



Osaamista  
ja oivallusta  
tulevaisuuden  
tekemiseen

Vilja Leikas

# Refraktometrin COREn lämmönjohtavuuden optimointi

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Konetekniikan tutkinto-ohjelma

Insinöörityö

6.5.2019

Tekijä Otsikko	Vilja Leikas Refraktometrin COREn lämmönjohtavuuden optimointi
Sivumäärä Aika	41 sivua 6.5.2019
Tutkinto	Insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma	Konetekniikka
Ammatillinen pääaine	Tuotantotekniikka
Ohjaajat	Yliopettaja Jyrki Kullaa Suunnittelupäällikkö Harri Salo
<p>Refraktometri on laite, joka mittaa nesteen pitoisuutta taitekertoimen avulla. Yksi refraktometrin tärkeimmistä komponenteista on CCD-kamerakortti, joka on herkkä yli 60 °C:n lämpötiloille. Kortin lämpeneminen voi johtaa sen vikaantumiseen, mikä estää laitteen käyttämistä korkeissa prosessilämpötiloissa.</p> <p>Juho Mannisen vuonna 2014 valmistuneessa insinöörityössä oli etsitty ratkaisua tähän ja päädytty lopulta tulokseen, että parhaiten lämmönjohtavuutta refraktometrin sisällä voisi hillitä muuttamalla COREn (refraktometrin sisäosa jolle CCD-kamerakortti kiinnitetään) rakennetta.</p> <p>Sen myötä tämän insinöörityön tehtävä oli suunnitella ja valmistaa prototyyppi uudesta COREsta, joka johtaisi vähemmän lämpöä kuin alkuperäinen. Työssä hyödynnettiin topologista optimointia ja virtaussimulointia.</p> <p>Prototyyppi valmistettiin AISI 304-teräksestä, pääsyinä materiaalin helppo saatavuus ja alempi lämmönjohtamisarvo verrattuna alkuperäisessä mallissa käytettyyn 6026 T9-alumiiniin. Prototyypin valmistuksessa käytettiin 3D-tulostusta. Tekniikalla saatiin aikaiseksi malli, joka on tilavuudeltaan 76,5 % ja painoltaan 37,9 % pienempi kuin alkuperäinen kolmiosainen CORE.</p> <p>Prototyyppiä vertailtiin alkuperäisen COREn kanssa tekemällä molemmista versioista kokoonpanot, joiden lämpenemistä verrattiin vesihauteessa. Tässä hauteessa kierrätettiin 60 °C vettä 1,5 h kullakin kokoonpanolla ja lämpenemistä seurattiin lämpöantureiden avulla sekä camera bodyssa että CCD-kamerakortilla.</p> <p>Työn tuloksena syntyi uusi, yksiosainen CORE, joka lämpenee laboratorion lämpöhauteessa 4 °C vähemmän kuin alkuperäinen CORE käytettynä 60 °C vedessä. Tulos on merkittävä parannus alkuperäiseen verrattuna ja kannustaa jatkosuunnitteluun yksiosaisen COREn kehittämisestä lopulliseksi tuotteeksi.</p>	
Avainsanat	refraktometri, lämmönjohtavuus

Author Title	Vilja Leikas Heat Conductivity Optimization of The Refractometer's CORE
Number of Pages Date	41 pages 6 May 2019
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Mechanical and Production Engineering
Professional Major	Production Engineering
Instructors	Jyrki Kullaa, Principal Lecturer Harri Salo, Head of Design
<p>A refractometer is a device, which measures concentration in liquid using a refractive index. One of its most important components is a CCD-camera card that is sensitive to over 60 ° C temperatures. Overheating of this card might lead to failure, which prevents from using the refractometer in processes with high temperatures.</p> <p>In 2014 Juho Manninen wrote a Bachelor's thesis on finding a solution to this problem. The recommended solution was to change the design of the CORE (core of the refractometer, which includes the CCD-card) to be less heat conductive.</p> <p>The goal of this Bachelor's thesis was to design and manufacture a prototype of a new CORE that would have a lower heat conductivity when compared with the original assembly. In the design process the tools utilized were topological optimization and flow simulation.</p> <p>The prototype was manufactured from AISI 304 steel that is both easily available and has a lower heat conductivity when compared with 6026 T9 aluminum that is used in the original assembly. The chosen manufacturing technique was 3D printing. With this technique, a model was created that currently is 76.5 % smaller in volume and 37.9 % in weight than the original CORE.</p> <p>This prototype was compared with the original CORE by making an assembly from both versions and placing them in a water bath. The water bath had a stable flow with 60 ° C temperature water for 1.5 h and both models were monitored with thermal sensors attached to the camera body and the CCD-camera card.</p> <p>The result is a prototype CORE that conducts heat 4 ° C less than the original CORE when used in 60 ° C water. The result is a significant improvement when compared with the original assembly, and the future development of this prototype as a final product should be considered.</p>	
Keywords	refractometer, heat conductivity

# Sisällys

## Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Työn teoreettinen tausta	2
2.1	Refraktometrin toiminta	2
2.2	Topologinen optimointi	4
2.3	Tulostustekniikat	9
2.3.1	3D-tulostus	9
2.3.2	Metallitulostus	10
3	Prototyypin suunnittelu ja valmistus	15
3.1	Lähtötilanne	15
3.2	Topologinen optimointi	19
3.3	Virtaus- ja lämpösimulointi	24
3.4	Prototyyppi ja vaihtoehtoiset ratkaisut	30
3.5	Prototyypin testaaminen	34
3.6	Työn tulokset	37
4	Yhteenveto	39
	Lähteet	40

## **Lyhenteet**

*CCD*      *Charge Coupled Device*

*CORE*      *Compact Optical Rigid Element*

## 1 Johdanto

Refraktometri on laite, joka mittaa prosessinesteen pitoisuutta hyödyntämällä nesteen taitekerrointa. Kyseisellä laitteella voidaan mitata monenlaisia nesteitä ja niiden pitoisuuksia aina paperiteollisuudesta puolijohde- ja ruokateollisuuteen.

Taitekertoimen saa selville heijastamalla valonsäteen prosessinesteeseen ja CCD-kameran (*Charge Coupled Device* kamera) avulla tulkitsemalla takaisin heijastuvan valon optisena kuvana. CCD-kamera on kuitenkin herkkä korkeille, yli 60 °C:n lämpötiloille, joten on tarpeellista tutkia erilaisia keinoja, miten lämpötilan johtumista prosessista elektroniikalle voisi estää korkeammassa käyttölämpötiloissa ja siten laajentaa laitteen käyttömahdollisuuksia. Toisaalta pienissä ja viileissä prosesseissa on tärkeää estää elektroniikan tuottaman lämmön siirtyminen prismalle ja prosessilämpötilaa mittaavalle lämpötila-anturille.

Tässä insinööriyössä käytetään pohjana osittain Juho Mannisen tekemää diplomityötä (Refraktometrin rakenteen lämpötilaoptimointi elektroniikan kannalta, 2014, Oulu), jossa on jo aiemmin tutkittu refraktometrin COREn (*Compact Optical Rigid Element*, refraktometrin sisäosa, joka sisältää mm. LED-kortin, prisman, linssit ja CCD-kortin kiinnityksen) osien lämmönjohtavuutta, teoreettisella tasolla ja tarjottu erilaisia konseptiratkaisuja, sekä tutkittu Solidworksin Flow Simulation-ohjelmiston tarkkuutta verrattuna laboratorioympäristöön. Kyseisessä diplomityössä tehtiin ehdotus tuotteen uudesta muotoilusta pohjaten eniten lämpöä johtavien osien keventämiseen. Sen soveltuvuuskelpoisuutta tutkitaan nyt uudessa insinööriyössä käyttämällä hyväksi Solidworks Simulationin lisäosaa. Konseptista tehdään myös prototyyppi, mitä vertaillaan Solidworksin lämpösimulaation ja laboratorioympäristön tulosten välillä.

Uuden COREn suunnittelussa on päätetty hyödyntää topologista optimointia ja 3D-metallintulostusta. Kyseisillä tekniikoilla on mahdollista saavuttaa uudenlaisia, kevyempiä geometrisia rakenteita, joita voisi olla muuten hankala toteuttaa kyseisen kappaleen valmistusprosessissa.

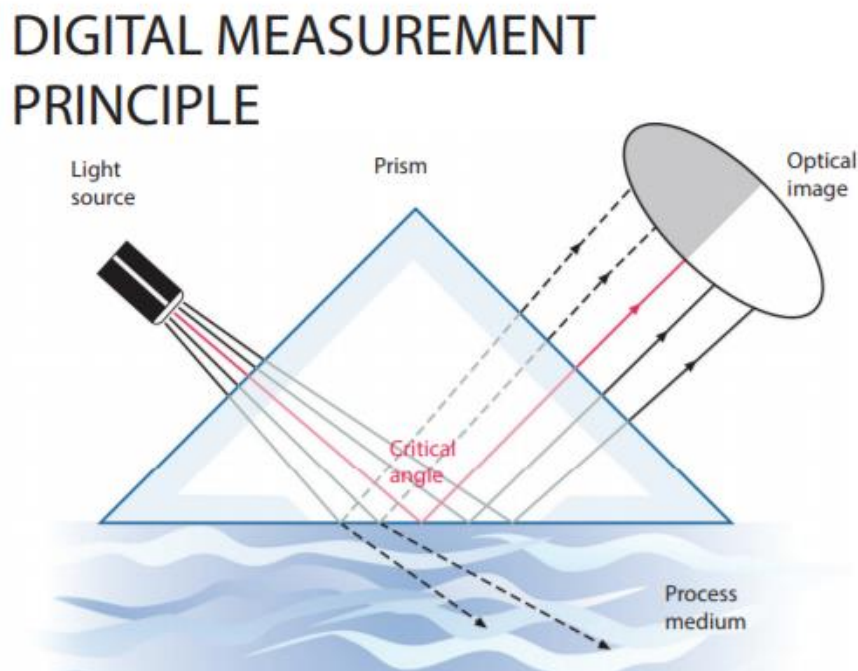
K-Patents tarjosi työn tekemiseen tarvittavan rahoituksen, simulointiohjelmiston sekä laboratoriotyötilat. Lisäksi yrityksen puolesta annettiin aina tarvittavia tutkimuskohteita sekä parannusehdotuksia. Työn ohjaaja taas tarjosi apua työn aikana esiintyneisiin ongelmiin sekä työn kirjallisen osuuden muotoiluun.

## 2 Työn teoreettinen tausta

### 2.1 Refraktometrin toiminta

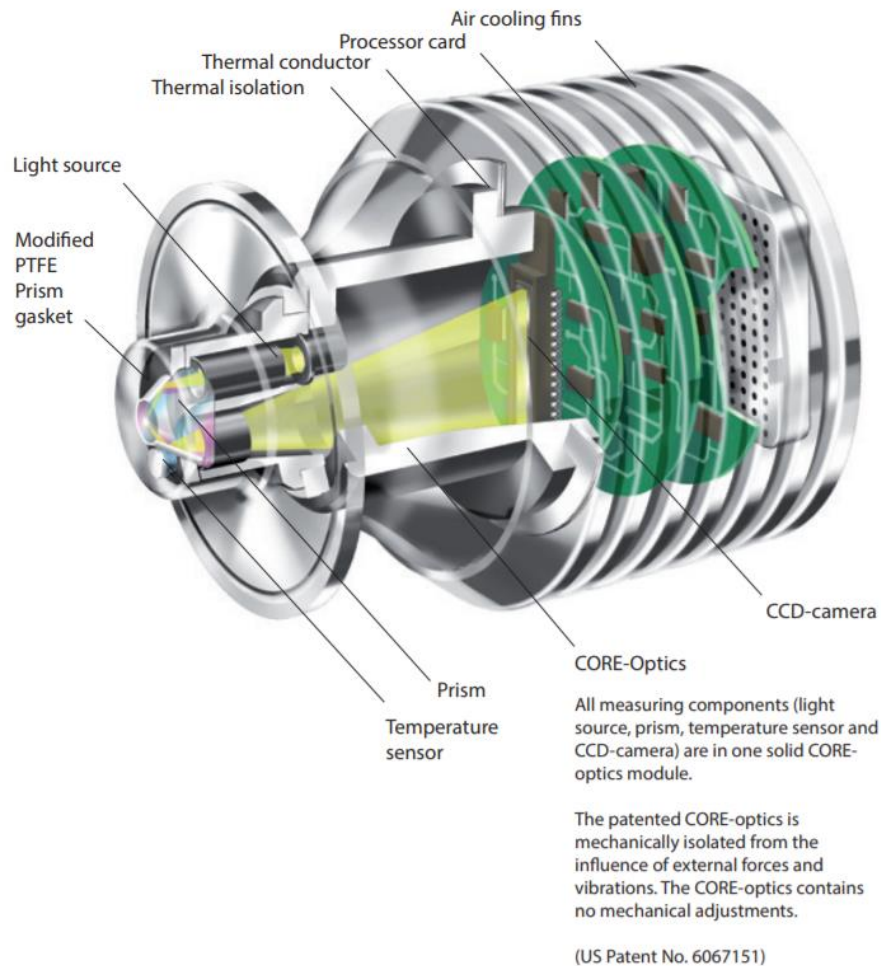
Refraktometrin toiminta perustuu valon taitekertoimen mittaamiseen. Taitekertoimella kuvataan aineen vaikutusta sähkömagneettiseen säteilyyn. Käytännössä tämä tarkoittaa aineen optista tiheyttä. Taitekerroin riippuu suurimmilta osin materiaalista sekä lisäksi hieman sähkömagneettisen säteilyn aallonpituudesta. Tätä insinööriä koskevassa nimenomaisessa prosessissa taitekerroin määräytyy prosessinesteen konsentraation perusteella. Tämän taitekertoimen avulla siis voidaan tulkita valitun prosessin haluttua konsentraatioarvoa. Tulkinta tapahtuu käyttämällä kullekin aineelle tyypillisiä kalibrointimatriiseja, jotka on muodostettu käyttämällä aikaisempia mittaustuloksia jotka ovat K-Patentsin liikesalaisuus. (K-Patents, 2019)

Refraktometrissa valonlähde lähettää valonsäteen prosessinesteen ja refraktometrissä olevan prisman rajapintaan, josta valonsäteet heijastuvat nesteeseen eri kulmissa. Kulmasta riippuen osa valonsäteistä heijastuu osittain takaisin, kun taas osa taittuu prosessinesteeseen. Näin ollen muodostuu ”tumma sektori” eli varjo ja ”vaalea sektori” eli rajapinnasta heijastunut valo (kuva 1). (K-Patents, 2019)



Kuva 1. Havainnollistava kuva refraktometrin toiminnasta (K-Patents, 2019, 4)

Kulmaa, joka vastaa tumman sektorin ja vaalean sektorin välistä rajaa, kutsutaan kokonaisheijastuksen rajakulmaksi. Digitaalinen CCD-kamera näkee optisen kuvan sekä varjon rajan. Kamera muuntaa optisen kuvan piste pisteeltä elektroniseksi signaaliksi (kuva 2). Näin tarkka varjorajan sijainti havainnoidaan ja taitekerroin määritetään matemaattisen algoritmin avulla. (K-Patents, 2019)



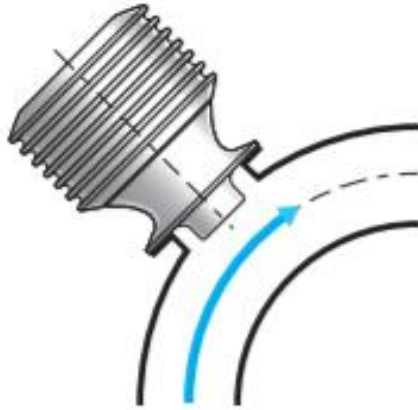
Kuva 2. Läpileikkaus refraktometrissä (K-Patents, 2019, 5)

Refraktometriin rakennettu lämpöanturi mittaa lämpötilan prosessinesteen rajapinnasta, ja laite muuntaa taitekertoimen sekä prosessinesteen lämpötilan konsentraatiopitoisuudeksi. Refraktometrin etuna on, että sen voi asentaa suoraan putkilinjastoon, joten näytteitä voidaan ottaa nopeasti, reaaliaikaisesti ja pysäyttämättä tuotantoa (kuva 3). (K-Patents, 2019)



# IN-LINE INSTALLATION

2.5 inch Sanitary clamp



2.5 inch Sanitary clamp  
and flow cell

Kuva 3. Esimerkki refraktometrin asennuksesta putkilinjastoon (K-Patents, 2019, 3)

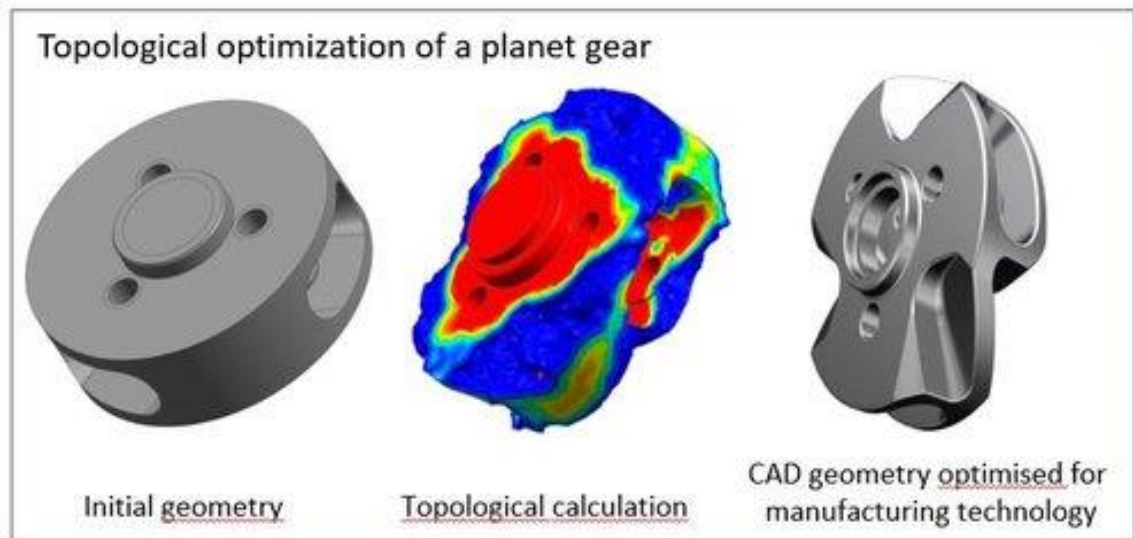
K-Patentsilla on erilaisille teollisuusaloille yleensä tarjolla juuri kyseisen alan tarpeisiin sopiva refraktometri, joka on tarvittaessa kustomoitavissa asiakkaan tarpeiden mukaiseksi.

## 2.2 Topologinen optimointi

Topologinen optimointi on keino mallintaa matemaattisesti optimaalista rakennetta halutulle kappaleelle, kun tiedetään kuormitusten suuruus, sijoitus, se millaisesta kuormituksesta on kyse, sekä kappaleen minimimassa (kuva 4).

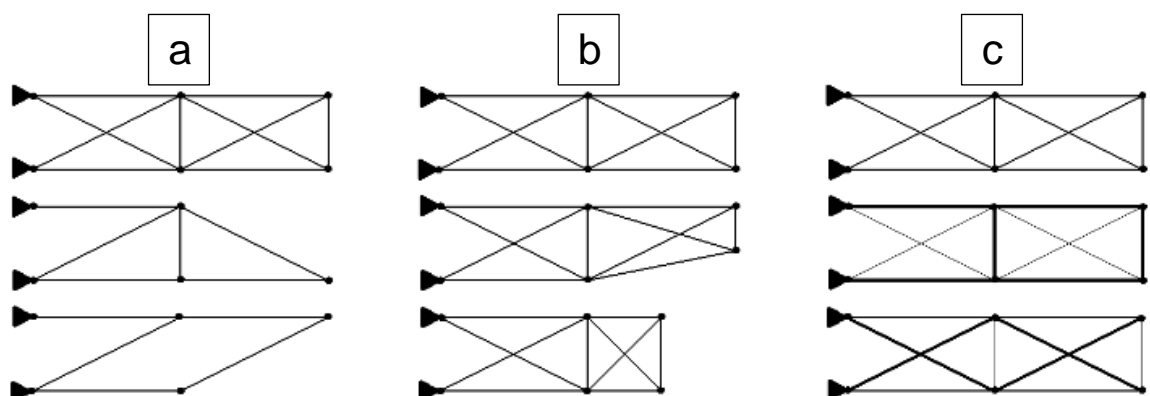
Topologisen optimoinnin historia perustuu ajatukseen, että niin kutsutun ”Wolfen teorian” mukaisesti ihmisen luut reagoivat suoraan ulkoisiin ärsykkeisiin, mikä taas vaikuttaa luun sisäiseen rakenteeseen. Kun teoriaa tutkittiin tarkoituksena löytää optimaalisia hoitomenetelmiä osteoporoosiin hyödyntäen matemaattista mallintamista, huomattiin, että luu tosiaankin pyrkii korjaantuessaan muodostamaan rakenteen, joka on sekä mahdollisimman kevyt että kestävä, huomioon ottaen luun ominaisuudet

materiaalitekniikan kannalta. Kun ilmiötä alettiin mallintamaan matemaattisesti, syntyi topologinen optimointi käsitteenä. Nykyään tekniikkaa hyödynnetään monissa erilaisissa sovelluksissa lääketieteestä autoteollisuuteen. (Brennan, 2014)



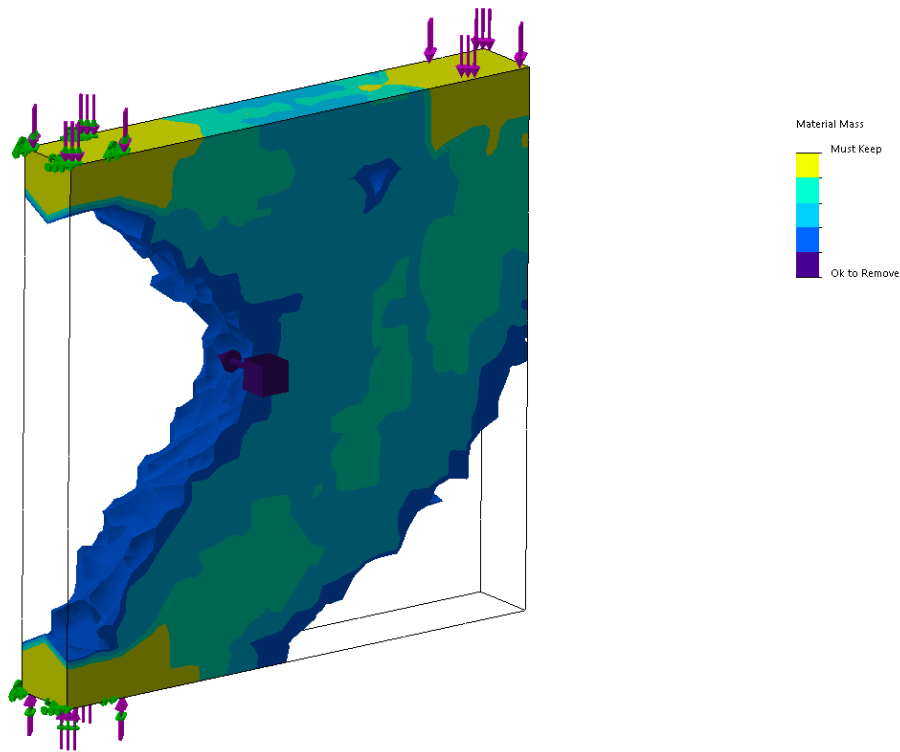
Kuva 4. Lähtögeometriasta lopulliseksi malliksi (Topology Optimization, n.d.)

Topologisen optimoinnin ymmärtämiseksi voidaan käyttää esimerkkinä ristikkorakenteita. Ristikkorakenteiden optimoinnissa muutetaan ristikkojen sauvoittelua sekä sauvojen poikkipinta-alojen arvoja. Topologinen optimointi eroaa ristikkorakenteiden muista optimointikeinoista (mitoitus, geometria) siten, että topologiassa sauvojen poikkipinta-alojen sallitaan putoavan nolnaan, mikä käytännössä tarkoittaa sauvojen poistamista kokonaan. (Kuva 5.) (Äikäs, 2013, 3–5)

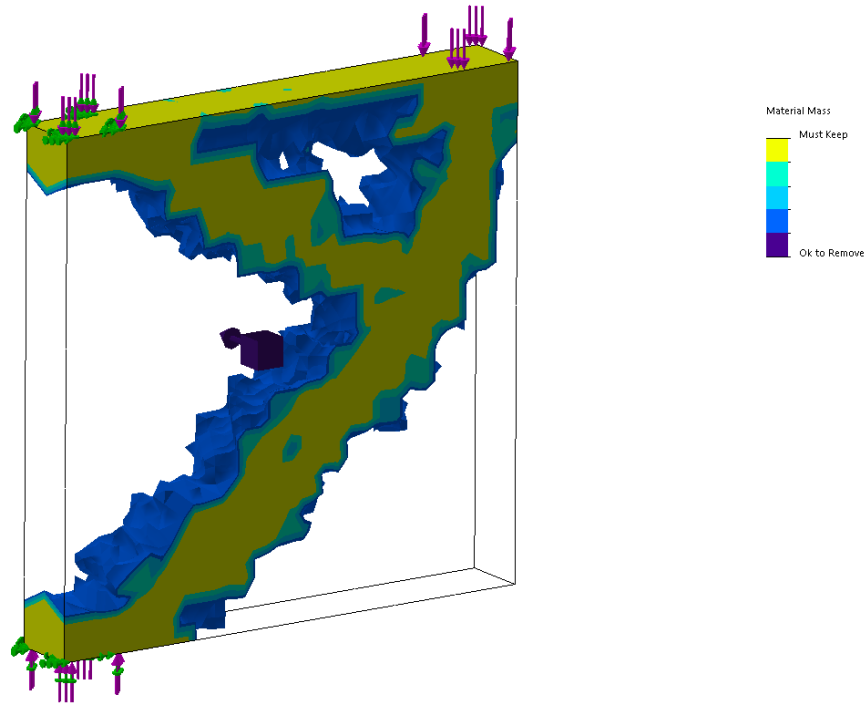


Kuva 5. a) Topologian optimointi, missä optimoinnin tuloksena on poistunut sauvoja. b) Geometrian optimointi, missä sauvojen lukumäärä on pysynyt samana lähtötilanteesta mutta solmujen kordinaatit ovat muuttuneet optimoinnin seurauksena. c) Mitoitusoptimointi, missä optimia etstään muuttamalla sauvojen poikkipinta-aloja. (Äikäs, 2013, 3)

Tämä johtaa siihen, että sopivien parametrien salliessa voidaan poistaa suunnitellusta rakenteesta turhia osia, mikä keventää rakennetta, maksimoiden sen rasituksen kestävyuden materiaalin määrään nähden (kuvat 6 ja 7). Solidworksissa tämä näkyy parhaiten, kun tarkastellaan mallille asetettua laskentaverkkoa. Laskentaverkosta näkyvät ”sauvojen” paikat ja niiden tarpeellisuutta arvioidaan kuormituksen perusteella.



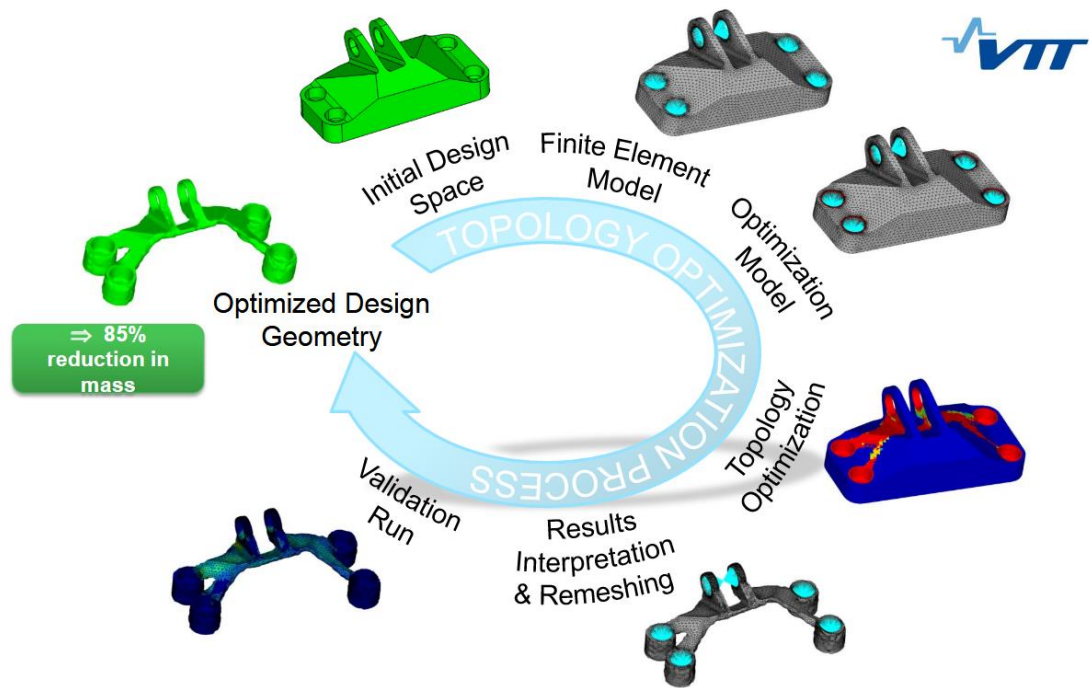
Kuva 6. Kannattimen rakenteen topologinen optimointi, keskeneräinen laskenta (Solidworks simulation topology study intermediate results, 2018)



Kuva 7. Kannattimen rakenteen topologinen optimointi, lopullinen tulos (Solidworks simulation topology study intermediate results, 2018)

Topologian yhtenä haittapuolena on minimimassan tarve. (Äikäs, 2013, 3—4). Topologisen optimoinnin avulla ei voida määrittää sekä optimaalista rakennetta että ”optimaalista massaa”. Tämä johtaa siihen, että pienimmän mahdollisen tarvittavan massan määrittely on käytännössä arpapeliä ja lopullinen optimoitu muoto rajoittuu yleensä muiden tekijöiden takia. Useimmiten se riippuu valmistustekniikasta, mikä aina asettaa tiettyjä rajoitteita tuotteelle.

Topologinen optimointi sekä sitä hyödyntävät ohjelmistot ovat kasvattaneet viime aikoina suosiotaan 3D-tulostustekniikoiden muuttuessa yleisimmiksi, monipuolisemmiksi sekä halvemmiksi. 3D-tulostamisen sekä topologisen optimoimisen yhdistämisellä voi saada aikaan rakenteita, jotka ovat kevyempiä ja vahvempia, kuin mitä voitaisiin saavuttaa perinteisillä menetelmillä, kuten sorvaamisella, jrsinnällä tai muottivalulla (kuva 8).



27.5.2015

8

Kuva 8. Kokonaisvaltaisempi kuva suunnittelukaaresta (3D-tulostuksella lisäarvoa, 2015)

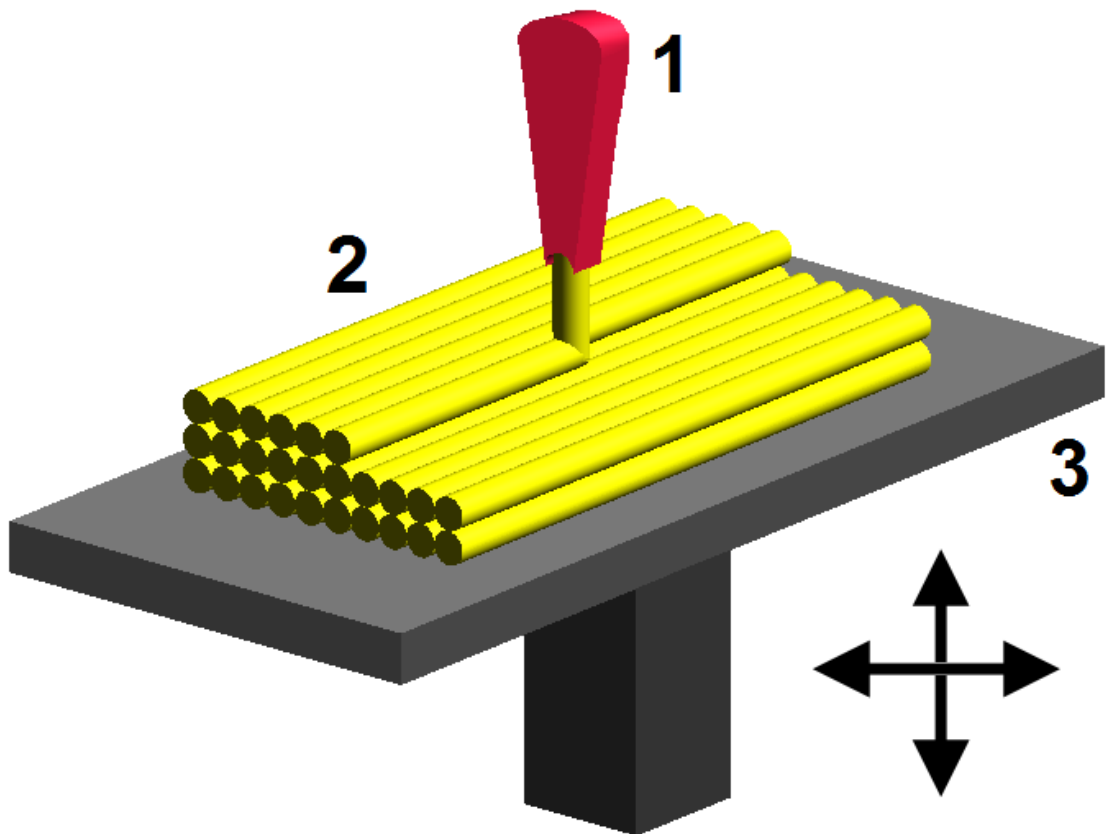
Topologista optimointia käyttävät ohjelmistot, Solidworks ja AutoCAD ovat kuitenkin edelleen melko kalliita ja 3D-tulostus soveltuu heikon nopeutensa takia yleisesti vain prototyyppien tai yksittäiskappaleiden valmistamiseen. Usein 3D-tulostettujen tuotteiden pinnanlaatu on myös merkittävästi huonompi kuin yleisesti käytetyissä menetelmissä. Tulosteet voivat myös usein olla epätarkkoja ja vaativat usein jälkikoneistusta esimerkiksi ruuvierteiden osalta. Tähän vaikuttaa mm. käytetty tulostusmateriaali sekä tulostimen tarkkuus.

## 2.3 Tulostustekniikat

### 2.3.1 3D-tulostus

3D-tulostus on materiaalia lisäävä valmistustekniikka, vastakohtana materiaalia poistava valmistus, kuten sorvaaminen tai jrsintä. Kuten valumuottitekniikassa, materiaali pursotetaan muotoonsa, mutta pursotus tapahtuu kerroksittain (kuva 9). Tällöin haluttu rakenne muodostuu ilman ylimääräistä ulkoista tukirakennetta, riippuen pursotettavan esineen muodosta.

3D-tulostuksessa käytettäviin materiaaleihin kuuluvat yleisesti erilaiset muovit niiden helpon muovattavuuden ja alhaisen sulamislämpötilan sekä nopean jäähtymisen takia, mutta 3D-tulostuksessa voi materiaalina hyödyntää myös mm. keraameja ja joitakin metalleja.



Kuva 9. 3D-tulostuksen kerrosmenetelmä (Kolmiulotteinen tulostus, 2008.)

3D-tulostukselle on myös vastarintaa. Suurin kritiikki tulee kuitenkin 3D-tulostuksen soveltamisesta kotikäyttöön. Ongelmaksi muodostuu kotiloissa oleva ilmanvaihto, joka

ei lähes koskaan vastaa suosituksia siihen nähden, että kuumentuvasta muovista vapautuvat yhdisteet voivat pahimmillaan aiheuttaa vaikeita hengitystieongelmia tai jopa kuolemanvaaran. Sen sijaan teollisuudessa 3D-tulostaminen on mullistanut prototyyppivalmistuksen. (Nygren, 2018.)

Teollisilla tulostimilla voidaan tehdä asioita, jotka olivat muutamia vuosia sitten mahdottomia. [...] Tämä kaikki sataa lopulta kuluttajan laariin. (Tuomi, 2018.)

3D-tulostaminen on mahdollistanut esimerkiksi lentoteollisuudessa lentokoneiden ilmastoinnin uudelleen suunnittelun, jonka avulla ilmastoimiseen tarvittavat osat saadaan pienempään tilaan, mikä säästää sekä tilaa, kustannuksia että päästöjä. (Nygren, 2018.)

### 2.3.2 Metallitulostus

Metallitulostus on yksi 3D-tulostuksen osa-alue, jota käytetään tässäkin työssä poikkeuksellisen, metallisen prototyyppirakenteen toteuttamisessa. Tulostaessa metallituotteita saavutetaan merkittäviä etuja mm. rakenteen keveyden suhteen, ja tuotteen ei tarvitse taipua valmistusmenetelmän ympärille, vaan valmistusmenetelmä tukee tuotteen suunnittelua ja muotoja niiden rajoittamisen sijaan. (kuva 10)

Muihin etuihin kuuluu myös esimerkiksi kokoonpanon osien väheneminen, joka on merkittävä etu COREn uuden rakenteen suunnittelussa. Sen sijaan, että CORE muodostuisi kolmesta osasta, jotka kaikki koostuvat eri materiaaleista ja joiden kiinnittäminen kokoonpanossa vaatii useampia ruuveja ja lukitusjousia, uusi yksiosainen COREn runko vähentäisi kokoonpanoon tarvittavien osien määrää sekä kokoonpanoon kulutettavaa aikaa. Metallitulostus myös vähentää materiaalihävikkiä ja siten ylimääräistä energiankulutusta, mikä on suureksi eduksi niin prototyyppien suunnittelussa kuin tuotannon kannalta.

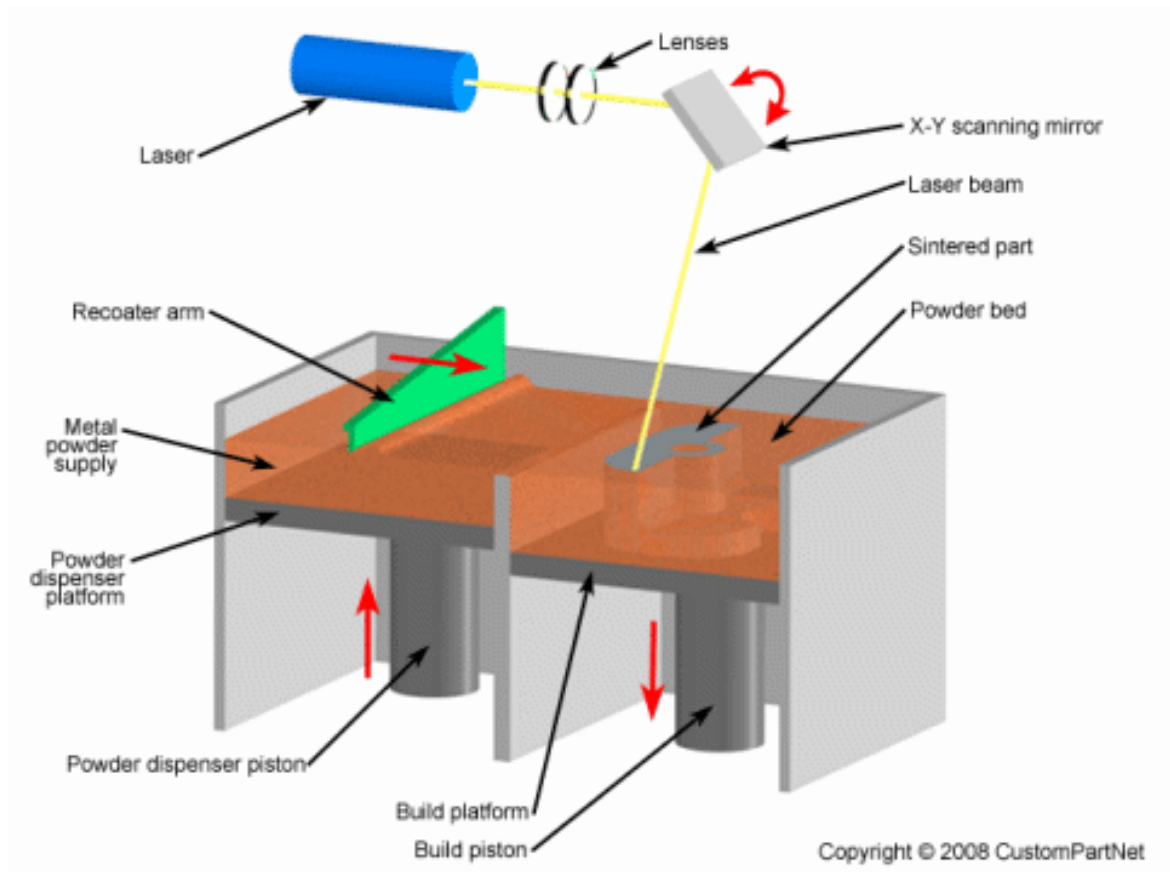


Kuva 10. Metallitulostamisen avulla saavutettu kennorakenne (3D-metallitulostus yleisesite, n.d, 2.)

Metallitulostaminen on melko uniikki lisäävän materiaalin menetelmä, johtuen metallien korkeasta sulamispisteestä. Sen sijaan että sulaa metallia pursotettaisiin nauhana kerroksittain, metallitulosteissa käytetään nk. ”jauhepetimenetelmää”.

Jauhepetimenetelmä on vanhin, sekä ainakin toistaiseksi yleisin metallitulostusmenetelmä. Ensimmäinen tätä prosessia koskeva patentti on rekisteröity jo vuonna 1971. Prosesseissa, joissa käytetään jauhepetimenetelmää, käytetään suojavaasulla täytettävää tulostuskammiota. Jauhepetimenetelmässä jauhepedin alueita liitetään yhteen selektiivisesti lämpöenergialla. (Kuva 11.) (Jauhepetimenetelmät, n.d.)





Kuva 11. Jauhepetimenetelmän osia (Direct metal laser sintering, n.d.)

Tulostusprosessi jauhepetimenetelmissä on seuraavanlainen:

1. Suunnittelija suunnittelee kappaleen.
2. Osa tai osat sijoitetaan virtuaalisen tulostusvolyymiin sisään.
3. Tulostusvolyymi siivutetaan kerroksiksi (kerrosmäärä riippuu kerroskorkeudesta/tarkkuudesta).
4. Jauhekerros levitetään tulostusalueelle.
5. Jauhekerros sulatetaan tai sintrataan valikoivasti lasersäteellä.
6. Osat muodostetaan kerros kerrokselta, ja vaiheita 4 ja 5 toistetaan, kunnes kaikki kerrokset on tulostettu.
7. Tulostuskammio jäähdytetään.
8. Ylimääräinen jauhe kierrätetään, suurin osa siitä voidaan käyttää uudelleen.

Yksi suuri ero järjestelmien välillä on lämmöntonnessa, järjestelmät voivat olla sintraavia tai sulattavia. Materiaalia sintraavissa järjestelmissä jauhepartikkeleja lämmitetään, kunnes ne tarttuvat toisiinsa molekyylyitasolla. Jauhetta ei sulateta kokonaan, mikä mahdollistaa huokoisuuden säätöä lopputuotteessa.

Huokoisuus on tärkeä ominaisuus etenkin terveydenhuollon sovelluksissa. (Jauhopenetimet, n.d.)

Metallitulostuksen, sekä myös 3D-tulostuksen yleisesti, yksi suurimpia haittoja sekä haasteita on pintakäsittelyn tarve prosessin jälkeen (kuvat 12 ja 13). Vaikka tulostuksien tarkkuudet ovat parantuneet vuosien varrella (0,03 - 0,05 mm) (3D-metallitulostus, n.d.) erityisesti jauhopenetimettä käyttäen, pinnan karkeus edelleen aiheuttaa prosessiin lisäaskeleita, jotka sekä hidastavat osan valmistumista että tuovat lisäkustannuksia.

Joskus myös kappaleen muoto tekee pintakäsittelystä hankalaa tai jopa mahdotonta. Tämä tulee ottaa huomioon kappaleen suunnittelussa, eli käyttökohteen vaatimukset asettavat rajoja sille, voiko tuotteen valmistuksessa käyttää metallitulostusta laisinkaan. Erilaisiin pintakäsittelyihin kuuluvat mm. tukien poisto, kiillotus ja lämpökäsittely. (3D-metallitulostus, n.d.)



Kuva 12. Viimeistelemätön metallituloste (3D-metallitulostus yleisesite, n.d. 6)

Käsittelyn tarpeellisuus on joskus kriittistä osan toiminnan kannalta.



Kuva 13. Viimeistelty metallituloste (3D-metallitulostus yleisesite, n.d. 6)

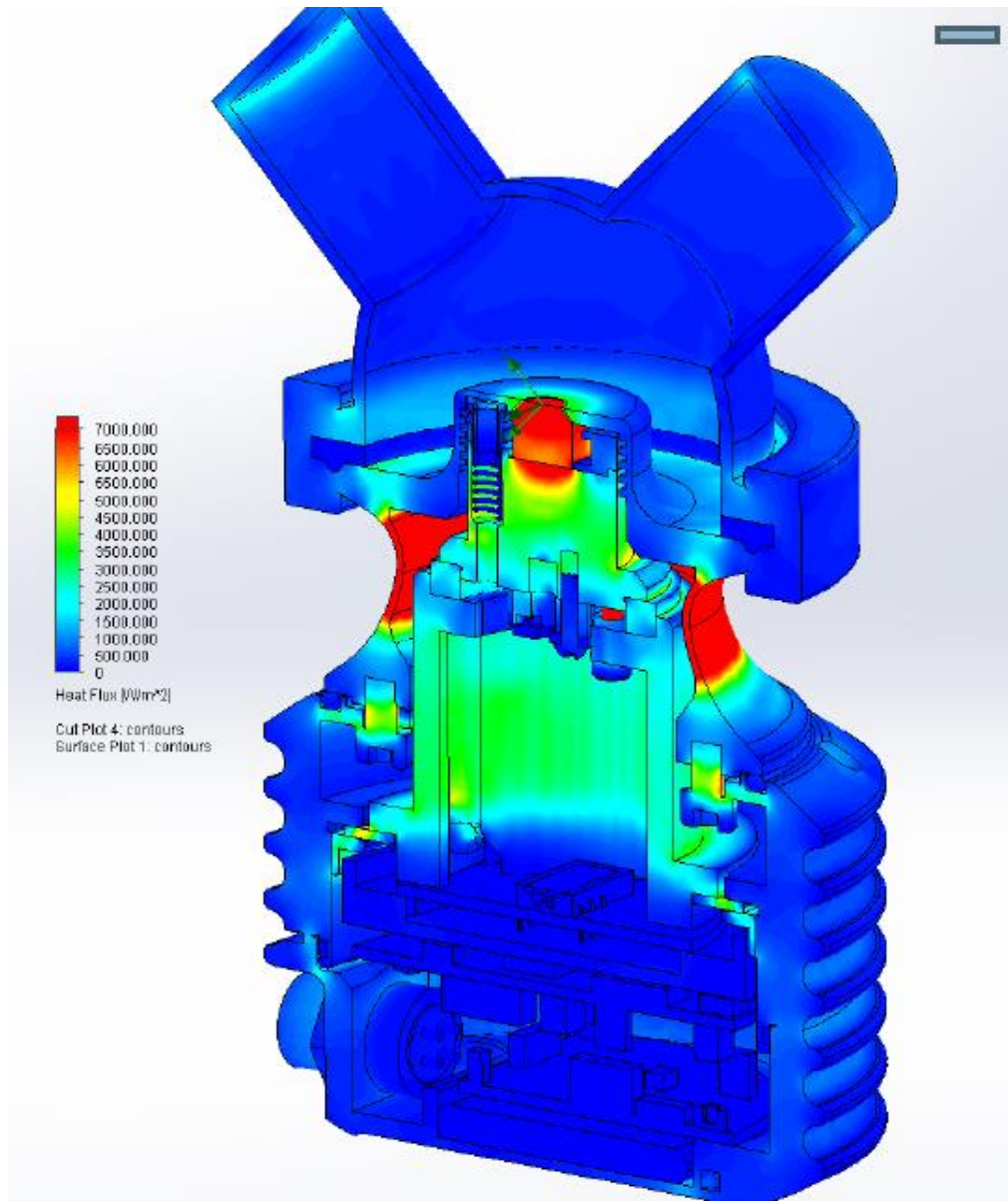
Metallitulostus voi olla myös huomattavan kallista verrattuna perinteisiin menetelmiin, eli kohteessa metallitulostuksesta saatujen hyötyjen suuruuden pitää olla merkittävä verrattuna tulostuksen kustannuksiin. Tosin tekniikan kehittyessä metallitulostuksen hinnat ovat laskeneet ja alalle on tullut paljon uutta osaamista, joka laajentaa sekä erilaisten tekniikoiden tarjontaa sekä materiaalivaihtoehtoja jopa kotimaassa. Yritykset myös tarjoavat kattavia 3D-suunnittelu ja -tulostuspaketteja, joihin voi sisällyttää myös jälkikäsittelyn tarvittaessa.

Metallitulostus ei ole toisaalta myöskään enää ainoastaan prototyypisuunnitteluun tai yksittäisille osille. Lentokoneteollisuudessa kehitetään jatkuvasti erityisesti metallitulostusta sarjatuotantoa silmällä pitäen. Sarjatuottamalla metallitulostettuja kappaleita, sekä pyrkimällä automatisoimaan tulosteiden jälkikäsittelyä, pystytään luomaan ratkaisuja isolla skaalalla. Nämä ratkaisut tuovat helpotuksen lentomatkustamisen ja -kuljetuksen tärkeimpään kipukohtaan, eli polttoainekulutukseen (Metallien 3D-tulostus: uudet liiketoimintamahdollisuudet, 2015, 14—16). Jopa pienillä säästöillä voidaan tarpeeksi isossa mittakaavassa saada aikaan suuria muutoksia, etenkin kun otetaan huomioon miten tärkeän osan lentotekniikka muodostaa yhteiskunnan toiminnasta. 3D-tulostus mullistaisi esimerkiksi Atlantin ylittävän rahtikuljetuksen.

### 3 Prototyypin suunnittelu ja valmistus

#### 3.1 Lähtötilanne

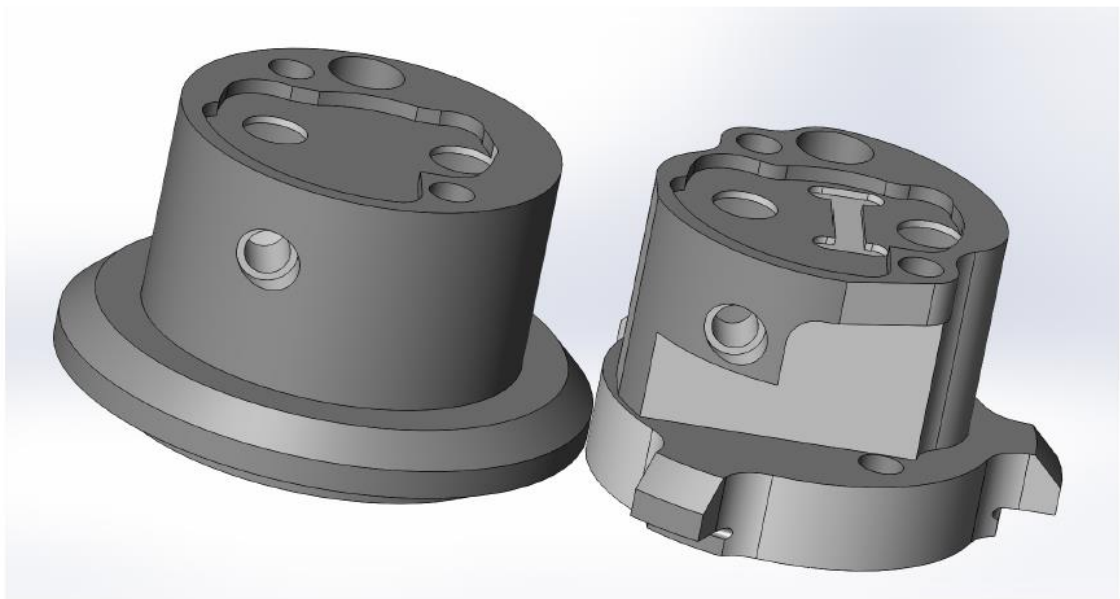
Opinnäytetyön tarve perustuu CCD-kortin elektroniikan huonoon lämmönsietoon. Tähän on alun perin etsitty ratkaisua jo vuonna 2014 Juho Mannisen diplomityössä, joka myös käsitteli refraktometrin lämpötilaoptimointia, mutta keskittyi enemmän konseptisuunnitteluun sekä ylipäättänsä kamerakortin lämpenemisen syiden etsintään ja ongelmien ratkaisuun (kuva 14).



Kuva 14. Mannisen (2014, 22.) mallinnus lämmönjohtuvuudesta PR-43-AC-refraktometrissä

K-Patents valmistaa useita erilaisia refraktometrejä, joista on saatavilla eri sukupolven malleja kunkin yksilöllisen prosessin tarpeisiin. Mannisen työ keskittyi malliin PR-43-AC. Tämä malli toimii parhaimmillaan puolijohdeteollisuudessa, jossa prosessien lämpötilat voivat ajoittain nousta hyvinkin korkeiksi. Koska tämä insinöörityö on osittain jatkotutkimusta Mannisen opinnäytetyölle, on syytä käyttää sekä mallinnukseen että prototyypivalmistukseen samaa refraktometrimallia.

Diplomityö antoi kehityssuunnan; tulosten perusteella tehokkaimmat tavat vähentää CCD-kortille johtuvan lämmön määrää olisivat joko CORE tipin muodon muuttaminen (kuva 15), tai sitten osien materiaalin vaihto AISI 304-teräksestä huomattavasti huonommin lämpöä johtavaan G5-titaaniin. Mannisen työssä myös tutkittiin Solidworks Flow Simulation-ohjelman tarkkuutta verrattuna laboratorioympäristöön ja saatiin lupaavia tuloksia, jotka viittasivat siihen, että ohjelmistolla voisi melko luotettavasti mallintaa todellista käyttöympäristöä.



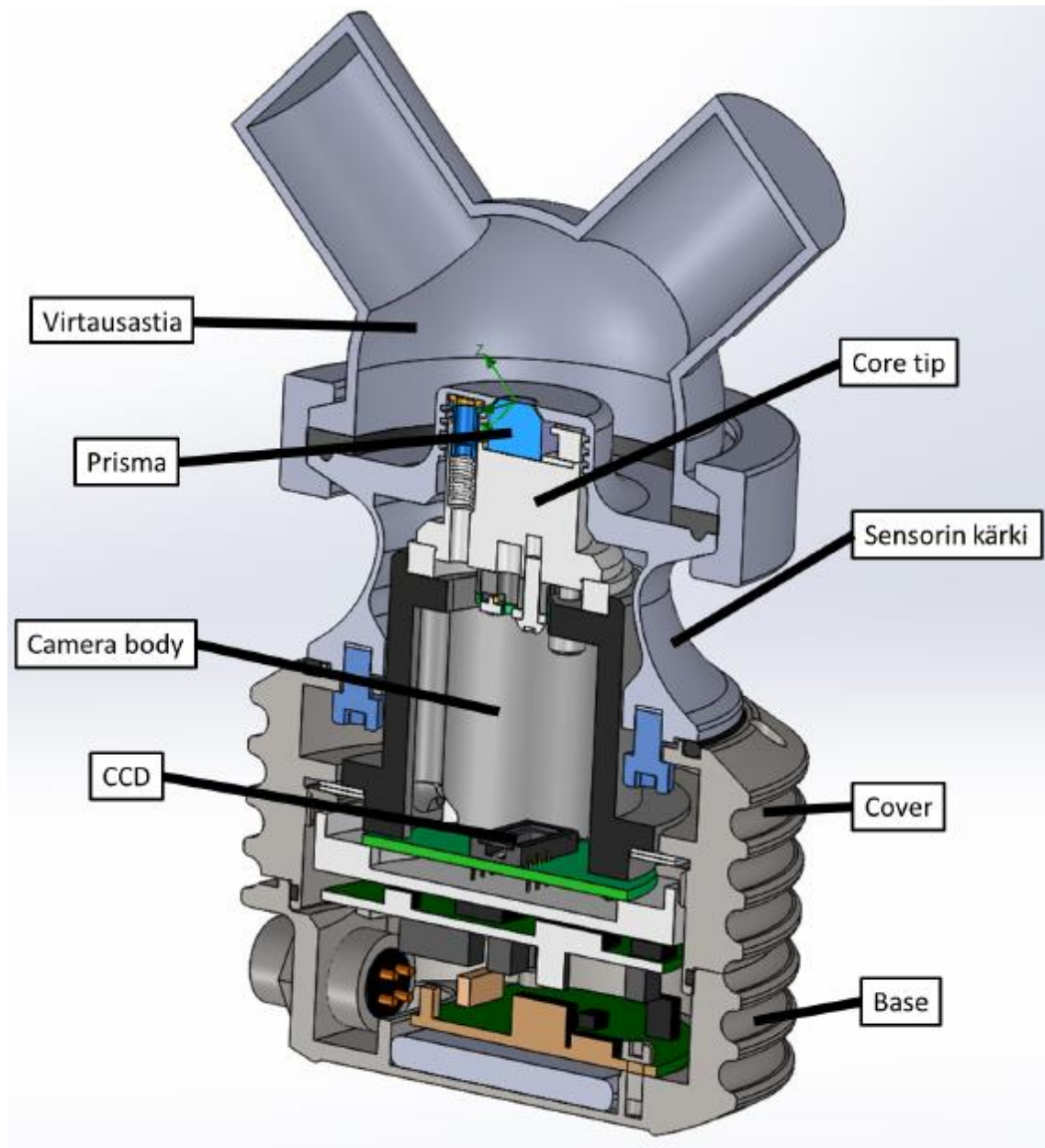
Kuva 15. Mannisen (2014, 29) ehdotus CORE tipin kevennyksestä

Työn ohjaajista K-Patentsin edustaja Harri Salo oli kiinnostunut topologisen optimoinnin hyödyntämisestä uuden CORE tipin suunnittelussa, sekä 3D-tulostuksen mahdollisuuksista luoda rakenne, joka olisi sekä kevyt, kestävä että huonompi lämmönjohtaja verrattuna nykyiseen malliin. Tavoitteeksi asetettiin prototyypin suunnittelu, luominen ja testaaminen. Tulosten avulla voitaisiin tehdä jatkosuunnitelma, jatketaanko prototyypin kehittämistä lopulliseksi tuotteeksi sekä mihin suuntaan mahdollinen kehitys jatkuisi.

Opinnäytetyössä käytettäväksi ohjelmistoksi valittiin Solidworks, ensinnäkin työskentelyn helpottamiseksi K-Patentsin kanssa sekä myös sen takia, että Solidworks pystyi tarjoamaan sekä virtaussimulointityökalut että topologisen optimoinnin samoissa kehyksissä, mikä poisti tarpeen liikkua eri ohjelmien välillä. Tämä helpotti huomattavasti työskentelyä pitkällä tähtäimellä.

Uuden osan suunnittelu sekä virtaussimuloinnit päätettiin tehdä PR-43-AC-refraktometrin mallia käyttäen, koska silloin tuloksia voisi tarvittaessa vertailla Mannisen tulosten kanssa. Tämä antaisi arvokasta tietoa sekä simulointien että laboratorioasetelmien suhteen.

COREa optimoidessa ja rakennetta tarkastellassa on hyvä huomioida mitä tarkoitetaan, kun puhutaan CORE tipistä ja Camera bodysta. Core tip sisältää linssit, lämpöanturin sekä prisman istutuksen, kun taas camera body on kiinnitysalusta CCD-kortille. (Kuva 16.)



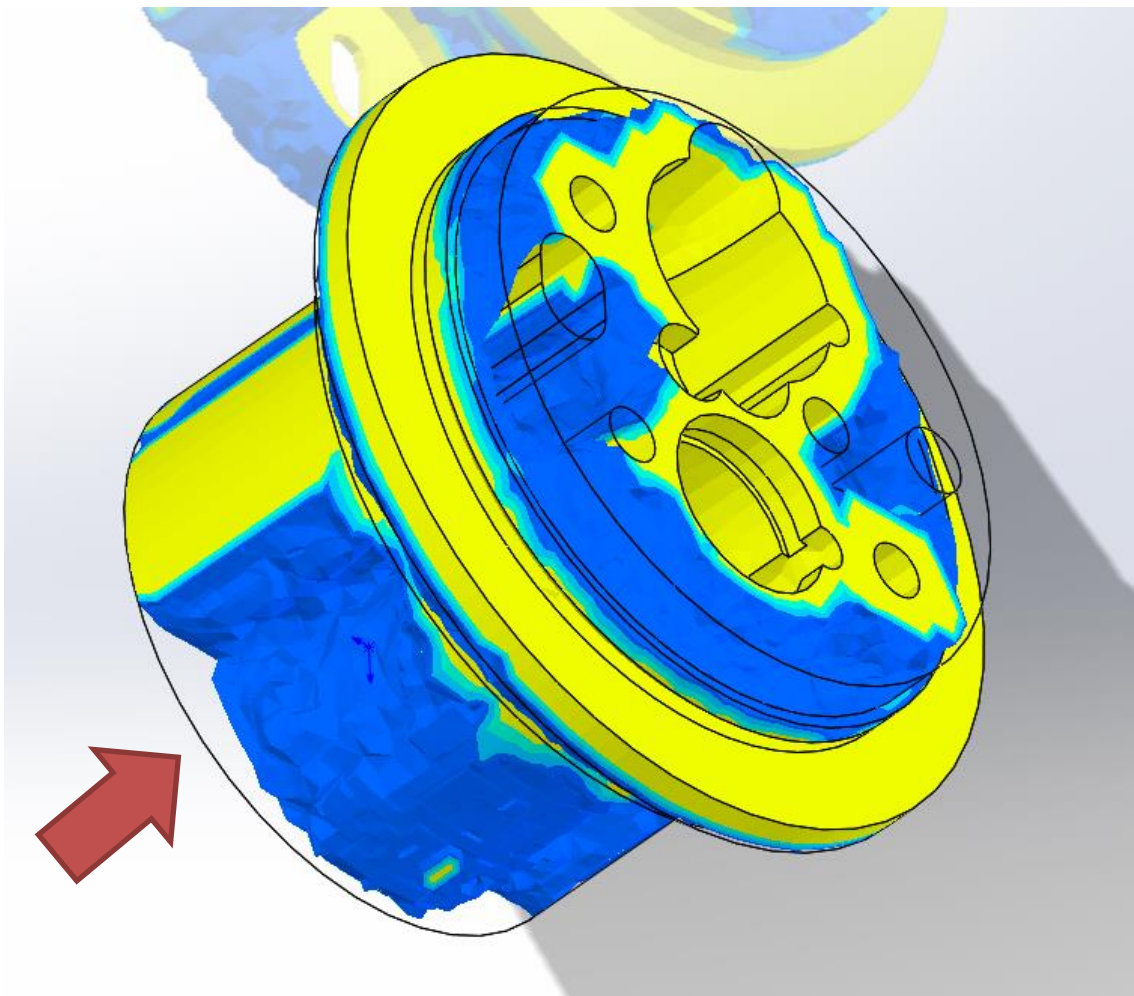
Kuva 16. Refraktometrin eri osia (Manninen, 2014, 17)

Core tip on valmistettu AISI 304-teräksestä ja camera body on valmistettu alumiinista (6026 T9). Nämä ominaisuudet ovat tärkeitä, kun kolmiosaista COREa vertaillaan yksiosaisen COREn kanssa, sekä mietitään molempien ratkaisujen etuja ja haittoja.

### 3.2 Topologinen optimointi

Työn aluksi oli hyvä tutustua ohjelmistoon sekä ylipäättänsä topologiseen optimointiin. Tämän avulla sekä työkalujen käyttö tuli tutuksi, mutta oli myös mielenkiintoista tutkia Mannisen CORE tipin kevennyksien perusteellisuutta.

Topologisessa suunnittelussa tulee ottaa huomioon geometriset ominaisuudet, joiden säilyttäminen vaikuttaa mallin toimivuuteen. Näitä ominaisuuksia ovat esimerkiksi CORE tipin linssiputket, joiden seinämissä ei saa olla reikiä valon kulkemisen takia. Myös prisman istutuspinta tulisi säilyttää melko samankaltaisena, mutta esimerkiksi joidenkin ruuvien sijoitukset ovat vapaammin liikuteltavissa kuin toiset. Tämän perusteella tehtiin ensimmäinen topologinen optimointi CORE tipille (kuva 17).

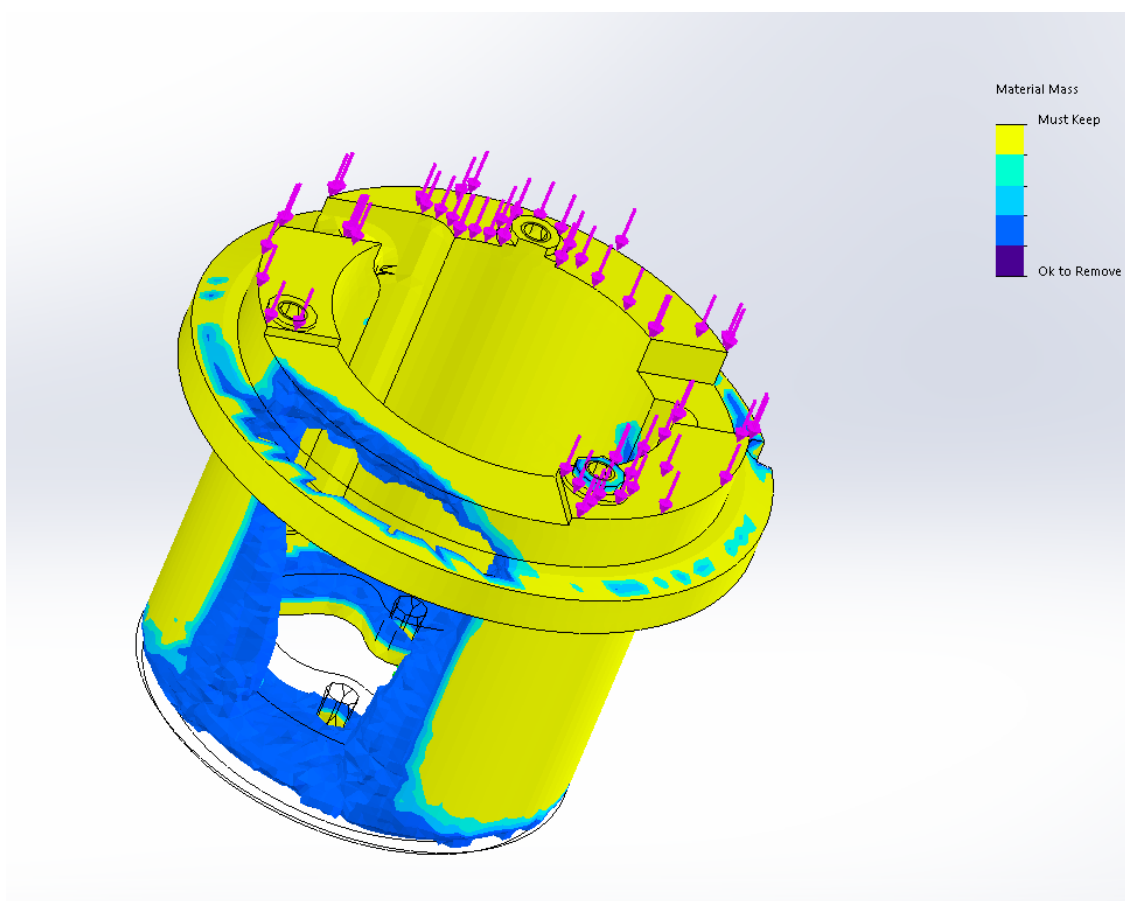


Kuva 17. Topologinen optimointi CORE tipille. Nuoli osoittaa kuvassa näkymättömän prisman istutuspinnan sijainnin.



Kuvassa näkyvän CORE tipiin kohdistuu staattinen, 2 kN:n puristusvoima. Voima jakautuu renkaan muotoiselle alueelle ("tukirengas"), joka näkyy kuvassa keltaisena. Tukevana pintana toimii prisman istutuspinta, joka sijaitsee nuolen osoittamalla alueella. Kuvassa näkyvät keltaiset alueet (tukirengaan lisäksi) on määritelty joko ohjelman tai käyttäjän toimesta "tärkeiksi pinnoiksi", joita ei tule poistaa. Siniset pinnat ovat poistettavissa ja kappaleen geometriasta ohjelma on poistanut ne automaattisesti. Tässä tapauksessa kaikki keltaiset alueet ovat käyttäjän määrittelemiä tärkeitä alueita, jotka ovat osan toiminnan kannalta erittäin tärkeitä, kuten ruuvireiät ja lämpöanturin ohjausputki.

Topologien optimointi suoritettiin teräksiselle, titaaniselle ja alumiiniselle CORE tipille. Optimointi suoritettiin myös camera bodylle (Kuva 18).



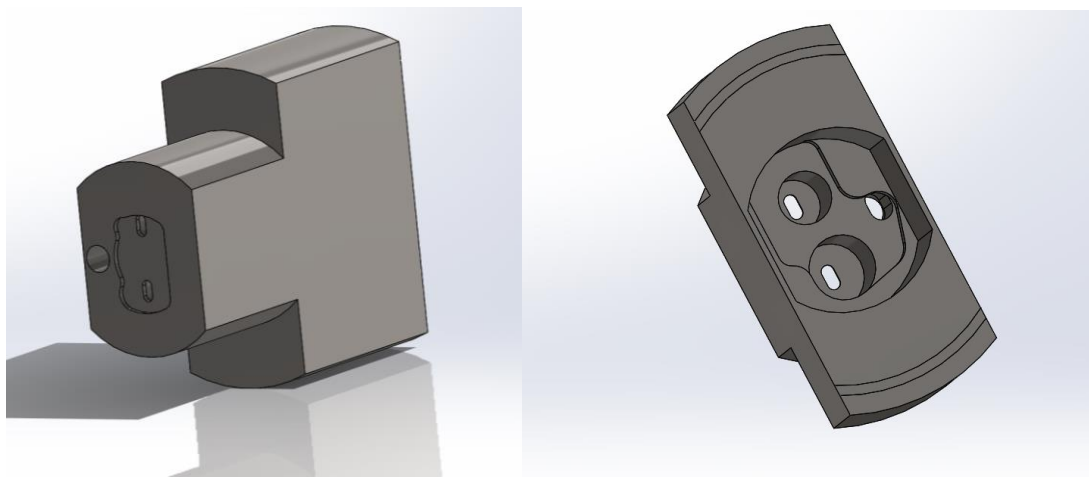
Kuva 18. Topologinen optimointi camera bodylle. Kuvassa 2 kN jakautuu tasaisesti nuolien osoittamalle alueelle.

Tuloksia tarkastellessa nousi esiin idea, että pelkästään CORE tipin rakenteen muuttamisen sijaan suunniteltaisiin refraktometrin CORE täysin uudestaan, tehden siitä kolmiosisaisen sijaan yksiosainen.

Tämä mahdollistaisi COREn profiilin muuttamisen sylinteristä peilaussymmetriseksi, keventäen COREa huomattavasti jo lähtökohtaisesti. Lisäksi yksiosainen CORE vähentäisi tarvittavien osien määrää kokoonpanossa, mikä säästäisi rahaa ja aikaa, helpottaisi kokoonpanoa sekä poistaisi kokoonpanossa esiintyviä pullonkauloja, joita voi syntyä esimerkiksi eristekeraamirenkaiden toimituksessa tapahtuvista mahdollisista myöhästymisistä.

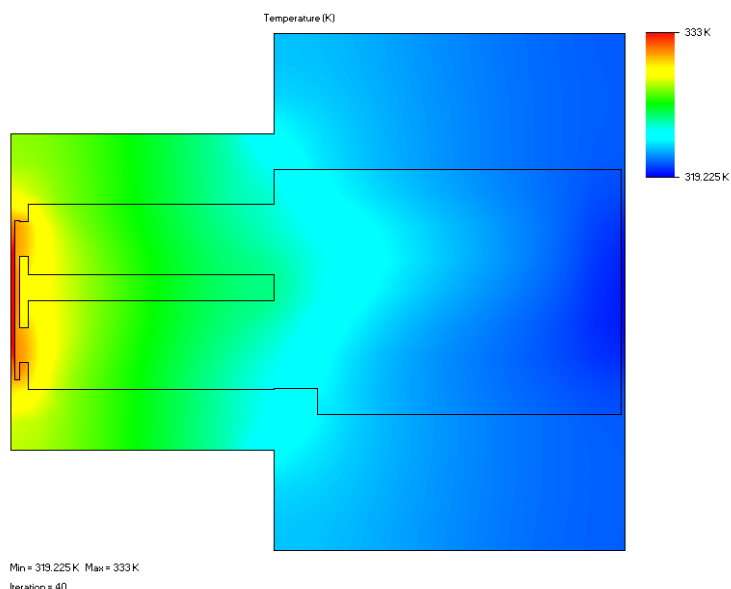
Työn tässä vaiheessa alettiin myös miettiä tuotteen valmistuksen käytännön puolta. Materiaaliksi valittiin AISI 304-teräs, pääsyyinä sen laaja saatavuus metallitulostemateriaalina. Toisena syynä on AISI 304-teräksen alempi lämmönjohtavuus verrattuna 6026 T9-alumiiniin, joka olisi toinen materiaalivaihtoehto ajatellen prototyypin valmistukseen valittua tekniikkaa, 3D-tulostusta.

Uuden, yksiosaisen COREn suunnittelu lähti tältä pohjalta. Ensimmäisenä piirrettiin osa, jossa olivat vain COREn kokonaisuuden kannalta ehdottomasti tärkeimmät geometriset muodot sekä mitat (kuva 19). Näihin kuuluivat esimerkiksi linssiputket, prisman istutus, lämpöanturin sijoitus, LED-kortin mahtuvuus sekä ulkomitat. Yksinkertaistettu muoto antoi topologiselle optimoinnille paljon varaa leikata mallista ylimääräistä materiaalia pois.



Kuva 19. "Palikkamalli"

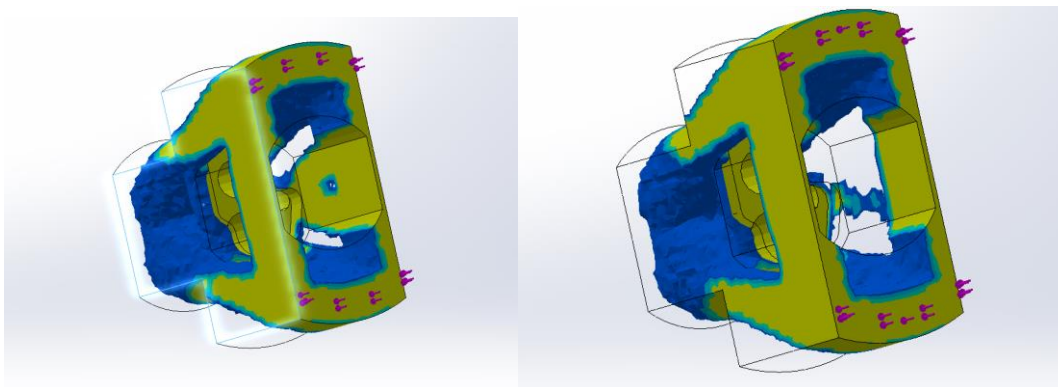
Palikkamallille tehtiin myös hyvin yksinkertaistettu lämpösimulaatio osviitaksi lähtötilanteesta ja vertailukohdaksi siihen, miten materiaalin poisto vaikuttaa lämmönjohtavuuteen kappaleessa (kuva 20).



Kuva 20. Lämpötila ”palikkamallissa”

Tämän jälkeen aloitettiin kappaleen optimointi. Kappaleen tulisi kestää 2 kN:n puristava kuormitus. Kappaleen tukipisteenä toimii pinta, joka nojaa prismaa vasten lopullisessa kokoonpanossa, ja kuormitus jakautuu renkaan muotoiselle alueelle kappaleen vastapuolelta. Tämä vastaa ääritapausta todellisessa ympäristössä (kuva 21).

Tulevaisuudessa, jos prototyypin kehittämistä haluttaisiin jatkaa lopulliseksi tuotteeksi asti, mahdollisuutena olisi hyödyntää myös titaania, jonka vielä alempi lämmönjohtavuuden arvo sekä parempi kestävyys voisi mahdollistaa ohuempien seinien käyttämisen mallissa, mikä johtaisi yhä parempaan lämmön johtumisen estymiseen CCD-kortille. Koska kyse oli ensimmäisestä prototyypistä, päätettiin käyttää terästä.



Kuva 21. Topologisen optimoinnin tulos. Vasemmassa kuvassa 30 %:n massan vähennys teräkselle, oikeassa 30 %:n massan vähennys titaanille.

Kuvassa näkyy, miten 2 kN:n voima jakautuu punaisten nuolien osoittamalle alueelle. Tärkeä huomio on, että kyseisessä mallissa ainoastaan linssiputket ja prisman istutuspinna (myös tukipinna tässä tapauksessa) ovat määriteltynä tärkeiksi pinnoiksi. Loput keltaisella merkityt pinnat ovat ohjelman itse määrittämät.

Teräksinen ”palikkamalli” on kooltaan  $52768.21 \text{ mm}^3$  ja painoltaan 422.15 g. Ohjelmalle asetettiin joitakin rajoituksia, esimerkiksi mitä geometrisiä muotoja tulisi ehdottomasti säilyttää, sekä näille muodoille minimi seinän paksuus. Lisäksi annettiin ”loppuarvo”, joka voi olla tarkka massan suuruus lopullisessa kappaleessa tai tilavuuden karsiminen, esimerkiksi 10 %.

Topologisen optimoinnin kesto ajassa riippui useammasta tekijästä, kuten rajoitusten määrästä, tietokoneen tehokkuudesta, laskentaverkon tiheydestä ja usein lopputavoitteen suuruudesta. Koska topologisessa optimoinnissa ei voida saada selville ”optimaalista massaa”, eli mikä olisi pienin mahdollinen massa juuri kyseiselle rakenteelle juuri valittua materiaalia käyttäen, oli loppuarvo arvattava. Liian vaativa loppuarvo kuormittaa laskemista huomattavasti ja voi jopa kaataa ohjelman. Loppuarvoa piti siis kasvattaa vähän kerrallaan. Tulosten laskennan vaihteluväli saattoi olla suurimmillaan 0,5 – 3 h. Tulosten perusteella luotiin uusi malli, josta oli tehty joitain poistoja ohjelman ehdottamalla tavalla.

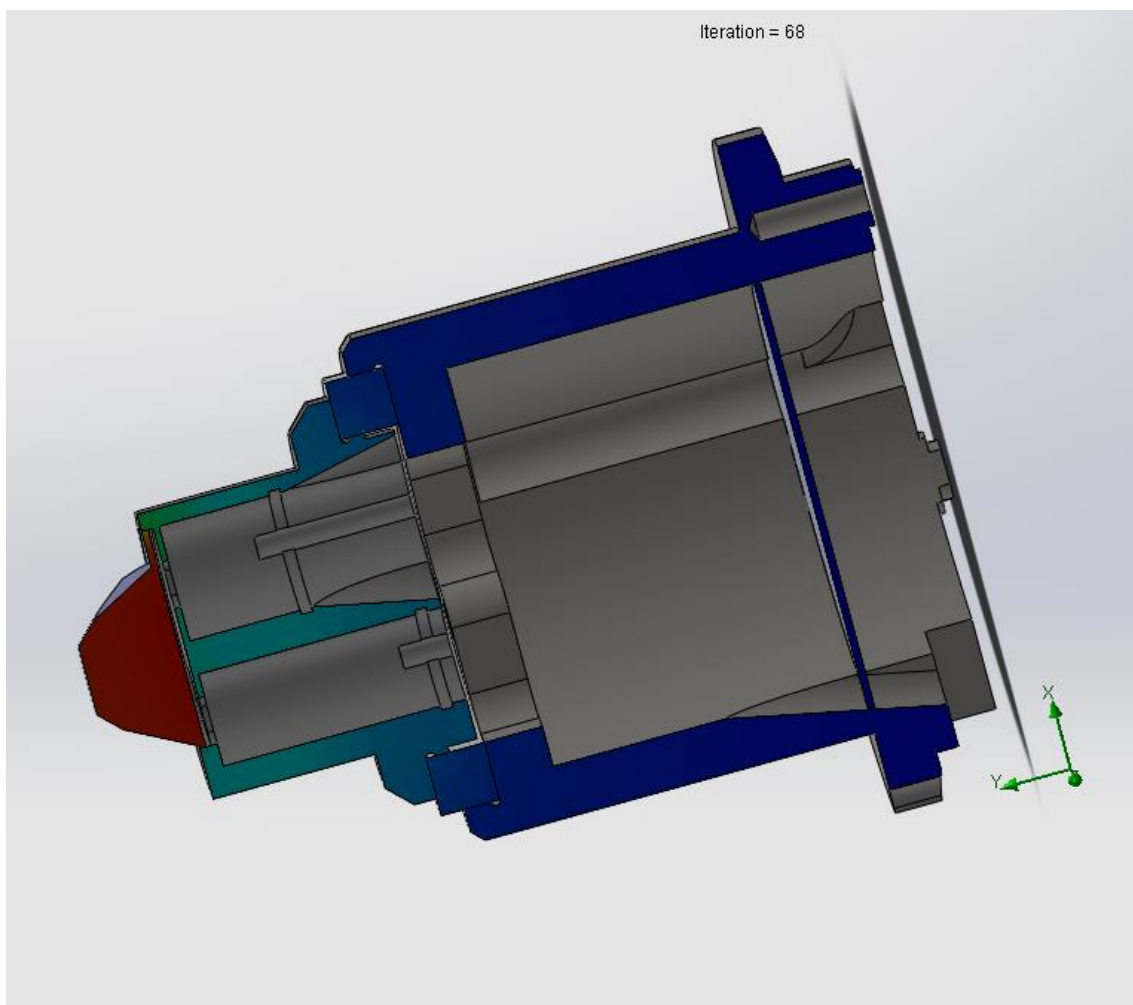
Mallin rakennetta arvioitiin optimoinnin jälkeen ja siihen tehtiin lisäyksiä ja muutoksia sekä lämpösimulointien tulosten perusteella että valmistusteknisistä syistä. Tämän jälkeen saatettiin tehdä uusi optimointi ja uusi arvio lisättävistä ja poistettavista ominaisuuksista. Useiden eri versioiden jälkeen tulostettiin muovinen prototyyppi, ja tämän prototyypin perusteella suunniteltiin ja tilattiin lopullinen, metallinen prototyyppi laboratoriotestejä varten.

### 3.3 Virtaus- ja lämpösimulointi

Virtaussimuloinnin avulla haluttiin tarkastella prototyypin käyttäytymistä ennen osan varsinaista tilaamista ja valmistusta. Haluttiin ensinnäkin ymmärtää keraamirenkaan vaikutuksen suuruus lämmönjohtavuuteen, sekä millaisiin tuloksiin uuden COREn tulisi pystyä ollakseen vähintään yhtä hyvä verrattuna alkuperäiseen versioon, sillä pelkästään muodon yksinkertaistamisella olisi etunsa tuotannossa. Lisäksi voitiin havainnoida, miten prototyypin eri osien muokkaaminen vaikutti lämmönjohtavuuteen ja sitä kautta tehdä muutoksia mallin muotoon sitä mukaa, kun lähestyttiin lopullista prototyypiversiota, joka tilattaisiin.

Aluksi lämmön johtuvuutta tutkittiin epätäydellisessä, yksinkertaisessa kokoonpanossa, koska aluksi osan perusmuodon selvittäminen oli prioriteettina (kuva 22). Tämä vaati useita simulaatioita sekä niiden toistamista erilaisilla laskentaverkoilla, mikä olisi ollut hidasta isommalla kokoonpanolla. Näissä pikasimulaatioissa prisman pinta määriteltiin 60 °C:n lämpöiseksi ”seinäksi” ja poikkileikkauksissa tarkasteltiin lämpötilan jakautumista kappaleen sisällä.

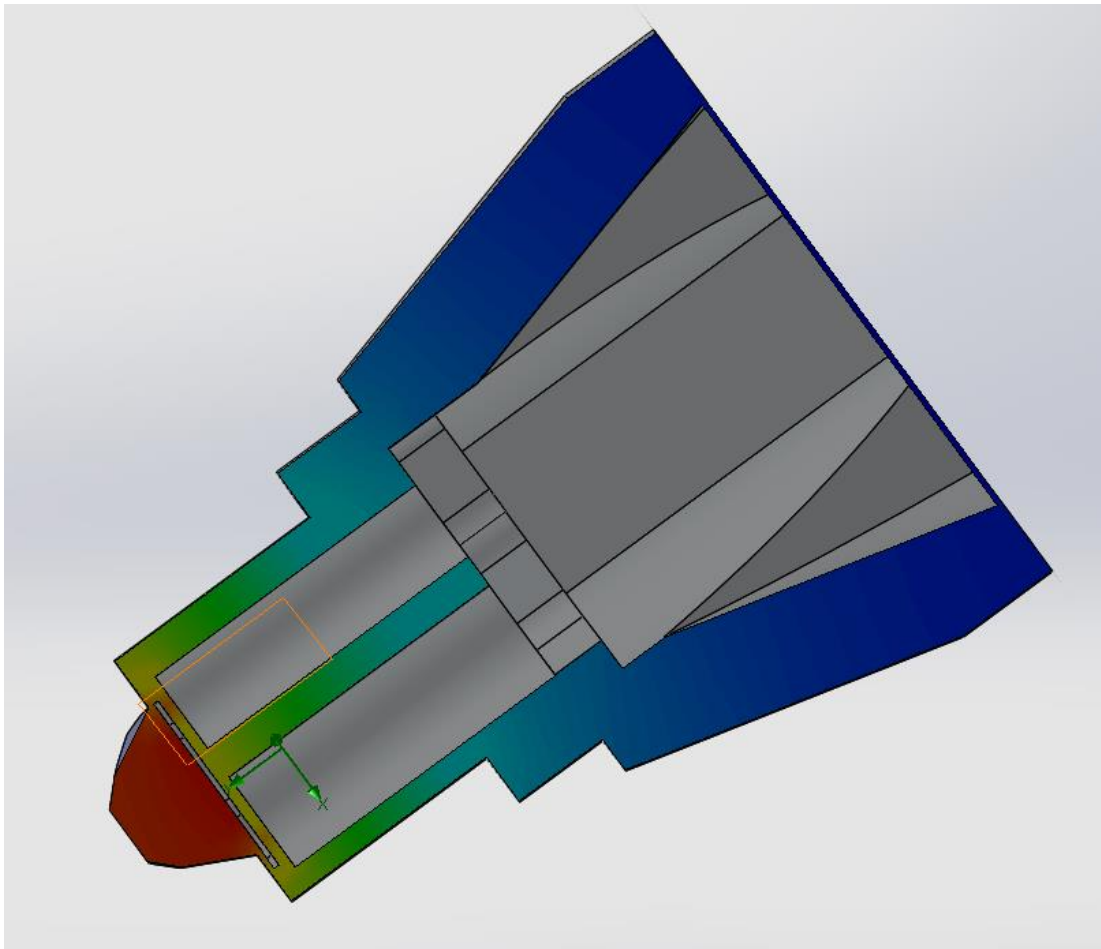
Mallin tarkempaa muotoa etsiessä siirryttiin simulaatioympäristöön, joka muistuttaisi enemmän lopullista laboratorioympäristöä, jossa CCD-kortin lämpenemistä testattaisiin. Tämän ympäristön reunaehtoina olivat virran syöttönopeus 0,000266 m<sup>3</sup>/s ja lämpötila 60 °C, sekä ympäristön lämpötila 25 °C. Paikallisen laskentaverkon tiheydeksi määriteltiin fluideille 4 ja solideille 5 sekä yleiseksi laskentaverkon tiheydeksi 3.



Kuva 22. Lämpötila alkuperäisessä kokoonpanossa

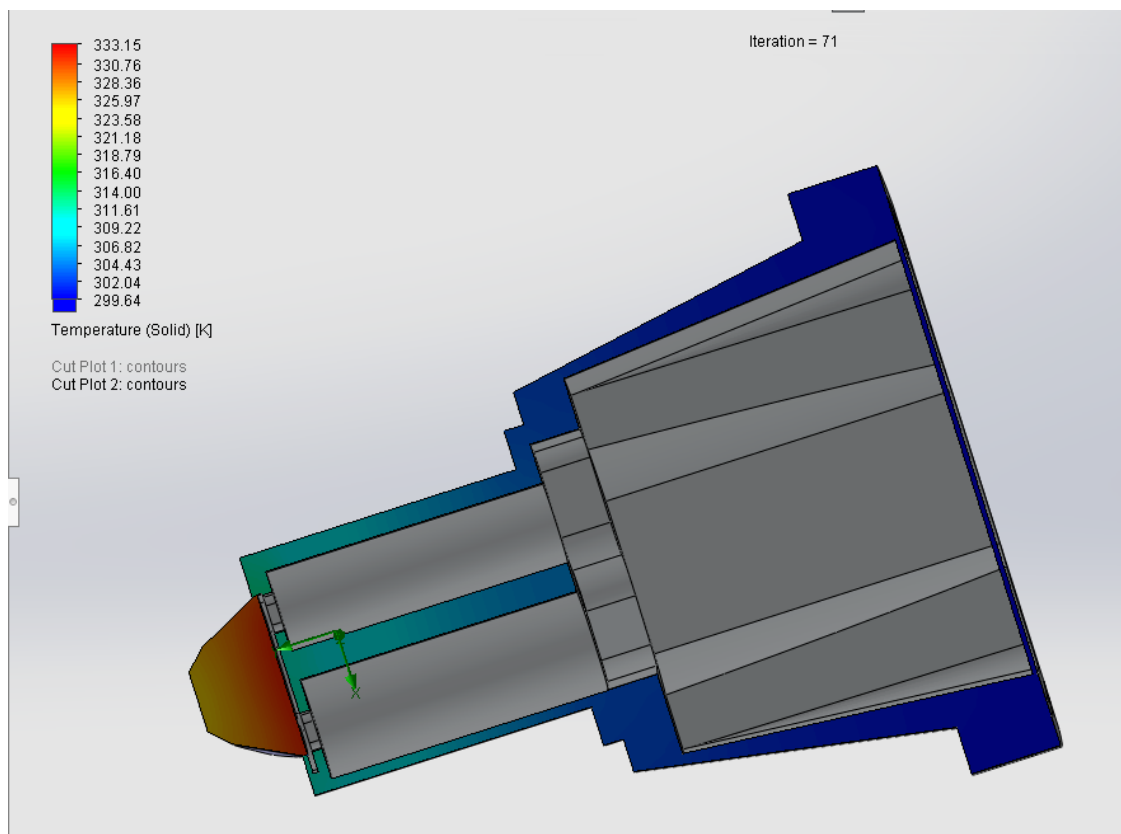
Alkuperäisessä kolmiosaisessa COREn rungossa keraaminen eristerengas niin sanotusti tekee kaiken työn lämmön johtumisen estämisessä. Sen tarve on ilmeinen, sillä lämmön johtuvuutta tarkastellessa leikkauskuvasta huomataan alumiinista valmistetun camera bodyn olevan melko viileä, huolimatta alumiinin hyvästä lämmönjohtavuudesta, joka muuten olisi hyvin haitallista CCD-kortin kannalta.

Uudessa, yksiosaisessa COREssa voidaan havainnoida, miten keraamisen eristerenkaan puuttuminen johtaa lämmönjohtavuuden nousuun (kuva 23), mutta AISI 304-teräksen ollessa materiaalina huonompi lämmönjohtaja kuin 6026 T9-alumiini, pinta jolle CCD-kortti asetettaisiin, näkyy myöskin suhteellisen viileänä. Suunnittelun tässä vaiheessa yksiosainen CORE oli vielä huonompi vaihtoehto verrattuna alkuperäiseen COREen lämmönjohtavuutensa kannalta. Alkuperäinen lämpöarvo CCD-kortin asetuspinnoilta oli 318,35 K, kun taas yksiosainen COREn arvo oli 321,05 K.



Kuva 23. Lämpötila ensimmäisen optimoinnin jälkeen

Mallin seiniä päätettiin kaventaa tuloksien perusteella (kuva 24).



Kuva 24. Lämpötila korjausten jälkeen

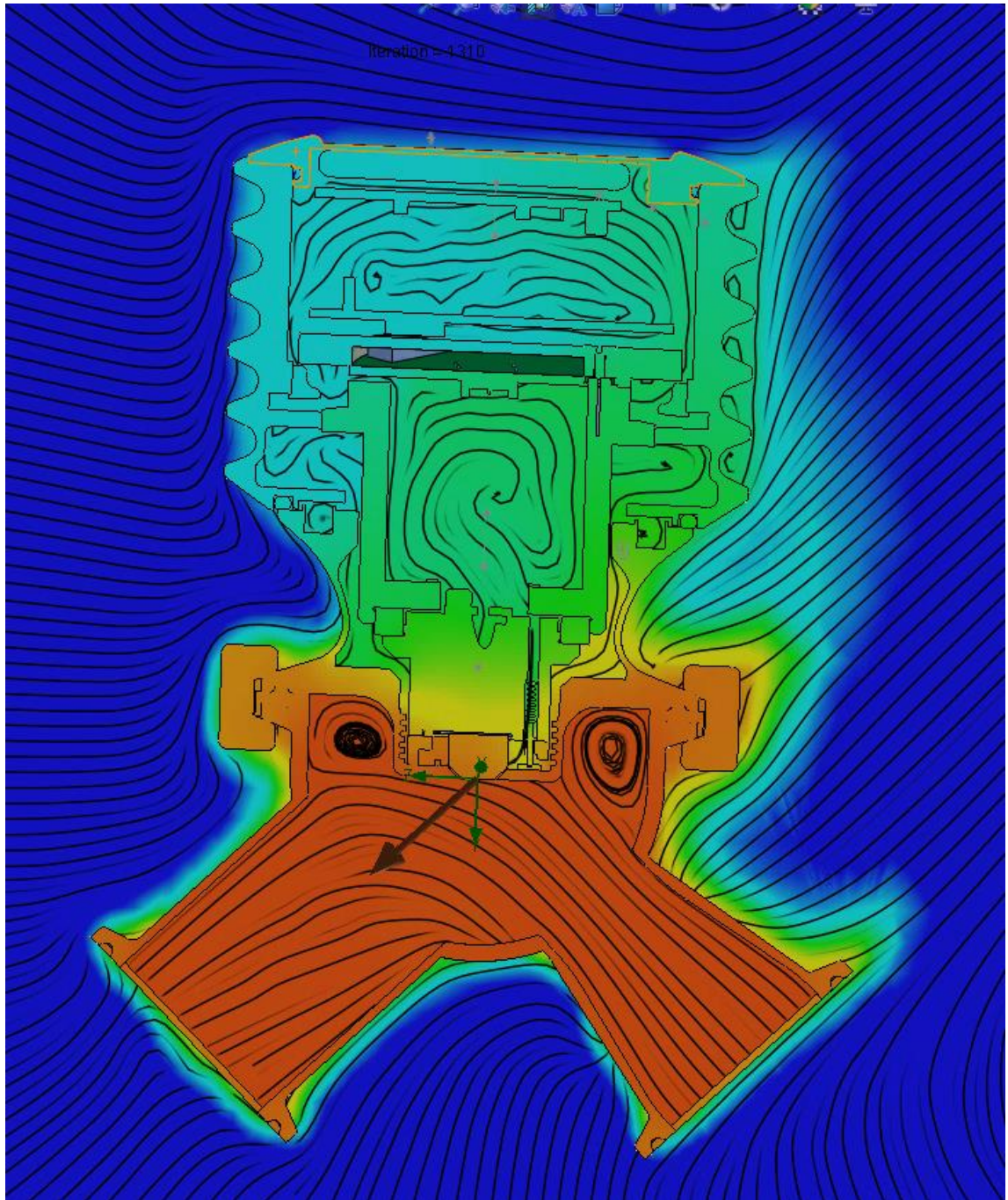
Mallin perusmuodon selvittämisen jälkeen tehtiin muokkauksia osa yleisen toimivuuden parantamiseksi. Tähän kuului ”korvakkeiden” lisääminen, joiden tarkoitus on olla kiinnityspaikkoina CCD-kortille, ohjauspintojen lisääminen, prisman kiinnityksen suunnittelu sekä osan siluetin muuttaminen kartiosta sylinterimäisemmäksi, jotta kappaleen seiniä voitaisiin vielä ohentaa, sillä tällä oli suuri merkitys lämmönjohtavuuden laskemisessa.

Simulointia jatkettiin nyt monimutkaisemmassa ympäristössä. PR-43-AC liitettiin siihen sopivaan virtausastiaan, ja pyrittiin luomaan ympäristö, joka voitaisiin myös toteuttaa laboratoriotesteissä (kuva 25). Simulaatioasetelmassa otettiin myös mallia Mannisen diplomityöstä, koska työssä onnistuttiin pääsemään hyvin lähelle todellista ympäristöä ja tästä olisi paljoka apua simulaatioympäristön tulosten oikeellisuuden määrittämisessä.

Näihin tuloksiin pääseminen ei kuitenkaan ollut ongelmaton. Mannisen diplomityö mainitsee muutamia tärkeitä parametrejä simulaatioilleen, kuten nesteen ja ympäröivän ilman lämpötilan (nesteen lämpötila 60 °C, ympäristön lämpötila 25 °C) ja nesteen syöttönopeuden (0,000266 m<sup>3</sup>/s), mutta ei esimerkiksi laskentaverkon tiheyttä, tai muita tärkeitä asetuksia simulaation kannalta, kuten säteilyn vaikutus ja seinämien



asetukset. Tämän lisäksi Mannisen käyttämä Solidworksin ohjelmistoversio oli diplomityöntekoaikaan vuodelta 2014 ja saanut ajan myötä päivityksiä, joilla voi myös olla osansa siinä, miksi simulointitulosten replikoiminen oli vaikeaa.

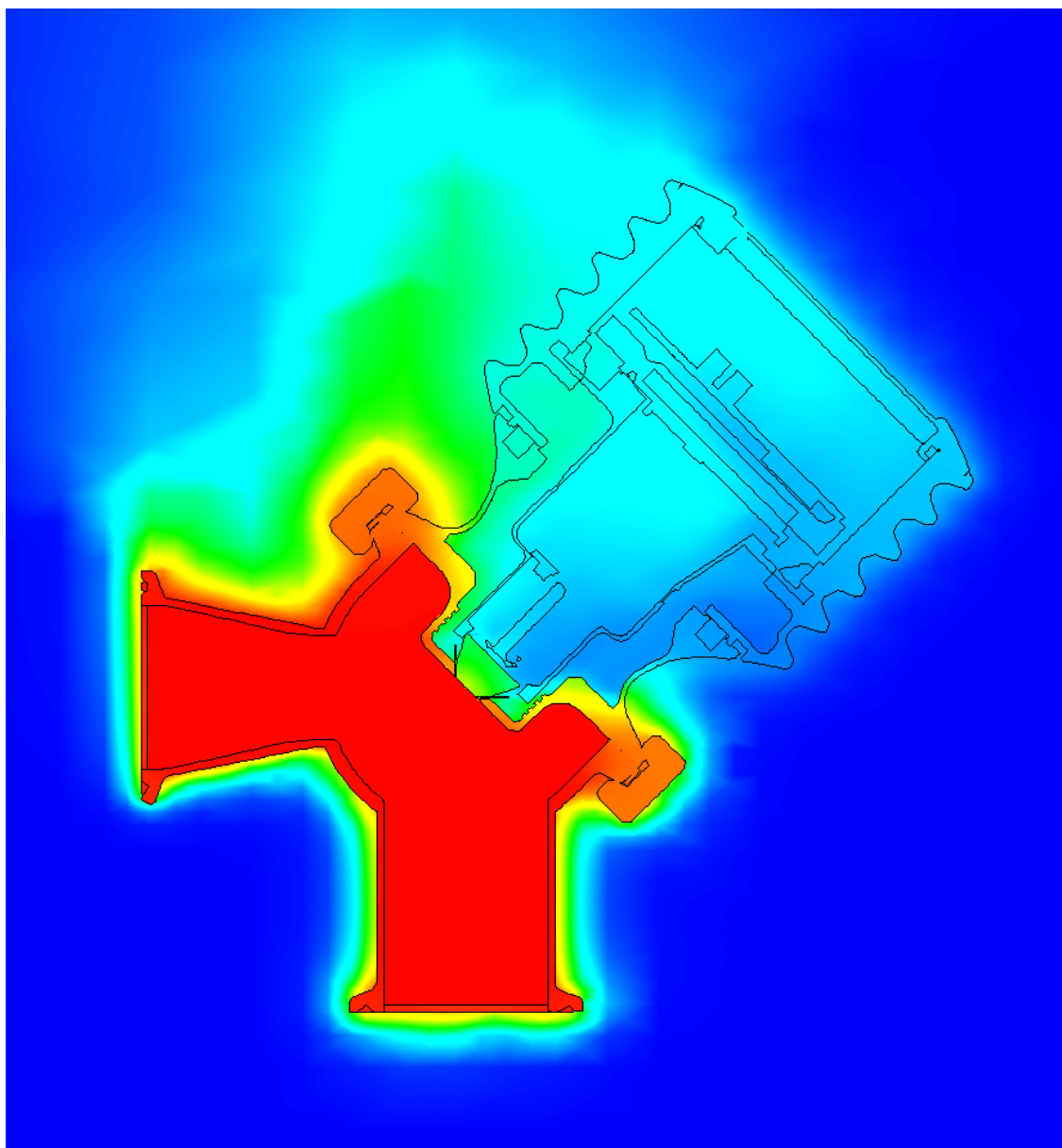


Kuva 25. Kolmiosaisen COREn virtaussimulointi. Eri värit kuvaavat lämpötilamuutosta ja viivat virtauksien muodostumista.

Kuvassa näkyvä ruskea nuoli kuvaa painovoiman suuntaa. Oikeassa asetelmassa virtausastia asetettaisiin 45 asteen kulmaan, sylinterin muotoinen suuaukko maata kohti. Syöttövirta saapuu kartion muotoisesta inlet-putkesta. On mielenkiintoista

huomata miten tämä asetelma lämmittää refraktometrin toista kylkeä enemmän lämpimän ilman kohoamissuunnan takia. Tämän vuoksi myöhemmissä simulaatioissa sekä laboratorioasetelmassa on hyvä huomioida ilmavirran vaikutus CCD-kortin lämpötilaan.

Yksiosaiselle CORElle tehtiin mahdollisimman samankaltainen lämpösimulaatio (kuva 26).

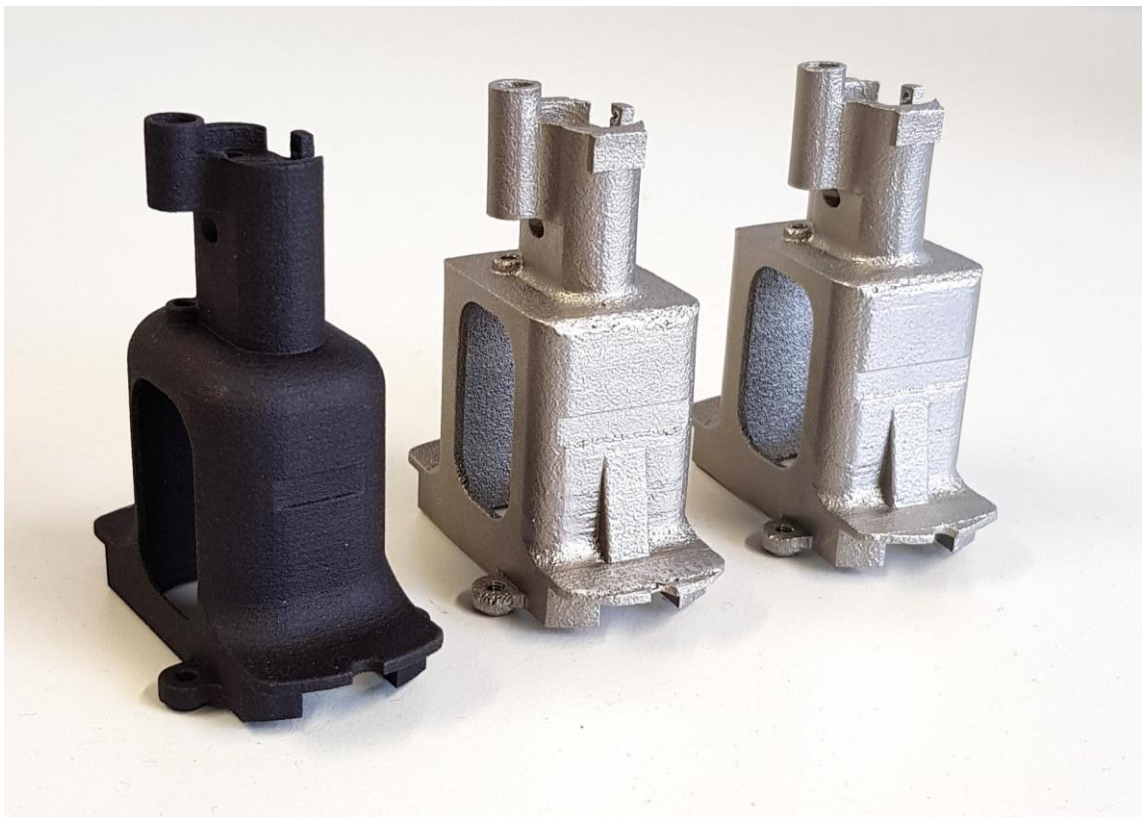


Kuva 26. Lämpötila poikkileikkaus yksiosaisen COREn virtaussimuloinnista

### 3.4 Prototyyppi ja vaihtoehtoiset ratkaisut

Ennen varsinaista, laboratorioissa testattavaa prototyyppiä COREn yksiosainen malli kävi jatkuvasti läpi pieniä muutoksia projektin aikana. Aluksi keskityttiin mallin toimintaan lämmönjohtavuuden kannalta, esimerkiksi lisäämällä ikkunointi yksiosaisen COREn runkoon. Lisäksi mallin ominaisuuksia muokattiin myös ajatellen sen istuvuutta muiden osien kanssa ja etenkin valmistusteknisiä ominaisuuksia, sillä jotkin pinnat tulisi koneistaa vielä metallitulostuksen jälkeen.

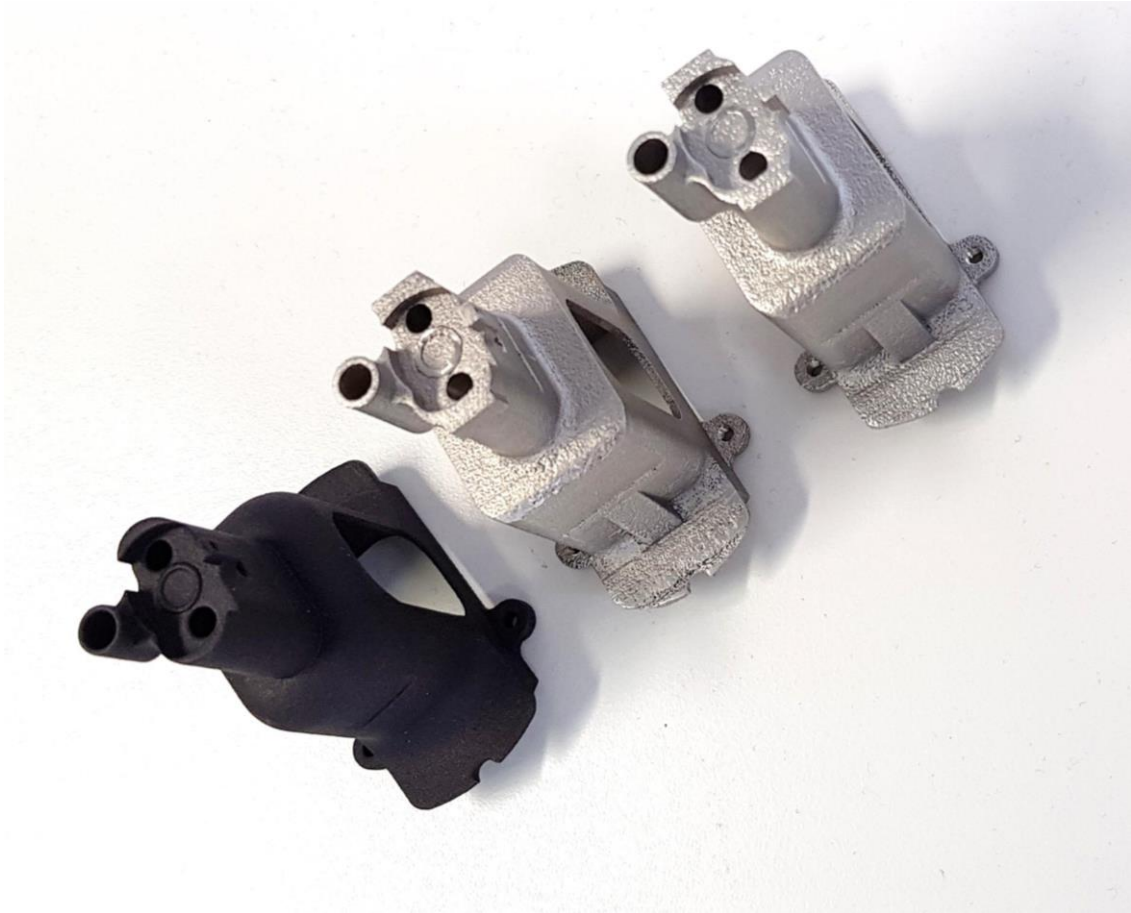
Lopputuloksena oli malli, jonka uskottiin olevan lähes valmis laboratorioympäristöön. Tästä mallista tilattiin muovinen tuloste, minkä jälkeen geometrisia muotoja hiottiin sopimaan paremmin PR-43-AC-rungon sisään. Mallista myös korjattiin mittavirheitä, jotka olivat päässeet tulosteeseen, näistä merkittävimpänä mainittakoon lämpötilanturin putken pidennys sekä prisman istutuksen pienentäminen (kuva 27).



Kuva 27. Prototyypit.

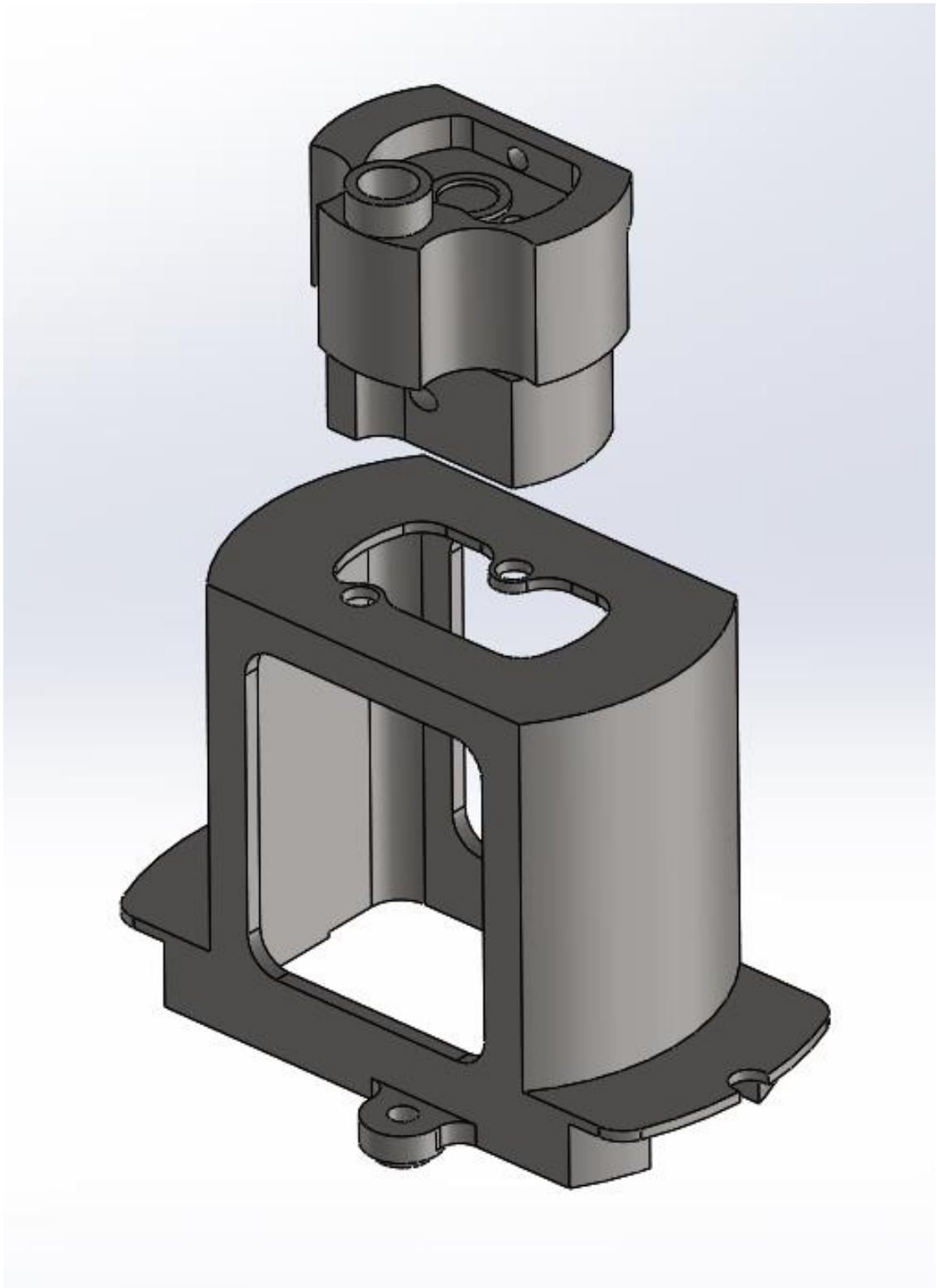
Prototyypit tilattiin kahdelta eri valmistajalta. Molemmat on valmistettu metallitulostamalla AISI 304-teräksestä, minkä jälkeen koneistettiin vielä tarvittavat

pinnat sekä ruuvireiät. Malleissa esiintyvät erot ovat lähinnä kosmeettisia, käytännössä eri valmistajien väliset erot eivät näy prototyyppien toiminnassa (kuva 28).

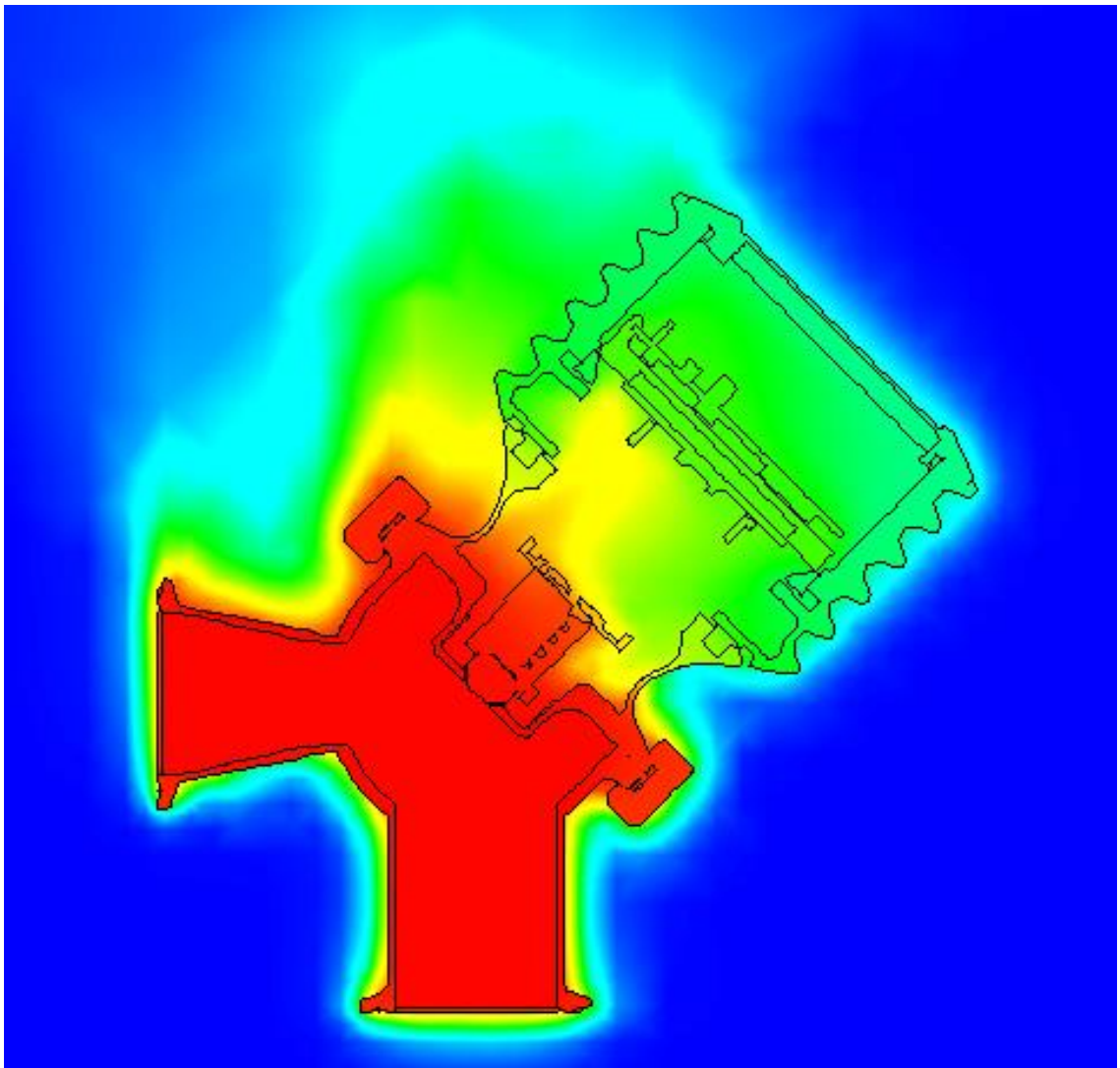


Kuva 28. Prototyypit kuvattuna eri kulmasta

Tuotannon kannalta mietittiin valmistusmenetelmäksi myös perinteistä koneistusta. Kappaleen muoto aiheutti kuitenkin ilmeisiä ongelmia (kiinnityspintojen sijoittelut, linssireikien jyrsiminen on melko hankalaa yms.). Tämän perusteella mallinnettiin kaksiosainen versio, joka voisi soveltua paremmin koneistettavaksi (kuva 29). Kaksiosainen CORE oli simulointiarvoiltaan yksiosaista huonompi (44,20 °C) (kuva 30), mutta tulevaisuudessa kehityksen arvoinen kohde. Esimerkiksi titaanista koneistettuna kyseinen CORE-versio voisi olla lupaava vaihtoehto yksiosaiselle CORElle.



Kuva 29. Kaksiosainen CORE



Kuva 30. Kaksiosaisen COREn lämpösimulointi

Lopullisen prototyypin massa oli lopulta 84,6 g ja tilavuus 10569,4 mm<sup>3</sup>. Prototyyppi on tilavuudeltaan 76,5 % ja painoltaan 37,9 % pienempi kuin alkuperäinen kolmiosainen CORE, joka on tilavuudeltaan 44945.27 mm<sup>3</sup> ja painoltaan 136.21 g.

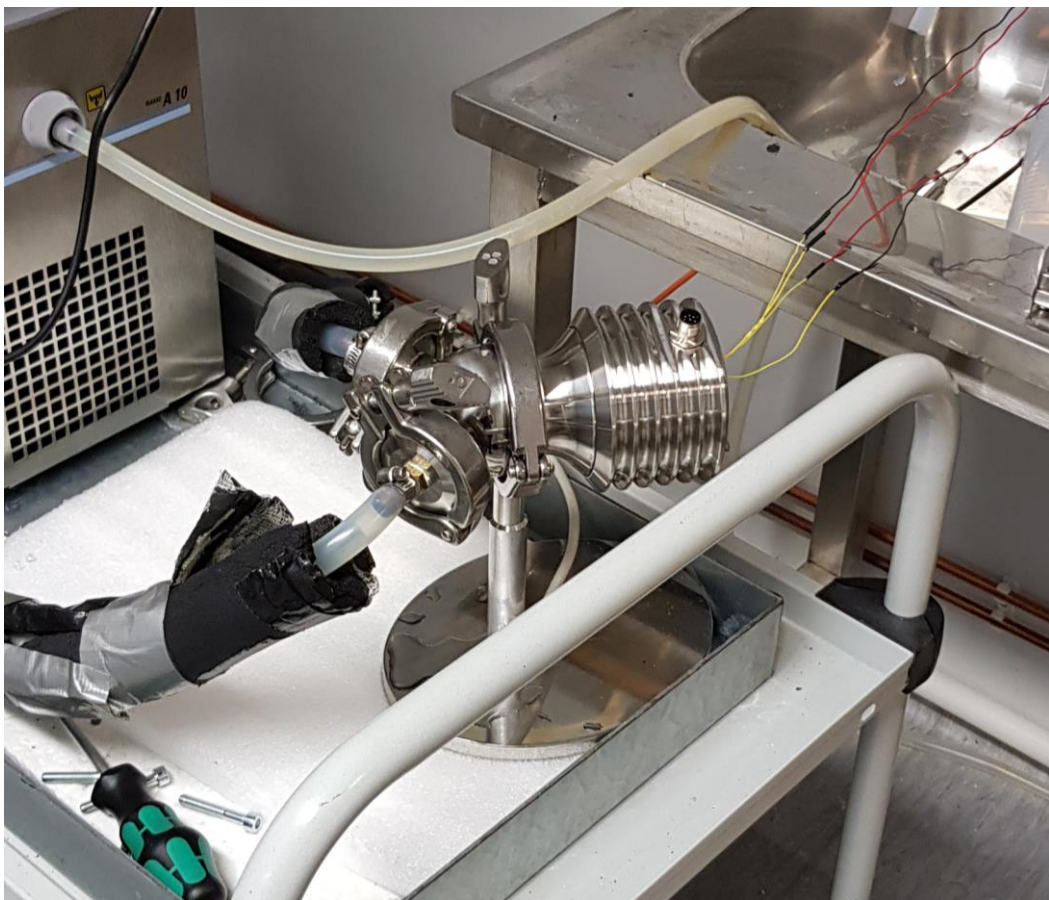
Tässä vaiheessa simulointien perusteella kolmiosaisen kokoonpanon CCD-kortin lämpenemisarvon simuloitiin olevan 45,72 °C, kun taas yksiosainen CORE olisi 41,44 °C. Luvut tulevat useampien simulointien lopputulosten keskiarvoista.

### 3.5 Prototyypin testaaminen

Metallinen COREn prototyyppi testattiin laboratoriossa lämpöhauteessa. Siinä säädetään veden lämpötilaa koneen avulla, joka syöttää kyseisen veden letkun kautta virtaamaan virtausastiaan ja sieltä toisen letkun kautta takaisin koneeseen, joka ylläpitää haluttua veden lämpötilaa.

Refraktometri on kiinni virtausastiassa, ja näin refraktometrin mittauskärki (prisma) on kosketuksissa veteen. Lämpöhauteessa on siis jatkuva virtaus, mikä simuloi ympäristöä, johon refraktometri normaalisti asennettaisiin. Lämpötilaksi voidaan asettaa joko yksi luku, tai koneen voi ohjelmoida syöttämään vettä useissa eri sykleissä eri lämpöarvoilla. (Kuvat 31 ja 32.)

Ensiksi testattiin normaali kokoonpano kolmiosaisella CORElla, jonka tulokset toimisivat vertailuna. Näin voitaisiin verrata yksiosaisen COREn lämpenemistä sekä alkuperäiseen versioon että simulointituloksiin.



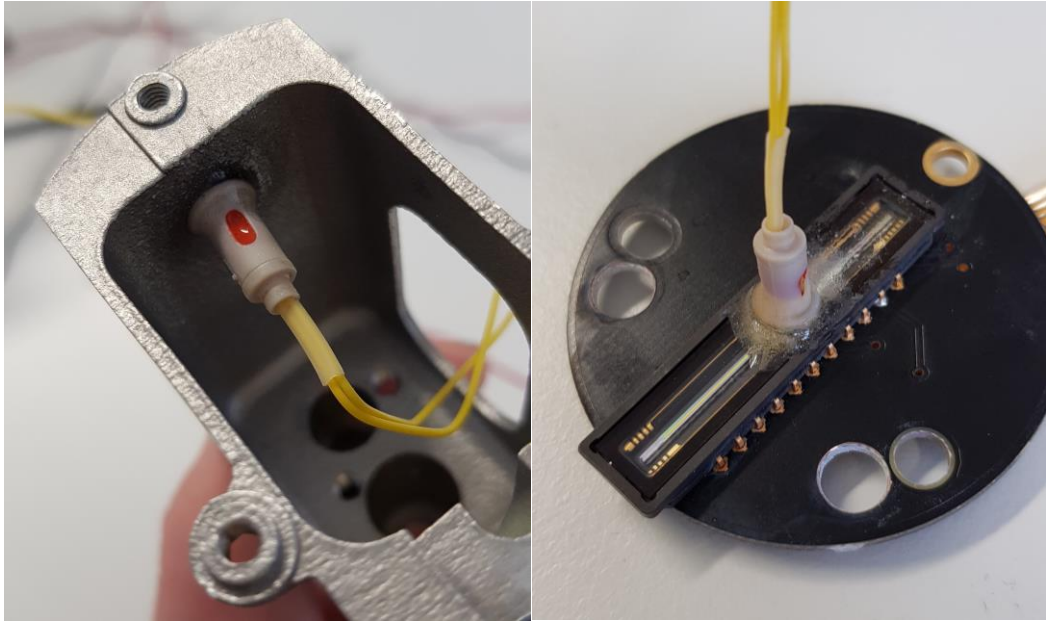
Kuva 31. Refraktometri lämpöhauteessa



Kuva 32. Lämpöhaude



Refraktometrin lämpenemistä seurattaisiin kahdella lämpöanturilla; toinen kiinnitettynä CCD-korttiin ja toinen kiinnitettynä camera bodyyn. (Kuva 33.)



Kuva 33. Liimatut lämpöanturit yksiosaisessa COREssa

Molempiin kokoonpanoihin myös liimattiin erilliset lämpöanturit, yksi camera bodyyn (tai sitä vastaavaan) runkoon ja yksi CCD-kameran linssille. Näiden anturien tulokset säädettiin näkymään lämpöhauteeseen yhdistetyssä tietokoneessa ja tulokset voitiin ottaa ylös joko manuaalisesti näytöltä tai sitten tietokoneelle tallentuneista lokitiedoista. Nesteenä käytettiin 60 °C vettä, jota kierrätettiin prisman pinnalla, antaen refraktometrin lämmetä. Testin pituudeksi päätettiin 1,5 h. Tämä olisi tarpeeksi pitkä aika, jotta molemmat refraktometrit lämpiäisivät tarpeeksi ollakseen vertailukelpoisia keskenään.

### 3.6 Työn tulokset

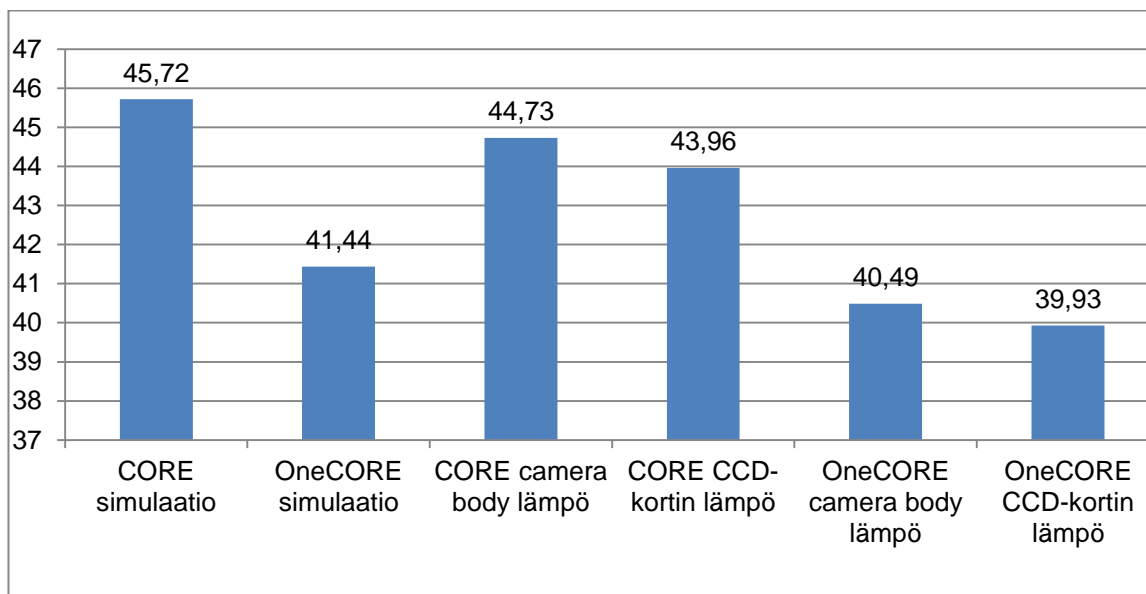
Prototyyppi osoittautui vastaavan hyvin simuloinnin tuloksia; yksiosainen CORE oli CCD-kortin päästä noin 4 °C kylmempi kuin kolmiosainen CORE, prisman pinnalla kierrätettävän veden lämpötilan ollessa 60 °C ja testin pituuden ollessa 1,5 h. (Taulukko 1)

Taulukko 1. COREn lämpöarvot laboratoriossa.

Lämpöanturin sijainti	Lämpötila
Alkuperäinen CORE camera body	44,73 °C
Alkuperäinen CORE CCD-kortti	43,96 °C
Yksiosainen CORE camera body	40,49 °C
Yksiosainen CORE CCD-kortti	39,93 °C

Tuloksissa (verrattuna simuloinnista saatuihin tuloksiin) on jonkin verran eroa (kuva 34). Suurin osa näistä voi selittyä mitta-antureiden tarkkuuden heittämisestä, ilmanvaihdon vaikutuksesta sekä siitä, että prosessineste saattaa viilentyä hiukan matkallaan kohti virtausastiaa. Myöskin simulaatiomallissa voi olla mallinnusvirhettä.

Kuva 34. Simulaatiotulokset verrattuna laboratoriotuloksiin



Kuten simuloinneissa, prototyyppi osoittautui kuitenkin huonommaksi lämmönjohtavuudeltaan ja siten pääsi sille asetettuihin tavoitteisiin. Tässä tulee ottaa huomioon, että pelkästään samoihin lukuihin pääseminen alkuperäisen kokoonpanon kanssa olisi ollut tietynlainen voitto, sillä prototyyppi voisi tällöin joka tapauksessa

syrräyttää alkuperäisen tuotteen ollessaan kevyempi, vähemmän materiaaleja käyttävä sekä helpommin koottava vaihtoehto.

Lämpötilaero voi olla suurempi tai pienempi riippuen refraktometrin asennosta, ilmanvaihdosta, virtausnopeudesta, asennusympäristöstä (esimerkiksi putkenmutkien sijainnista) ja nesteen lämpötilasta. Mutta toistaiseksi tulokset ovat lupaavia ja kannustavat jatkotutkimuksiin erilaisilla lämpötiloilla tai muilla vastaavilla laboratorioasetelman muutoksilla tulevaisuudessa.

## 4 Yhteenveto

Työn tarkoituksena oli tutkia refraktometrin lämmönjohtavuutta kiinnittäen erityisesti huomiota CCD-kortin lämpenemiseen ja tämän perusteella suunnitella ja valmistaa CORE-prototyyppi, joka hyödyntäisi topologista optimointia alemman lämmönjohtavuuden saavuttamiseksi. Prototyypin toimintaa testattiin sekä simuloitettuna laboratorioympäristössä.

Insinööriyössä päästiin asetettuihin tavoitteisiin. Työn tuloksena syntyi prototyyppi, joka on lämmönjohtavuudeltaan heikempi kuin alkuperäinen kolmiosainen malli. Prototyyppi myös yksinkertaistaa refraktometrin kokonaisrakennetta, karsien ylimääräisiä ruuveja, jousia ja muita osia, näin tehostaen kokoonpanoa.

Prototyyppi vaatii vielä kehittämistä muodostuakseen lopulliseksi tuotteeksi. Kuitenkin tästä työstä saadut tulokset auttavat tulevaisuuden tuotekehityksessä, etenkin tutkittaessa topologisen optimoinnin ja 3D-tulostamisen käytön mahdollisuuksia tuotteen valmistuksessa.

Projektin tulevaisuuden kannalta merkittävää huomio on että; koneistettavan, kaksiosaisen COREn suunnittelun jatkoa olisi syytä pohtia. Tuotteella on potentiaalia vaihtoehtoisena ratkaisuna 3D-tulostetulle CORElle mm. halvempien tuotekustannuksien takia, silti se on yksinkertaisempi vaihtoehto kolmiosaiselle CORElle. Ehkä kaksiosaista COREa voisi hyödyntää refraktometreissä, joita ei sijoiteta ympäristöihin, joiden prosessinesteiden lämpötila ylittää 60 °C.

On ehdottomasti syytä tutustua tulevaisuudessa myös titaanin mahdollisuuksiin tämän kyseisen tuotteen suunnittelussa. Esimerkiksi titaaninen, metallitulostettu, yksiosainen CORE voisi osoittautua lupaavaksi tuotteeksi hyvinkin korkeissa lämpötiloissa, ja sitä voitaisiin käyttää esimerkiksi kemianteollisuuden sovelluksissa.

## Lähteet

3D-metallitulostus yleisesite. Verkkoaineisto. Beijer Oy

<[https://beijers.fi/sites/default/files/image\\_storage/beijeroy\\_fi/PDF/3d\\_metallitulostus\\_-\\_yleisesite.pdf](https://beijers.fi/sites/default/files/image_storage/beijeroy_fi/PDF/3d_metallitulostus_-_yleisesite.pdf)> Luettu 16.4.2019

3D-metallitulostus. Verkkoaineisto. Tamspark.

<[https://tamspark.fi/tuotteet/3d\\_metallitulostus/](https://tamspark.fi/tuotteet/3d_metallitulostus/)> Luettu 16.4.2019

3D-tulostuksella lisäarvoa. 2015. Verkkoaineisto. VTT.

<<https://www.vtt.fi/inf/julkaisut/muut/2015/OA-3D-tulostuksella-lisaarvoa.pdf>> Luettu 29.1.2019.

Brennan, Jeff. 2014. 20 years topology optimization birth maturation disruptive technology. Verkkoaineisto. Altair Hyperworks Insider.

<<https://insider.altairhyperworks.com/20-years-topology-optimization-birth-maturation-disruptive-technology/>> Luettu 15.4.2019.

Direct metal laser sintering. Verkkoaineisto. Custompartnet.

<<https://www.custompartnet.com/wu/direct-metal-laser-sintering/>> Luettu 4.4.2019.

Jauhepetimenetelmät. Verkkoaineisto. Savonia.

<<http://alvo.savonia.fi/tietopankki/menetelmat/47-jauhepetimenetelmat>> Luettu 9.4.2019.

Kolmiulotteinen tulostus. Verkkoaineisto. Wikipedia.

<[https://fi.wikipedia.org/wiki/Kolmiulotteinen\\_tulostus#/media/File:FDM\\_by\\_Zureks.png](https://fi.wikipedia.org/wiki/Kolmiulotteinen_tulostus#/media/File:FDM_by_Zureks.png)> Luettu 15.4.2019.

K-Patents. PR-33-AC Brochure. 2019. Verkkoaineisto.

<[https://www.kpatents.com/assets/files/downloads/brochures/Sanitary\\_OEM\\_Refractometer\\_PR-33-AC-February2019\\_lores.pdf](https://www.kpatents.com/assets/files/downloads/brochures/Sanitary_OEM_Refractometer_PR-33-AC-February2019_lores.pdf)> Luettu 12.4.2019.

Manninen, Juho. Refraktometrin rakenteen lämpötilaoptimointi. 2014.

Metallien 3D-tulostus: uudet liiketoimintamahdollisuudet. 2015. Verkkoaineisto. VTT.

<[https://www.vtt.fi/files/services/mav/Metallien\\_3D-tulostus\\_uudet\\_liiketoimintamahdollisuudet\\_2015\\_Puukko\\_VTT%20\\_%20for\\_web\\_pages.pdf](https://www.vtt.fi/files/services/mav/Metallien_3D-tulostus_uudet_liiketoimintamahdollisuudet_2015_Puukko_VTT%20_%20for_web_pages.pdf)> Luettu 16.4.2019

Nygren, Jussi. 2018. Onko tässä vuoden turhake? Tutkijat tyrmäävät 3D-tulostimen – hyödytön ja vaarallinen laite. Verkkoaineisto. Yle.

<<https://yle.fi/aihe/artikkeli/2018/05/25/onko-tassa-vuoden-turhake-tutkijat-tyrmaavat-3d-kotitulostimen-hyodyton-ja>> Luettu 10.4.2019.

Solidworks simulation topology study intermediate results. 2018. Verkkoaineisto.

Javelin Tech. <<https://www.javelin-tech.com/blog/2018/09/solidworks-simulation-topology-study-intermediate-results/>> Luettu 2.4.2019.

Topology Optimization. Verkkoaineisto. H&H Company.  
<<https://www.huh.de/en/innovation-division/topology-optimization/>> Luettu 16.4.2019.

Äikäs, Niko. 2013. 3D-ristikkorakenteen topologian optimointi. Opinnäytetyö.  
<<https://dspace.cc.tut.fi/dpub/bitstream/handle/123456789/21922/%c3%84ik%c3%a4s.pdf?sequence=1&isAllowed=y>> Luettu 29.3.2019.