=dotcom-us&us\\_si=dcc5c685-79e6-4e43-9755-074b75eca839&us\\_st=Fusion%20360&us\\_pt=NINVFUS&term=1-YEAR&tab=subscription](https://www.autodesk.fi/products/fusion-360/overview?us_oa=dotcom-us&us_si=dcc5c685-79e6-4e43-9755-074b75eca839&us_st=Fusion%20360&us_pt=NINVFUS&term=1-YEAR&tab=subscription). Viitattu 18.4.2022.

Autodesk. 2022. Fusion 360 Simulation theory. <https://help.autodesk.com/view/fusion360/ENU/?guid=GUID-0B516D76-3828-442B-A286-9AB998FB81F1>. Viitattu 2.5.2022.

Boothroyd, G. Dewhurst, P. ja Knight, W. 2002. Product Design for Manufacture and Assembly. 3. painos. Boca Raton: CRC Press.

Design buildings. 2021. Design for manufacture and assembly. DMFA principles. [https://www.designingbuildings.co.uk/wiki/Design\\_for\\_Manufacture\\_and\\_Assembly\\_\(DfMA\)#DfMA\\_principles](https://www.designingbuildings.co.uk/wiki/Design_for_Manufacture_and_Assembly_(DfMA)#DfMA_principles). Viitattu 8.4.2022.

Ergonomic solutions. 2019. The Rise and Rise of Self-Service Kiosks. <https://www.ergonomic.solutions/blog/2019/04/11/the-rise-and-rise-of-self-service-kiosks/>. Viitattu 13.4.2022.

Eskelinen, H. & Karsikas, S. 2013. DFMA-opas: valmistus – ja kokoonpanoystävällisen tuotteen suunnittelu. Lappeenranta: Lappeenrannan teknillinen yliopisto.

Hietikko, E. 2015. Tuotekehitystoiminta. Norderstedt: BoD - Books on Demand.

Jokinen, T. 2001. Tuotekehitys. Helsinki: Hakapaino Oy.

Kelsen, K. 2010. Unleashing the Power of Digital Signage. Content Strategies for the 5th Screen. Oxford: Elsevier Inc.

Launis, M. & Lehtelä, J. 2011. Ergonomia. E-kirja. Tampere: Tammerprint Oy.

Lempiläinen, J. & Savolainen, J. 2003. Hyvin suunniteltu – puoliksi valmistettu. Helsinki: Hakapaino Oy.

Matilainen, J., Parviainen, M., Havas, T., Hiitelä, E. & Hultin, S. 2011. Ohutlevy-tuotteiden suunnittelijan käsikirja. Tampere: Tammerprint Oy.

Mäki-Mantila, J. 2001. Ohutlevyjen taivutus ja muovaus. Helsinki: Yleisjäljennös Oy.

Pahl, G. & Beitz, W. 1992. Koneensuunnitteluoppi. Porvoo: WSOY:n graafiset laitokset.

Pere, A. 2021. Koneenpiirustus 1 & 2. 13. painos. Espoo: Kirpe Oy.

Pirinen, T. 2019. Peliautomaattien suunnittelu. Pro gradu -tutkielma. Tampereen yliopisto, informaatioteknologian ja viestinnän tiedekunta. Tampere.

Saariluoma, P., Kujala, T., Kuuva, S., Kymäläinen, T., Leikas, J., Liikkanen, L.A. & Oulasvirta, A. 2010. Ihminen ja teknologia. Hyvän vuorovaikutuksen suunnittelu. Tampere: Tammerprint Oy.

SFS-EN 1993-1-3 + AC. Eurokoodi 3. Teräsrakenteiden suunnittelu. 2018. Osa 1–3: Yleiset säännöt. Lisäsäännöt kylmämuovatuille sauvoille ja levyille. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto.

SFS-EN 10219-3:2020. Kylmämuovatut hitsatut teräksiset rakenneputket. 2020. Osa 3: Lujien ja säänkestävien terästen tekniset toimitusehdot. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto.

SFS-EN 10346. Jatkuvaloimisella kuumaupotusmenetelmällä pinnoitetut kylmämuovattavat ohutlevyteräkset. 2015. Tekniset toimitusehdot. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto.

Solteq. 2022. Liiketoimintakuvaus ja toimintaympäristö. <https://www.solteq.com/fi/sijoittajat/solteq-sijoituskohteena/liiketoimintakuvaus-ja-toimintaymparisto>. Viitattu 8.4.2022.

Solteq. 2022. Strategia ja painopisteet. <https://www.solteq.com/fi/sijoittajat/solteq-sijoituskohteena/strategia-ja-painopistealueet>. Viitattu 8.4.2022.

Solteq. 2022. Toimitusjohtajan katsaus. <https://www.solteq.com/fi/sijoittajat/solteq-sijoituskohteena/toimitusjohtajan-katsaus>. Viitattu 8.4.2022.

SSAB. 2022. Teräskielen aakkoset. <https://www.ssab.com/fi-fi/ssab-konserni/tietoja-ssabsta/ssab-lyhyesti/teraskielen-aakkoset>. Viitattu 13.4.2022.