

Opinnäytetyö (AMK)

Konetekniikan koulutus

2024

Aleksi Pöllänen

Piikiekon lämmönsäätölevyn suunnittelu ja validointi

– Tuotekehitystyö AEM Afore Oy:lle



Opinnäytetyö (AMK) | Tiivistelmä

Turun ammattikorkeakoulu

Konetekniikan koulutus

2024 | 43 sivua

Alexi Pöllänen

Piikiekon lämmönsäätölevyn suunnittelu ja validointi

- Tuotekehitystyö AEM Afore Oy:lle

Opinnäytetyön aiheena oli suunnitella yksinkertaistetumpi piikiekon testauslaitteiston lämmönsäätölevyn jäähdytyslevy. Lämmönsäätölevyn yksinkertaistaminen alentaisi lopullisen tuotteen hintaa ja kompleksisuutta verrattuna edelliseen versioon.

Jäähdytyslevy, sen osat ja kokoonpano suunnitellaan toimeksiantajan antamien kriteerien sisällä SOLIDWORKS 3D-mallinnusohjelmassa, jossa sen muodonmuutoksia myös simuloidaan FEM-menetelmällä. Tämän jälkeen jäähdytyslevy valmistetaan todellisuudessa muovimuottiteräksestä ja jäähdytyslevyyn tehdään validointi mittaamalla jäähdytyslevyn pinnan muodonmuutokset paineen alaisena ja tämän lisäksi mitataan lämmön tasaisuus levyn pinnassa.

Opinnäytetyön keräämän tiedon ansiosta toimeksiantaja voi verrata tämän yksinkertaisen jäähdytyslevyn ominaisuuksia edelliseen jäähdytyslevyyn. Ja täten valita sopivampi vaihtoehto tulevaisuutta nähdessä.

Asiasanat:

piikiekko, jäähdytyslevy, simulointi, validointi

Bachelor's Thesis | Abstract

Turku University of Applied Sciences

Degree programme in Mechanical Engineering

2024 | 43 pages

Aleksi Pöllänen

Design and validation of a wafer thermal control plate

- Design work for AEM Afore Oy

The objective of this thesis was to design a simplified cooling plate for the temperature control plate of the silicon wafer testing equipment. Simplifying the heat control plate would lower the price and complexity of the final product compared to the previous version.

The cooling plate, its parts and assembly were designed within the criteria given by the client in the SOLIDWORKS 3D modeling program, where its deformations were also simulated by using FEM. After this, the cooling plate was manufactured in plastic mold steel and the cooling plate was validated by measuring the deformation of the surface of the cooling plate under pressure. Then the uniformity of heat on the surface of the plate was measured.

Based on the information gathered in this thesis, the client can compare the properties of this simple heatsink to the previous segmented heatsink. With these results they can choose the suitable option for the future.

Keywords:

silicon wafer, heat sink, simulation, validation

Sisältö

Käytetyt lyhenteet tai sanasto.	7
1 Johdanto	8
2 AEM Afore Oy	9
3 Piikiekkko	10
3.1 Pii	10
3.2 Piikiekon teko	10
3.3 Käyttö	10
3.4 Piikiekkojen testaus	11
3.5 Testausprosessi	11
4 Lämmönsäätölevy	13
4.1 Jäähdytyskiekko	13
4.2 Jäähdytyskiekon materiaalit	13
4.3 Vastuslevy	13
5 Lämmönsäätölevyn suunnittelu	15
5.1 Jäähdytyslevyn suunnittelukriteerit ja mitat	15
5.2 Levyjen kiinnitysmenetelmien suunnittelu	15
5.2.1 Juottaminen	16
5.2.2 3D-tulostus	16
5.2.3 Ruuvikiinnitys	16
5.3 Ensimmäisen konseptin suunnittelu	16
5.4 Ensimmäisen konseptin palaute ja jatkotoimenpiteet	19
5.5 Kiinnitysmenetelmä	19
5.6 Kokoonpanossa huomattut ongelmat	20
5.7 Lopullisen materiaalin valitseminen	20
5.8 Jäähdytyskanavan valitseminen	21
5.9 Ruuviliitosten määrän laskeminen ja sijaintien määrittäminen	21
5.10 Laskelmien lopputulos	23

5.11 Jäähdytyslevyn ja sen kokoonpanon muokkaaminen uusien huomautusten mukaan	23
6 Muodonmuutosten tarkistus FEM-menetelmällä	27
6.1 FEM-menetelmä	27
6.2 Elementtianalyysin implikointi jäähdytyslevyyn	27
6.3 Jäähdytyslevyn simuloitu muodonmuutos	29
6.4 Elementtianalyysin lopputulos ja teknisen piirustuksen laadinta	31
7 Validointi	32
7.1 Pohja- ja kansilevyn valmistus ja lopullisen kokoonpanon kokoaminen	32
7.2 Jäähdytyslevyn koepaineistus	33
7.3 Jäähdytyslevyn kansilevyn muodonmuutosten mittaus paineen alla	35
7.4 Muodonmuutoksien mittauksen lopputulos	37
7.5 Kansilevyn lämpötasaisuuden mittaus	37
7.6 Lämpötasaisuuden mittauksen lopputulos	40
8 Tulosten käyttö tulevaisuudessa ja loppumietteet	42
Lähteet	43

Kuvat

Kuva 1. Piikiekko testauslaitteistossa (AEM Afore Oy)	12
Kuva 2. Esimerkki lämmönsäätölevystä, joka sisältää vastuksen ja jäähdytyslinjan (Cast Aluminium Solutions)	14
Kuva 3. Konsepti kansilevystä, jossa kanava kulkee kolmen piirin kautta	18
Kuva 4. Konsepti kansilevystä, jossa kanava kulkee aaltomaisesti	18
Kuva 5. Kuva kansilevystä, jossa kanavat yhdistyvät	19
Kuva 6. Kuva kokoonpanosta kansilevyn suuntaan	25
Kuva 7. Kuva kokoonpanosta pohjalevyn suuntaan	25
Kuva 8. Kuva pohjalevystä ja siinä sijaitsevasta kanavasta ja tiivisteistä	26
Kuva 9. Kuva pultin leikkauskuvasta, jossa näkyy tiivisteura ja siihen kuuluva tiiviste	26

Kuva 10. Pohjalevyn yksinkertaistettu laskentaversio	28
Kuva 11. Kansilevyn yksinkertainen laskentaversio	29
Kuva 12. Kuva kansilevystä simuloinnin jälkeen	30
Kuva 13. Kuva pohjalevystä simuloinnin jälkeen	30
Kuva 14. Valmis jäähdytyslevy kansilevyn suunnasta	32
Kuva 15. Valmis jäähdytyslevy pohjalevyn suunnasta	33
Kuva 16. Jäähdytyslevyn tiiveyden varmistus 1 baarilla	34
Kuva 17. Jäähdytyslevyn tiiveyden varmistus 6 baarilla	34
Kuva 18. Jäähdytyslevy mittauspöydällä	35
Kuva 19. Jäähdytyslevy mittaustasolla	36
Kuva 20. Jäähdytyslevy kiinnitettynä kierrättävään jäähdyttimeen	38
Kuva 21. Lämpökameralla jäähdytyslevystä otettu kuva ilman heijastamatonta materiaalia	39
Kuva 22. Jäähdytyslevyyn kiinnitetty heijastamattomasta materiaalista tehty peite	39
Kuva 23. Lopullinen testauspenkki lämpötasaisuuden mittaamiselle	40
Kuva 24. Lämpökameralla otettu kuva jäähdytyslevystä testipenkissä	41

Kuviot

Kuvio 1. Muodonmuutoksen mittauspöytäkirja	36
--	----

Käytetyt lyhenteet tai sanasto.

FEM	Finite Element Method tai Elementtimenetelmä
MEMS	Micro Electronic Mechanical Systems tai mikrosysteemit
eV	Elektronivoltti
bar	Baari
μm	Mikrometri
$^{\circ}\text{C}$	Celsiusaste
N	Newton
p	Paine
A	Pinta-ala
F	Voima
π	Pii

1 Johdanto

Jokainen meistä käyttää päivittäin tuotteita, jotka piikiekkoon on mahdollistanut. Ilman piikiekkoon on lähes mahdoton kuvitella nykyajan teknologiatäyteistä elämäämme. Kaikki älylaitteet, autoelektroniikka sekä lääketieteelliset sovellukset perustuvat piikiekoille prosessoituihin mikrosiruihin.

Tämän opinnäytetyön toimeksiantaja AEM Afore Oy, on toiminut piikiekkoon testauslaitteistoon kehittäjänä kohta jo lähes 30 vuotta. Tämän opinnäytetyön aiheena oli suunnitella, kehittää ja testata mahdollinen olemassa olevaan verrattuna yksinkertaistetumpi lämmönsäätölevy piikiekkoon testauslaitteistolle, joka täten vähentäisi kokoonpanoon liittyvien osien ja komponenttien monimutkaisuutta ja tuotantokuluja. Toimeksiantajalle opinnäytetyön aihe valikoitui sen ajankohtaisuuden vuoksi. Yrityksellä oli mielenkiintoa kehittää massatuotettu laitteisto ja kehittää yksinkertaisempi vaihtoehto verrattuna nykyiseen kokoonpanoratkaisuun. Täten laitteiston tuotantokulut pienenisivät ja tämä parantaisi tuotteen kilpailukykyä.

Opinnäytetyössä kehitettiin edellisestä lämmönsäätölevyyn kuuluvasta jäähdytyslevystä yksinkertaisempi versio. Jäähdytyslevy suunnitellaan 3D-mallinnusohjelmassa, jonka avulla jäähdytyslevy simuloidaan FEM-laskelmien avulla. Tämän jälkeen jäähdytyslevy valmistetaan todellisuudessa, jonka jälkeen jäähdytyslevyn muodonmuutokset ja lämpötasaisuus validoidaan. Lopputuloksena opinnäytetyö toimii projektiraporttina, jonka perusteella voidaan tehdä päätöksiä tuotteistamisesta ja jatkokehityksestä.

Opinnäytetyössä käytettiin Dassault Systèmesin SOLIDWORKS 3D ohjelmistoa, jonka avulla yksinkertaistetumpi lämmönsäätölevy suunniteltiin ja analysoitiin FEM-menetelmällä. Opinnäytetyö validoitiin käyttämällä mittapöytää, mittatasoa ja lämpökameraa.

2 AEM Afore Oy

AEM Afore Oy on nimenä yhdistelmä AEM konsernin ja Suomen maayhtiön nimestä. Singaporelainen AEM tarjoaa käsittely- ja testausratkaisuja maailman edistyneimmille valmistajille ja Afore Oy on Suomessa sijaitseva MEMS-testauslaitteyritys, joka tarjoaa kilpailukykyisiä testienkäsittelyratkaisuja pääasiassa auto-, teollisuus- ja kuluttajasovelluksiin. Vuonna 2018 AEM Holdings Ltd. hankki Afore Oy:n. Alkuperäisesti Turussa perustettu, nykyään Liedossa sijaitseva AEM Afore Oy perustettiin vuonna 1995 konetekniikan tutkimus ja tuotekehitys yritykseksi.

Yrityksellä on 19 toimipaikkaa ympäri maailmaa ja vuonna 2022 yrityksen liikevaihto oli 870 miljoonaa Singaporen dollaria. Itse Liedon toimipisteellä (Afore Oy) työskentelee noin 40 ihmistä erinäisissä ammateissa.

AEM Afore Oy on maailmanlaajuinen johtaja sovelluskohtaisissa puolijohteiden testaus- ja käsittelyratkaisuissa. Se kehittää maailmanluokan teknologioita instrumentoinnin, testauksen, automaation, robotiikan, optisen tarkastuksen, huippuluokan lämmönsäädön ja ohjelmistojen alalla. Mikrosirujen testauslaitteiden ominaisuuksiin kuuluvat sähköisten mittausten lisäksi esimerkiksi herätteet kiihtyvyydsmittarien, gyroskooppien ja magneettisen vaikutuksen testaamiseksi. Näiden lisäksi testauslaitteisiin saattaa kuulua lämpötilan, paineen ja kosteuden muutokset.

(AEM Afore 2023)

AEM Afore Oy tarjoaa mikrosirujen testisoluja, testilaitteita, räätälöityjä laitteita ja tuotekehityspalveluita mikrosiruteollisuudelle. Yrityksen ensimmäinen mikrosirujen testilaitteisto toimitettiin vuonna 1998. AEM Afore on toimittanut satoja laitteita, joista suurin osa 24/7 tuotannossa. Asiakkaita löytyy Euroopasta, USA:sta ja Aasiasta. Monia testauslaitteistoja löytyy eri puolilta huippuluokan teollisuusala.

3 Piikiekkko

3.1 Pii

Pii on laajimmin käytetty puolijohdemateriaali, jonka osuus maailmanlaajuisista puolijohdemarkkinoista on yli 90 %. Sen suosio voi johtua useista eri tekijöistä, mukaan lukien sen runsaasta saatavuudesta, koska se on maankuoren toiseksi runsain alkuaine. Piillä on myös suhteellisen suuri 1,12 elektronivoltin kaistaväli, mikä tarjoaa hyvän tasapainon sähkönjohtavuuden ja lämpöstabiilisuuden välillä. Vaikka piikiteet voivat näyttää metallisilta, ne eivät ole kokonaan metalleja. (Wevolver.com, 2021)

3.2 Piikiekon teko

Puhdas piikide saadaan lämmittämällä piidioksidia hiilellä 2200°C:n lämpötilassa. Atomien välillä helposti liikkuvien "vapaiden elektronien" ansiosta metallit ovat hyviä sähkönjohtajia. Puhdas piikide sen sijaan lähestyy eristettä, joten se päästää hyvin vähän sähköä itsensä läpi. (Wevolver.com, 2021)

Tämän prosessin jälkeen piikidettä voidaan muuttaa douppaus nimisellä menetelmällä. Douppauksen tai seostamisen aikana puhtaaseen piikiteeseen lisätään epäpuhtauksia hallitusti ohjaamaan resistanssia tarkan spesifikaation mukaisesti ja siten saadaan halutun spesifikaation mukainen piikiekkko. (Wevolver.com, 2021)

3.3 Käyttö

Elektroniikassa piikiekkot ovat ohuita siivuja erittäin puhdaskiteistä piitä (c-Si), joita käytetään integroitujen piirien valmistuksessa useiden elektronisten komponenttien komposiittina. Piikiekkot ovat tärkeässä asemassa puolijohdeteollisuudessa, koska niitä käytetään elektroniikassa ja mikromekaanisissa laitteissa. Piikiekkot toimivat mikroelektronisten laitteiden

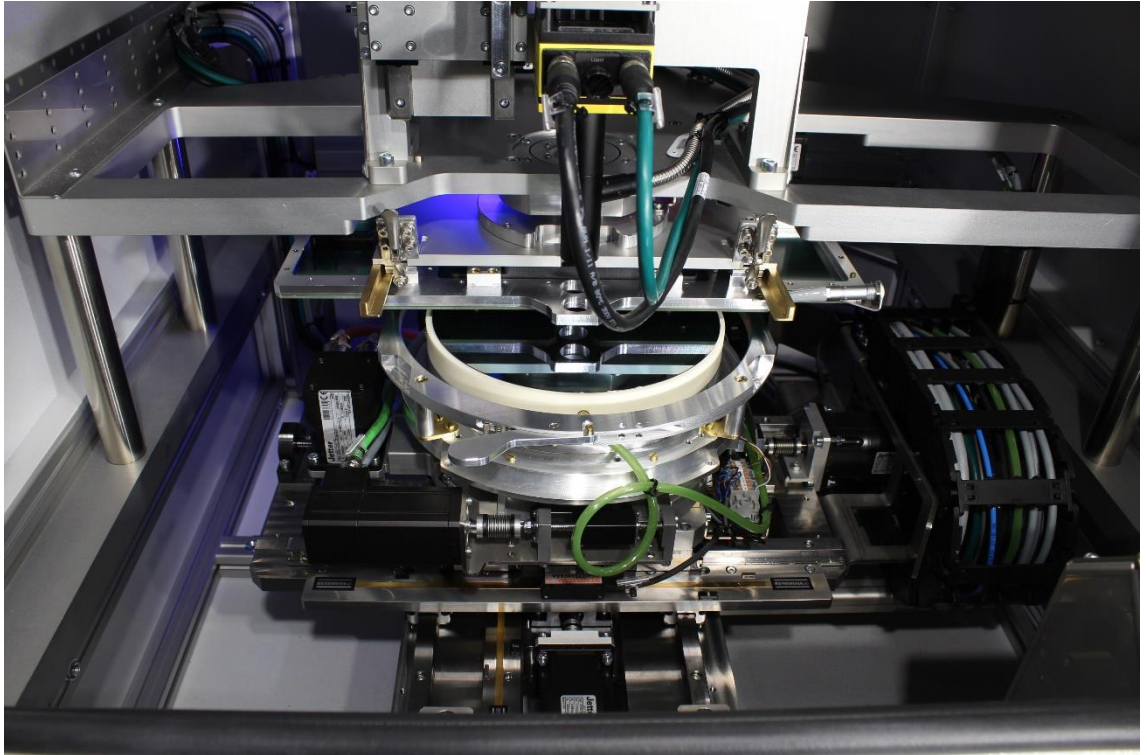
substraattina ja ovat erityisen hyödyllisiä elektronisten piirien rakentamisessa johtavuutensa ja kohtuuhintaisuutensa vuoksi. Piikiekkaja on eri muotoisia ja kokoisia, riippuen niiden käytöstä. Ne ovat avainkomponentti integroiduissa piirilevyissä, jotka koostuvat useista elektronisista komponenteista, jotka on suunniteltu suorittamaan tietty tehtävä. (Wevolver.com, 2021)

3.4 Piikiekkojen testaus

Piikiekkojen testaus (Wafer Probing) on sähköinen tai optinen testausprosessi, joka suoritetaan puolijohdelevyille sen jälkeen, kun integroidut piirit on kiinnitetty piikiekkoihin. Tämä on olennainen vaihe puolijohdeiden valmistusprosessissa, joka auttaa määrittämään kiekkojen toimivuuden ja tuotannon yleisen laadun. Tämän testin tavoitteena on tunnistaa tehottomat kiekot ja antaa arvokasta palautetta, joka voi vaikuttaa merkittävästi kiekkojen valmistukseen, laadunvalvontaan ja tuotantoprosessin valvontaan, ennen itse kiekosta irrotettujen mikropiirien paketoitua. (Wevolver.com, 2023)

3.5 Testausprosessi

Piikiekkojen testaus tapahtuu yksinkertaistettuna siten, että latauslaitteisto lataa ja sijoittaa kiekon tarkasti levyille, jota kutsutaan "chuck:ksi" tai kiekkoistukaksi. Piikiekot siirretään tämän jälkeen "Probe Card:in" tai testikortin kanssa sähköiseen kosketukseen. Piikiekkolla olevat laitteet vastaanottavat testikortilla olevien kontaktineulojen kautta mittauslaitteesta lähetetyt testisignaalit ja lähettävät ne myös takaisin. Toisin sanoen, testisignaalit välitetään yksittäisille piikiekkolla sijaitseville mikropiireille mittauslaitteesta testikortin neulojen kontaktin avulla, ja sitten testisignaalit palautetaan testikortilta testauslaitteistoon. Sitten testisignaaleita verrataan testauslaitteessa sijaitsevaan piikiekkokarttaan, jossa sijaitsee kopio varsinaisesta kiekosta, joka on merkitty vastaavasti osoittamaan testaajan määrittämät läpäisy- ja epäonnistumismerkki (Kuva 1). (Wevolver.com, 2023)



Kuva 1. Piikiekkko testauslaitteistossa (AEM Afore Oy)

4 Lämmönsäätölevy

Piikiekkojen lämmönsäätölevyt ovat yleensä kahdesta osasta koostuvia levyjä, jotka tulevat piikiekon testausvaiheessa piikiekon alle. Ne lämmittävät ja viilentävät piikiekkoa, jotta nähdään miten piikiekossa olevat integroidut piirilevyt reagoivat eri lämpöasteisiin.

Nämä kaksi lämmönsäätölevyn osaa koostuvat esimerkiksi pyöreästä jäähdytyskiekosta ja tämän jäähdytyskiekon päällä sijaitsevasta vastuslevystä, joka on kosketuksessa piikiekkoon. (Cast Aluminium Solutions)

4.1 Jäähdytyskiekko

Lämmönsäätölevyn jäähdytyskiekko jäähdyttää piikiekkoa kierrättämällä jäähdytysainetta (esimerkiksi glykoli) piikiekon alla. Jäähdytyskiekon sisällä sijaitsee jäähdytyskanavia, joiden kautta saadaan mahdollisimman hyvä lämmönpoisto. Yksinkertaisuudessaan jäähdytyskiekkoa voisi kutsua jäähdyttimeksi, sillä konsepti on täysin sama. (Cast Aluminium Solutions)

4.2 Jäähdytyskiekon materiaalit

Jäähdytyskiekko voidaan valmistaa useista eri materiaaleista, joiden fyysiset ja kemialliset ominaisuudet ovat sopivia. Näistä tärkeimpänä on esimerkiksi lämmönjohtavuus ja korroosionkesto. Materiaaleina voi toimia esimerkiksi alumiini, kupari ja erinäiset muovimuottiteräket. (Cast Aluminium Solutions)

4.3 Vastuslevy

Piikiekon lämmönsäätölevyn vastuslevy taas lämmittää piikiekkoa erinäisillä vastuksilla, joiden avulla piikiekko saadaan toivottuun lämpötilaan yhdessä jäähdytyskiekon kanssa. Vastuksia käytetään niiden reaktionopeuden ja tarkkuuden vuoksi. Nestekierron lämpötilan muuttaminen testattavan tuotteen

lämpötilamuutosten mukaan olisi liian hidasta ja aiheuttaisi helposti lämpötilan muuttumisen raja-arvojen ulkopuolelle. (Cast Aluminium Solutions)



Kuva 2. Esimerkki lämmönsäätölevystä, joka sisältää vastuksen ja jäähdytyslinjan (Cast Aluminium Solutions)

5 Lämmönsäätölevyn suunnittelu

Lämmönsäätölevyn suunnittelu alkoi määrittelyllä toimeksiantajan kanssa, jolloin saataisiin tietoon lämmönsäätölevyn kriteerit ja mitat. Yksinkertaistetumpi lämmönsäätölevy tulisi vanhan lämmönsäätölevyn paikalle ja tässä tapauksessa vain lämmönsäätölevyn jäähdytyskiekko pitäisi suunnitella. Itse lämmönsäätölevyn vastuslevy olisi edellistä suunnittelua.

5.1 Jäähdytyslevyn suunnittelukriteerit ja mitat

Vanha jäähdytyskiekko sisälsi pneumatiikkaa, jonka avulla kiekkoa pystyttiin jäähdyttämään eri segmenteissä. Itse kiekko koostui monesta osasta, jonka takia kokonaisuus oli erittäin kompleksiksi ja kallis. Uuden jäähdytyskiekon mittojen pitäisi olla samat ja uusi kiekko käyttäisi vanhaa jäähdytysyhdetä, jonka kautta jäähdytysneste kulkisi sisään ja ulos kiekosta. Yksinkertaistetun jäähdytyskiekon täytyisi myös sisältää vakuumiurat ja siihen tarvittavat liitännät, jonka avulla lämpövastus olisi kiinni jäähdytyskiekossa. Jäähdytyskiekkoon täytyisi myös mallintaa nostopinnien reiät, joiden avulla Piikiekko nostetaan ylös lämmönsäätölevystä. Jäähdytyskiekon pitäisi kestää jäähdytysnesteestä johtuvan 6 baarin paine ilman yli 10 µm:n muodonmuutosta ja jäähdytyskiekon materiaali joutuu kokemaan -40 °C ... +125 °C:n lämpötilaeroa. Itse jäähdytyskiekon materiaalia ei tässä vaiheessa vielä tiedetty.

5.2 Levyjen kiinnitysmenetelmien suunnittelu

Levyjen kiinnitysmenetelmiä oli ajateltu toimeksiantajan kanssa jo aikaisemmin. Kiinnitysmenetelmiä olisi esimerkiksi juottaminen, 3D-tulostaminen ja ruuvikiinnitys.

5.2.1 Juottaminen

Juottaminen tapahtuisi levyjen väliin laitettavalla juotosaineella, jonka jälkeen koko pakkaus laitettaisiin uuniin, jotta juotosaine sulaisi levyjen väliin täten yhdistäen kaksi levyä toisiinsa ja samalla tiivistäen jäähdytyskanavan.

5.2.2 3D-tulostus

3D -tulostamisella tulostusaineella (tässä tapauksessa erilaiset metallit ja metalliseokset) saataisiin yksi kokonainen jäähdytyslevy kanavineen ja reikineen yhdellä kerralla, joten tässä tapauksessa kiinnitysmenetelmiä ja tiivistystä ei tarvitsisi ajatella, mutta kanaviston sisään jäävä raaka-ainemateriaali saattaisi muodostua ongelmaksi.

5.2.3 Ruuvikiinnitys

Ruuvikiinnitys tapahtuisi ensimmäisen levyn läpi menevistä ruuveista, jotka kiinnittyisivät toisen levyn kierteisiin. Tällä menetelmällä tapahtuisi yksinkertainen kahden levyn kiinnitys. Tiivistäminen tapahtuisi tiivisteillä.

5.3 Ensimmäisen konseptin suunnittelu

Ensimmäisen konseptin suunnittelu alkoi vanhan jäähdytyskiekon mittojen ja ulkokuorien ominaisuuksien kopioinnilla SOLIDWORKS ohjelmistossa. Suunnittelutyö aloitettiin tekemällä pyöreä pohjalevy vanhan jäähdytyskiekon mittojen mukaan ja pohjalevy pursotettiin kopioitavan pohjalevyn paksuiseksi. Vanhassa jäähdytyskiekossa oleva pohjalevy sisälsi jäähdytysyhteen, josta mallinnukseen kopioitiin jäähdytysputken sisään- ja ulostulo ja näihin liittyvien tiivistekolojen ja kiinnityskierteiden mallinnus. Myös nostopinnien reiät mallinnettiin. Tämän jälkeen siirryttiin mallintamaan kansilevyä, jossa edelliset toimenpiteet tehtiin samalla kaavalla, mutta kansilevyyn mallinnettiin vain nostopinnien reiät ja tarvittavien mittasuhteiden vakuumiurat.

Tämän jälkeen mallintamisessa siirryttiin kokoonpanon rakentamiseen, jossa molemmat pohjalevy ja kansilevy liitettiin vastakkain yhteen. Itse liittämismenetelmää ei konseptivaiheessa vielä tiedetty, sillä kiinnitys voisi tapahtua juottamalla, ruuvien avulla tai kiinnitystä ei ehkä tarvitsisi ajatella jos jäähdytyslevy valmistettaisiinkin 3D-tulostamalla.

Tämän jälkeen alkoi jäähdytyskanavan suunnittelu ja konseptointi. Prosessi aloitettiin katsomalla jäähdytysputken sisään- ja ulostuloreikien sijaintia, sitten konseptoitiin itse jäähdytyskanavan reitti. Jäähdytyskanavan täytyi väistää nostopinnien reiät siltä etäisyydeltä, ettei jäähdytyskanavan ja nostopinnien väliseinä olisi liian ohut, joka täten paineen alla murtuisi ja vuotaisi. Jäähdytyskanava ei myöskään saisi tulla liian lähelle jäähdytyskiekon ulkoreunaa, sillä täten jäähdytysneste tulisi ulos tätä kautta. Kun ajateltiin kansilevyjen yhteen kiinnittämistä ja sen eri menetelmiä, täytyi myös itse jäähdytyskanavien väliin jättää näiden varaan tarpeeksi tilaa. Jäähdytyskanava mallinnettiin puoliksi pohjalevyyn ja puoliksi kansilevyyn. Valmistusta ajatellen jäähdytyskanavat sorvattaisiin CNC-koneella tai 3D-tulostamalla.

Kansilevyn jäähdytyskanavista tehtiin kolme eri versiota, joista ensimmäisessä versiossa kanava kiertää sisääntulolinjasta ulkokaarta pitkin jäähdytyslevyn keskipisteeseen kolmen piirin kautta ja sieltä suoraan ulostulolinjaan (Kuva 3).

Toisessa versiossa jäähdytyskanava seuraa samaa linjaa kuin ensimmäisessä versiossa, mutta suoran linjan sijaan mallinnettiin se tekemään aaltoviivaa (Kuva 4).

Kolmannessa versiossa käytettäisiin samoja piirimittoja, kuin ensimmäisessä ja toisessa versiossa, mutta tässä versiossa jäähdytyskanava yhdistyy piirien välillä eri kohdissa (Kuva 5).



Kuva 3. Konsepti kansilevystä, jossa kanava kulkee kolmen piirin kautta



Kuva 4. Konsepti kansilevystä, jossa kanava kulkee aaltomaisesti



Kuva 5. Kuva kansilevystä, jossa kanavat yhdistyvät

5.4 Ensimmäisen konseptin palaute ja jatkotoimenpiteet

Kun ensimmäinen konsepti ja sen versiot oli saatu valmiiksi, esitettiin ne toimeksiantajalle. Tällöin käytiin läpi koko lopullinen kiinnitysmenetelmä, kokoonpano, jäähdytyslevyn valmistusmateriaali ja kaikki kolme versiota jäähdytyskanavista.

5.5 Kiinnitysmenetelmä

Lopulliseen kiinnitysmenetelmään päädyttiin sen yksinkertaisuuden ja hinnan vuoksi. Levyjen yhteen juottaminen olisi ollut haasteellista ja itse juottoaineen leviäminen levyjen välissä olisi ollut sattumanvaraista ja täten vaikuttanut jäähdytyslevyn tiivyyteen ja muodonmuutoksiin. 3D-tulostus olisi pitänyt

ulkoistaa ja täten kokoonpanon hinta olisi noussut huomattavasti. 3D-tulostus myös kestää kauan, joten sarjatuotantoa ajatellen, se ei olisi ollut oiva vaihtoehto. Joten lopputuloksena päädyttiin ruuvikiinnityksiin.

Itse ruuvikiinnitykset pitää tehdä tasaisesti jaetuksi jäähdytyslevyn pinta-alalle paineen jakamisen vuoksi. Ruuvikiinnityksiin pitäisi tulla myös tiivisteurat, sillä ruuvinreiät olisivat vuotoriski. Myös jäähdytyslevyn ulkoreunaan täytyisi suunnitella tiivistysmenetelmä, jottei levyn ulkoreuna olisi vuotoriski.

5.6 Kokoonpanossa huomattut ongelmat

Kokoonpanossa huomattiin lopullisen kiinnitysmenetelmän myötä se, että jäähdytyskanava olisi järkevämpi mallintaa vain yhdelle levyille. Tämä sen takia, koska yhdellä levyllä oleva jäähdytyskanava yksinkertaistaisi kokoonpanoa ja kahden levyn välisten jäähdytyskanavien välille ei tulisi erilaisuuksia. Yhdelle levyille koneistettava jäähdytyskanava alentaisi myös kokoonpanon lopullista hintaa. Toimeksiantajan kanssa päätettiin, että kanava olisi hyvä mallintaa pohjalevyyn. Täten yhtenäinen kansilevy toimisi lämmöntasaajana jäähdytyskanavan ja pinnan välillä. Myös ruuviliitosten määrä ja paineenkestävyys pitäisi laskea, että jäähdytyslevy kestäisi jäähdytysnesteen 6 baarin paineen ja pysyisi annettujen muodonmuutuskriteerien sisällä. Tämän lisäksi ruuviliitoskohdat pitäisi valita siten, ettei ne tulisi jäähdytyskanavien tielle.

5.7 Lopullisen materiaalin valitseminen

Toimeksiantajan päätöksenä jäähdytyslevyn materiaaliksi valikoitui Böhler m315 extra muovimuottiteräs. Tämä sen takia, koska muovimuottiteräksen koneistettavuus ja kovuus toimisi hyvin paineen alla työskentelevässä jäähdytyslevyssä. Muovimuottiteräs jakaisi lämpöä myös tasaisesti jäähdytyslevyn pinnassa. Muovimuottiteräs kestää hyvin myös korroosiota.

5.8 Jäähdytyskanavan valitseminen

Kolmesta jäähdytyskanavaversiosta päädyttiin ensimmäiseen versioon. Tämä sen takia, koska paineen alla jäähdytysneste kulkee helpointa reittiä jäähdytyskanavaa pitkin ulos. Tämän takia kolmas versio jäähdytyskanavasta ei olisi käynyt. Jäähdytysnesteen pitäisi myös kulkea jäähdytyslevyn läpi mahdollisimman suoraviivaisesti saadakseen mahdollisimman hyvän lämmönvaihdon aikaiseksi. Täten toinen versio jäähdytyskanavasta ei käynyt.

Joten lopputuloksena kokoonpanoa ja sen levyjä täytyisi muokata uusien huomautusten mukaan.

5.9 Ruuviliitosten määrän laskeminen ja sijaintien määrittäminen

Jotta tiedettäisiin tarvittavien ruuvien lukumäärä, täytyy ensin selvittää jäähdytyslevyn pinta-alalla vaikuttavan voiman suuruus. Ympyrän pinta-ala lasketaan kaavasta (Tekniikan kaavasto, s.18)

$$A = \pi r^2, \quad (1)$$

jossa

A	pinta-ala
π	pii
r^2	ympyrän säde

Alkuperäisen jäähdytyslevyn mitoista kopioimalla saadaan levyn pinta-alaksi 70215.38 mm^2 .

Tämän jälkeen täytyy muuttaa annettu 6 baarin maksimipaine muotoon N/mm^2 . Tiedetään, että $1 \text{ bar} = 100\,000 \text{ pascalia} = 100\,000 \text{ N/m}^2$, joten jotta saataisiin mitta millimetreiksi, täytyy alkuperäisen paineen arvo kertoa 0,1:llä. Joten 6 baaria on $0,6 \text{ N/mm}^2$.

Nyt tiedetään pinta-ala ja paine, joten voimme pyörittää seuraavaa kaavaa (Tekniikan kaavasto, s. 99, 1)

$$p = \frac{F}{A}, \quad (2)$$

jolloin kaavassa olevat

p	paine
F	voima
A	pinta-ala

tulevat muotoon

$$F = p \cdot A, \quad (3)$$

$$\text{Täten } 0,6 \text{ N/mm}^2 \times 70215,38 \text{ mm}^2 = 42129,23 \text{ N}$$

Nyt tiedämme, että 6 baarin paineella jäähdytyslevyn pinta-alan kokoiseen alueeseen kohdistuu 42129,23 N kokoinen voima.

Tämän jälkeen tarvitsee laskea jäähdytyslevyyn tuleva pulttikoon jännityspinta-ala. Edellisen jäähdytyslevyn kiinnitys tapahtui 8.8 lujuusluokan pulteilla, joten otamme kyseiset lujuusluokan arvot näihin laskelmiin mukaan. 8.8 lujuusluokan pulttien myötöraja on 640 N/mm^2 . Saadaksemme tietää tarvittavan pultin jännityspinta-alan, täytyy meidän käyttää kaavaa (Koneenelimet ja mekanismit)

$$As = \frac{F}{\sigma}, \quad (4)$$

, jossa

A_s	pultin jännityspinta-ala
F	jäähdytyslevyyn kohdistuva voima
σ	pulttien myötöraja

Tällä kaavalla saamme vastauksen $63,83 \text{ mm}^2$.

Nyt tiedämme, että tällä voimalla $63,83 \text{ mm}^2$ jännityspinta-alan omaava pultti kestää jäähdytyslevyyn kohdistuvan paineen. Tämä pinta-ala on kuitenkin aivan liian suuri tähän kokoonpanoon, joten kopioimme edellisestä jäähdytyslevyn kiinnityksestä M5 koon pulttien jännityspinta-alan, joka taulukosta katsottuna on $14,2 \text{ mm}^2$ (Nordic Fastening Group). Täten saamme laskun $\frac{63,83 \text{ mm}^2}{14,2 \text{ mm}^2}$, josta saamme ulos pulttien minimilukumäärän 4,495. Pyöristämme tätä lukumäärää ylöspäin seuraavaan kokonaislukuun saaden arvon 5.

5.10 Laskelmien lopputulos

Lopputuloksena saamme tietää, että jäähdytyslevy tarvitsee vähintään 5 kpl M5 8.8 pultteja kestääkseen 6 baarin paineen. Kuitenkin, jakaakseen jäähdytyslevyyn kohdistuvan paineen tasaisesti täytyi niitä lisätä tasaisin välein jäähdytyskanavien väliin. Täten jäähdytyslevyyn tuli pultteja kolminkertainen määrä minimimäärään verrattuna eli 15 kpl.

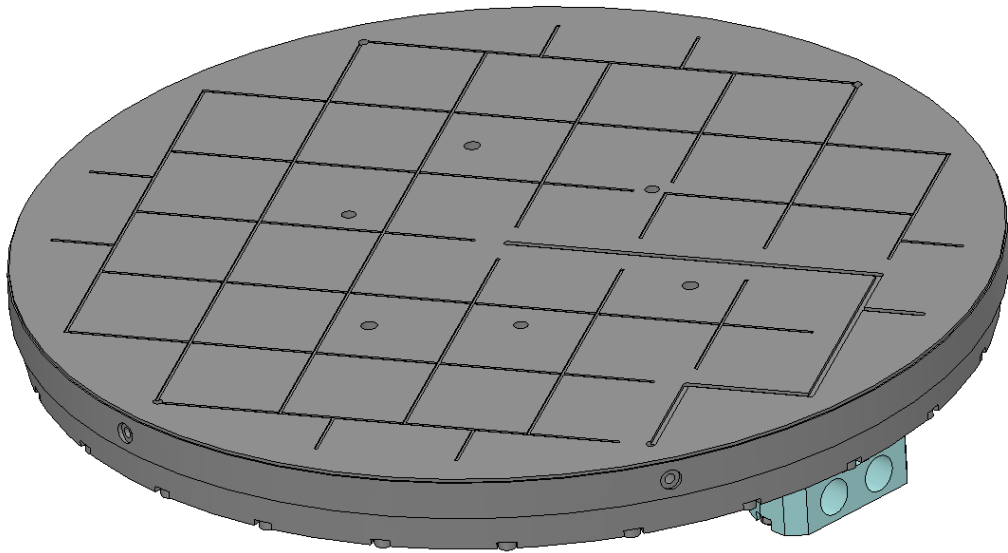
5.11 Jäähdytyslevyn ja sen kokoonpanon muokkaaminen uusien huomautusten mukaan

Seuraavan jäähdytyslevyn konseptin mallinnus aloitettiin siirtämällä jäähdytyskanava pohjalevylle. Jäähdytyskanavan siirtämisellä huomattiin kuitenkin ongelma pohjalevyn paksuuden kanssa, jonka takia jäähdytyskanava tulisi näiden pohjalevyn mittojen kanssa levystä läpi. Tämän takia pohjalevyä

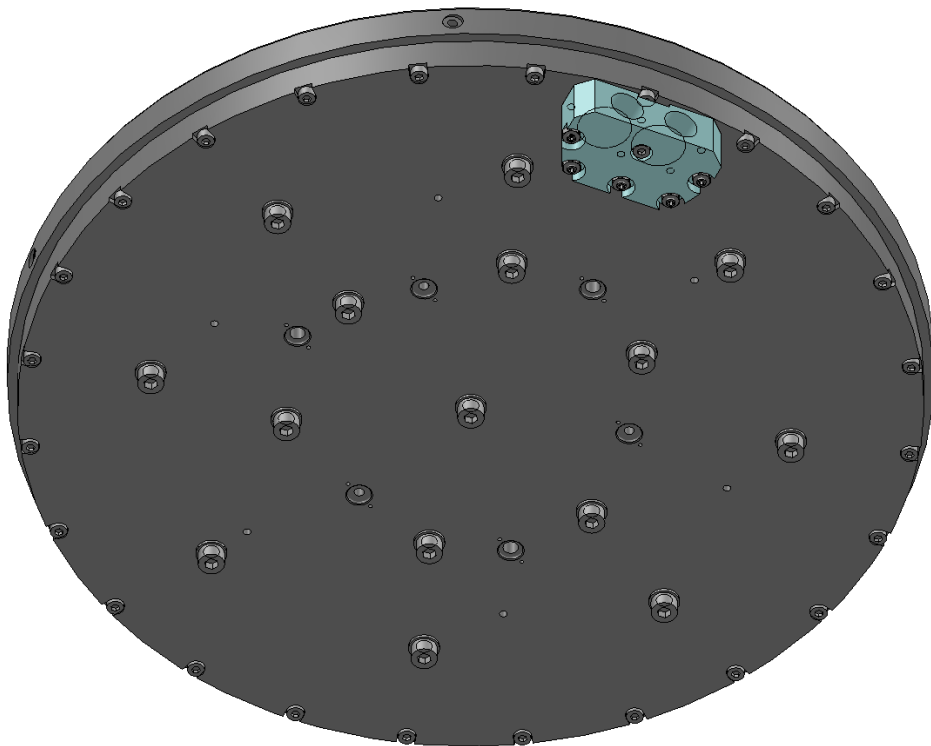
täytyi pursottaa ulkomittojen sisällä paksummaksi ja täten taas supistaa kansilevyä ohuemmaksi.

Seuraavaksi mietittiin jäähdytyslevyn ulkoreunan tiivistämistä. Vanhassa jäähdytyslevyssä ulkoreunan tiivistys tapahtui levyn reunoissa sijaitsevilla M3 pulttikoon reillä ja kierteillä. Niiden sisäpuolella sijaitsi koko jäähdytyslevyn kattava tiivisteura ja siihen kuuluva tiiviste. Uuden jäähdytyslevyn kokoonpanoon kopioitiin vanhan jäähdytyslevyn kyseiset ominaisuudet. Kansilevyyn mallinnettiin vanhaa versiota vastaavat kierteet ja samalla tavalla pohjalevyyn vastaavat reiät. Pohjalevyyn mallinnettiin myös tiivisteura ja täten siihen tuleva tiiviste tiivistäisi jäähdytyslevyn ulkoreunan. Kansilevyyn mallinnettiin myös vanhassa mallissa olevat pulttien kantojen syvennykset.

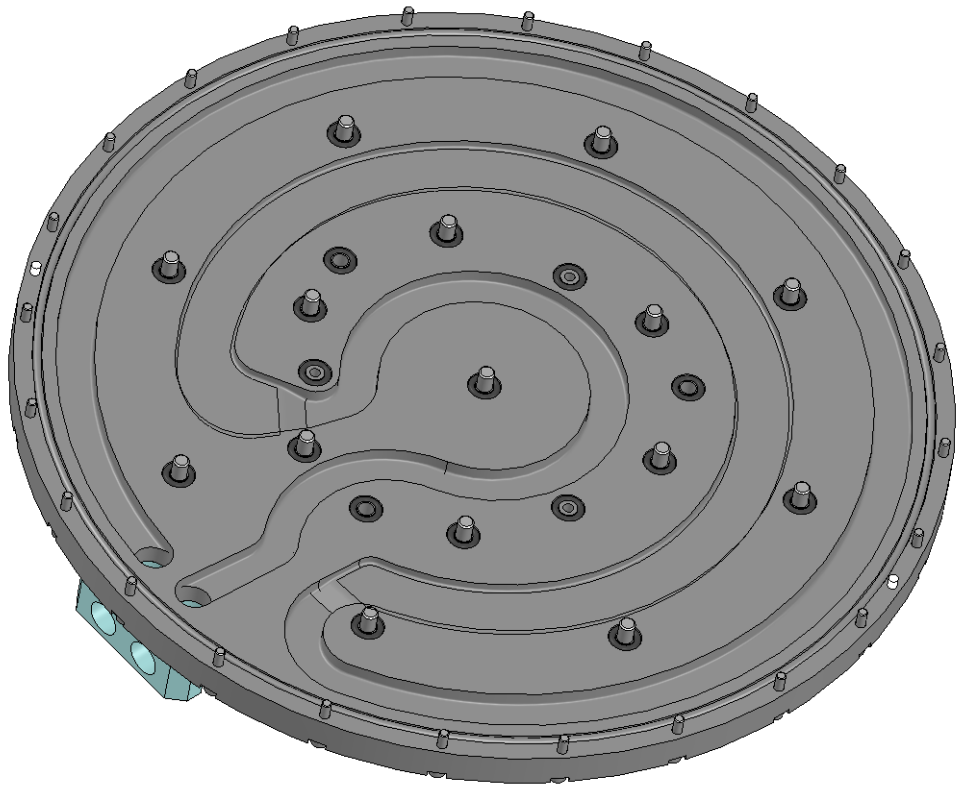
Lopullisen kiinnitysmenetelmän takia täytyi myös jäähdytyslevyn molempiin osiin mallintaa kiinnitykseen tulevien M5 pulttien kierteet, reiät ja myös pulttien tiivisteiden urat. Kierteet tulisivat kansilevyyn ja pulttien reiät pohjalevyyn. Nostopinnien reikiin ja kiinnityspulttien reikiin täytyi myös mallintaa tiivisteurat. Edellisestä jäähdytyslevystä poimittujen nostopinnien ja pulttikoon takia tiivisteurien mitat voitiin suoraan kopioida tähän jäähdytyslevyn versioon. Tiivisteurat mallinnettiin pohjalevyyn ja täten kansilevyn koneistaminen olisi todella yksinkertaista. Itse jäähdytyskanavaa täytyi muokata uusien kiinnitysreikien ja jäähdytyslevyn reunassa sijaitsevan tiivisteuran takia. Tämän lisäksi levyihin lisättiin kaksi toisiaan vastakkaiselle puolelle tulevaa lieriösokkaa M3 pulttien sijaitsemalle piirille. Lieriösokat kohdistaisivat levyt toisiaan vasten oikeassa kulmassa ja tämä helpottaisi kokoonpanon kokoamista (Kuva 6, Kuva 7, Kuva 8 ja Kuva 9).



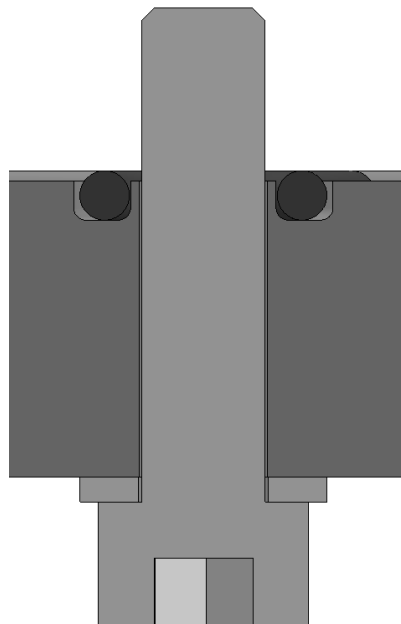
Kuva 6. Kuva kokoonpanosta kansilevyn suuntaan



Kuva 7. Kuva kokoonpanosta pohjalevyn suuntaan



Kuva 8. Kuva pohjalevystä ja siinä sijaitsevasta kanavasta ja tiivisteistä



Kuva 9. Kuva pultin leikkauskuvasta, jossa näkyy tiivisteura ja siihen kuuluva tiiviste

6 Muodonmuutosten tarkistus FEM-menetelmällä

6.1 FEM-menetelmä

Elementtimenetelmä (FEM) eli tietokoneistettu menetelmä ennustaa, kuinka tuote reagoi todellisiin voimiin, värinä, lämpöön, nestevirtaukseen ja muihin fysikaalisiin vaikutuksiin. Elementtianalyysillä voidaan nähdä, että rikkoutuuko, kuluuko tai toimiiko tuote suunnitellulla tavalla. Tuotekehitysprosessissa FEM-simulaatiota käyttämällä pystytään ennustamaan tuotteen todellisessa sovelluksessa tapahtuvat ja vaikuttavat fyysiset voimat. Täten voidaan varmistaa, että komponentin suoriutuu turvallisesti ja tehokkaasti todellisuudessa. (Autodesk.com, 2024)

6.2 Elementtianalyysin implikointi jäähdytyslevyyn

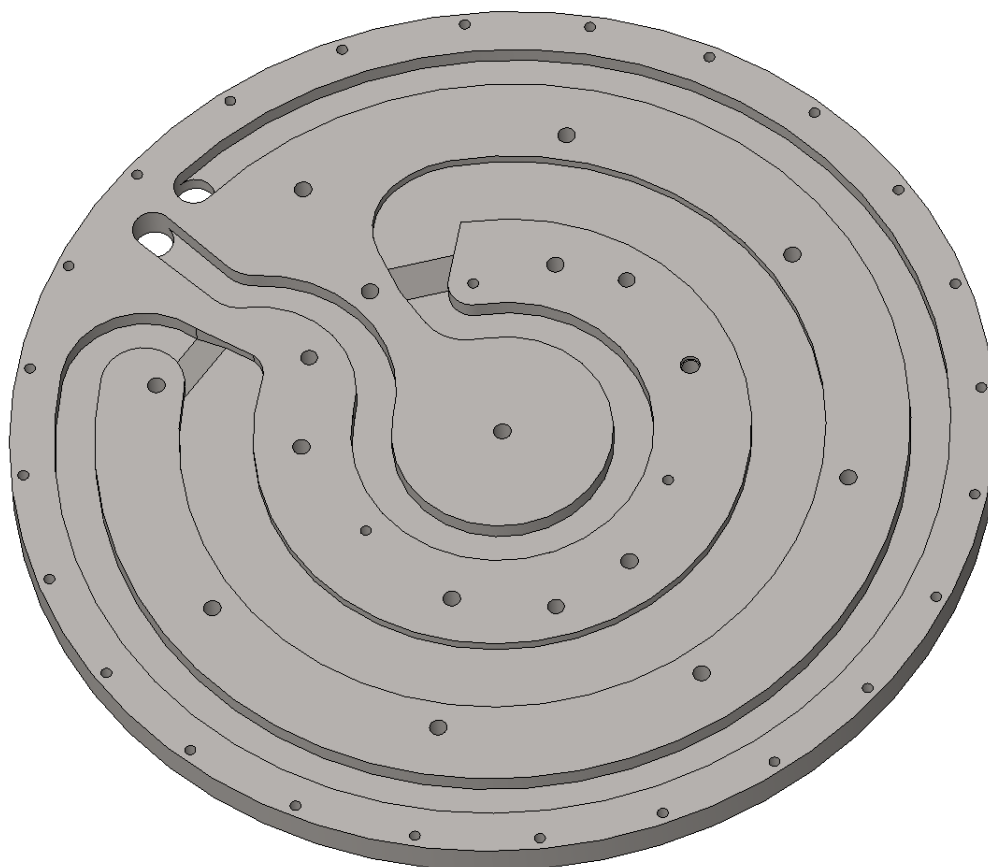
Jäähdytyslevyn muodonmuutosten laskemiseen käytettiin FEM-menetelmää. Tämä tapahtui SOLIDWORKS ohjelmistoon sisältyvällä SOLIDWORKS Simulation lisäosalla.

SOLIDWORKS Simulation on valikoima rakenneanalyysityökaluja, jotka käyttävät Finite Element Method (FEM) analyysiä ennustaakseen tuotteen fyysistä käyttäytymistä todellisuudessa virtuaalisesti testaamalla CAD-malleja. Lisäosa tarjoaa lineaariset, epälineaariset staattiset ja dynaamiset analyysiominaisuudet. (Solidworks.com, 2024)

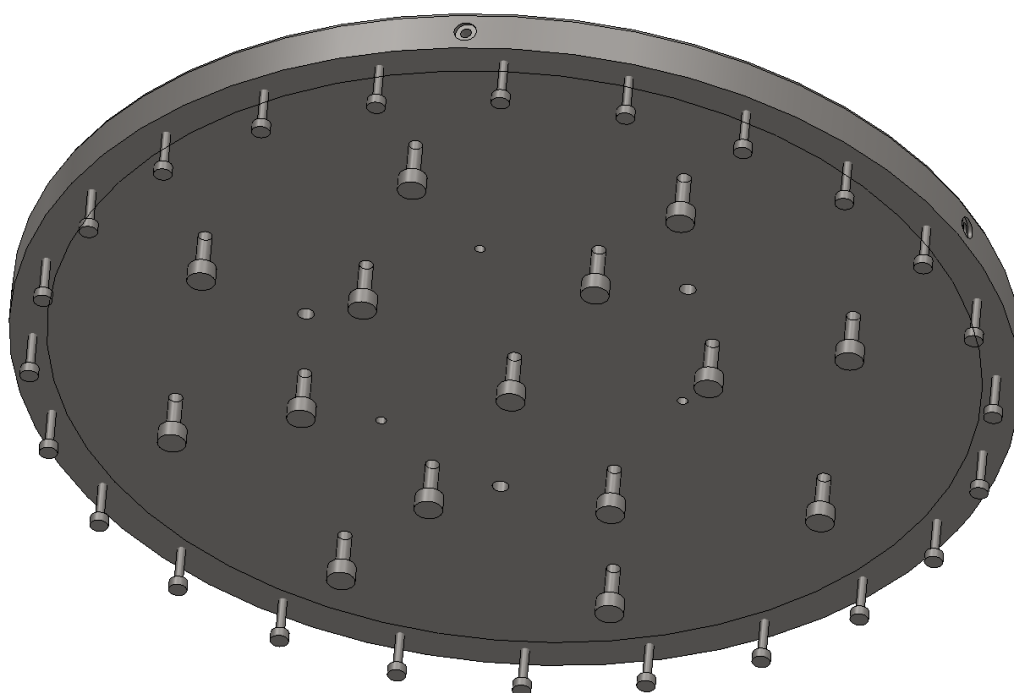
Jotta simulaation sääntöjen valitseminen, itse simulaatio ja sen laskenta-aika suoriutuisi mahdollisimman nopeasti, täytyi nykyisestä jäähdytyslevyn kokoonpanosta tehdä yksinkertaistettu kopio. Tämä sen takia, koska ohjelmisto laskee kaikki kokoonpanoon liittyvät ominaisuudet laskuissaan. Silloin kaikki ylimääräiset ominaisuudet, jotka eivät liity itse jäähdytyskanavaan ja kansilevyn muodonmuutokseen vaikuttaisivat laskuaikaan. Kierteiden paikalle mallinnettiin yksinkertaiset koon mukaiset pultteja esittävät mallinnukset. Nämä mallinnukset tehtiin molempiin M3 ja M5 pulttien kierteisiin pulttien oikeilla mitoilla. Täten

nämä yksinkertaistetut pultit esittäisivät simulaatiossa niiden todellisia vastineita (Kuva 11. Pohjalevystä taas poistettiin kaikki tiivisteurat (Kuva 10). Itse sääntöihin täytyi valita kaikki paineen alla olevat pinnat, toisiaan koskettavat pinnat ja paineen määrän. Solidworks SIMULATION lisäosassa voi säätää todella paljon eri arvoja ja sääntöjä.

Parametrien valinnalla on suuri vaikutus analyysin lopputulokseen, joten on syytä tietää mitkä arvot ja säännöt ovat mahdollisimman lähellä oikeaa tilannetta. Jos valitsee esimerkiksi paineen vaikutusalueeseen pelkän kanavan, laskee ohjelma kiekon muodonmuutoksen pelkästään kanavaan kohdistuvasta paineesta. Tämä täytyy huomioida verrattuna todelliseen tilanteeseen, sillä paine vaikuttaa kiekon koko sisäpinta-alan alueeseen.



Kuva 10. Pohjalevyn yksinkertaistettu laskentaversio

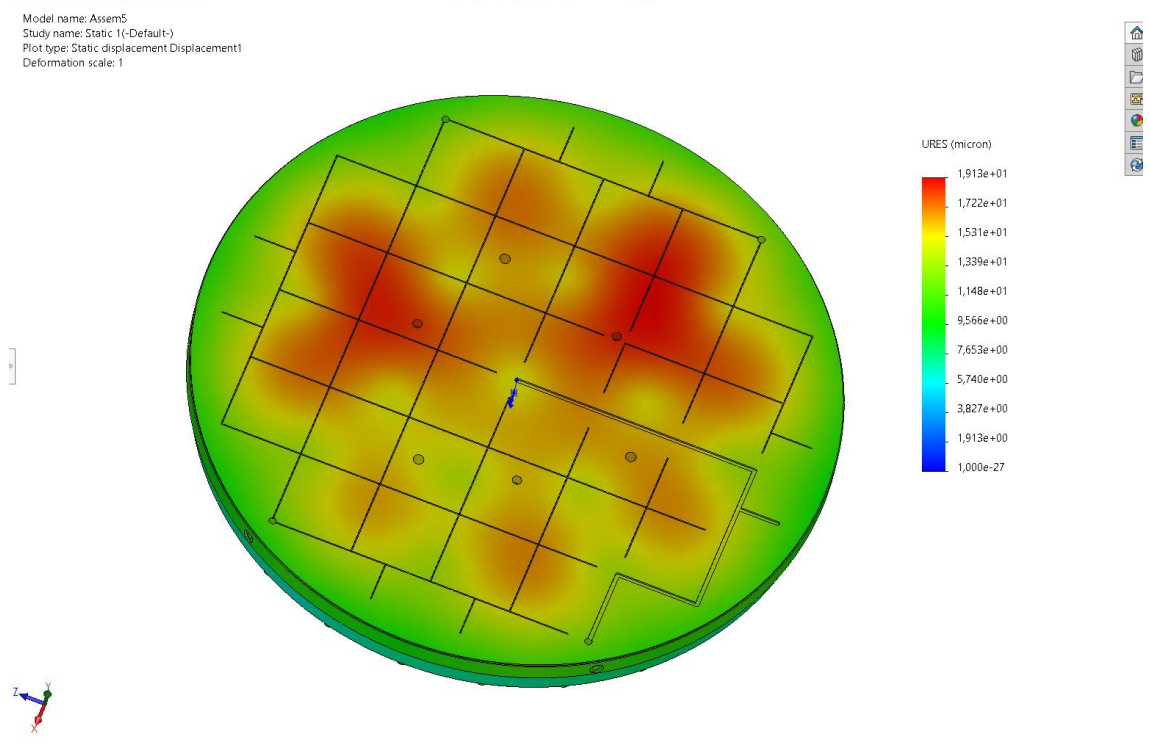


Kuva 11. Kansilevyn yksinkertainen laskentaversio

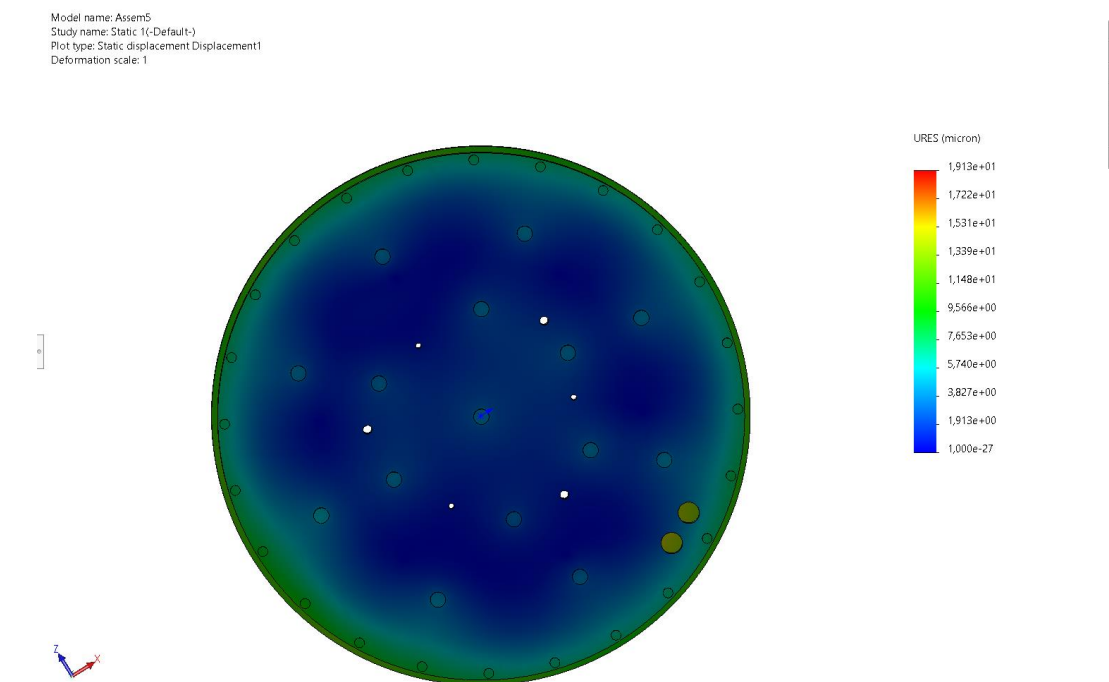
6.3 Jäähdytyslevyn simuloitu muodonmuutos

Jäähdytyslevyyn tehtiin kymmenittäin simulointeja, joissa eri säännöillä ja arvoilla saatiin laidasta laitaan eri lopputuloksia. Kumminkin valittaessa kanavan pinnat ja jäähdytyslevyn vastakkaisten pintojen pinta-alat saatiin keskivertoisesti samankaltaisia tuloksia.

Tästä yksittäisestä jäähdytyslevyn simuloinnista voimme analysoida, että kansilevyssä tapahtuu suurempaa muodonmuutosta kanavan alueilla, kun taas pulttien kierteiden kohdilla on vähempää muodonmuutosta. Kuvan oikealla laidalla näkyvistä arvoista voimme analysoida, että muodonmuutosta tapahtuu kansilevyssä juuri tuon sallitun 10 mikrometrin verran (Kuva 12). Pohjalevyn simuloidussa muodonmuutoksessa huomataan, että paine ei vaikuta itse pohjalevyyn vaan itse pultteihin (Kuva 13).



Kuva 12. Kuva kansilevystä simuloinnin jälkeen



Kuva 13. Kuva pohjalevystä simuloinnin jälkeen

6.4 Elementtianalyysin lopputulos ja teknisen piirustuksen laadinta

Elementtianalyysin lopputuloksena mallinnetun kansilevyn muodonmuutos oli sallittujen rajojen sisällä. Itse elementtianalyysi tehtiin monta kertaa eri arvoilla ja säännöillä, mutta ohjelman laskelmien keskiverto muodonmuutos oli 5 - 8 mikrometriä. Kuitenkin jatkossa FEM-mallia pitäisi kehittää pidemmälle, jotta suunnittelija sillä pystyisi luotettavammin ennustamaan levyn muodonmuutoksia.

Tekniset piirustukset laadittiin myös SOLIDWORKS ohjelmistossa, jossa mallinnukset saatiin ohjelmiston sisällä piirustuksiksi. Huomioitavaa näiden piirustusten laatimisessa oli pohjalevyn ja kansilevyn kosketuspinnan toleranssien asettaminen. Nämä kopioitiin edellisen jäähdytyslevyn piirustuksista. Erinäisten piirustuksien yksityiskohtien laatimisen avuksi käytettiin myös Aimo Peren Konepiirustus 1 & 2 kirjoja.

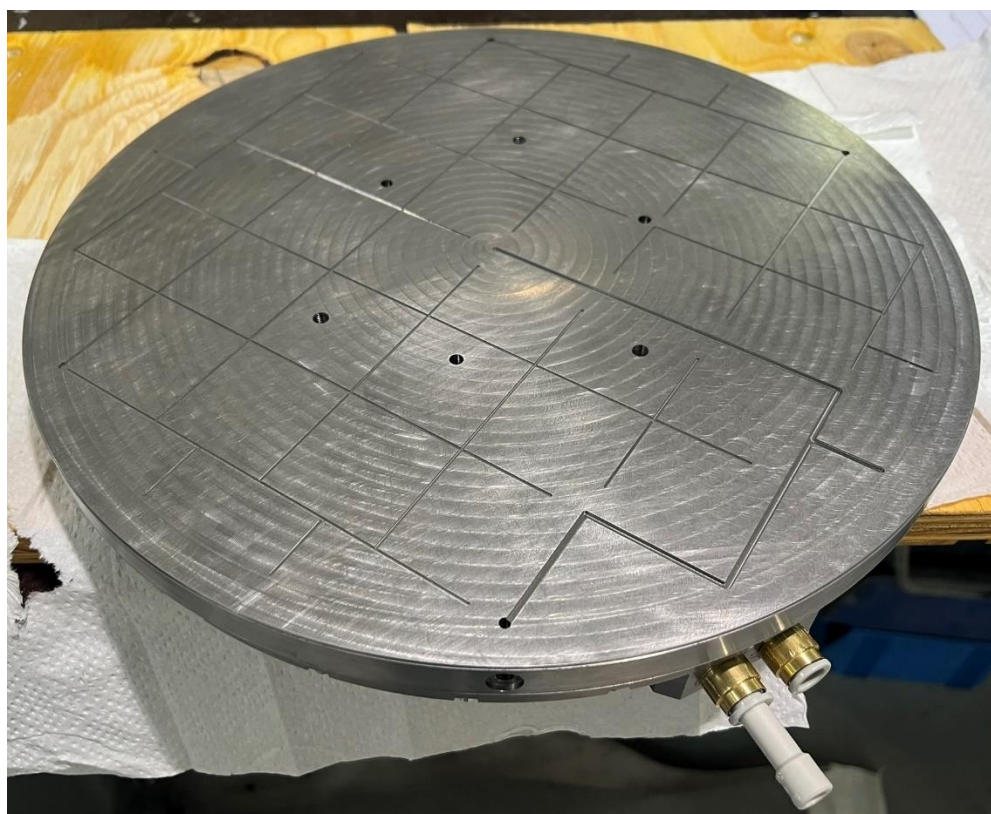
7 Validointi

Jäähdytyslevyn validointi sisälsi jäähdytyslevyn kokoamisen ja sen koepaineistuksen, jäähdytyslevyn muodonmuutosten mittauksen paineen alla ja kansilevyn pinnan lämpötilan tasaisuuden mittaamisen.

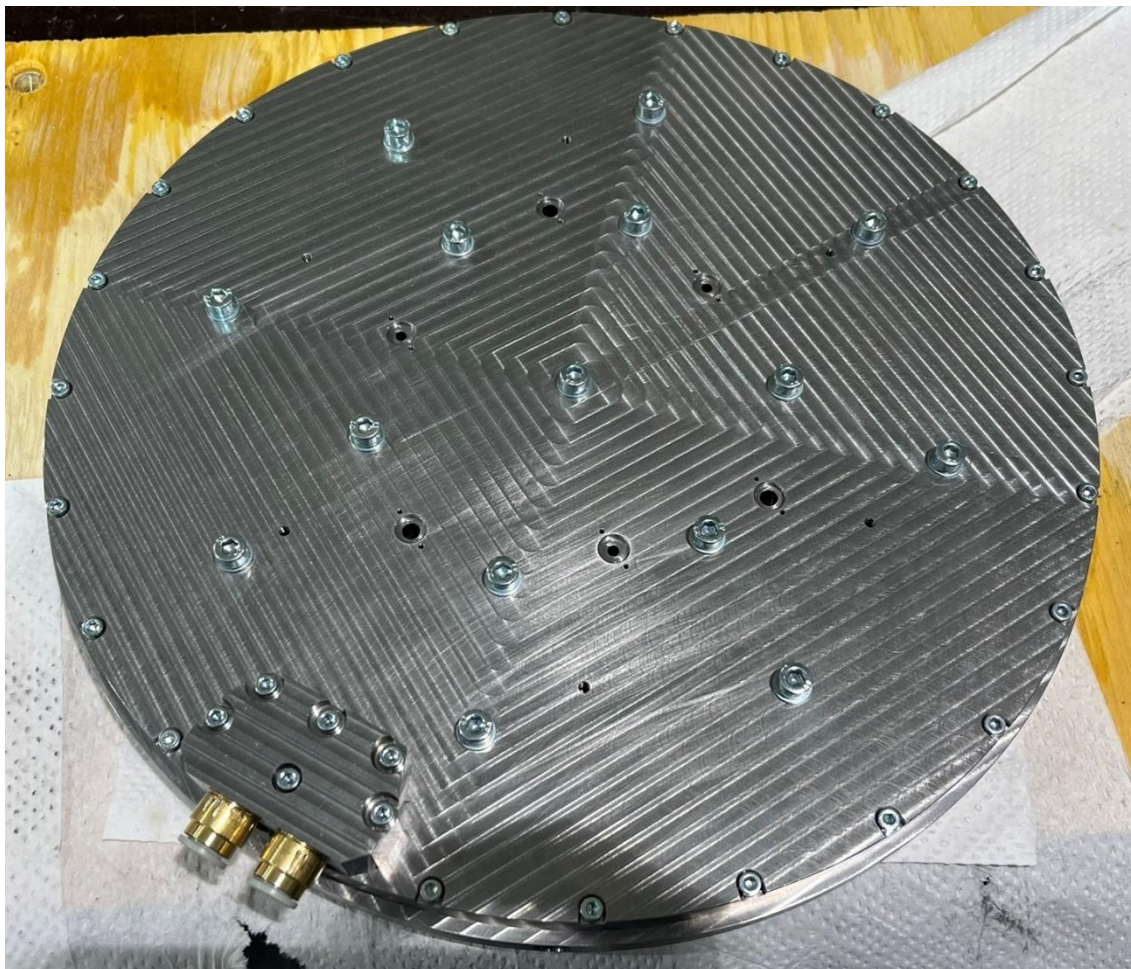
7.1 Pohja- ja kansilevyn valmistus ja lopullisen kokoonpanon kokoaminen

Teknisten piirustusten laatimisen jälkeen kuvat lähetettiin koneistamolle. Levyt valmistettiin yrityksen omissa tiloissa sijaitsevan CNC-koneen avulla.

Raakamateriaalista sorvattiin ja jysyttiin kokoonpanoon tarvittavat pohja- ja kansilevy. Tämän jälkeen ylimääräiset karstat ja terävät kulmat hiottiin. Näiden vaiheiden jälkeen itse jäähdytyslevyn kokoonpano koottiin sille suunnitellulla tavalla. Lopuksi sisään- ja ulostulokanaviin lisättiin paineilimaliittimet käyttöönottoa varten (Kuva 14, Kuva 15).



Kuva 14. Valmis jäähdytyslevy kansilevyn suunnasta



Kuva 15. Valmis jäähdytyslevy pohjalevyn suunnasta

7.2 Jäähdytyslevyn koepaineistus

Ennen jäähdytyslevyn muodonmuutosten mittaamista, täytyi jäähdytyslevy tarkastaa vuotojen varalta. Täten muodonmuutosten mittaus olisi tarkempaa ilman vuotoriskejä. Tämä tehtiin sijoittamalla jäähdytyslevy veden alle ja sen jälkeen jäähdytyslevy paineistettiin paineilmalla. Täten huomattaisiin paineilmasta johtuvat ilmakuplat, jotka ilmestyisivät veden pinnalle jäähdytyslevyn vuotokohdista. Ensin jäähdytyslevy paineistettiin 1 baarin paineella, jonka jälkeen jäähdytyslevy paineistettiin sille tarkoitetulla 6 baarilla (Kuva 16, Kuva 17). Täten pystyttiin varmistamaan jäähdytyslevyn tiivistys. Jäähdytyslevyn tiiviiden varmistamisen jälkeen siirryttiin muodonmuutosten mittaamiseen.



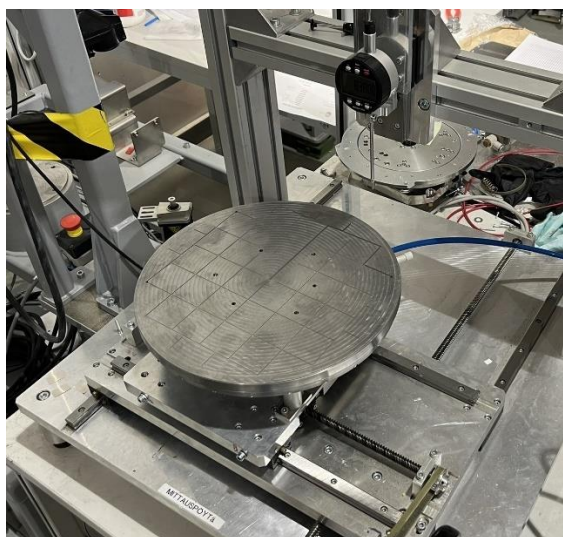
Kuva 16. Jäähdytyslevyn tiiveyden varmistus 1 baarilla



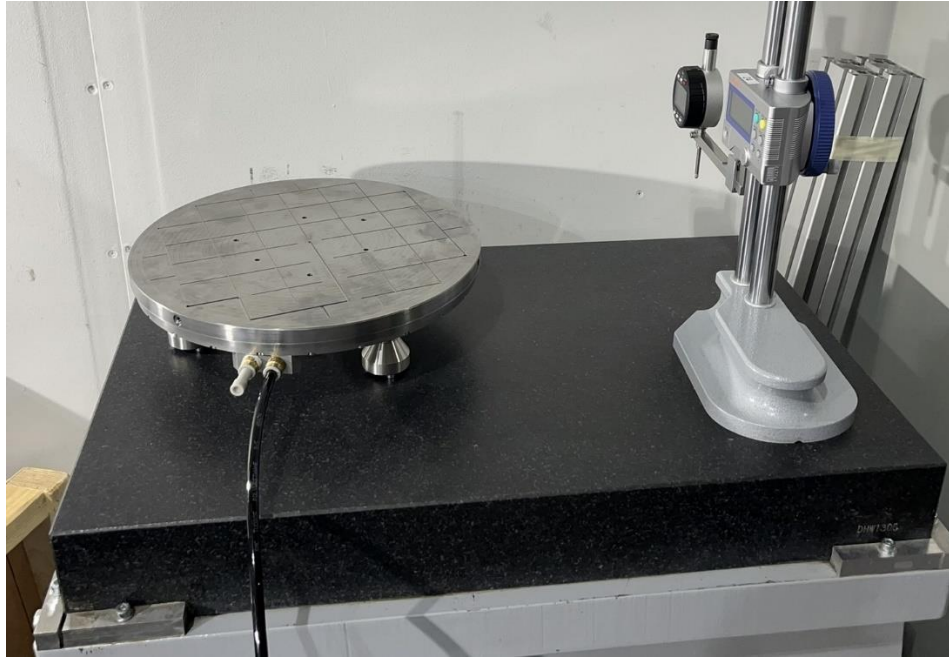
Kuva 17. Jäähdytyslevyn tiiveyden varmistus 6 baarilla

7.3 Jäähdytyslevyn kansilevyn muodonmuutosten mittaus paineen alla

Jotta levyn muodonmuutokset voidaan mitata ja täten validoida täytyy jäähdytyslevy kiinnittää mittapenkkiin. Tilaajan toimitiloista löytyi sopivat mittauslaitteet muodonmuutosten mittaukseen. Mittaus suoritettiin mittauspöydällä ja mittaustasolla. Mittausta varten käytettiin mittakelloa, jolla pystyttiin mittaamaan 0,0001 millimetrin tarkkuudella kansilevyssä tapahtuvat muodonmuutokset. Tilaaja oli kehittänyt edellistä jäähdytyslevyä varten mittauspöytäkirjan, jonka avulla määritettiin mittauspisteet. Nämä mittauspisteet sijaitsivat kansilevyssä sijaitsevien vakuumiurien välissä. Vakuumiurat muodostivat neliön muotoisia alueita, jotka olivat numeroituja. Täten pystyttiin mittaamaan muodonmuutos eri painemäärien välillä yhdestä alueesta. Painemäärät nostettiin 1 baarista porrastamalla 1 baari kerrallaan 7 baariin asti. Täten pystyttiin varmistamaan ettei muodonmuutosta esiintyisi korkeimmissakaan ylipaineissa. Ensimmäisenä mitattiin keskimmäisten alueiden muodonmuutokset, sillä mittauspöydän säätövara ei antanut mittakellon liikkua jäähdytyslevyn reunalle (Kuva 18). Tämän jälkeen siirryttiin mittaustasolle, jossa reunimmaisten alueiden muodonmuutokset pystyttiin mittaamaan (Kuva 19). Kaikista mittaustuloksista kirjoitettiin tulokset mittauspöytäkirjaan, joista tehtiin Excel-kuvio (Kuvio 1).

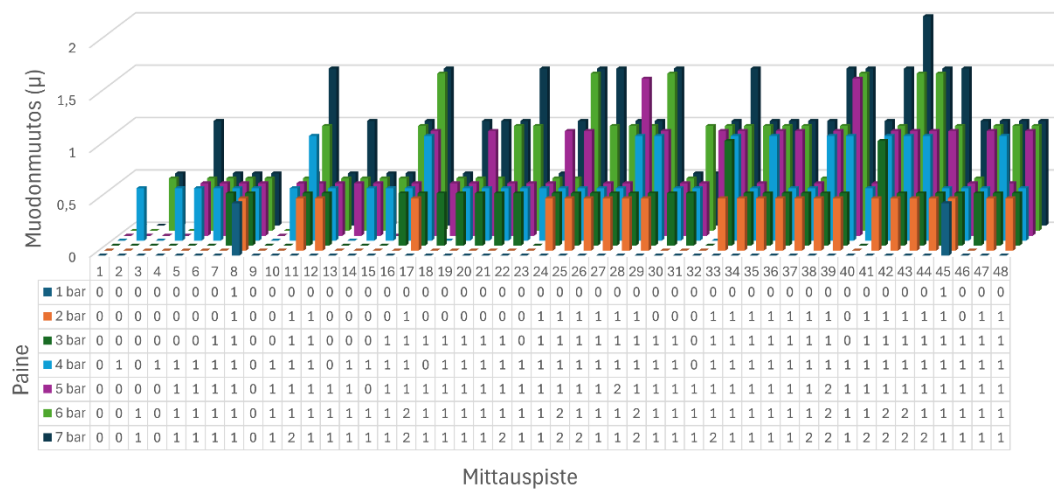


Kuva 18. Jäähdytyslevy mittauspöydällä



Kuva 19. Jäähdytyslevy mittaustasolla

Muodonmuutos mittauspöytäkirja



Kuvio 1. Muodonmuutoksen mittauspöytäkirja

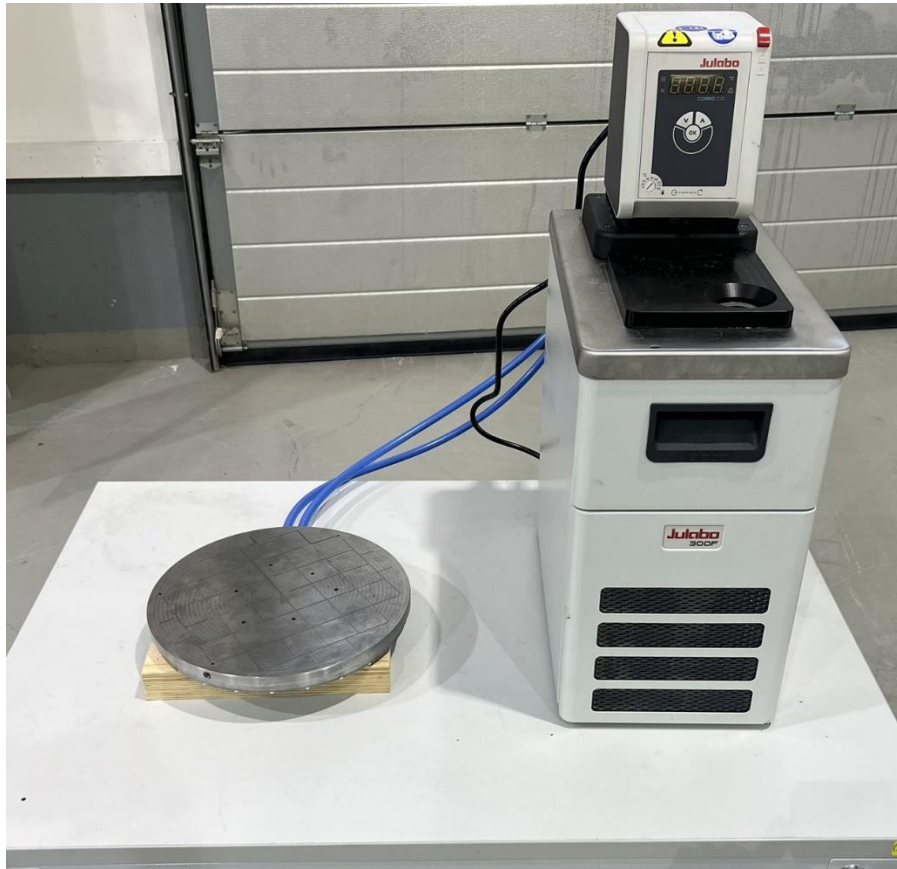
7.4 Muodonmuutoksien mittauksen lopputulos

Mittauksen lopputuloksena huomasimme, että kun painetta nostettiin, jossain mittauspisteissä kasvoi muodonmuutos tasaisesti 0,5 mikrostä 2 mikroon, kun taas joissakin mittauspisteissä muodonmuutosta ei suuremmissakaan paineissa tapahtunut lainkaan. Joissain mittauspisteissä muodonmuutos oli koko painealueen ajan tasaiset 0,5 mikroat. Näihin havaintoihin vaikutti jäähdytyslevyn pulttien sijainnit. Nämä tulokset olivat verrattavissa simulointiin, mutta itse muodonmuutoksen suuruus ei ollut. Keskiverto muodonmuutos koko kansilevyn alueella oli 0,51 mikroat. Lopullinen maksimi muodonmuutos tapahtuu 7 baarin paineessa. Tämä muodonmuutos on 2 mikrometriä, joka on tilaajan antamien kriteerien sisällä.

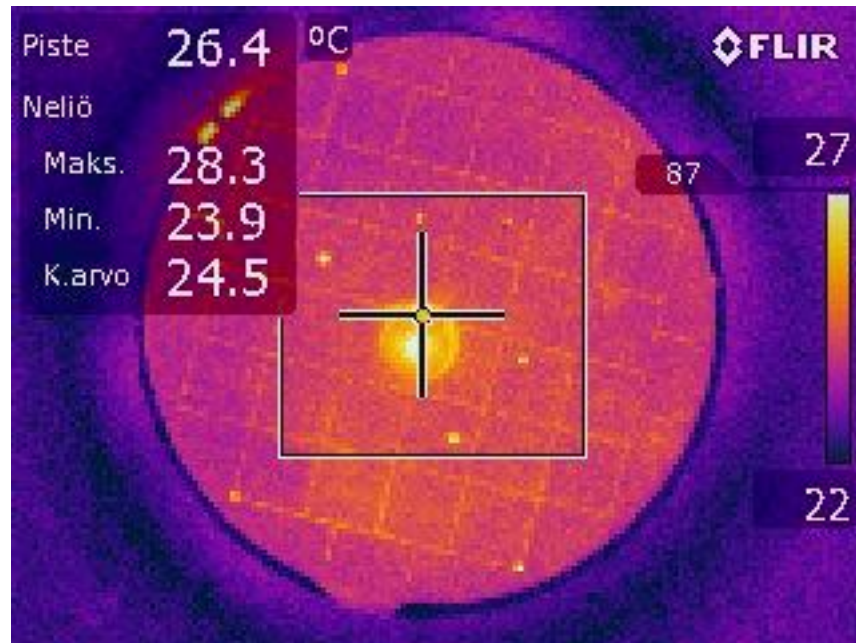
7.5 Kansilevyn lämpötasaisuuden mittaus

Lämpötasaisuuden mittauksella saataisiin tietää, että jäähdytyslevyn kansilevyssä tapahtuu tasainen lämmönjako koko kansilevyn pinta-alan alueella. Kansilevyn keskiverto lämpötila sen pinta-alan alueella kuuluisi olla ± 1 °Celsiusen sisällä. Kansilevyn lämpötasaisuuden mittauksella pystyttäisiin varmistamaan, että jäähdytyslevyn kansilevy suoriutuisi sille määrätystä työstä. Tilaajalla oli tällekin mittaukselle jo menetelmä tiedossa. Ensimmäisenä jäähdytyslevyyn kiinnitetyt paineilimaliittimet vaihdettaisiin putkiliittimiin. Tämän jälkeen jäähdytyslevy kiinnitettäisiin näiden putkiliittimien avulla kierrättävään jäähdyttimeen, josta kierrätettäisiin nestettä (tässä tapauksessa vettä) jäähdytyslevyissä. Kierrättävän jäähdyttimeen lämmönsäädön avulla jäähdytyslevy pystyttäisiin säätämään oikeaan lämpötilaan sen sisällä kiertävän nesteen avulla (Kuva 20). Neste ja jäähdytyslevy viilennettäisiin + 5 °Celsiusen asteeseen, jonka jälkeen jäähdytyslevyn kansilevyn pintalämpötilaa voidaan kuvata lämpökameralla. Lämpökameralla kuvatessa pitää kumminkin huomioida lämpökamerasta ja ympäristöstä heijastuva taustalämpö (Kuva 21). Tämän takia tilaaja oli kehittänyt ongelmiin ratkaisun. Jotta jäähdytyslevyn pinta ei heijastaisi taustalämpöä, täytyy jäähdytyslevyn kansilevyn päälle kiinnittää

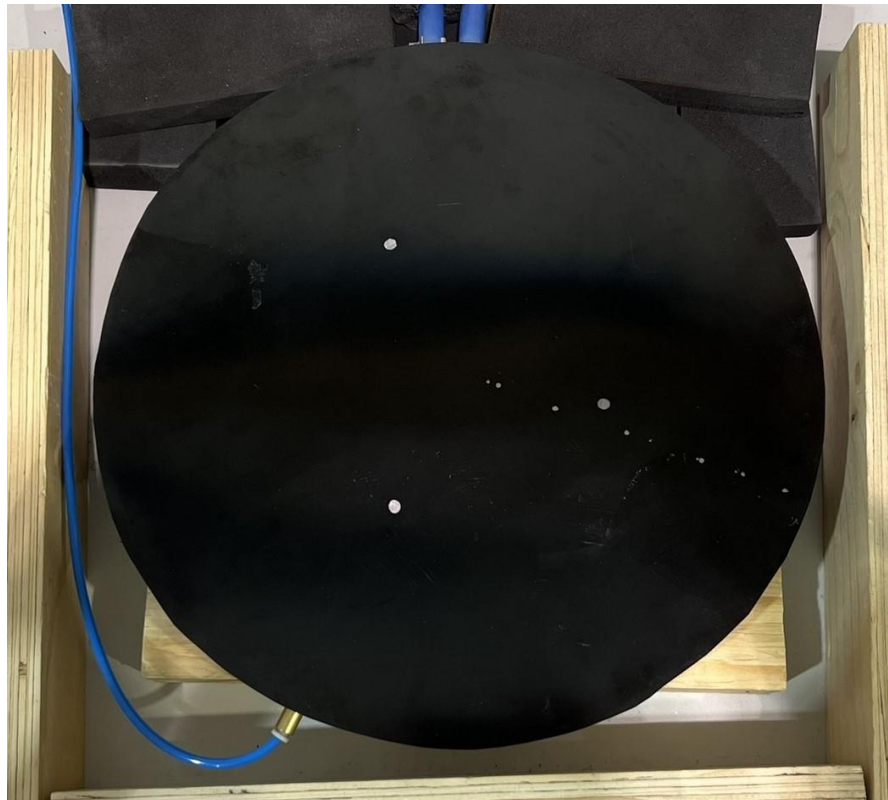
heijastumattomasta materiaalista tehty suojalevy. Tämän kiinnitys tapahtuisi käyttämällä jäähdytyslevyn kansilevyssä sijaitsevia vakuumiuria (Kuva 22). Ympäristön taustalämpöä estääkseen on yritys kehittänyt heijastumattomasta materiaalista tehdyn tynnyrin, jonka pohjalla on jäähdytyslevyn kokoinen pyöreä reikä, johon itse jäähdytyslevy asetetaan. Tynnyrin yläpäässä on taas lämpökameran linssin kokoinen reikä, johon lämpökamera asetetaan (Kuva 23).



Kuva 20. Jäähdytyslevy kiinnitettynä kierrättävään jäähdytimeen



Kuva 21. Lämpökameralla jäähdytyslevystä otettu kuva ilman heijastamatonta materiaalia



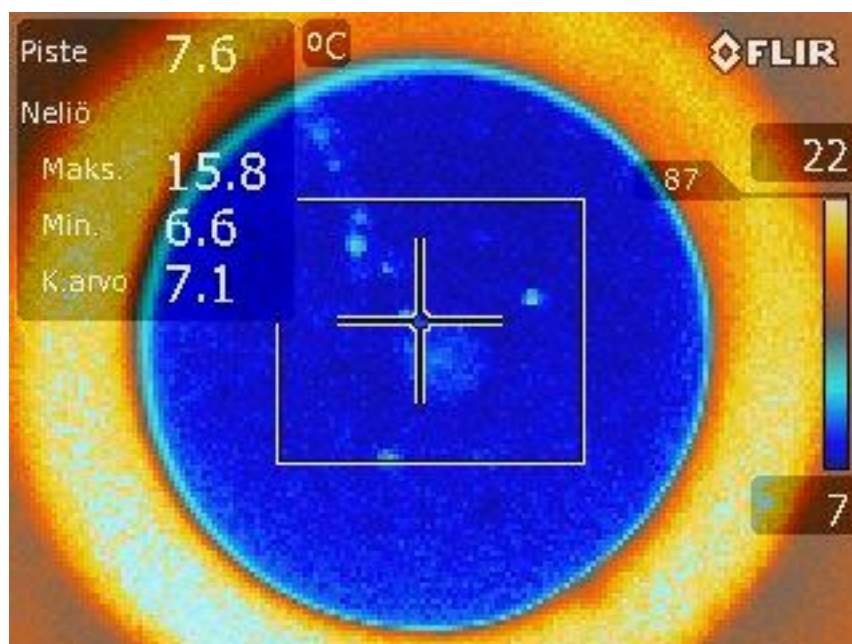
Kuva 22. Jäähdytyslevyyn kiinnitetty heijastamattomasta materiaalista tehty peite



Kuva 23. Lopullinen testauspenkki lämpötasaisuuden mittaamiselle

7.6 Lämpötasaisuuden mittauksen lopputulos

Lämpökameralla otetuilla kuvilla ja niiden mittaamilla tiedoilla jäähdytyslevyn kansilevyn pinnan keskimääräinen arvo on 0,5 °Celsiusa korkeampi kuin lämpökameralla mitattu alin lämpötila (Kuva 24). Täten voimme kuvien perusteella olettaa jäähdytyslevyn kansilevyn lämpötasaisuuden olevan annettujen kriteerien sisällä.



Kuva 24. Lämpökameralla otettu kuva jäähdytyslevystä testipenkissä

8 Tulosten käyttö tulevaisuudessa ja loppumietteet

Tämän opinnäytetyön dataa ja tuloksia tullaan käyttämään vertailukohtana edelliseen jäähdytyslevyyn verrattuna. Testit tulevat näyttämään, tarvitaanko edellisen jäähdytyslevyn kallista segmenttikohtaista ohjausta pneumatiikan avulla, vai onko tämä opinnäytetyön tuottama jäähdytyslevy yksinkertaisuudellaan ja hinnallaan parempi.

Aihe oli opinnäytetyön tekijälle haastava, mutta mielenkiintoinen. Opinnäytetyön tekijä on ollut kahtena edellisenä kesänä harjoittelijana toimeksiantajan yrityksessä mekaniikka asentajana ja on ollut asentamassa toimeksiantajan valmistamia testauskomponentteja ja -koneikkoja, josta on ollut apua opinnäytetyön tiedonhakuun. Haluaisin näin opinnäytetyön lopuksi kiittää AEM Afore Oy:tä tästä mahdollisuudesta. Koin ja opin paljon uusia asioita mallinnuksesta, simuloinnista ja validoinnista.

Lähteet

Abiola Ayodele, Wevolver.com, <https://www.wevolver.com/article/silicon-wafers-everything-you-need-to-know>

Autodesk, <https://www.autodesk.com/solutions/simulation/finite-element-analysis>

Cast Aluminum Solutions,
<https://www.castaluminumsolutions.com/semiconductor-wafer-heaters/>

Dassault Systèmes, <https://www.solidworks.com/product/solidworks-simulation>

Nordic Fastening Group, <https://www.nfgab.fi/tekniikka-ja-laatu/tekniset-tiedot/vahvuus/metrinen-karkeakierre>

Seppo Blom, Koneenelimet ja mekanismit

Pere, A. 2016. Koneenpiirustus 1 & 2. Espoo: Kirpe Oy.