



Osaamista
ja oivallusta
tulevaisuuden
tekemiseen

Sebastian Jalova

ALD-pinnoituslaitteen rakenteen kehittäminen läpimenoajan lyhentä- miseksi

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Konetekniikka

Insinöörityö

13.04.2020

Tekijä Otsikko Sivumäärä Aika	Sebastian Jalova ALD-pinnoituslaitteen rakenteen kehittäminen läpimenoajan lyhentämiseksi 28 sivua + 1 liite 13.04.2020
Tutkinto	Insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma	Konetekniikka
Ammatillinen pääaine	Valmistus- ja tuotantotekniikka
Ohjaajat	Product management director Risto Laine Lehtori Markku Saarnio
<p>Insinööriyö toteutettiin Picosun Oy:lle. Työn tarkoituksena oli tutkia ALD-pinnoituslaitteessa olevia rakenteellisia ongelmakohtia. Lisäksi tavoitteena oli selvittää, kuinka paljon suunnitteluosaston kehittämät mekaaniset uudistukset kyseisiin ongelmakohtiin helpottaisivat pinnoituslaitteiden mekaanista kokoamista.</p> <p>Työ toteutettiin tekijän omaa kokemusta, työntekijöiden haastatteluja sekä aikaisempaa dataa hyödyntämällä. Aluksi kartoitettiin ongelmakohtia haastatteluiden ja aikaisemmin yrityksessä kerättyjen tietojen avulla. Tämän jälkeen suunnitteluosasto kehitti parannuksia kyseisiin kohteisiin. Mekaaniset uudistukset toteutettiin yhdessä laitteessa, jotta saatiin selville, kuinka ne toimivat.</p> <p>Uudistusten vaikutusta selvitettiin haastattelemalla työntekijöitä, sekä vertaamalla niitä aikaisempiin ratkaisuihin. Näiden toimenpiteiden perusteella saatiin selville, onnistutaanko uudistuksilla parantamaan laitteen laatua ja asennettavuutta ja siten lyhentämään läpimenoaika vai vaativatko ne lisätestausta tai lisäsuunnittelua.</p>	
Avainsanat	ALD, pinnoituslaite, läpimenoaika, Lean

Author Title	Sebastian Jalova ALD Coating Tool's Mechanical Improvement for Shortening Lead Time
Number of Pages Date	28 pages + 1 appendix 13 April 2020
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Mechanical Engineering
Professional Major	Production Engineering
Instructors	Risto Laine, Product management director Markku Saarnio, Senior lecturer
<p>This Bachelor's thesis was carried out for Picosun Oy. The main purpose of this thesis was to investigate ALD coating tool's mechanical problems and suggest solutions. Also, the aim was to test how the new designed parts help with the problems in the mechanical assembly of the ALD tool.</p> <p>This thesis is based on the author's own experience in working with these tools, interviews of other employees and the data that has been collected from older projects. After all the data had been collected, the design team developed improvements in the structural problems. Then the improved parts were tested on one tool to find out how well the improvements work.</p> <p>Data from the improvements was collected by interviewing employees and comparing it to the older design. On the basis of the interviews and comparisons, data was obtained if the improved design helped with the mechanical assembly and improved the quality of the ALD tool, and thus shortened the lead time. In addition, the coating tool were examined to discover if it requires more testing or if it will be necessary to re-design the tool.</p>	
Keywords	ALD, coating tool, lead time, Lean

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Läpimenoajan lyhentäminen laatua parantamalla	1
2.1	Lean perusperiaatteet	2
2.2	5S	2
2.3	Markkinatilanne	3
3	ALD-pinnoitus	4
3.1	Periaate	4
3.2	Prosessi	4
3.3	Historia	7
3.4	Käyttökohteita	8
4	R-200 Advanced	9
5	Alkutilanteen kartoitus	10
5.1	Nostimen ongelmakohdat	10
5.2	Plasmakartion ongelmakohdat	11
5.3	Reaktiokammion kannen ongelmakohdat	13
6	Kehitysideoita paranneltaviin kohteisiin	15
6.1	Nostin	15
6.1.1	Nostimen sähköistäminen	16
6.1.2	Nostinten välisen pannan poistaminen	17
6.1.3	Hitsiliitoksen muuttaminen kynsiliitokseksi	18
6.1.4	Vakuumiastian kansi	19
6.1.5	Säätölevyjen poisto	20
6.1.6	Kansirakeenteen kiinnittäminen nostimeen	20
6.2	Plasmakartio	20
6.3	Plasmakaasulaatikko	22

7	Kehitysideoiden vaikutusten kartoitus tuotannossa	22
8	Yhteenveto ja päätelmät	26
	Lähteet	27
	Liite	
	Liite. Kehitysideat ja tulokset	

Lyhenteet

ALD *Atomic Layer Deposition*. Atomikerroskasvatus, ohutkalvopinnoitusmenetelmä.

MFC *Mass Flow Controller*. Massavirtasäädin.

PT *Pressure sensor*. Paineanturi

1 Johdanto

Insinööriyön tarkoituksena on tutkia ALD-pinnoituslaitteen R-200 Advanced rakenteessa olevia heikkouksia, jotka vaikuttavat laitteen kokoonpanon nopeuteen ja helppouteen. Näitä heikkouksia korjaamalla saadaan nopeutettua kokoonpano, minkä seurauksena myös laitteen läpimenoaika lyhenee. Muutosten avulla on myös tarkoitus saada parannettua laitteiden laatua ja mahdollisesti pienennettyä valmistuskustannuksia.

Työ tehtiin Picosun Oy:lle, joka on korkealaatuisten ALD-pinnoituslaitteiden valmistaja. Se on maailmanlaajuinen yritys, jonka pääkonttori sijaitsee Espoossa ja tuotantotilat Kirkkonummella. Picosunilla on tytäryhtiöitä Yhdysvalloissa, Kiinassa, Japanissa, Singaporessa, Saksassa ja Taiwanissa sekä myös myynti- ja huoltoapuolen edustajia yli 30 maassa. [1.]

Picosunin johtoryhmään kuuluu tohtori Tuomo Suntola, joka kehitti ja patentoi ALD-pinnoitusmenetelmän teolliseen käyttöön vuonna 1974. Hänelle on myönnetty kyseisestä tekniikan keksinnöstä Millennium-tekniikajapalkinto vuonna 2018. [2.]

2 Läpimenoajan lyhentäminen laatua parantamalla

Picosun Oy on nopeasti kasvava yritys, jonka tuotantotilat ovat rajalliset. ALD-pinnoituslaitteiden kysyntä on kovassa kasvussa, minkä vuoksi tilat alkavat käymään ahtaiksi. Tämän takia tuotannon läpimenoajan lyhentäminen vaikuttaisi positiivisesti koneiden kokoonpanoon.

Tuotanto on yksittäistuotantotyyppinen, siinä kokoonpano ja testaus tapahtuvat yhdessä työpisteessä. Tämänäköisessä tuotannossa paras ratkaisu nopeuttaa tuotantoa on osien laadun parantaminen ja kokoonpanon helpottaminen. Näillä toimenpiteillä saadaan poistettua osien vaurioituminen, joka johtaa uusien osien tilaamiseen. Osien uudellen tilaaminen hidastaa tuotantoa ja lisää ylimääräisiä kustannuksia.

Picosun Oy on menossa kohti Lean-ajattelutapaa. Tarkoituksena on tuottaa asiakkaalle ja itse yritykselle arvoa. Asiakkaalle tuotettua arvoa saadaan lisättyä parantamalla

laitteiden laatua. Samalla saadaan myös parannettua asiakas- sekä tuottajatytyvyyttä. Tämä tapahtuu parantamalla läpimenoaikaa, joka pitää sisällään arvoa lisäävää sekä ei- arvoa lisäävää työtä. Tässä tilanteessa osien vioittuminen asennusvaiheessa aiheuttaa uusien osien tilaamista. Uusien osien odottaminen aiheuttaa turhia seisokkeja, jotka ovat ei- arvoa lisäävää työtä. Ei- arvoa lisäävää työtä saadaan poistettua, parantamalla osien laatua ja asennushelpoutta, jotta pystyttäisiin välttämään mahdollisimman hyvin osien turhat vioittumiset. [7.]

2.1 Lean peruseriaatteet

Lean on käytännönläheinen, selkeitä menetelmiä käyttävä ajattelutapa ja johtamisfilosofia. Nopeasti ajateltuna lean on vain yrityksen arvon tuottamiseen ja hukkan poistamiseen keskittyvä työkalu. Leanissa asioista pyritään tekemään yksinkertaisia ja käytännöllisiä, jotta jokainen työntekijä ymmärtää lean-ajattelun tavoitteet.

Leanissa keskitytään jatkuvaan parantamiseen koko organisaation voimin. Tällä tavalla saadaan koko yritykselle yhteiset toimintatavat. Kun on luotu yhteiset toimintatavat, voidaan keskittyä hukkaa aiheuttaviin tekijöihin.

2.2 5S

5S-menetelmä on lähtöisin Japanista, ja sen on kehittänyt Hiroyuki Hirano. 5S on viisiportainen työympäristön kehitysmenetelmä. Tällä pyritään poistamaan työympäristössä olevat turhat tavarat ja pitämään tarpeelliset tavarat ja työympäristö järjestyksessä. 5S-muutosten avulla on tarkoitus saada läpimenoaikaa lyhyemmäksi, sekä nopeuttaa virtausta. [13; 14.]

Lajittelu (Sort, Seiri)

Lajittelu on 5S-portaikoin ensimmäinen vaihe. Siinä on tarkoitus poistaa työpisteestä kaikki materiaali, jota ei työssä tarvita. Nämä materiaalit, joita ei käytetä työhön, sijoitetaan varastoon säilöön, jossa niillä on tietty säilytysaika. Kauan käyttämättömänä olleet tavarat hävitetään. [13.]

Järjestäminen (Store, Seiton)

Järjestäminen on 5S-portaikon toinen vaihe. Siinä kaikille tavaroille ja työkaluille luodaan omat paikat, jotka merkitään. Näin kaikki asiat saadaan pidettyä oikeilla paikoilla ja helposti saatavilla. [13.]

Puhdistaminen (Shine, Seiso)

Puhdistaminen on 5S-portaikon kolmas vaihe. Siinä on tarkoitus pitää työalue siistinä. Kaikki työkalut, laitteet ja työalue siivotaan säännöllisesti. Työalue ja työkalut pysyvät käyttökelpoisina pidemmän aikaa. [13.]

Standardointi (Standardize, Seiketsu)

Standardointi on 5S-portaikon neljäs vaihe. Siinä luodaan standardi alueesta, josta tehdään vakio. Työalue ja työkalujen paikat vakioidaan, jotta kaikki pysyisivät oikeilla paikoilla. [13.]

Sitoutuminen (Sustain, Shitsuke)

Sitoutuminen on 5S-portaikon viimeinen vaihe. Siinä on tarkoitus ylläpitää käyttöönotettuja 5S-toimintatapoja. Näistä menetelmistä halutaan tehdä rutiinit, jotta 5S-menetelmä toimisi halutulla tavalla. [13.]

2.3 Markkinatilanne

ALD-pinnoituslaitteiden markkinat ovat suuressa kasvussa maailmanlaajuisesti. Myynnin on arvioitu kasvavan 8059 miljoonaan dollariin vuoteen 2024 mennessä. Tämä tarkoittaa, että vuodesta 2016 vuoteen 2024 keskimääräinen kasvuprosentti olisi 29,1 %. Jos ALD-laitteiden markkinat pysyvät tässä kasvussa, voidaan olettaa, että myynti lisääntyy huomattavasti, joten koneiden kokoamista nopeuttamalla saadaan enemmän koneita tuotannosta läpi. Myynnin kasvaessa myös tuotantotilat alkavat käymään entistä ahtaammiksi, joten laitteiden kasauksen nopeuttaminen auttaisi myös tähän ongelmaan. [11.]

3 ALD-pinnoitus

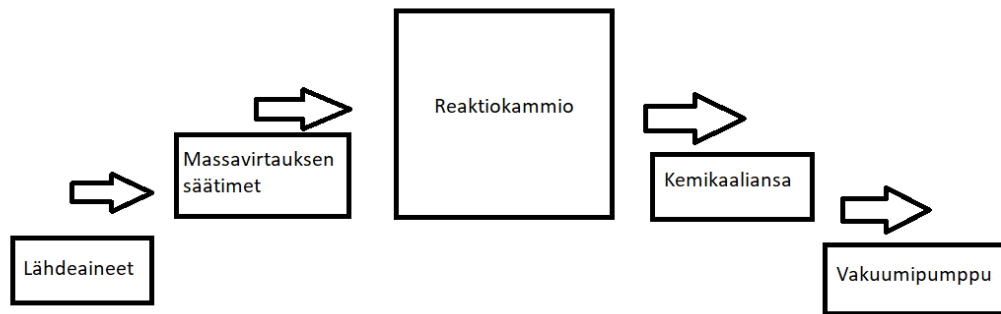
3.1 Periaate

Atomikerroskasvatus (Atomic Layer Deposition, ALD) on nimensä mukaisesti ohutkalvopinnoitusta, jolla saadaan valmistettua todella ohutta, tasaista sekä yhtenäistä pinnoituskalvoa atomikerros kerrallaan. ALD-prosessissa käytetään hyödyksi kaasujen välisiä kemiallisia reaktioita. Tällä saadaan luotua tilanne, joka mahdollistaa kalvon luomisen nanometrin tarkkuudella. Prossissa luodaan tilanne, jossa pinnoitukseen käytettävät lähteaineet eivät reagoi ennen kuin ne ovat kosketuksissa pinnoitettavan materiaalin kanssa. [3.]

3.2 Prosessi

ALD-prosessiin tarvitaan seuraavat elementit (kuva 1):

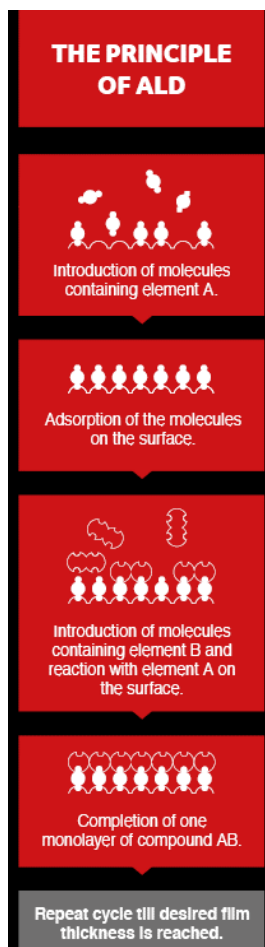
- Lämmitettävä reaktiokammio, jotta saadaan määritettyä oikeat lämpötilat eri prosesseille.
- Lähteaineet, niiden massavirtasäätimet ja annosteluventtiilit, näitä käytetään jotta prosessiin saadaan syötettyä oikea määrä lähteainetta.
- Kemikaaliansa, jossa on jälkipoltin, joka imee ilmaa ja aiheuttaa reaktion kemikaalien kanssa. Näiden lopputuote jää kemikaaliansaan talteen.
- Vakuumpumppu, jolla reaktiokammio saadaan mahdollisimman lähelle tyhjiön painetta.



Kuva 1 ALD-prosessikaavio

ALD-prosessissa (kuva 2) käytettävät lähdeaineet syötetään pinnoitettavalle materiaalille yksi kemikaali kerrallaan pulssimaisesti. Materiaali kyllästetään lähdeaineella, jolloin pinnoitettava pinta reagoi käytetyn lähdeaineen kanssa. Pinnoituksesta ylijäämä lähdeaine tai mahdolliset reaktiosta syntyneet sivutuotteet huuhdellaan pois kaasulla, joka ei reagoi käytettyjen lähdeaineiden kanssa useimmiten tyypellä (N₂). Huuhtelun jälkeen ensimmäisellä lähdeaineella kyllästettyyn pintaan syötetään toinen lähdeaine, joka reagoi tämän kanssa. Tämän jälkeen jälleen huuhdellaan ylijäämät kemikaalit pois ja syötetään

uusi lähdeaine pinnalle tai käytetään ensimmäistä lähdeainetta. Tätä jatketaan niin kauan, kunnes saavutetaan haluttu kalvonpaksuus. [4.]



Kuva 2 ALD-pinnoitusprosessi (Picosun Oy) [6.]

ALD-pinnoituksessa pystytään käyttämään useita erilaisia materiaaleja lähdeaineina. Näitä ovat esimerkiksi oksidit, nitridit, fluoridit, karbidit, sulfidit, yhdisteet, metallit sekä myös jalometallit ja polymeerit. [3.]

3.3 Historia

ALD-pinnoitus on aikaisemmin tunnettu nimellä ALE (atomic layer epitaxy), se kehitettiin 1970-luvulla suomalaisen keksijän Tuomo Suuntolan toimesta. ALD-pinnoitusmenetelmä on kehitetty myös Neuvostoliitossa 1960-luvulla, mutta nämä keksinnöt olivat toisistaan riippumattomat. Suuntola kehitti tämän pinnoitusmenetelmän alun perin EL (elektroluminesenssi) -ohutpanelinäyttöjen valmistuksen yhteydessä, työskennellessään Instrumentarium Oy:lle. [8. s. 332.]

Ensimmäinen ALD-pinnoituslaite ja ensimmäiset pinnoituskokeilut toteutettiin vuonna 1974. Ensimmäiset kokeilut onnistuivat, mutta eivät aivan halutulla tavalla. Yhden molekyylikerroksen sijaan saatiin yksi kolmasosa molekyylikerrosta per kierros. ALE-keksintö patentoitiin kansainvälisellä patentilla 29.11.1974. [8. s.335.]

Ensimmäinen todellinen ALD-EL-näyttö (kuva 3) oli iso tiedotustaulu, joka asennettiin Helsinki-Vantaan lentokentälle lähtevien lentojen halliin vuonna 1983 [12.]



Kuva 3 Ensimmäinen kaupallinen ALD-EL näyttötaulu [12.]

3.4 Käyttökohteita

Tekniikan kehittyessä on alettu vaatimaan tehokkaampia ja laadukkaampia pinnoitusmenetelmiä. Tämä on ollut suurelta osin syy ALD-teknologian nopeaan kehittymiseen. Komponenttejen ja mikropiirien pienentyessä tarvitaan laadukasta pinnoitusta. ALD-tekniikalla pystytään pinnoittamaan myös monimutkaisia 3D-kappaleita, tämän takia tätä pinnoitus menetelmää voidaan käyttää usealla eri alalla. [9.]

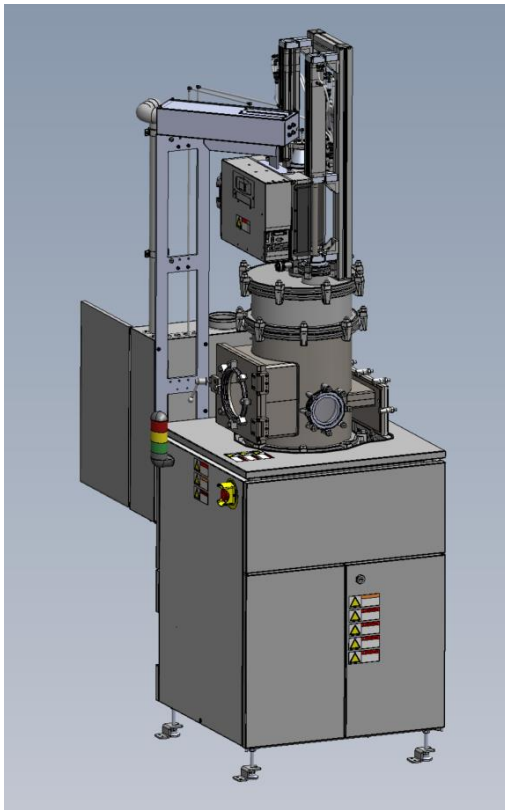
Viime aikoina ALD-pinnoitteiden käyttäminen on levinnyt laajalti eri teollisuuden aloille joissa tarvitaan laadukkaita pinnoitteita. Suurimmat käyttäjät ovat eri mikropiirien ja mikrosysteemien valmistajat, mutta mukaan on tullut myös LED valojen valmistajia sekä erilaisten näyttöjen ja optiikoiden valmistajia (kuva 4). ALD-pinnoitteita käytetään myös rahojen, korujen ja muiden arvoesineiden suojaamiseen. Lähiaikoina mukaan on liittynyt laajasti lääketieteen eri alat, joissa ALD:tä hyödynnetään erilaisissa implanteissa ja selkäydinstimulaattoreissa, samoin kuin monissa muissa lääketieteen välineissä. [10.]



Kuva 4 ALD pinnoituksen käyttökohteita (Picosun Oy)

4 R-200 Advanced

R-200 Advanced (kuva 5) on Picosun Oy:n kehittämä tutkimus ja tuotekehitystä varten luotu ALD-pinnoituslaite. Sillä on mahdollista pinnoittaa 50mm – 200mm piikiekoja, 3D-tuotteita, jauheita sekä erilaisia huokoisia tuotteita. Prosessilämpötila on 50°C - 500°C, joten pinnoitettavien materiaalien valikoima on laaja muoveista erilaisiin metalleihin. Tätä konetta voidaan käyttää monissa eri käyttökohteissa, esimerkiksi mikropiireissä, mikrosysteemejä käyttävissä laitteissa, LED-valoissa, lääketieteessä, erilaisissa linseissä ja koruissa sekä monessa muussa käyttökohteessa. [5.]



Kuva 5 R-200 Advanced plasma (Picosun Oy)

ALD-tekniikan olosuhteet luovat rajoitteita rasvojen ja öljyjen käyttöön. ALD-prosessissa käytetään alhaista painetta, sekä yleensä korkeaa lämpötilaa, max. 500°C R-200 Adv.

-mallissa. Öljyt ja rasvat, joilla voitaisiin helpottaa pinnoituslaitteen tyhjiöpuolen rakenteiden asentamista, ovat kiellettyjä. Tyhjiöpuolen rakenteisiin saa koskea vain suojakäsineillä, joista ei ole mahdollista jäädä rasvaa näille alueille. Öljyjen ja rasvojen palaessa tai höyrystyessä syntyy partikkeleita, jotka voivat pilata pinnoitusprosessin. Nämä voivat estää pinnoitteen kunnollisen tarttumisen pinnoitettavalle materiaalille tai reagoida kemikaalien kanssa liian aikaisin.

5 Alkutilanteen kartoitus

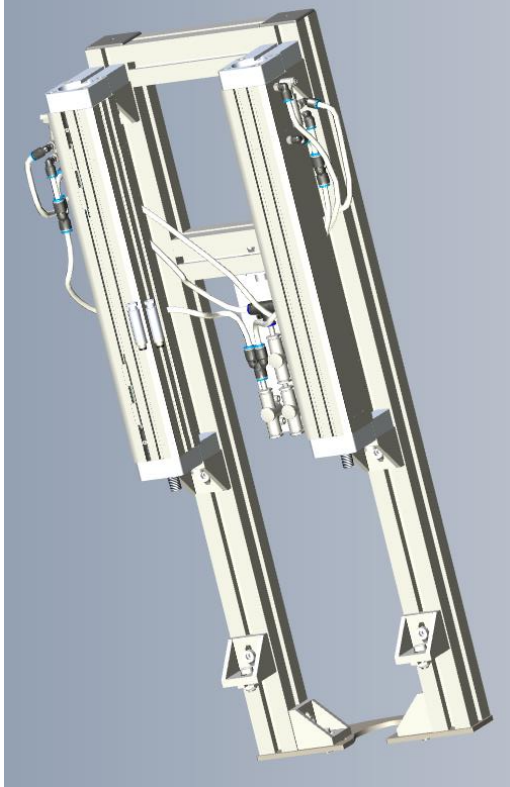
R-200 Advanced ALD-pinnoituslaitteen kokoonpanossa on esiintynyt ongelmatilanteita tietyissä asennusvaiheissa, jotka useimmiten hidastavat kokoonpanoa. Tämän takia ongelma-kohtia on alettu selvittämään, sekä kehittämään parempia vaihtoehtoja ongelma-kohtien parantamiseksi. Selvitystyö perustuu aiemmin saatuihin palautteisiin, insinööri-työn tekijän omaan työkokemukseen tuotannossa sekä tuotannon työntekijöiden haastatteluihin. Lopullinen lista asioista, joita lähdettiin kehittämään on tehty työn aloitusvaiheessa suunnitteluosaston toimesta.

Haastatteluiden perusteella ja omia kokemuksia vertaamalla huomattiin, että suurimmat ongelmakohdat sijaitsevat asentajasta riippumatta samoissa paikoissa. Näitä ongelma-kohtia avataan tarkemmin seuraavissa kappaleissa (5.1 – 5.3).

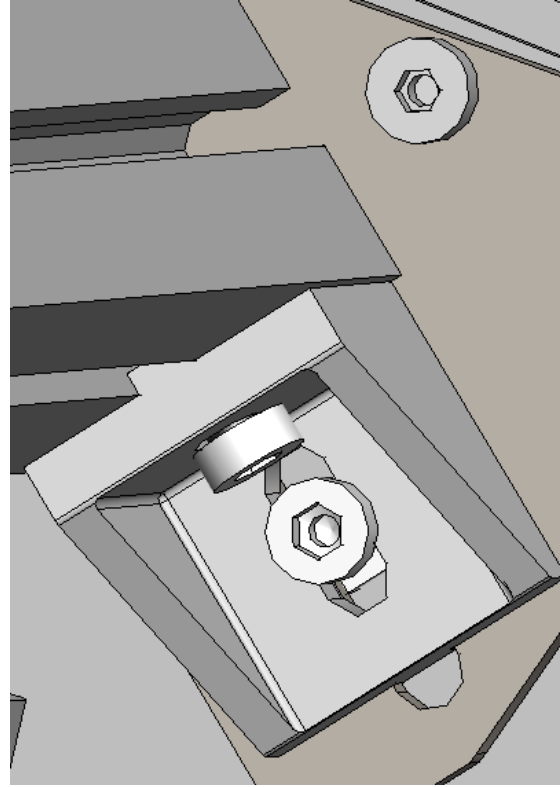
5.1 Nostimen ongelmakohdat

Nostimen (kuva 6) säätämisessä suurin ongelma on tämän suoruuden säätäminen. Aluksi tarkastetaan nostimen sylintereiden ja nostimen rungon suoruus toisiinsa nähden. Tämän jälkeen nostin asetetaan ALD-pinnoituskoneen vakuumiasian päälle omalle paikalleen. Seuraavaksi nostin kiinnitetään koneen vakuumiasiaan ruuveilla (kuva 7) ja tarkastetaan, onko nostin suorassa koneeseen nähden. Jos nostin ei ole suorassa,

joudutaan nostinta suoristamaan säätölevyjä käyttäen. Tämä vaihe voi olla hyvin aikaa vievää, kun kiinnitysruuvit joudutaan avaamaan ja kiristämään jokaisen kokeilukerran jälkeen.



Kuva 6 Pneumaattinen nostin (Picosun Oy)



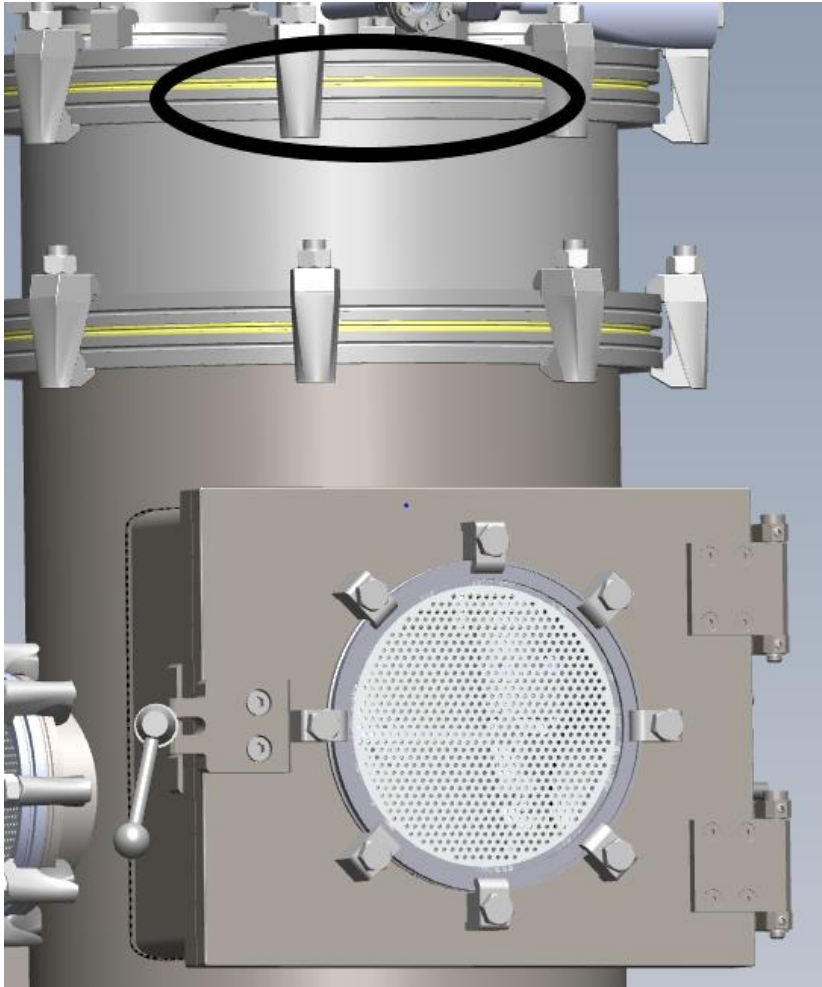
Kuva 7 Nostimen kiinnityspultit (Picosun Oy)

5.2 Plasmakartion ongelmakohdat

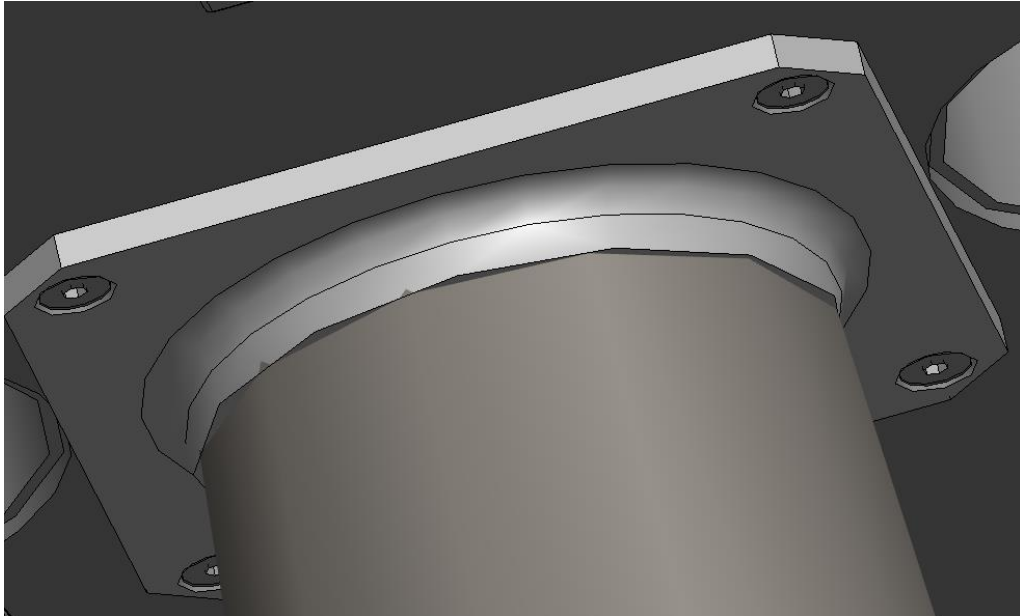
Plasmakartion ongelmat tulevat esille tämän asennusvaiheessa. Haastatteluiden perusteella hankalin kohta on plasmakartion paikalleen saaminen. Tässä työvaiheessa työkentelyasento on hankala, tämän takia kädet väsyvät ja asentamisesta tulee entistä hankalampaa. Yksi työntekijä kertoi tekevänsä nippusiteistä kannattimen, jotta hän jaksaa kannatella plasmakartiota ja saa asennettua sen paikoilleen. Asennuskohtaa (kuva 8) ei pääse myöskään näkemään samaan aikaan, joten asentaminen tapahtuu kokeilemalla ja käsin tunnustelemalla. Asennus tapahtuu kuvassa 8 näkyvän luukun kautta, josta plasmakartio nostetaan mustalla ympyröityyn kohtaan, missä plasmakartion kiinnityskohta

sijaitsee. Luukusta ei mahdu sisään kuin pelkät kädet, joten kiinnityskohtaa ei voi nähdä samanaikaisesti.

Katossa on kiinni levy (kuva 9), jossa on hienokierteet. Kierteille saaminen on hankalaa, koska plasmakartiota ei välttämättä saa aivan suorassa linjassa kierteisiin nähden, joten kierteille saaminen on usein melko työlästä. Kammion sisällä ei saa käyttää rasvaa, mistä johtuen kierteet voivat jopa leikata kiinni.



Kuva 8 Vakuumiastian luukku (Picosun Oy)



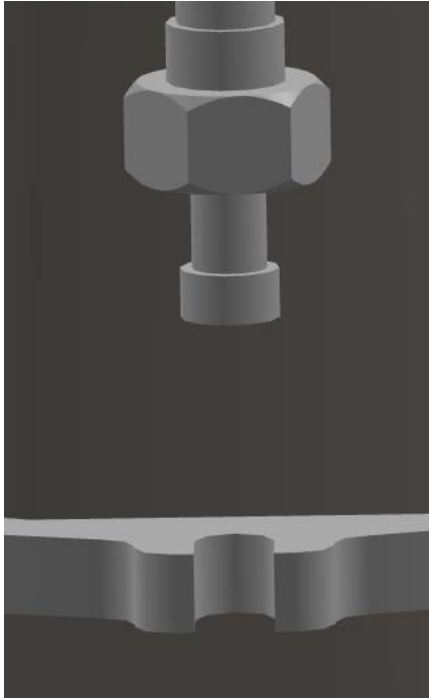
Kuva 9 Plasmakartion kiinnitys (Picosun Oy)

5.3 Reaktiokammion kannen ongelmakohdat

Reaktiokammion kannen asentamisessa suurimpia ongelmakohtia on tämän kohdistaminen reaktiokammion alaosan kanssa. Pientä haastetta aiheuttavat myös kuusiokoloruuvit, joiden avulla kansirakenne kiinnitetään plasmakartioon.

Kansirakenteen ja plasmakartion kiinnitykseen käytetään kuutta kuusiokoloruuvia ja niiden vastakappaletta. Näiden kiristäminen on haastavaa, koska tilat ovat ahtaat. Kädet ja työkalut eivät tahdo mahtua kyseisen rakenteen takapuolelle, jossa sijaitsee kolme kiinnitysruuvia.

Kansi kiinnittyy myös nostimen nostintankoihin (kuva 10). Nostintangon päässä oleva hahlo laitetaan kannessa olevan renkaan hahloihin. Tangon päässä oleva pieni levennys estää tankoa irtoamasta kiinnitysrenkaan hahloista. Nostintanko ja kiinnitysrengas kiristetään vielä toisiinsa mutterilla. Tämä mutteri on todella lähellä plasmakartion reunoja, jolloin kiintoavaimella ei saa kiristettyä mutteria tiukasti.



Kuva 10 Nostimen tanko ja kiristysmutteri (Picosun Oy)

Suurin ongelma on kuitenkin reaktiokammion kannen kohdistaminen reaktiokammion alaosan kanssa. Kannen ja alaosan täytyy olla kohdakkain, koska alaosasta tulevien syöttöputkien täytyy osua kannessa oleviin reikiin, jotta lähdeaineet virtaisivat sujuvasti eivätkä osuisi kannen tasaiselle pinnalle.

Kun reaktiokammion kantta ja alaosaa kohdistetaan, joudutaan liikuttamaan koko laitteen yläosan rakennetta. Tämä on hidasta ja melko epätarkkaa, sillä laitteen yläosa on melko raskas. Liikuttamista vaikeuttaa myös rakenteiden välissä oleva o-rengas, joka luo kitkaa tälle alueelle.

Kohdistusta aloittaessa vakuumiastiasta joudutaan avaamaan kiinnityskynnet, joilla pidetään vakuumiastian kansi- ja runkorakennetta kiinni. Sen jälkeen saadaan liikutettua rakennetta haluttuun suuntaan. Kun tämä on tehty, kiristetään kynnet uudestaan ja tarkastetaan, osuuko kansi kohdalleen. Jos kansi ei osu oikealle kohdalle, niin sama toistetaan niin kauan, kunnes kansi saadaan kohdalleen.

Jos vakuumiastian kansirakennetta siirtämällä kansi ei vieläkään osu kohdalleen pitää kantta säätää nostinta kallistamalla lisäämällä säätölevyjä (kappale 5.1). Pientä hienosäätöä kannelle voidaan tehdä nostintankoja säätämällä, mutta tämä ei ole suositeltavaa sillä se luo kanteen epätasaista liikettä.

6 Kehitysideoita paranneltaviin kohteisiin

6.1 Nostin

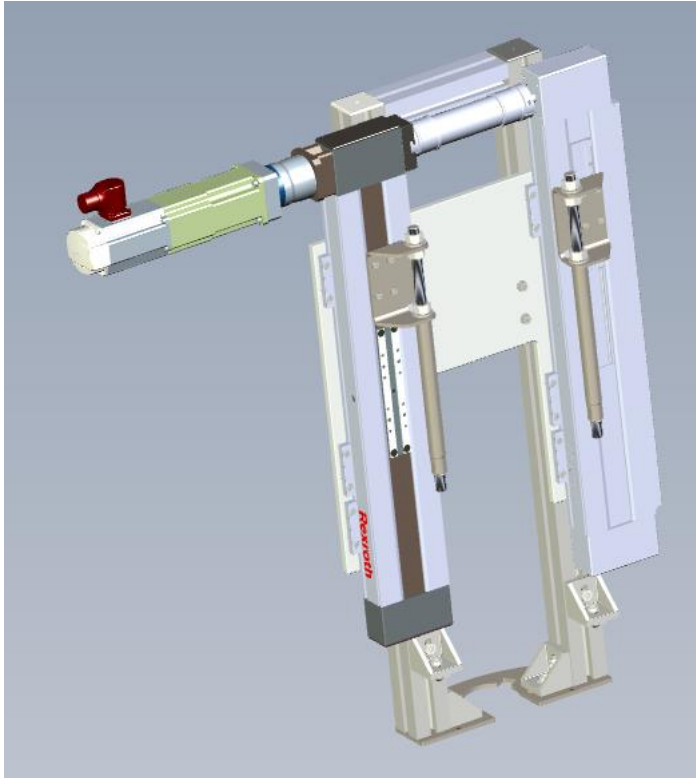
Nostimen säätämiseen voi hyvin mennä koko päivä. Tämän takia säätämistä on hyvä helpottaa mahdollisimman paljon. Ruuvien edestakaisen irrottamisen ja kiinnittämisen poistaminen vähentää ruuvien kiinni leikkaantumista.

Suoruuden säätäminen pneumaattisessa nostimessa on hankalaa, sillä pneumaattinen nostin on herkkä pienille jännityksille ja vinoudelle, joita syntyy helposti nostinta säädettäessä. Jos nostin ei ole suorassa, tämä aiheuttaa epätasaista, nykivää tai toispuoleista liikettä. Nostimen nostovarsilla ei ole paljoa tilaa sivuttaissuunnassa, jolloin epätasaiset liikkeet saattavat aiheuttaa nostimen nostovarsien ja kannen osumista muihin rakenteisiin koneen sisällä.

Pneumaattinen nostin on myös herkkä vuotamaan sylinterin ja männän varren o-renkaasta. Tämän vuodon aiheuttaa jännitykset, jotka syntyvät sylinterin vinoudesta. Sylinteri ja nostinrakenne ei ole kiinteä, vaan näiden välillä on osia, jolla nostimen runko ja sylinteri liitetään toisiinsa. Tästä syystä säätäminen on myös haastavaa, sillä jännityksiä aiheuttavia kohtia on paljon. Näiden säätäminen ja tarkastaminen vie paljon aikaa, jotta sylinteri ja nostinrunko olisivat samansuuntaisia ja samalla korkeudella.

6.1.1 Nostimen sähköistäminen

Nostimen ongelmia voidaan korjata monella eri tavalla. Paras ratkaisu olisi muuttaa koko nostinrakenne sähköiseksi (kuva 11). Tämä muutos nostaisi R-200 Advanced laitteen tuotantokustannuksia, joten tämä vaihtoehto ei ole tulossa halvimpiin malleihin.



Kuva 11 Sähköinen nostin (Picosun Oy)

Nostimen muuttaminen sähköiseksi helpottaisi kuitenkin kokoonpanovaihetta. Säätkohtia vähentyisi huomattavasti, jos nostin vaihtuisi sähköiseksi. Sähköisen nostimen nostintangot ovat samalla etäisyydellä nostimen rungosta, joten itse nostinrakenteen säätäminen poistuisi.

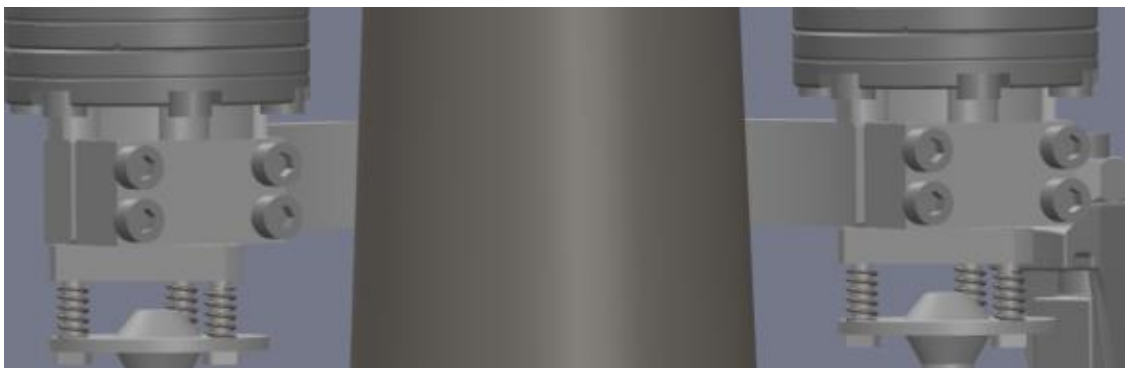
Pneumaattisen nostimen korvaaminen sähköisellä nostimella poistaa pneumaattisen nostimen säätämiseen liittyviä ongelmia, joita ovat seuraavat:

- Epätasainen liike kahden sylinterin välillä, joka saattaa aiheuttaa kannen kaartumista sivuttaissuunnassa ja mahdolliset osumiset muihin rakenteisiin.

- Pneumaattisen sylinterirakenteen mahdollinen epäsymmetrisyys toiseen sylinteriin nähden.
- Nostimen värinä nosto- ja laskuvaiheessa.
- Saadaan poistettua nostimen männän varsien välinen tukikaari, sillä sähköisen nostimen lineaarijohteita ajetaan yhdellä moottorilla, jolloin liike tapahtuu synkronoidusti johteiden välillä.
- Kantta saadaan säädettyä tarkemmin, kun nostin voidaan pysäyttää halutulle korkeudelle.
- Mahdollinen pneumaattisen sylinterin vuotaminen männänvarren tiivisteestä.

6.1.2 Nostinten välisen pannan poistaminen

Pneumaattisessa nostimessa tarvitaan kahden nostinsylinterin välille panta (kuva 12), joka yhdistää nämä sylinterit toisiinsa. Pannan tarkoituksena on tehdä pneumaattisten nostinten liikkeitä yhtenäisiä, jotta kansi liikkuisi mahdollisimman tasaisesti. Sähköistä nostinta käytettäessä tätä pantaa ei tarvita, sillä sähköistä nostinta ajetaan yhdellä moottorilla. Yhden moottorin takia nostintangot liikkuvat synkronoidusti.

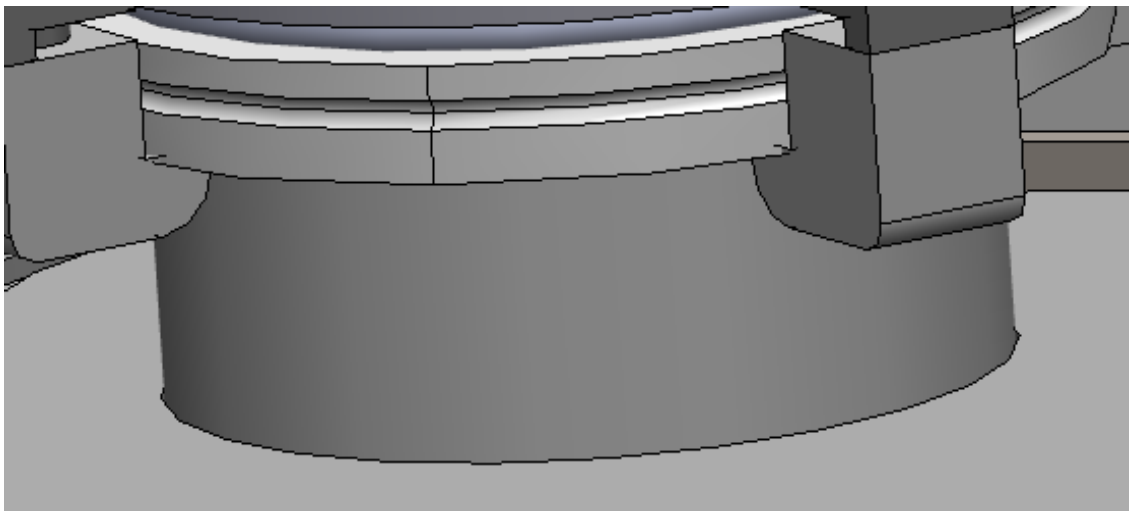


Kuva 12 Pneumaattisen nostimen tukipanta (Picosun Oy)

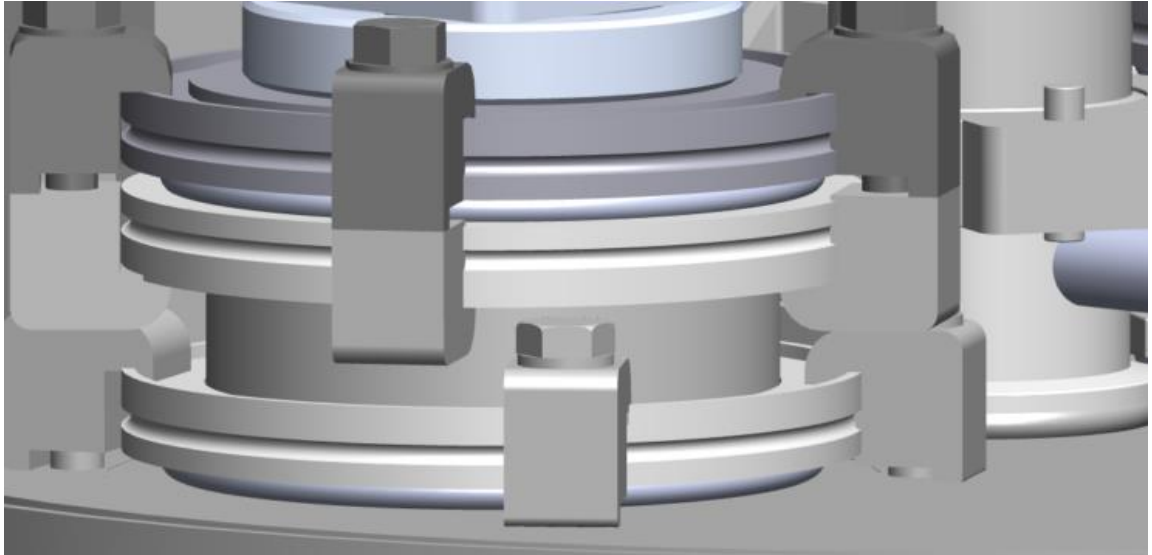
Tämän pannan poistaminen poistaa kokoonpanovaiheesta yhden työvaiheen. Pannan kiinnittäminen ei ole aina helppoa. Se asennetaan plasmakartion taakse ja vastakappaleet, joiden läpi ruuvit laitetaan, asennetaan etupuolelta. Pannan puolella on kierteet, jotka kiristävät pannan ja tämän vastakappaleen nostimeen kiinni. Koska panta sijaitsee vakuumitilassa, rasvan käyttö on kiellettyä. Nämä pultit leikkaavat helposti kiinni, jos jokin pannan osista on vähän vinossa.

6.1.3 Hitsiliitoksen muuttaminen kynsiliitokseksi

R200 Adv. koneen vakuumiastian kannessa, jonka päälle nostin asetetaan, on hitsattu läpiviennit (kuva 13), joihin nostinrakenne tiivistyy. Nämä läpiviennit voidaan muuttaa kiinnitettäviksi kynsiliitoksin (kuva 14), jolloin tästä saadaan poistettua hitsiliitos ja laitettua o-rengas tämän tilalle. Tällä saadaan poistettua hitsauksen aiheuttamia lämpötilan muutoksia, jotka vaikuttavat kyseisen kannen suoruuteen. Liitosmenetelmän muuttaminen lisää mahdollisen vuotokohdan o-renkaasta, mutta tämän korjaaminen on helpompaa kuin vuotavan hitsisauman korjaaminen. Tämä muutos myös antaisi pientä säätövaraa reaktioastian kannen kohdalleen säätämiseen.



Kuva 13 Kannen läpivienti (Picosun Oy)



Kuva 14 Kannen läpivienti muutettu kynsiliitokseksi (Picosun Oy)

6.1.4 Vakuumiastian kansi

Vakuumiastian kansi on välillä pahasti vääntynyt, tämä vaikeuttaa nostimen asennusta. Poistamalla hitsiliitokset kannesta ja muuttamalla ne kynsiliitoksiksi (kappale 6.1.2, kuva 14), saadaan kansi pysymään suorana tämän valmistuksen aikana. Kannen suoruus vaikuttaa nostimen asentamiseen ja tämän säätämiseen.

Sähköistä nostinta käytettäessä vakuumiastian kannen suorudella ei ole niin paljon merkitystä kuin pneumaattista nostinta käytettäessä. Pneumaattinen nostin on paljon herkempi reagoimaan suoruuteen. Tämän vuoksi varsinkin pneumaattista nostinta käytettäessä tämä olisi hyvä ratkaisu. Hitsiliitosten poistaminen vähentää myös kappaleen valmistusvaiheita. Tämän ansiosta myös valmistuskustannukset mahdollisesti alenevat.

6.1.5 Säätolevyjen poisto

Nostimen suoruuden säätämiseen voitaisiin vaihtaa säätöruuvit (kuva 15) säätolevyjen tilalle. Tällä muutoksella saataisiin poistettua nostimen kiinnitysruuvien edestakainen irrottaminen, joiden alle säätolevyt laitetaan. Kiristysruuvien edestakaisen irrottamisen poistamisella saadaan myös pienennettyä ruuvien kiinni leikkaantumista.



Kuva 15 Nostimen säätöruuvit (Picosun Oy)

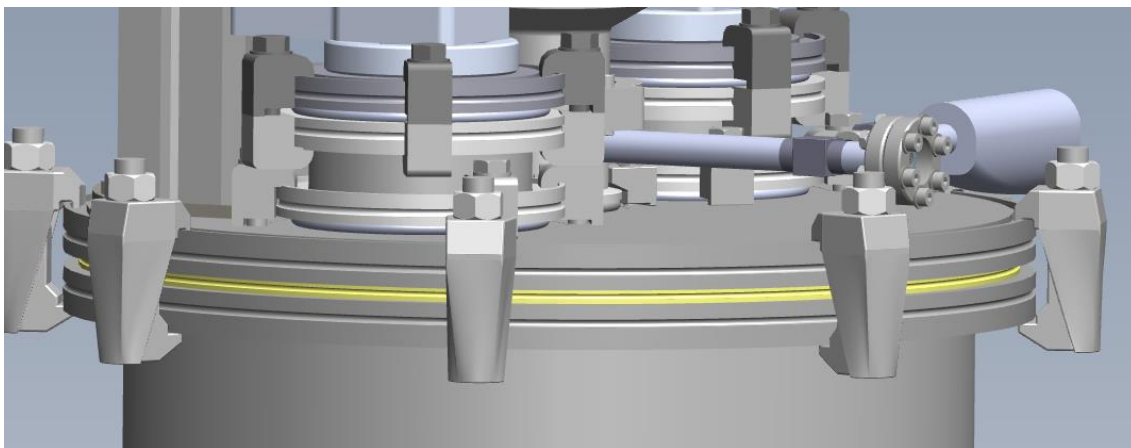
6.1.6 Kansirakeenteen kiinnittäminen nostimeen

Nostimen nostintankojen kiristysmuttereita voitaisiin muuttaa erilaisiksi, esim. käsin kiristettäviksi siipimuttereiksi, joiden avulla saataisiin tangot kiristettyä tarpeeksi tiukalle ilman työkaluja.

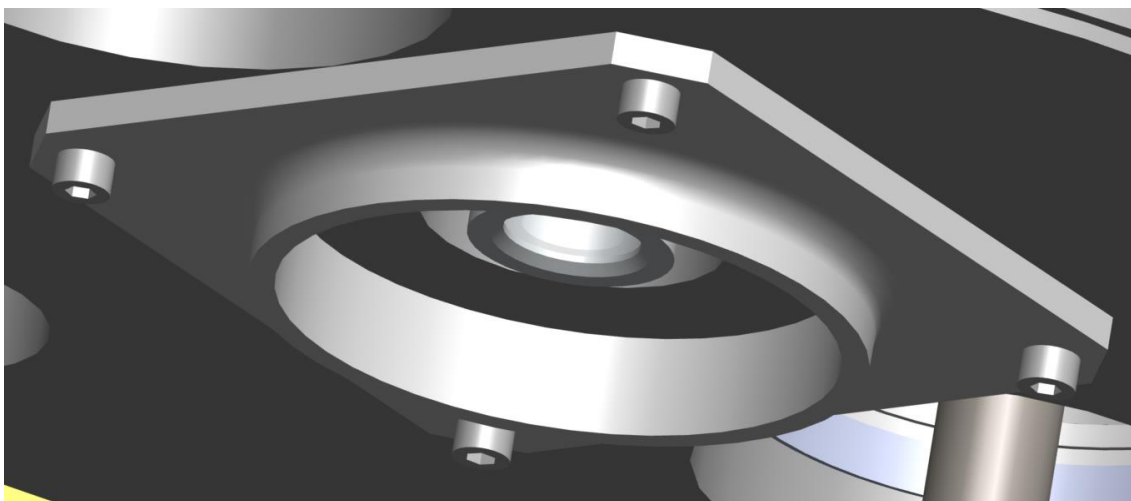
6.2 Plasmakartio

Plasmakartion kiinnityskohtaa muuttamalla saataisiin reaktiokammion kannen kohdistamista helpotettua. Muuttamalla kiinnityslevyssä olevat uppokantaruuvit normaaleiksi tasakantaruuveiksi (kuva 17) saadaan pieni säätövara, tämän avulla kansi saadaan mahdollisesti hienosäädettyä reaktiokammion pohjan syöttöputkien kanssa.

Tällä hetkellä reaktioastian kannen säätäminen sivuttaissuunnassa tapahtuu irrottamalla kuvassa 16 näkyvät kynnet. Kynsien irrottamisen jälkeen vakuumiastian kantta, jossa nostin on kiinni, pyritään liikuttamaan tarvittava määrä haluttuun suuntaan. Tämä on melko työlästä, koska päälirakenne on raskas ja pintojen välissä on o-rengas, joka aiheuttaa kitkaa. Päälirakenne pitää saada nostettua ilmaan, jotta vakuumiastian kantta saadaan liikutettua.



Kuva 16 Vakuumiastian kiinnityskynnet (Picosun Oy)



Kuva 17 Plasmakartion kiinnitys tasakantaruuveilla (Picosun Oy)

6.3 Plasmakaasulaatikko

Kehitteillä on myös uusi plasmakaasulaatikko. Tätä laatikkoa testattiin tässä koneessa. Uudella plasmakaasulaatikolla saadaan lyhennettyä plasmakaasulinjojen pituutta, sekä poistettua ALD-laitteen kyljessä sijaitseva laatikko, johon oli sijoitettu plasmakaasujen MFC:t ja PT:t. Nyt kaikki sijaitsevat samassa laatikossa koneen yläosassa. Plasmakaasut saadaan syötettyä suoraan laatikkoon ilman pitkiä putkia.

7 Kehitysideoiden vaikutusten kartoitus tuotannossa

Tässä koneessa ei toteutettu kaikkia yllä mainittuja uudistuksia eikä kaikkiin ongelma-kohtiin saatu parannuksia. Liitteen taulukossa on yhteenveto kehityskohteista. Seuraavassa on lueteltu työssä toteutetut uudistukset sekä kerrottu haastateltujen työntekijöiden kommentit:

- Hitsiliitokset muutettiin kynsiliitoksiksi.
 - o Henkilö 1: Hyvä ratkaisu, sillä saadaan minimoitua vakuumiastian kannen vääntymisiä.
 - o Henkilö 2: Hyvä ratkaisu, vakuumiastian kansi pysyy suorana. Helpottaa pneumaattisen nostimen asentamista paikoilleen.
 - o Henkilö 3: Ei mielipidettä.
 - o Henkilö 4: Hyvä, vakuumiastian kansi pysyy suorana

- Plasmakartion kiinnityslaipan uppokantaruuvit poistettiin (ei testattu).
 - o Henkilö 1: Ei hyvä, uppokantaruuvit keskittävät kiinnityslevyn paremmin. Säättäminen menee vaikeaksi, kun on monta säädettävää kohtaa.

- Henkilö 2: Kannen hienosäätäminen voi olla helpompaa.
 - Henkilö 3: Lisää säätövaraa kantta varten.
 - Henkilö 4: Lisää säätövaraa, saadaan kohdistettua ylä- ja alakartiot
- Nostimen kallistuksen säätöön lisättiin säätöruuvit säätöprikkojen tilalle.
- Henkilö 1: Hyvä ratkaisu, nostinta helpompi säätää.
 - Henkilö 2: Hyvä ratkaisu, säästää aikaa, kun ei tarvitse käyttää säätölevyjä.
 - Henkilö 3: Helpottaa nostimien suoruuden säätöä, säätölevyjen asentaminen työlästä. Mahdollistaa portaattoman säädön.
 - Henkilö 4: Hyvä, paljon parempi kuin säätöprikkojen kanssa säätäminen
- Tukikaari poistettiin nostintankojen palkeiden alapäiden välistä.
- Henkilö 1: Hyvä ratkaisu, tukikaaren poistaminen ei aiheuta ongelmia sähköisen nostimen liikkeiden kanssa. Tukikaaren asentaminen on hankalaa.
 - Henkilö 2: Hyvä, jos ei aiheudu ongelmia pitemmällä aikavälillä.
 - Henkilö 3: Hyvä, jos ei aiheudu ongelmia.
 - Henkilö 4: Hyvä, sähköistä nostinta käytettäessä tukikaarta ei tarvita.

- Plasmakartioon luotiin isompi välys.
 - Henkilö 1: Ei mielipidettä.
 - Henkilö 2: Vuotaa todennäköisesti enemmän välitilan puolelle.
 - Henkilö 3: Saattaa aiheuttaa ongelmia välitilan paineen kanssa, kun reaktori lämpenee.
 - Henkilö 4: Vähentää partikkeleiden määrää, mutta tätä pitää testata enemmän. Vuotaa myös enemmän välitilaan, jonka takia tarvitaan toisenlainen paineanturi.

- Uusi plasmalaatikko.
 - Henkilö 1: Hyvä idea, MFC:n vaihto helpompaa. Painava, joten yksin asentaminen on hankalaa.
 - Henkilö 2: Koneen huoltaminen helpompaa ja sivupellin irrottaminen helpompaa, kun edellinen plasmakaasulaatikko poistunut koneen sivusta. Hankaloittaa huoltoa, jos plasma pitää irrottaa.
 - Henkilö 3: Plasman kaikki osat tulevat samassa laatikossa. Plasma kaasu-linjoja ei tarvitse erikseen asentaa. Johdot helpompi saada siististi. Kaasujen asentaminen helpompaa. Vaikea asentaa yksin.
 - Henkilö 4: Painava joka vaikeuttaa asennusta.

- Sähköinen nostin.
 - o Henkilö 1: Kaikilla tavoin parempi, paitsi nostimen ajaminen ilman sähköjä hankalaa.
 - o Henkilö 2: Sähköisen nostimen asentaminen paljon helpompaa. Nostinta ei tarvitse säätää juuri ollenkaan.
 - o Henkilö 3: Kansi liikkuu tasaisemmin, kun kummatkin lineaarijohtimet liikkuvat samanaikaisesti. Ei mahdollisia vuotokohtia, koska ei pneumaattisia sylintereitä. Painavampi rakenne kuin pneumaattisella nostimella.
 - o Henkilö 4: Tasaisempi liikkuvuus. Monipuolisempi käyttää, voidaan ohjata mille tahansa korkeudelle. Turvallisempi käyttää. Vähemmän säädettävää, joka helpottaa säätämistä.

Toteuttamatta jäivät seuraavat:

- Nostintankojen ja reaktiokammion kannen kiristysmuttereiden muuttaminen helpommin kiristettäväksi.
- Reaktiokammion kannen rakenteen ja plasmakartion toisiinsa kiinnittämisen muuttaminen.

Nostintankojen ja reaktiokammion kannen kiristysmuttereita ei muutettu, koska siipimutteri ei olisi mahtunut pyörimään kyseisessä kohdassa kunnolla. Tämän takia olisi oltu samassa tilanteessa kuin alkuperäisessä ratkaisussa, jossa muttereita ei mahdu kunnolla kiristämään.

8 Yhteenveto ja päätelmät

Insinööriyössä tutkittiin ALD-pinnoituslaite R-200 Advanced rakenteessa olevia mekaanisia ongelmakohtia. Aluksi kartoitettiin missä ongelmakohdat sijaitsevat haastattelemalla työntekijöitä, käyttämällä aikaisemmin kerättyjä tietoja sekä tekijän omaa kokemusta käyttäen.

Suunnitteluosasto suunnitteli parannukset osille, joista ongelmakohtia löytyi. Uudelleen suunnitellut osat testattiin vertailemalla niitä alkuperäisiin osiin, sekä haastattelemalla työntekijöitä uudelleen. Saatujen tulosten perusteella päätettiin voidaanko parannukset ottaa käyttöön vai tarvitaanko lisäsuunnittelua.

Työ onnistui hyvin, ALD-pinnoituslaitteen mekaanisia ongelmakohtia saatiin parannettua. Muutama uudistus vaatii lisäsuunnittelua ja pitempiaikaista testausta, jotta saadaan mahdollisimman tarkkaa tietoa, kuinka ne käyttäytyvät.

Lähteet

1. Picosun in Brief. Verkkodokumentti. Picosun Oy.
<<https://www.picosun.com/about/picosun-in-brief/>> Luettu 01.06.2019
2. Palkittu 2018. Verkkootikkeli. Tekniikan Akatemia TAF. <<https://taf.fi/fi/millennium-teknologiapalkinto/palkittu-2018/>> Luettu 01.06.2019
3. Picosun ALD technology. Verkkodokumentti. Picosun Oy.
<<https://www.picosun.com/about/picosun-ald-technology/>> Luettu 03.06.2019
4. Malm Jari, 2005. Thesis for the degree of Master of Science in Technology. Espoo. Helsinki University of Technology.
Vacuum line chemistry in selected atomic layer deposition processes
<https://aaltodoc.aalto.fi/bitstream/handle/123456789/10161/master_malm_jari_2005.pdf?sequence=1&isAllowed=y> Luettu 14.07.2019
5. R-200 Advanced. Verkkodokumentti. Picosun Oy.
<<https://www.picosun.com/product/r-200-advanced/>> Luettu 15.06.2019
6. Principle of ALD. Picosun ALD Solutions. Kuvan laatinut Minna Toivola
06.07.2019
7. Tätä on Lean. Verkkodokumentti. Six sigma.
<<http://www.sixsigma.fi/index.php/fi/lean/lean/>> Luettu 13.07.2019
8. Puurunen, Riikka L. 2014. Essay, A Short History of Atomic Layer Deposition: Tuomo Suntola's Atomic Layer Epitaxy. Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim DOI: 10.1002/cvde.201402012
9. ALD Applications. Verkkodokumentti. Veeco Instruments. 2019.
<<http://www.cambridgenanotechald.com/applications/>> Luettu 21.07.2019
10. Applications. Verkkodokumentti. Picosun Oy.
<<https://www.picosun.com/applications/>> Luettu 21.07.2019

11. Atomic Layer Deposition Equipment Market Overview. Verkkodokumentti. Variant Market Research. Huhtikuu 2017.
<<https://www.variantmarketresearch.com/report-categories/semiconductor-electronics/atomic-layer-deposition-equipment-market>> Luettu 31.07.2019

12. Puurunen, Riikka. 40 Years of ALD in Finland. Verkkodokumentti. VTT Technical Research Centre of Finland. Marraskuu 2014.
<<http://www.aldcoe.fi/events/finald40.pdf>> Luettu 11.09.2019

13. Viiden Ässän kehitystyökalu. Verkkodokumentti. Six Sigma.
<<http://www.sixsigma.fi/fi/artikkelit/viiden-aessaen-kehitystyoevalu/>> Luettu 30.09.2019

14. 5S / Visual Workplace Handbook. Verkkodokumentti. Brady Worldwide Inc. 2011
< http://www.techni-tool.com/site/PROMO/2012-02/2012-02-Brady_5S_Hand-Book.pdf > Luettu 30.09.2019

15. Mitä on lean?. Verkkodokumentti. QL Partners Oy
<<https://www.ql.fi/missiomme/mita+on+lean/>> Luettu 02.10.2019

Kehitysideat ja tulokset

Taulukossa on lueteltu kaikki kehitysideat. Mukana ovat myös parannusten hyvät ja huonot puolet sekä tulokset. Tuloksista nähdään, täytyykö parannusta vielä kehittää tai testata enemmän ennen kuin se voidaan ottaa käyttöön.

Kohde	Plussat	Miinukset	Tulokset
Hitsiliitokset kynsiliitoksiksi.	- Pääliirakenteen kannen suoruus. - Valmistuskustannukset vähenevät. - Parantaa nostimen säätöä.		- Hyvä, voi ottaa käyttöön.
Plasmakartion kiinnityslaipan uppokantaruuvien muuttaminen tasakantaruuveiksi.	- Lisää kannen hienosäätöä.	- Lisää säädettäviä kohtia. - Plasmakartio ei keskity.	- Vaatii useampia kokeiluja, jotta saadaan tarvittava määrä tietoa onko tämä toimiva ratkaisu.
Säätöruuvit nostimen kallistuksen säätöön.	- Säätää aikaa nostimen säätämisessä.		- Hyvä, voi ottaa käyttöön.
Tukikaaren poisto nostintankojen välistä.	- Poistaa työvaiheen.	- Mahdollinen tuen puute.	- Hyvä, mutta vaatii pitkäaikaista kokeilua, jotta ongelmia ei ilmene pitemmällä aikavälillä.
Plasmakartioon isompi välys.	- Ei hankaa ylempää plasmakartiota, vähentää partikkeleita.	- Lämpölaajeneminen ongelma, pudottaa välitilan paineen liian alas.	- Hyvä, mutta vaatii pidempiaikaista kokeilua. - Vaatii toisenlaisen paineanturin nykyisen yleisemminkäytetyn tilalle.
Uusi plasmalaatikko.	- Kaikki samassa laatikossa. - MFC:n vaihto helpompaa. - Sivupellin irrottaminen helpompaa. - Ei erillisiä plasmakaasulinjoja. - Facilitteetti plasmakaasut helpompi asentaa.	- Painava, hankala asentaa yksin.	- Hyvä, mutta vaatii vielä lisäkehitystä.
Sähköinen nostin.	- Vähemmän säädettävää. - Kannen liike tasaisempaa. - Ei vuotavan sylinterin mahdollisuutta.	- Kannen liikuttaminen ilman sähköjä. - Painavampi rakenne.	- Hyvä, voi ottaa käyttöön.