

Lappeenrannan-Lahden teknillinen yliopisto LUT

LUT School of Energy Systems

LUT Kone

BK10A0402 Kandidaatintyö

SUURNOPEUSKAMERAN KOTELOSUUNNITTELU

DESING OF A CASE FOR HIGH SPEED CAMERA

Päivitetty 10.6.2024

Lappeenrannassa 4.4.2019

Veikko Koljonen

Tarkastaja Harri Eskelinen

Ohjaaja Harri Eskelinen

TIIVISTELMÄ

Lappeenrannan-Lahden teknillinen yliopisto LUT
LUT Energiajärjestelmät
LUT Kone

Veikko Koljonen

Suurnopeuskameran kotelosuunnittelu

Kandidaatintyö

Työn valmistumisvuosi 2024

27 sivua, 7 kuva ja 2 taulukkoa

Tarkastaja: Harri Eskelinen

Ohjaaja: Harri Eskelinen

Hakusanat: kotelonsuunnittelu

Kandidaatintyön aiheena oli suunnitella suurnopeuskameralle kotelo, joka kestää kuumat ja kosteat tehdasolosuhteet. Suunnittelutyössä hyödynnettiin koneensuunnittelustandardia ja tietokonemallinnusta. Kotelolle oli tarkoitus suunnitella prototyyppi, mutta maailman tapahtumat viivästyttivät osaa komponentteja saapumasta ja ne rajattiin työstä pois.

ABSTRACT

LUT University
LUT School of Energy Systems
LUT Mechanical Engineering

Veikko Koljonen

Design of a case for high speed camera

Bachelor's thesis

Year of completion of the thesis 2024

22 pages, 7 figure and 2 table

Examiner: Harri Eskelinen

Supervisor: Harri Eskelinen

Keywords: Camera housing

The topic of the bachelor's thesis was to design a casing for a high-speed camera that withstands hot and humid factory conditions. The design work utilized mechanical design standards and computer modeling. A prototype was intended to be designed for the casing, but world events delayed the arrival of some components, which were subsequently excluded from the project.

SISÄLLYSLUETTELO

TIIVISTELMÄ	1
ABSTRACT	2
SISÄLLYSLUETTELO	4
1 JOHDANTO	5
2 SUUNNITTELUPROSESSI	7
2.1 Systemaattinen konesuunnitteluprosessi.....	7
2.2 DFMA:n hyödyntäminen	9
2.3 Käyttötarkoitus ja vaatimukset	10
2.4 Konseptin sekä lopputuotteen arviointi	10
3 SUUNNITTELU	11
3.1 Tarvekartoitus	11
3.2 Käytettävät komponentit	13
3.3 Luonnostelu	14
3.4 Komponenttien asettelu ja kiinnitys	15
3.5 Piirilevyn jäähditys	17
3.6 Tiiviiden varmistaminen	18
3.7 Materiaalien valinta	18
3.8 Kokoonpanon helppous ja käytettävyys	19
3.9 Työstömenetelmät.....	20
4 POHDINTA	21
4.1 Vertailu ja yhtymäkohdat aiempaan tutkimukseen.....	21
4.2 Avaintulokset ja johtopäätökset.....	21
4.3 Tunnistetut jatkotutkimusaiheet.....	22
5 YHTEENVETO	23
LÄHTEET	24

1 JOHDANTO

Tämä kandidaatintyö käsittelee kannettavan suurnopeuskameran kotelon suunnittelua paperiteollisuuden koneiden häiriötilojen kartoittamiseen. Projekti on tehty yhteistyössä Mill Optics Ltd - yrityksen kanssa, kattamaan tarpeita vaativien prosessiparametrien valvomiseksi sekä häiriötilojen välttämiseksi.

1.1 Tutkimuksen tavoite

Tutkimuksen tavoitteena on suunnitella prototyyppi kameran kotelolle, joka vastaa odotettuja vaatimuksia käytettävyydestä, huollettavuudesta, kestävydestä, sekä muista mekaanisista ominaisuuksista.

1.2. Tutkimuksen tausta

Paperiteollisuuden prosessiympäristö on vaativa olosuhde erityisherälle suurnopeuskameralle, mikä lisää kotelon mekaanisia vaatimuksia. Prosessiparametreilla, kuten trimmipillien veden laminaarisuuden mittauksella on suora vaikutus lopputuotteen laatuun. Valvonta pystytään suorittamaan käyttämällä korkearesoluutioista suurnopeuskameraa, sillä vain hidastamalla kuvamateriaalia ja tutkimalla yksittäisiä ruutukaappauksia voidaan tutkittavia mikrotason eroja havaita visuaalisesti tarpeeksi tarkasti.

Tutkimuksen lähtötilana suurin osa laitteen komponenteista on valittu, ja näitä ohjaava ohjelmisto toisen tutkimusprojektin työn alla. Valitut komponentit ovat korkealaatuisia ja niiden mekaaninen herkkyys lisää vaatimuksia koteloinnille. Mekaanisten vaatimusten lisäksi toivotun IP luokituksen huomiointi on tärkeä osa suunnitteluprosessia. Myös laitteen lämmönhallinta on tärkeätä suunnitella asianmukaisesti.

1.3 Tutkimusongelma ja tutkimuskysymykset

Laitteen kotelon on kestävä prosessiympäristön kuumat ja kosteat olosuhteet, että se toimii suojana komponenteille. Komponentit koostuvat suurnopeuskamerasta, linssistä, valosta, prosessorista sekä kosketusnäytöstä. Sen lisäksi että koteloinnin on tuettava osia

oikein, on ensiarvoisen tärkeää, että laitteen käyttömukavuus on korkea, ja että laitteen vaihdettavien osien huolto ja vaihtaminen on helppoa. Lisäksi laitteen akun täytyy olla irrotettavissa esimerkiksi lentorajoitusten aiheuttamien tarpeiden mukaisesti. Tutkimus vastaa kysymykseen, millainen laitteen rakenteen ja erityisesti sen koteloinnin tulee olla ja millä perusteella, jotta nämä tuotevaatimukset täyttyvät.

1.4. Rajaukset

Tutkimusrajaus on helppo tehdä kotelon suunnittelun ympärille. Tutkimuksen aikana vallinnut globaali Covid-19 pandemia loi prosessiin lisäksi erityisiä haasteita komponenttien saatavuuden ja erityisesti akustojen valinnan kanssa. Tästä syystä akkukomponenttien lopullinen valinta ja sitä kautta kiinnitysmekanismien lopullinen toteutus jouduttiin rajaamaan tutkimuksen ulkopuolelle. Tämä ei kuitenkaan mitätöi tutkimuksen muita osia, vaan mahdollistaa akkukomponenttien joustavan käytön laitteiston suunnitteluprojektin edetessä.

1.5 Sovellettavat tutkimus- ja suunnittelumetodit

Suunnittelutyö toteutetaan tässä tutkimuksessa soveltaen VDI 2221 konesuunnittelustandardin ohjeistamaa vaiheistusta ja toimintamallia. Tehtyjä tuotesuunnittelua koskevia ratkaisuja tuetaan ja perustellaan kirjallisuusviitteiden sekä yritys yhteistyön mahdollistaman konsultoinnin avulla. 3D-mallinnuksien tekemiseen on käytetty Solidworks-ohjelmistoa.

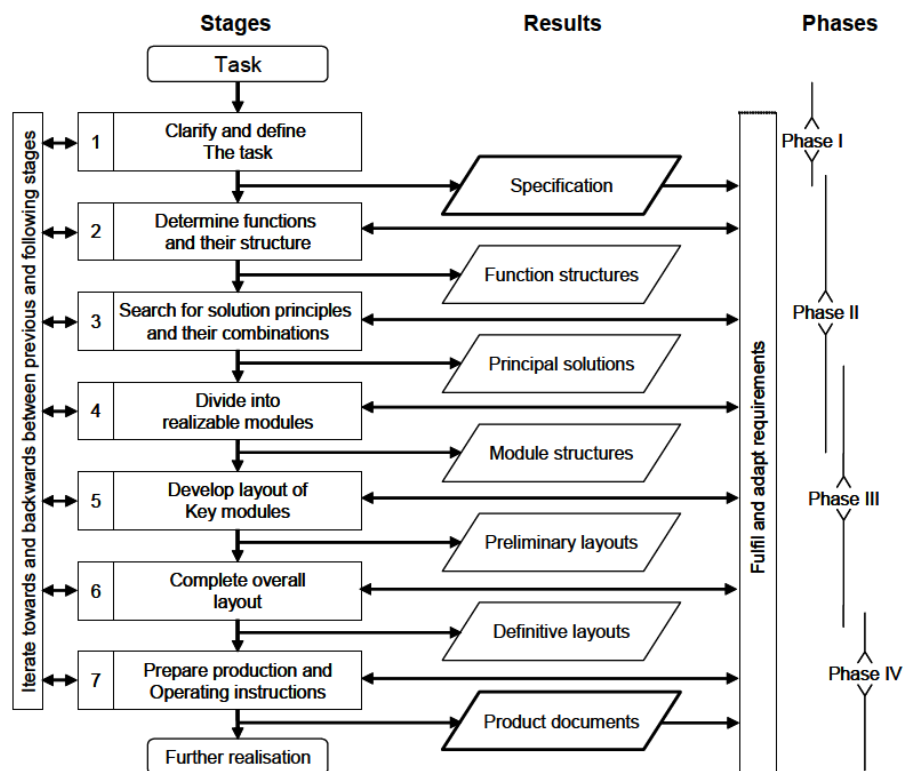
Seuraavissa kappaleissa käydään läpi tutkimuksessa käytetty suunnitteluprosessi sekä suunnittelun toteutus yksityiskohtaisesti. Käyttötarkoitus ja vaatimukset ohjaavat suunnitteluprosessin etenemistä luonnostelusta komponenttien asettelun ja kiinnityksen kautta laitteiston yksityiskohtiin. Piirilevyn jäähdytystä, tiiviyden varmistamista ja materiaalivalintoja käsitellään omissa kappaleissaan. Lopuksi aihetta tarkastellaan vielä laitteen käytettävyyden sekä valmistusmenetelmien näkökulmasta ennen johtopäätöksiä ja yhteenvetoa.

2 SUUNNITTELUPROSESSI

Tässä kappaleessa käydään läpi VDI 2221 standardin mukainen suunnitteluprosessi ja siihen liittyvät toimintamallit ja kuvataan, kuinka niitä on hyödynnetty suunnittelutyön tekemiseen.

2.1 Systemaattinen konesuunnitteluprosessi

Systemaattinen konesuunnittelu viittaa lähestymistapaan, jossa koneiden ja laitteiden suunnittelu tehdään järjestelmällisesti ja strukturoidusti. Tavoitteena on kehittää tehokkaita ja luotettavia koneita, jotka täyttävät asetetut vaatimukset ja standardit. Systemaattisen konesuunnitteluprosessin laajasti käytössä oleva standardi VDI 2221 on saksalainen vuonna 1993 päivitetty toimintatapa, jonka tavoitteena on ehdottaa yleistä menetelmää teknisten järjestelmien ja tuotteiden suunnitteluun ja tukea menetelmällistä ja systemaattista suunnittelua, jotta saavutettaisiin tehokkaampi työskentelytapa.



Kuva 1 (THE DEVELOPMENT OF THE GUIDELINE VDI 2221 -THE CHANGE OF DIRECTION J. Jänsch and H. Birkhofer)

VDI 2221 standardi on kattava suunnittelutyön ohje, joka on riippumaton käytetystä applikaatiosta ja alasta. Siten sitä voidaan soveltaa laajasti tässä suunnitteluprojektissa. Yllä olevassa kuvassa 1 on esitetty konesuunnittelustandardi VDI 2221:n toimintaperiaate, jossa prosessi jaetaan neljään päävaiheeseen I-IV. Systemaattinen suunnitteluprosessi etenee ko. lohkokaaavion mukaisesti, niin että yksityiskohtia tarkennetaan projektin edetessä ja tarvittaessa voidaan palata takaisin aiempiin prosessin vaiheisiin.

Ohjatun suunnittelujärjestelmän mukaisesti työ aloitetaan suunnittelun tarpeen määrittämisellä ja tehtävän hahmottelemisella. Suunnittelun tarve on esimerkiksi tässä tutkimuksessa perusteltu uuden tuotteen tarpeella, jossa kotelon rakenne ja toiminnallisuus on avainasemassa. Alkuvaiheessa tarpeiden kartoitus ja lopputuotteen vaatimusten listaus auttaa havainnollistamaan seuraavia askelia. Luotu lista on myös hyvä referenssipiste suunnittelun seuraavissa vaiheissa.

Alkuvaiheen tarvekartoituksen jälkeen siirrytään toiseen pääjaksoon, jossa aiemman tiedon perusteella edetään kehittämään konseptia tuotteesta. Nyt määritellään tapoja ratkaista vaatimuslistan tarpeet ja etsitään kompromisseja, joissa vaatimuslistan tarpeet kohtaavat. Tässä vaiheessa ideoita ja niiden toteutusta joudutaan usein tasapainottelemaan ja priorisoimaan eri tarpeiden välillä. Esimerkiksi akkukapasiteetin ja suunniteltavan koneen kokonaisuuden välillä voidaan helposti joutua tekemään kompromisseja, jos laitteesta on tarkoitus tehdä helposti kannettava. Lopullisia ratkaisuja haetaan useammasta näkökulmasta, ja näiden perusteella voidaan hahmotella luonnostelupiirros, joka toimii hyvänä lähtötilanteena seuraaville vaiheille.

Seuraavaksi design- eli kehittäelyvaiheessa tuotetta lähdetään mallintamaan ja luonnostelemaan tavoitteena luoda alustava tuote- tai toimintomalli. Alustavan mallin tarkoituksena on vahvistaa alkuvaiheen ideat ja luonnokset sekä tarkentaa tuotteen ominaisuuksia. Tämän mallin pohjalta kehitetään lopullinen tuote. Kehittäelyvaiheessa on

tärkeää ottaa huomioon tuotteen toiminnallisuus, valmistettavuus ja taloudellisuus omina sektoreinaan ja kokonaisuutena.

2.2 DFMA:n hyödyntäminen

Tämän tutkimusaiheen toimeksiannossa on ollut esillä myös tuotteen valmistamis- ja kokoonpanoystävällisyys erityisesti laitteen huoltotoimenpiteet huomioon ottaen. DFMA (Design for Manufacturing and Assembly) on toimintamalli, jossa jo tuotekehitysvaiheessa pyritään huomioimaan tuotteen valmistettavuus ja kokoonpanon helppous. Suunnittelun tavoitteena on luoda tuote, joka voidaan valmistaa ja koota helposti, nopeasti ja kustannustehokkaasti sopivista materiaaleista ilman tuotteen laadun tai toiminnallisuuden kärsimistä. DFMA:n peruseräajat ovat siis kestävät suunnitteluratkaisut ja materiaalivalinnat, jotka mahdollistavat tuotteen tehokkaan ja suoraviivaisen valmistamisen ja kokoonpanon. (Eskelinen ja Karsikas 2013, s. 7)

Tuotantovaiheeseen päätyvän tuotteen osat valmistetaan usein joko eri linjalla tai toimipisteessä kuin missä lopullinen laite kootaan. Tästä syystä DFMA on tehokkaampi toimintamalli, kuin kaksi perinteistä toimintamallia, joista se koostuu. DFA (Design for Assembly) sekä DFM (Design for Manufacturing) ovat kapea-alaisempia toimintamalleja, jotka keskittyvät tarkemmin eri tuotantoprosessin vaiheisiin. (Boothroyd et al. 2002, s. 1) DFA:sta lainattu näkökulma keskittyy luomaan tuotteita, jotka voidaan koota helposti ja nopeasti. Se keskittyy siis enemmän kokoonpanon tarpeisiin, ja johtaa usein modulaariseen suunnitteluun, jossa osat ovat helposti yhdistettävissä toimivilla liitosratkaisuilla. Tämä mahdollistaa tuotteelle nopean ja tarkan kokoonpanovaiheen. DFM puolestaan keskittyy tuotteiden suunnitteluun siten, että niiden valmistusprosessit ovat helppoja ja taloudellisia. Suunnittelija huomioi tällöin erityisesti valitut materiaalit ja valmistusprosessit, joilla tuotantovaiheesta voidaan tehdä sujuvaa ja kustannustehokasta. (Lempiäinen ja Savolainen 2003, s. 13)

DFMA-toimintamallilla pyritään siis hallitsemaan tuotteen valmistus- ja kokoonpanokustannuksia. Näin saatetaan lyhentää aikaa, jonka uuden tuotteen saaminen tuotantoprosessiin ja markkinoille vaatii. Lisäksi DFMA on ympäristön kannalta edullinen suunnittelutapa, sillä sen avulla voidaan minimoida hävikkiä ja tehostaa materiaalien

käyttöä. DFMA mallia voidaan siis hyvin käyttää VDI 2221 standardin työkaluna konseptivaiheesta eteenpäin.

2.3 Käyttötarkoitus ja vaatimukset

Laitteen käyttötarkoitusta ja vaatimuksia suunnitellessa on hyvä konsultoida käyttäjiä sekä kommunikoida tarkasti tuotteen tilaajan tai valmistajan kanssa. Ohjatun suunnittelujärjestelmän mukainen tarpeen määrittely ja tehtävän hahmottaminen saattaa vaatia applikaatiokohtaista kokemusta, jota ilman tarpeiden kartoitus ja listaus on joko hyvin vaikeaa tai jopa mahdotonta. Käyttötarkoitusten ja vaatimusten ymmärtäminen ja hallinta on siis ensiarvoisen tärkeää, sillä lopullisen tuotteen rakennetta on paljon vaikeampi lähteä muuttamaan, jos tarpeet ja vaatimukset eivät ole alussa olleet tarpeeksi selkeät.

2.4 Konseptin sekä lopputuotteen arviointi

Kehittelyvaiheessa tuotekonseptin arviointi on hyvä tehdä myös yhteistyössä muiden kehityksessä olevien osa-alueiden kanssa. Esimerkiksi kosketusnäytöllä käytettävän laitteen kanssa on ohjelmiston toiminta ja painikkeiden sijoittelu hyvä huomioida kokonaisuudessa. VDI 2221 standardin mukaan monessa kohtaa on myös oltava valmis palaamaan aiempiin vaiheisiin, jos kokonaisuuden kannalta vastaan tulee korjattavia seikkoja.

Tuotesuunnittelun vaatimukset voidaan luokitella kahteen kategoriaan. Laitteen ehdottomat vaatimukset (R=requirement) ja laitteen ominaisuuksiin liittyvät toivomukset (W=wishes). Se kumpaan kategoriaan vaatimukset kuuluvat, voidaan päätellä oheisen Pahl&Beitzin kirjasta löytyvän taulukon 1 perusteella.

Taulukko 1 Tuotesuunnittelun vaatimuslista

Turvallisuus	Laajemmin ajateltuna luotettavuuden ja saatavuuden kannalta
Ergonomia	Ihmis-kone konteksti sekä estetiikka
Tuotanto	Tuotantolaitokset ja tuotantotyyppi
Laadunvalvonta	Laadunvalvonta läpi suunnittelu- ja valmistusprosessin
Kokoonpano	Komponenttien valmistuksen aikana ja sen jälkeen.

Kuljetus	Tehtaan sisällä ja ulkopuolella
Käyttö	Käyttötarkoitukseen ja käsittelyyn
Huolto	Ylläpito, tarkastukset ja korjaus
Menot	Kustannukset ja aikataulut
Kierrätys	Uusiokäyttö, entisöinti, hävitys ja loppusijoitus

(Pahl&Beitz 2007, s. 43)

3 SUUNNITTELU

Tässä kappaleessa käydään läpi suurnopeuskameran kotelon suunnittelutyötä ja sen eri vaiheita. Suunnittelutyö tehtiin käyttäen VDI 2221 standardia, sekä DFMA mallia. Tavoitteena oli kehittää toimiva kokonaisuus suurnopeuskameran kotelolle, siten että lopputuote vastasi yhteistyökumppanien vaatimuslistan tarpeita mahdollisimman tarkasti.

3.1 Tarvekartoitus

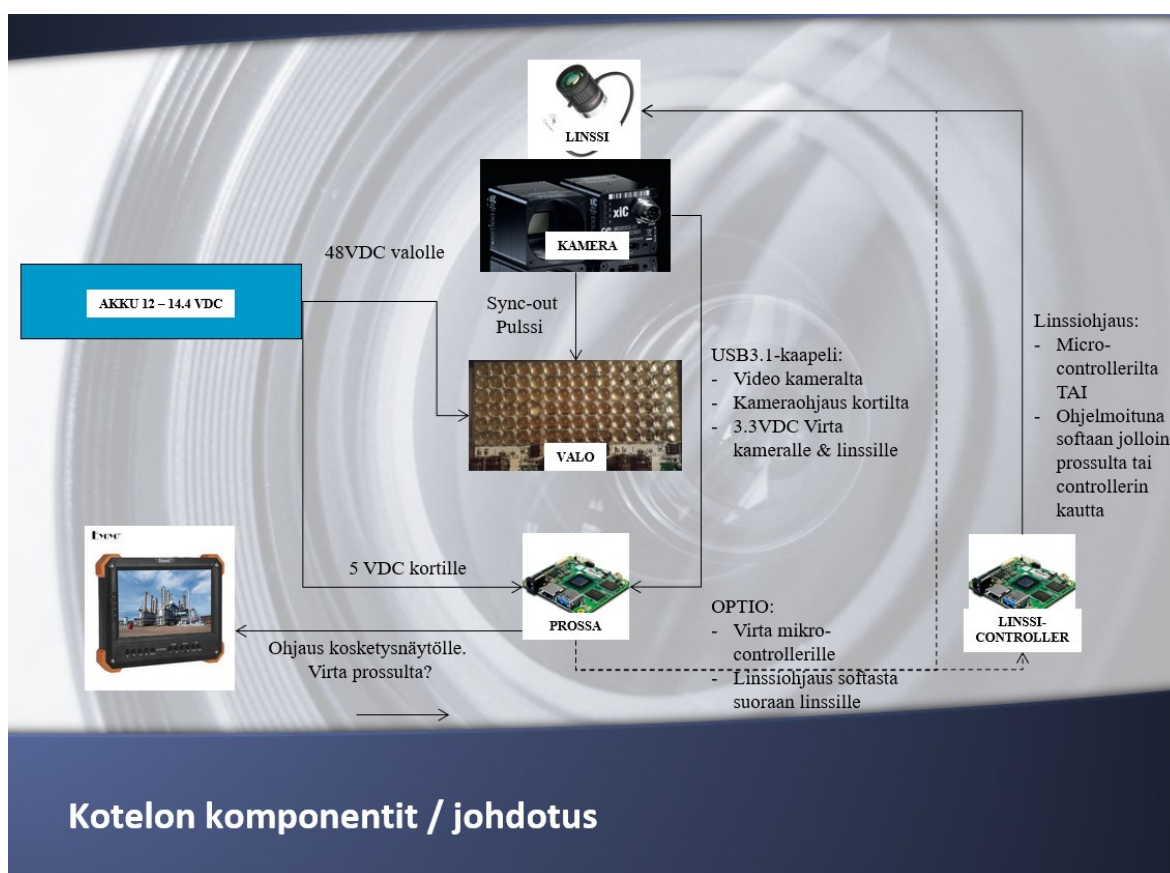
Suunnittelun aluksi kartoitettiin tarkasti tuotteen tarpeet ja vaatimukset yhteistyössä tuotteen tulevan valmistajan kanssa. Koska kyseessä oli uusi tuote, ei aiempaa referenssiä ollut, vaan suunnittelu aloitettiin sananmukaisesti tyhjältä pöydältä. Työn tilaajana ei ollut paperiteollisuuden toimija, eli suunnittelutyö jouduttiin tekemään tuotteen valmistajan tarvekartoituksen perusteella ilman vierailua lopullisessa käyttöympäristössä. Tarvekartoituksessa nojattiin siis vahvasti lopullisen tuotteen valmistajan listaan ja toiveisiin käyttötarpeista ja vaatimuksista. Yritykseltä saatujen toiveiden sekä vaatimusten perusteella listattiin tarpeet suunnittelun alkutilaksi. Lista on esitetty taulukossa 2.

Taulukko 2. Kotelointia koskeva vaatimuslista

Vaatusmus	Huomio
Kotelon mekaaninen kestävyys	Prosessiympäristön aiheuttamat mekaaniset rasitteet
Akuston käytettävyys	Akuston oltava irrotettava. Akun kestävä vähintään 1 tunti.

Huollettavuus	Linssien irrotus/vaihto
Vedenpitävyys	Kestettävä mahdollisesti kosteita tuotantoprosessitiloja. Vähintään IP54 tai IP 64
Kompaktiuden optimointi	Käyttäjätavallinen rakenne. Koko maks. 300 x 300 x 80 mm
Kannettavuus	Kantokahvat ja painon jakautuminen laitteessa. Loppumassa max 3 kg
Lämmönhallinta	Mikropiirien, valojen sekä kameran tuottaman lämmön johtuminen ja jäähdytys
Liitimet datan ulostulolle	Muistikortti tai johtoliitäntä
Akkulaturin johto	Laturin liitin laitteen kuoreen
Tablettimainen muoto	Laitteen komponenttien sijoituksen suunnittelu
Kotelomateriaali	Alumiini. Mekaanisesti kestävä, korkea jäähdytysteho. Kotelomateriaalilla vaikutusta myös näyttävyyteen ja ostopäätökseen.

Osana vaatimuslistausta yritys jakoi myös alustavan kaavion suunnittelusta johdotuksesta. Johdotuskaavio esitettynä kuvassa 2. Kaavion tehtävä on auttaa hahmottamaan kokonaisuutta sekä yksittäisiä komponentteja ja niiden liitettävyyttä toisiinsa koteloinnin sisällä.



Kuva 2. Yrityksen tuottama kuva komponenttien osille ja johdotukselle.

3.2 Käytettävät komponentit

Koska työnannon rajausta koski vain laitteen koteloitua, olivat laitteeseen tulevat komponentit akkua lukuun ottamatta tiedossa valmiiksi. Komponenteista oli tässä vaiheessa tärkeää tietää niiden tarkat dimensiot, massa, kiinnitystavat, sekä muita yksityiskohtia kuten mahdollinen lämmöntuotto. Lopputuotteen vaatimuksena oli olla litteä tablettimallinen laite, jolloin lopputuotteen massa sekä komponenttien asettelu tuovat omat lisähaasteensa suunnitteluun. Komponentit ja huomioitavat ominaisuudet listattuna taulukossa 3.

Taulukko 3 Komponentit

Osa	Dimensiot	Paino	Muuta huomioitavaa
Ohjainkortti	n. 40 x 180 x 180 mm	N/A	Jäähdytyksen varmistaminen
Valomoduli	130 x 210 x 40 mm		Tiivistys ja jäähdytys

Akku	Muiden komponenttien viereen jäävä tila rajoittava tekijä		Ei määriteltä, mutta huomioitava suunnittelussa.
Kamera	n. 30 x 30 x 11 mm		Kotelo ei saa häiritä kameran toimintaa.
Monitori	180 x 150 x 10 mm		Kiinnitys ja reunojen tiivistäminen
Fyysiset painikkeet	Virtapainike		Tiivistäminen
USB-portti			Tiivistys
Virtapistoke			Tiivistys käytön aikana

3.3 Luonnostelu

Luonnosteluvaiheessa yrityksen tuottamat kuvat toimivat luonnoksina, miltä laitteen halutaan näyttävän ja kuinka sitä on ajateltu käyttää. Näiden kuvien perusteella mallinnettiin konsepti, jossa komponentit olivat sommiteltuna paikoilleen. Tässä vaiheessa laitteen kaikkia komponentteja ei ollut vielä saatu mitattavaksi, joten sille jätettiin vain tilaa.



Kuva 3 Konseptimalli

Konseptimallille tuli hyväksyntä kotelon tilaajalta ja sen pohjalta jatkettiin suunnittelua.

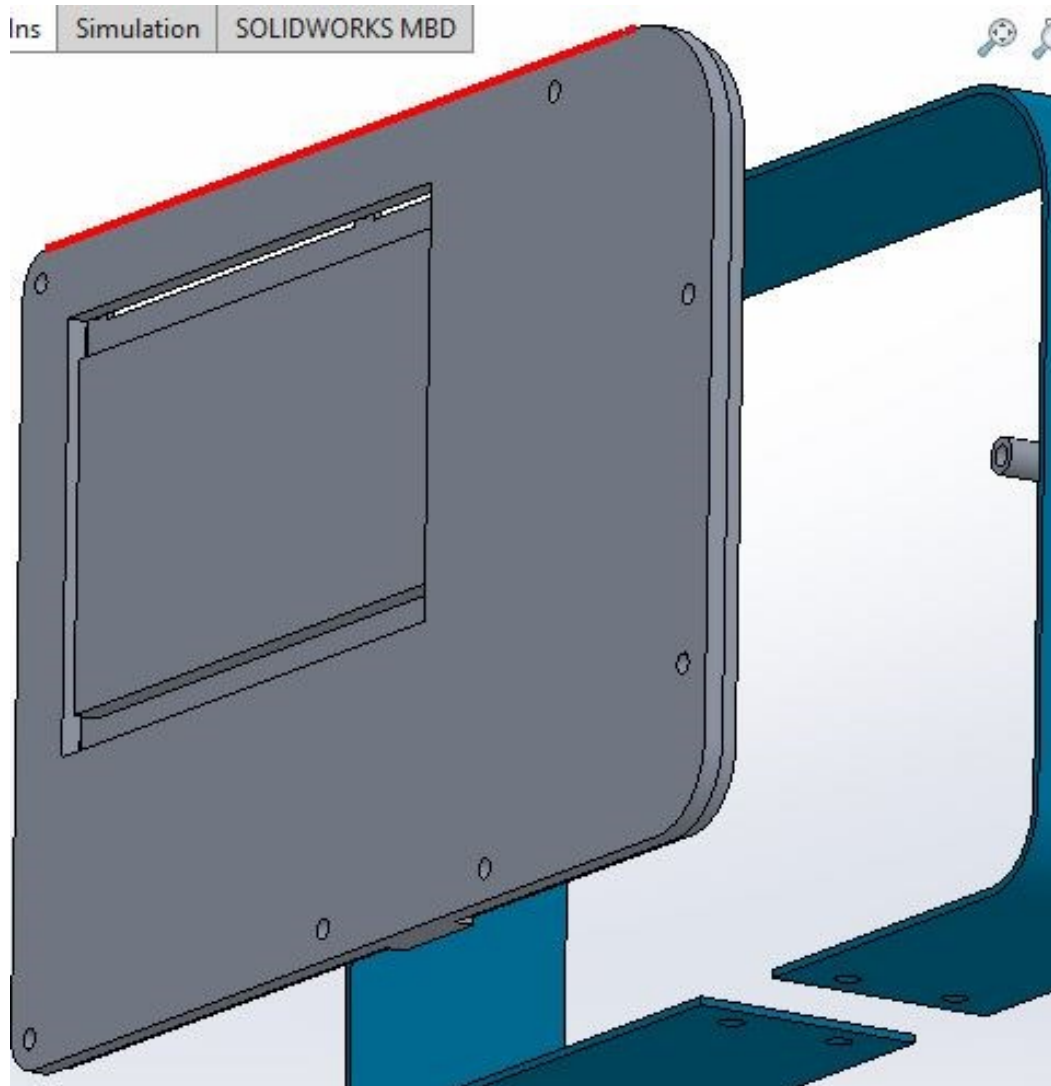
3.4 Komponenttien asettelu ja kiinnitys

Komponenttien vähäisen määrän takia ne löysivät paikkansa helposti konseptin mukaisen kotelon sisältä. Kotelon etulevy suunniteltiin siten, että se toimii päärunkona ja siihen kiinnitetään suurin osa komponenteista. Etulevyyn kiinnitetään piirilevy, kamera, kameran suojaputki, valo ja sen suojakuori, akku, pistokkeet ja takalevy. Komponentit kiinnitetään ruuveilla ja liimalla.



Kuva 4 Etulevy

Takalevy on samankaltainen etulevyn kanssa ja siihen kiinnitetään monitori ja virtapainike. Takalevyn ja etulevyn väliin tulee holkit ja alapuolelle palanen, missä on kierre kamerajalustalle. Levyt kiinnitetään toisiinsa ruuveilla holkkien ja palasen läpi.



Kuva 5 Takalevy

3.5 Piirilevyn jäähdytys

Käytetyssä piirilevyssä on valmiina jäähdytysiilin, joka säteilee lämmön kotelon sisälle. Koska kyseessä on prototyyppi, vasta valmista laitetta kokeilemalla selviää, onko sen jäähdytysteho riittävä. Tämä on kuitenkin otettava huomioon myös suunnittelussa siten, että koteloon jätetään tilaa, missä lämpö siirtyy ilman välityksellä koteloon ja kotelosta käyttöympäristöön. Lämmön siirtymistä koteloon voidaan tarvittaessa tehostaa lämpöputkilla, jotka korvaisivat piirilevyn oman jäähdytysiilin. Kotelon materiaalivalinnassa on myös huomioitava materiaalin lämpöominaisuudet.

3.6 Tiiviyyden varmistaminen

Laitteen vaatimuksena on olla vedenpitävä käyttöympäristön kosteiden olosuhteiden takia. Laitteen tilaaja esittää tiiveysvaatimukseksi IP-luokitusta 54 tai 64. EN 60529 standardin mukaan IP-luokan 54 suojauksen tulisi olla suojattuna pölyltä ja roiskuvulta vedeltä, mutta ei edellytä täydellistä tiiveyttä pölyn osalta, kuitenkin haitallisia pölykertymiä ei saa syntyä. Luokan 64 suojaus on taas täysin pölytiivis ja sen tulisi kestää roiskuvaa vettä.

Etu- ja takalevyt yhdistyvät ruuvien ja holkkien välityksellä toisiinsa. Levyjen väliin jäävän tilan ympärille kiinnitetään ohut kuorilevy, joka sulkee sisätilan. Kuorilevyn ja runkolevyjen välisille pinnoille laitetaan tiivistemassaa varmistamaan pöly- ja vesitiiveyttä.

Led-paneelin suojakuori kiinnitetään etulevyyn liimamassalla ja samoin suojakuoren linssilasi liimataan suojakuoren sisäpintaan. Led-paneelin huollettavuus säilyy helppona, kun käytetään pelkkää liimaa ja samalla kuori voidaan suunnitella yksinkertaisemmaksi.

Kameran suojaputkeen työstetään kartiopinta, tiivistyy etulevyä vasten kiristettäessä. Borosilikaattilasien molemmin puolin laitetaan o-renkaat, jotka tiivistävät lasin kiristettäessä linssinpidintä ja suojaputkea vasten. O-renkaat toimivat samalla suojana lasille, ettei se rikkoonnu metallipintoja vasten kiinnittäessä.

Monitori kiinnitetään takalevyyn ruuveilla sen kiinnityspisteitä ja reunat tiivistetään tiivistemassan avulla takalevyyn.

3.7 Materiaalien valinta

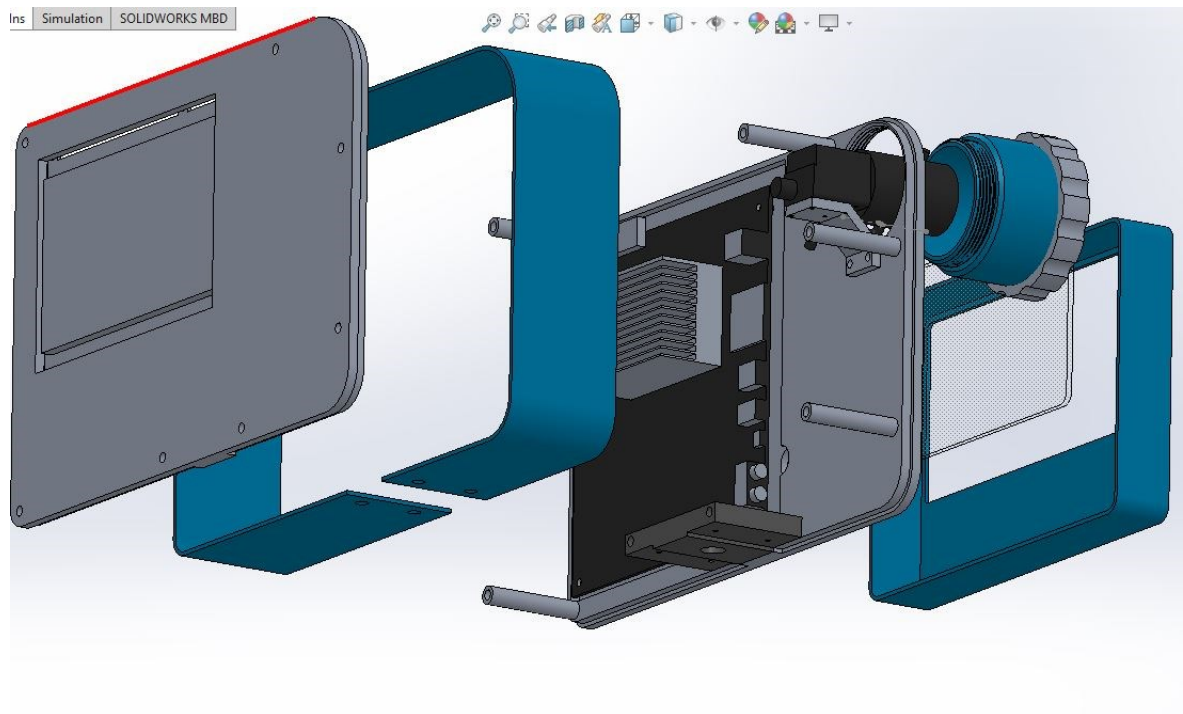
Materiaalin valinnassa oli otettava huomioon sen kestävyys, paino, työstettävyyden ja hinta. Toiveena oli myös materiaalin helppo pintakäsittely ulkonäön kannalta. Nämä kriteerit täyttyivät alumiinilla ja se valikoitui kotelon osien materiaaliksi.

Alumiini on metalli, joka kestää hyvin iskuja ja korroosiota. Tämä on tärkeää, sillä tehdasolosuhteet johon laite tulee, ovat vaativa ympäristö. Alumiini on suhteellisen kevyttä materiaalia verrattuna muihin metallivaihtoehtoihin, kuten ruostumatoneräs. Tämä

helpottaa kotelon ja laitteen käyttöä ja kuljettamista. Alumiini on myös erittäin hyvin työstettävä materiaali, mikä tarkoittaa, että sitä voidaan muotoilla helposti erilaisiksi osiksi ja rakenteiksi. Tämä helpottaa valmistusprosessia ja mahdollistaa monimutkaistenkin muotojen toteuttamisen. Alumiini on suhteellisen edullinen materiaali verrattuna esimerkiksi titaaniin tai ruostumattomaan teräkseen. Tämä auttaa pitämään valmistuskustannukset kurissa, mikä on tärkeää prototyypin valmistuksen kannalta. Alumiini on hyvin sopiva materiaali erilaisten pintakäsittelyjen, kuten maalauksen tai anodisoinnin kannalta. Tämä antaa mahdollisuuden saavuttaa haluttu ulkonäkö, sekä suojata materiaalia entisestään esimerkiksi korroosiolta ja naarmuilta.

3.8 Kokoonpanon helppous ja käytettävyys

Komponenttien asettelun ja kiinnityksen suunnittelussa otettiin huomioon kokoonpano ja pyrittiin pitämään rakenne mahdollisimman yksinkertaisena. Osat sijoitettiin siten, etteivät ne ole toistensa edessä ja että niiden kiinnityskohdat eivät jää piiloon. Kotelon moniosainen rakenne mahdollistaa komponenttien kiinnityksen siten, ettei se vaadi erityistä järjestystä. Kotelon takalevyn irrottamalla pääsee sisäpuolelta huoltamaan tietyn komponentin purkamatta muita edestä.



Kuva 6 Komponenttien paikat kameran sisällä

3.9 Työstömenetelmät

Valmistusmenetelmien optimointiin ei panostettu, koska kyseessä oli prototyypin suunnittelu. Niinpä valmistettavat kotelon komponentit suunniteltiin niin, että ne ovat mahdollisimman yksinkertaisia ja perinteisillä konepajan työstökoneilla valmistettavissa.

Kotelon etu- ja takalevyt cnc-koneistetaan 10 mm paksusta alumiinilevystä. Levyjen väliin tulevat holkit leikataan joko valmiista alumiiniputkesta tai sorvataan sopivan kokoisesta aihioista. Kotelon alapuolinen välikappale jyrksitään myös 10 mm alumiinilevystä. Levyjen välin sulkeva ohut levy taivutellaan 1 mm paksusta alumiinista. Valopaneelin kotelo taivutetaan myös samasta levystä. Kameran suojaputki sorvataan sopivasta putkesta ja linssin kiinnittävä osa cnc-koneistetaan sopivan kokoisesta alumiinikappaleesta.

4 POHDINTA

Tässä luvussa arvioidaan, miten hyvin saadut tulokset ovat linjassa taustakirjallisuuden ja -taustatutkimusten kanssa sekä nostetaan esille tutkimustulosten luotettavuusnäkökohtia. Lopuksi esitetään jatkotutkimusaiheita tuotekehityksen johdonmukaiselle jatkamiselle.

4.1 Vertailu ja yhtymäkohdat aiempaan tutkimukseen

Tässä tutkimuksessa on sovellettu VDI2221 standardia ja DFMA:n periaatteita lähteiden [Eskelinen ja Karsikas 2013, Lempiäinen ja Savolainen 2003, Boothroyd et al. 2002, s. 1] mukaisesti. Tutkimuksessa koottujen havaintojen perusteella VDI 2221:n soveltaminen on osoittautunut hyväksi työkaluksi suunnitteluprosessissa. DFMA-periaate on myös osoittautunut hyväksi suunnittelun pohjaksi kotelon valmistamista ajatellen.

4.2 Tutkimuksen luotettavuus ja objektiivisuus

Toteutettu tuotekehitystehtävä on perustunut laajasti tunnettuun ja tunnustettuun VDI2221 standardiin, jolla on pyritty varmistamaan sekä luovaongelman ratkaisu että systemaattinen eteneminen suunnittelutyössä. Tutkimuksen tausta-aineistona käytetty lähdeaineisto on haettu tieteellisistä tietokannoista eikä lähteiksi ole kelpuutettu heikkoja lähteitä. Suunnittelutyön tuloksia arvioitaessa ja kehitystyön edetessä on konsultoitu kohdeyrityksen pitkän työkokemuksen omaavia henkilöitä, jotta esitettyjen ratkaisujen toimivuutta voitaisiin arvioida objektiivisemmin. Tuotteen vaatimuksia ja toteutettuja ratkaisuja on arvioitu numeerisesti aina kun se ollut mielekäästä, millä pyritään välttämään subjektiivista arviointia.

4.2 Avaintulokset ja johtopäätökset

Tutkimuksen kolme keskeisintä tuotekehityksen tulosta voidaan kiteyttää seuraavasti:

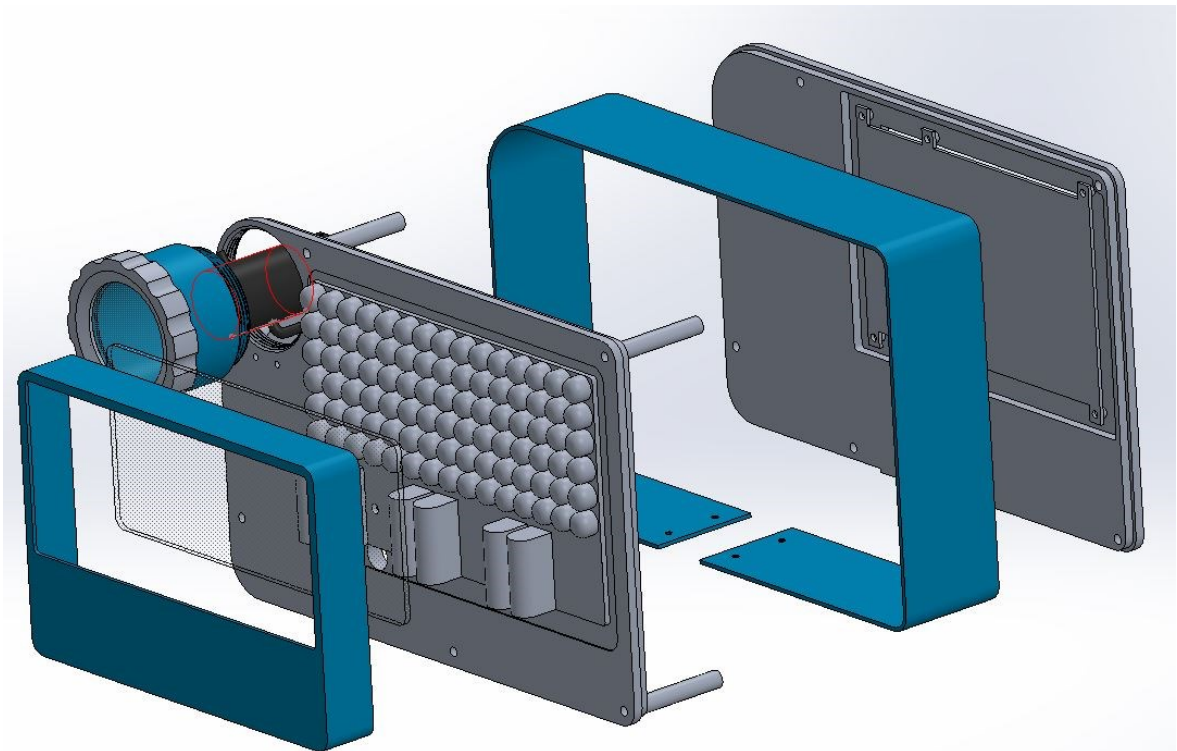
1. Saatiin suunniteltua kotelo, joka suojaa sisällä olevia herkkiä suurnopeuskameran komponentteja. Kotelo on tarpeeksi vahva teolliseen ympäristöön, mutta silti vielä käsin käytettävissä.
2. Kotelon tiivistämisen suunnitteluun käytetty aika tuotti ratkaisut, jotka ovat luotettavia laitteen tulevia käyttöolosuhteita varten.
3. Ulkonäköön liittyvät toivomukset saatiin pidettyä ilman että kokonaisuus kärsi.

Nämä tulokset vastaavat pääosin asetettuun tutkimuskysymykseen ja tarjoavat kohdeyritykselle mahdollisuuden toteuttaa tuotekehitystä toivomallaan tavalla.

4.3 Tunnistetut jatkotutkimusaiheet

Tutkimustyön aikana on esille noussut monia tuotekehitysideoita, joita ei kuitenkaan toteutettu tutkimukselle asetettujen rajausten vuoksi. Kolme keskeisintä tunnistettua kehityskohdetta tuotteessa ovat tämän tutkimuksen perusteella seuraavat:

1. Laitteen akuston kiinnittäminen ja sen ympäristön suunnittelu mahdollisimman helppokäyttöiseksi.
2. Laitteen ohjelmiston ja fyysisten painikkeiden määrä sekä tarvittavat liitännät tiedonsiirrolle.
3. Laitteen käyttöä helpottavat kahvat jäivät suunnittelussa taka-alalle, mutta ovat helposti toteutettavissa jatkotutkimuksissa.



Kuva 7 Valmiin kotelon osat ja kamerasen etupuolen komponentit

5 YHTEENVETO

Tutkimuksen tavoitteena oli suunnitella suurnopeuskameran komponenteille tehdasolosuhteet kestävä kotelointi. Yrityksen antamat lähtötiedot ja visiot auttoivat suunnittelutyön alussa ja toimivat tukena lopullisen prototyypin malliin asti. Maailman tapahtumat rajasivat hieman laitteen valmistumista, mutta tässä saatiin luotua hyvä pohja jatkaa laitteen kehitystä tulevaisuudessa.

Suunnitteluprosessia ohjasi VDI 2221 standardi ja DFMA suunnitteluohje. Alkutilanteessa oli tarve koteloinnille ja yrityksen luoman vaatimus- ja toivelistan avulla oli helppo soveltaa koneensuunnittelustandardia ideointivaiheessa. Kun suunnitella mielessä piti myös DFMA:n, ei kotelon valmistamista estäviä ongelmia ilmennyt ja lopputuloksena on lähes valmis tuote.

LÄHTEET

Boothroyd, G. Dewhurst, P. ja Knight, W. 2002. Product Design for Manufacture and Assembly. 2. painos. Boca Raton: CRC Press. 698 s.

Eskelinen, H. ja Karsikas, S. 2013. DFMA-opas: valmistus- ja kokoonpanoystävällisen tuotteen suunnittelu. Lappeenranta: Lappeenrannan teknillinen yliopisto. 115 s.

IEC 60529:1989. 2013. Degrees of protection provided by enclosures (IP Code). Painos 2.0. Geneve. International Electrotechnical commision.

Jänsch, J. and Birkhofer, H. 2006. THE DEVELOPMENT OF THE GUIDELINE VDI 2221 -THE CHANGE OF DIRECTION. Dubrovnik: INTERNATIONAL DESIGN CONFERENCE - DESIGN 2006, saatavissa https://www.designsociety.org/download-publication/18983/the_development_of_the_guideline_vdi_2221-the_change_of_direction

Lempiäinen, J. ja Savolainen, J. 2003. Hyvin suunniteltu - puoliksi valmistettu: lyhyt johdatus tuotteiden valmistettavuuteen ja kokoonpantavuuteen. Helsinki: Suomen Robotiikkayhdistys. 180 s.

Pahl, G. Beitz, W. Feldhusen, J. ja Grote, K.-H. 2003. Engineering Design A Systematic Approach Third Edition. Springer-Verlag London Limited 2007. 617 s.

