

Alexi Itkonen

Segmenttistaattoripaketin jigitön ladonta

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Kone- ja tuotantotekniikka

Insinööriytyö

3.11.2017

Tekijä Otsikko	Aleksi Itkonen Segmenttistaattoripaketin jigiton ladonta
Sivumäärä Aika	71 sivua 3.11.2017
Tutkinto	Insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	Kone- ja tuotantotekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	Koneautomaatio
Ohjaajat	Quality and OpEx Project Manager Matti Vänskä, ABB Lehtori Timo Junell, Metropolia Ammattikorkeakoulu
<p>Insinööritöitä tehtiin ABB:n Motors and Generators -yksikön tuotannonkehitykselle. Työssä keskityttiin yhteen osaan isommasta automaatioprojektista, jonka tavoitteena on siirtää nykyään manuaalisesti tehtävä staattorien levypakettien ladonta suoritettavaksi teollisuusroboteilla. Työn tavoite oli ideoida erilaisia tapoja latio sähkökoneiden segmenttistaattoripaketteja käyttämättä nykyisessä ladontaprosessissa käytössä olevia ladontajigejä. Ideoissa tuli ottaa huomioon niiden yhteensopivuus työvaiheen tulevaisuudessa tehtävän automatisoinnin kanssa. Päämääräksi asetettiin kolme erilaista ideaa esitettäväksi siitä, kuinka segmenttistaattoripaketteja voitaisiin latio ilman ladontajigejä.</p> <p>Ideat kehitettiin osastolle tehdyn nykytilakartoituksen pohjalta. Nykytilakartoitus muodostettiin seuraamalla ladontaosaston toimintaa ja keskustelemalla ladontaprosessin toimivuudesta staattorinladonnan työntekijöiden sekä työnjohtajien kanssa. Osaston toiminnasta muodostettiin kuvaus ja ladontaprosessista listattiin kaikki siinä ilmenneet positiiviset puolet sekä kehitystä kaipaavat puolet. Jigittömän ladonnan ideat muodostettiin käyttämällä niissä hyväksi nykyisen ladontaprosessin positiivisia puolia yrittäen samalla kehittää mahdollisimman monia prosessin vaiheita.</p> <p>Tuloksena saatiin jigittömälle ladonnalle erilaisia ideoita, joista muodostettiin kolme esitettävää mallia; urapuikkoalusta, säädettävä kiskoalusta sekä urapuikkotarttuja. Mallit ja niiden toimintaperiaatteet esitettiin ladonnan automatisoinnin projektiryhmälle. Esityksessä tuotiin esille mallien positiiviset sekä negatiiviset puolet verrattuna toisiinsa sekä nykyiseen ladontaprosessiin.</p> <p>Kiskoalusta päätettiin jättää pois harkinnasta paketin ulkopuolisen tukemisen tuomien haasteiden vuoksi. Urapuikkoalustan toimintaa yksinään segmentit kehälle keskittävänä elementtinä epäiltiin, mutta se nähtiin sen sijaan potentiaalisena ratkaisuna segmenttien sisäpuoliseksi tueksi. Urapuikkotarttuja taas havaittiin mahdolliseksi tavaksi keskittää segmentit oikealle kehälle. Urapuikkoalusta ja -tarttuja päätettiin yhdistää toimimaan samanaikaisesti ja niiden malleja jatkojalostettiin. Jatkojalostettujen mallien toiminnasta yhdessä muodostettiin kokonaisuus, joka esitettiin projektiryhmälle sekä automatisointiin palkattujen ulkoisten insinööritoimistojen edustajille, jotta he voivat hyödyntää näitä omissa suunnitelmissaan.</p>	
Avainsanat	Staattori, levypaketti, segmentti, automatisointi

Author Title	Aleksi Itkonen Jigless Stacking of Segmented Stator Packages
Number of Pages Date	71 pages 3 November 2017
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Machine and Production engineering
Specialisation option	Machine Automation
Instructors	Matti Vänskä, Quality and OpEx Project Manager, ABB Timo Junell, Senior Lecturer, Metropolia University of Applied Sciences
<p>The Bachelor's thesis was commissioned by the production development of the Motors and Generators unit of ABB. The thesis focused on a part of a larger automation project, the goal of which is to transform the currently manually performed stacking of the sheet packages of the electric machines' stators to be carried out by industrial robots. The goal of the thesis was to innovate various methods to assemble the segmented stator packages of the electric machines without using stacking jigs that are used in the current process. The compatibility of the ideas with the future automation of the process was to be taken into consideration. The target was set to three different presentable ideas of how the segmented stator packages could be assembled without the stacking jigs.</p> <p>The ideas were developed based on a current state analysis that was made for the department. The current state analysis was carried out by monitoring the work of the department and discussing the functionality of the process with the employees and the supervisors of the department. A description of the operations of the department was made in addition to a list of positive features and features needing upgrading. The ideas of the jigless stacking were formed by taking advantage of the positive features of the current process and simultaneously trying to develop as many phases as possible.</p> <p>As a result, various ideas for the jigless stacking were created that were combined to three presentable models; the groove peg platform, the adjustable rail platform and the groove peg gripper. The positive and negative sides of the models related to each other and the current process were disclosed in the presentation.</p> <p>In conclusion, the rail platform was left out of consideration because of the challenges of supporting the package from the outer surface. The functioning of the groove peg platform as the element that centers the segments on the right circle was doubted but it was considered as a potential solution for the inner support of the segments instead. The groove peg gripper was seen as a possible solution to center the segments. The groove peg platform and gripper were decided to be combined to work together and their models were refined further. A model of the functioning of the refined versions of the original models together was created and presented to the project group and the representatives of external engineering firms hired for the project so they can utilize the ideas in their own designs.</p>	
Keywords	Stator, sheet package, segment, automation

Sisällysluettelo

1	Johdanto	1
1.1	Työn tausta	1
1.2	Työn tavoitteet	1
2	ABB Oy	2
3	Sähkökoneet	3
3.1	Tasasähkökoneet	3
3.2	Vaihtosähkökoneet	5
3.2.1	Pyörivä magneettikenttä	5
3.2.2	Epätahtikoneet	6
3.2.3	Tahtikoneet	9
3.3	Erikoiskoneet	10
4	Tuotantoautomaatio	11
4.1	Tuotantoautomaation tasot	11
4.2	Tuotantoautomaation tyypit	12
4.3	Teollisuusrobotit	14
4.3.1	Teollisuusrobottityypit	14
4.3.2	Robottien tarttujat	16
5	Segmenttistaattoripaketin valmistus	19
5.1	Ladontajigi	19
5.2	Työvaiheet	20
6	Ladontaprosessin nykytilakartoitus	23
6.1	Ladonnan automatisointi	23
6.2	Prosessista löydetyt kehityskohteet	24
6.2.1	Työergonomia	24
6.2.2	Segmenttien keskitysmenetelmä	24
6.2.3	Ladontajigien viemä tila	25
6.2.4	Yhteensopivuus automaation kanssa	25
6.2.5	Paketin puristus	26
6.2.6	Urapuikkojen määrä	27

6.3	Prosessin positiiviset puolet	28
6.3.1	Urapuikot	28
6.3.2	Ladontajigien ohjauskiskot	28
6.3.3	Segmenttikehän ulkopinnan standardoidut koot	29
6.3.4	Laadun mittaus	30
6.4	Segmenttinippujen esipuristus	30
7	Ehdotukset staattoripakettien jigittömälle ladonnalle	32
7.1	Pyörivä alusta	32
7.2	Urapuikkoalusta	33
7.3	Urapuikkotarttuja	36
7.4	Säädettävä kiskoalusta	39
8	Urapuikkoalustan ja -tarttujan jatkojalostus	42
8.1	Säädettävät urapuikot	42
8.1.1	Leveyssuunnan säätäminen	43
8.1.2	Kehän säätäminen	48
8.2	Urapuikkoalusta sisäpuolisena tukena	51
8.3	Säädettävä urapuikkotarttuja	55
8.4	Segmenttien ladonta	57
8.4.1	Symmetristen segmenttien ladonta	57
8.4.2	Epäsymmetristen segmenttien ladonta	60
8.4.3	Staattoripaketin viimeistely	63
9	Tulokset ja päätelmät	65
9.1	Keskeiset tulokset	65
9.2	Työn arviointia	65
9.3	Jatkotutkimusaiheita	66
10	Yhteenveto	68
	Lähteet	70

1 Johdanto

1.1 Työn tausta

Insinööri työ tehtiin ABB Oy Motors and Generatorsin Helsingin Pitäjänmäen konetehtaan tuotannonkehitysyksikölle. Tehtaalla valmistetaan asiakkaalle räätälöityjä korkean hyötysuhteen sähkömoottoreita ja -generaattoreita. Työssä keskityttiin yhteen osaan suuremmasta automatisointiprojektista, joka tehdään yhdelle tehtaan komponenttivalmistusosastoista. Kyseisellä osastolla valmistetaan sähkökoneen toiminnalle tärkeiden staattorien runko eli staattoripaketti.

Staattoripaketit valmistetaan metallista latomalla eristettyjä ohutlevysegmenttejä työvaihetta varten tarkoitettuihin ladontajigeihin, joita staattorien koon vaihtelusta johtuen on osastolla useita kappaleita. Segmentit ladotaan manuaalisesti poimimalla aina käsin pieni nippu ohutlevysegmenttejä ja asettamalla ne ladontajigin sisäpinnalta löytyviin ohjauksiskoihin. Ladonta on toistuvaa sekä rasittavaa, minkä vuoksi työvaihe on päätetty automatisoida teollisuusrobottien suoritettavaksi.

Nykyiset ladontajigit tekevät prosessin automatisoinnista haastavaa, minkä takia ensimmäinen etappi automatisointiprojektissa on näiden korvaaminen. Ladontajigit vievät myös osaston pinta-alasta suuren osan ja niiden siirtely sitoo paljon nosturikapasiteettia.

1.2 Työn tavoitteet

Insinööri työn tavoite oli ideoida erilaisia tapoja lator segmenttistaattoripaketteja automaattisesti ilman nykyisiä ladontajigejä. Työ päätettiin aloittaa laatimalla kattava nykytilakartoitus ladontaosaston toiminnasta seuraamalla osaston toimintaa. Nykytilakartoitus tehtiin tuleva automatisointi mielessä pitäen ja siinä listattiin osaston positiiviset puolet sekä potentiaaliset kehityskohteet ladontaprosessin kannalta.

Päämääräksi asetettiin laatia nykytilakartoituksen perusteella segmenttistaattoripaketien jiggittömälle ladonnalle kolme erilaista ehdotusta, jotka voitaisiin esittää projektiryhmälle sekä projektia varten palkattujen insinööritoimistojen edustajille. Automaatiikan pääelementtinä ehdotuksissa tuli käyttää ABB:n omia teollisuusrobotteja.

2 ABB Oy

ABB on useilla eri teknologian ja teollisuuden aloilla toimiva suuryhtymä. Konsernin toimitusjohtajana toimii tällä hetkellä Ulrich Spiesshofer, ja pääkonttori sijaitsee Sveitsin Zürichissä. Yhtymä tarjoaa ratkaisuja teollisuusautomaatioon ja sähköverkkoihin sekä laajan valikoiman tuotteita sähköistyksestä robotteihin ja niiden liikkeenohjaukseen. Työntekijöitä ABB:llä on 100 eri maassa noin 135 000 henkilöä, joista Suomessa työskentelee noin 5100. (ABB 2017.)

Alkunsa ABB sai jo vuonna 1988, kun ruotsalainen ASEA sekä sveitsiläinen Brown Boveri yhdistyivät yhdeksi maailman suurimmista konserneista ja teollisen alan yhtiöistä. Suomessa ABB:n vahvat juuret juontavat Gottfrid Strömbergin Helsinkiin 1889 perustamaan sähkötekniiseen yhtiöön, joka kasvoi aikojen saatossa neljän miehen pyörittämästä sähkömoottoreita rakentavasta konepajasta suureksi Oy Strömberg Ab:ksi. Strömberg siirtyi ASEAlle vuonna 1986 ja toimi ABB-yhtymän muodostumisen yhteydessä perustetun Suomen tytäryhtiön ABB Oy:n ytimenä. (ABB 2017.)

Tuotekehitys ja tutkimus ovat ABB:n kulmakiviä. Yli 100-vuotisen historiansa aikana ABB on ollut vastuussa monien sähkövoima- ja automaatoratkaisuiden keksimisestä ja kehittämisestä. Uusia innovaatioita kehitetään edelleen muun muassa yhteistyössä yliopistojen kanssa. Vuonna 2015 Suomessa ABB investoi tuotekehitykseen 138 miljoonaa euroa. (ABB 2017.)

ABB Oy:n Motors and Generators -yksikkö panostaa korkean hyötysuhteen moottoreiden sekä generaattoreiden valmistamiseen, tutkimukseen ja tuotekehitykseen. Vaasan tehdas on vastuussa yhtiön pienjännitekoneiden valmistuksesta, kun taas Helsingin Pitäjänmäen tehtaalla valmistetaan ja kehitetään kestromagneettimoottoreita, dieselgeneraattoreita sekä korkeajännitemoottoreita. (ABB 2017.)

3 Sähkökoneet

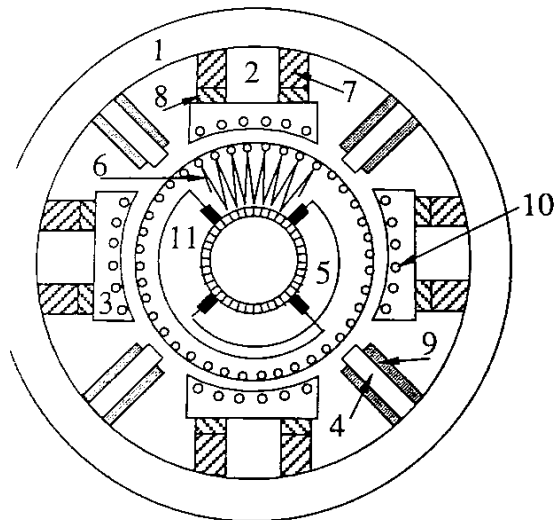
Sähkökoneella tarkoitetaan laitetta, jonka avulla sähkömagneettisesta voimasta tuotetaan mekaanista liikettä tai toisinpäin mekaanisella liikkeellä sähköä. Monimutkaisesta rakenteestaan huolimatta sähkökoneet ovat nykypäivänä osa arkielämää ja niiden käyttökohteiden määrä on suuri. Suurimpina sähkökoneiden markkinoina ovat teollisuuden eri alat, joihin lukeutuu muun muassa meri-, kaivos-, öljy-, kaasu- sekä kemikaaliteollisuus. (Hughes 1993: 1.)

Sähkökoneella tuotetaan normaalisti rotaatiota, minkä vuoksi sen toiminta perustuu kahteen pääkomponenttiin; koneen pyörivään osaan eli roottoriin sekä roottorin ympärillä paikoillaan olevaan staattoriin. Roottori asennetaan staattorin sisäpuolelle kiinnittämällä se molemmista päistä laakereilla staattoria ympäröivään runkoon. Lukuisten käyttökohteiden vuoksi sähkökoneesta on muodostettu erilaisia ja erikokoisia variaatioita, jotka toimivat hieman erilaisilla periaatteilla. Erilaisilla toimintaperiaatteilla toimivat sähkökoneet voidaan jakaa kahteen päätyyppiin; tasasähkökoneisiin ja vaihtosähkökoneisiin. Näiden päätyyppien lisäksi on myös erikoiskoneiksi kutsuttuja sähkökoneita. (Hughes 1993: 2.)

3.1 Tasasähkökoneet

1980-lukuun asti tasasähkökoneet olivat automaattinen valinta, kun käyttökohteessa vaadittiin pyörimisnopeuden ja väännön hallintaa. Vielä nykypäivänäkin kyseiset koneet kattavat suuren osan sähkökoneiden markkinasta kovaa tahtia kasvavasta muuntajilla varustettujen induktiomootoreiden määrästä huolimatta. Tasasähkökoneiden käyttökohteet vaihtelevat robottien ohjaimista teräksen valssaukseen, joka johtuu koneesta saatavan tehon suuren vaihteluvälin vuoksi. Koneiden tehot vaihtelevat muutamista wateista useisiin megawatteihin. (Hughes 1993: 80.)

Tasasähkömoottorin ja -generaattorin rakenteet ovat keskenään samanlaiset, minkä vuoksi samaa konetta voidaan käyttää sekä moottorina että generaattorina. Tasavirtakoneen rakenteen aktiiviset osat on numeroitu oheisessa kuvassa (kuva 1). (Aura & Tonteri, 1996: 267.)



Kuva 1. Tasasähkökoneen periaatteellinen rakenne sekä aktiiviset osat. 1. Kehä. 2. Päänavan rautasydän. 3. Napakenkä. 4. Kääntönavan rautasydän. 5. Ankkurin rautasydän. 6. Ankkurikäätymys. 7. Sivuvirtakäämitys. 8. Sarjakäämitys. 9. Kääntönapakäämitys. 10. Kompensointikäätymys. 11. Kommutaattori harjoineen. (Aura & Tonteri, 1996: 267.)

Magneettivuot muodostavat näissä koneissa tasamagneettikenttiä, minkä vuoksi koneiden kehät ja napojen rautaosat ovat täysrautaa. Napakengät tehdään joskus sähkölevystä siksi, että urituksesta johtuva magneettivuon vaihtelu aiheuttaisi niissä pienemmät rautahäviöt. Ankkurin, eli roottorin, rautasydän on tehty myös rautahäviöiden vuoksi sähkölevyistä, koska se joutuu pyörimään tasamagneettikentässä. (Aura & Tonteri 1996: 269.)

Magneettikenttä tasavirtakoneeseen muodostetaan sivuvirta- ja sarjakäämitysten avulla, minkä vuoksi kyseisiä osia kutsutaan magnetoitikäätymyksiksi. Sivuvirtakäämitys kytketään roottorin kanssa rinnan ja sarjakäämitys roottorin kanssa sarjaan. Ankkurikäätymykseen indusoituu tällöin vaihtosähkömotorinen jännite sen pyöriessä magnetoimiskäämitysten muodostamassa magneettikentässä. Koska roottoriin indusoituu vaihtojännite, on siihen syötettävä tasajännite vaihtosuunnattava. Tämä suoritetaan kommutaattorilla, joka harjoillaan muodostaa mekaanisen tasa-vaihtovirtasuuntaajan. Kääntönapakäämityksen tehtävänä on saada kommutaattori kommutoimaan kipinättömästi, jotta vältetään harjojen ja kommutaattorin vahingoittumiselta. Ankkuriin syötetyn virran muodostama ankkurikenttä tulee kompensoida eli kumota. Tämä tehdään kompensointikäätymyksellä, joka kytketään sarjaan ankkurikäätymyksen kanssa, mikä saa ankkurivirran kulkemaan sen kautta. Kyseisiä käämityksiä erilaisin tavoin käyttämällä tasasähkömoottoreita ja -generaattoreita voidaan muodostaa ominaisuuksiltaan erilaisia. (Aura & Tonteri 1996: 269.)

Yleisimpiä vaihtosähkökonetyyppejä ovat

- vierasmagnetoidut moottorit
- sivuvirtamoottorit
- sarjamoottorit
- yhdysvirtamoottorit.

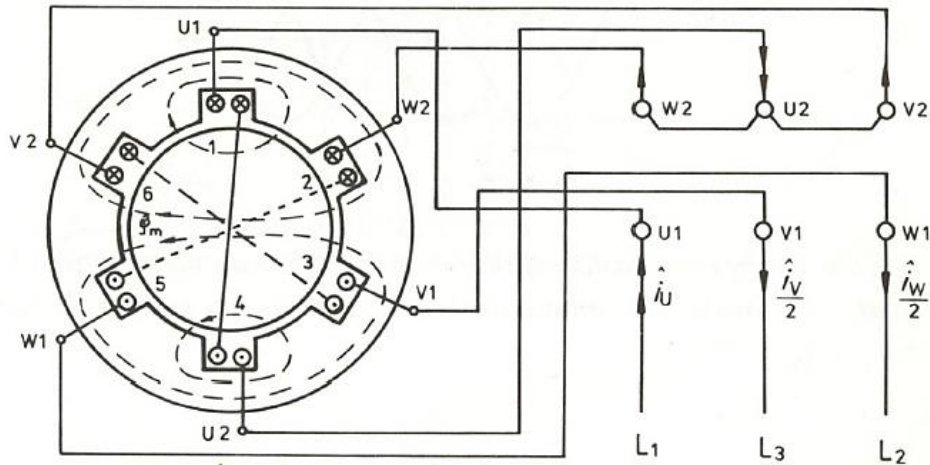
3.2 Vaihtosähkökoneet

Vaihtosähkökoneiden toimintaperiaate eroaa tasasähkökoneista siten, että pelkän roottorin pyörimisen sijaan koko koneen magneettikenttää pyöritetään. Magneettikenttää pyöritetään koneen staattoria ympäri, mikä saa roottorin sähkö- tai kestopagneetit seuraamaan kenttää saaden roottorin pyörimään akselinsa ympäri. Vaihtosähkökoneet voidaan jakaa tahtikoneisiin ja epätahtikoneisiin riippuen koneen roottorin sekä magneettikentän pyörimisnopeuden suhteesta. Tahtikoneissa roottori pyörii samaa tahtia magneettikentän kanssa, kun taas epätahtikoneissa roottori pyörii staattoria pitkin kiertävää magneettikenttää hitaammin eri tahdissa sen kanssa. (Korpinen 2007: 1.)

3.2.1 Pyörivä magneettikenttä

Kaikkia vaihtosähkökoneita yhdistävä pyörivä magneettikenttä tuotetaan eri konetyypeissä eri tavoin, muuttaen koneen käämityksiä. Esimerkkinä pyörivän magneettikentän toimintaperiaatteesta voidaan katsoa yleisimmän sähkökoneen, kolmivaiheisen oikosulkumoottorin, yksinkertaisinta käämitystä (kuva 2). Pyörivä magneettikenttä kehittyy kyseisissä koneissa itsestään ilman lisälaitteita sen symmetrisessä kolmivaihekäämityksessä kulkevan symmetrisen vaihtovirran toimesta. Yksinkertaisimmassa kolmivaihekäämityksessä on vain kuusi uraa eli kaksi uraa vaihetta kohti ja vaihekäämin muodostaa yksi vyyhti, jonka sivu on yhdessä urista. Käämitys kytketään tähtikytkentään liittämällä vaihekäämien loppupäät U_2 , V_2 , ja W_2 toisiinsa. Vaihekäämien alkupäät U_1 , V_1 , ja W_1 liitetään tämän jälkeen kolmivaihejohtoon L_1 , L_2 ja L_3 aiheuttaen sen, että käämityksen läpi alkaa kulkea kolmivaihevirta. Symmetrinen kolmivaihevirta johdettuna symmetriseen kolmivaihekäämitykseen synnyttää koneeseen vakiona pysyvän pyörivän magneettiken-

tän, koska magneettikenttä pyörähtää aina kohtisuoraan sen vaihekäämin tasoa vastaan, jossa kulkeva virta on huippuarvossaan. Magneettikentän pyörimisnopeus määrittyy staattoriin tulevan vaihtovirran sekä käämitysten napaluvun mukaan. (Aura & Tonteri 1996: 122.)



Kuva 2. Yksinkertaistettu kaaviollinen esitys vaihtosähkökoneen kolmivaihekäämityksen synnyttämästä pyörivästä magneettikentästä (Aura & Tonteri 1986).

3.2.2 Epätahtikoneet

Epätahtikone on vaihtosähkökone, jossa roottori pyörii eri nopeudella staattorikäämityksen muodostaman pyörivän magneettikentän kanssa eli epätahdissa (Aura & Tonteri 1996: 119). Epätahtikoneet voi rakenteiden mukaan jakaa vielä alaryhmiin.

Epätahtimoottoreita ovat

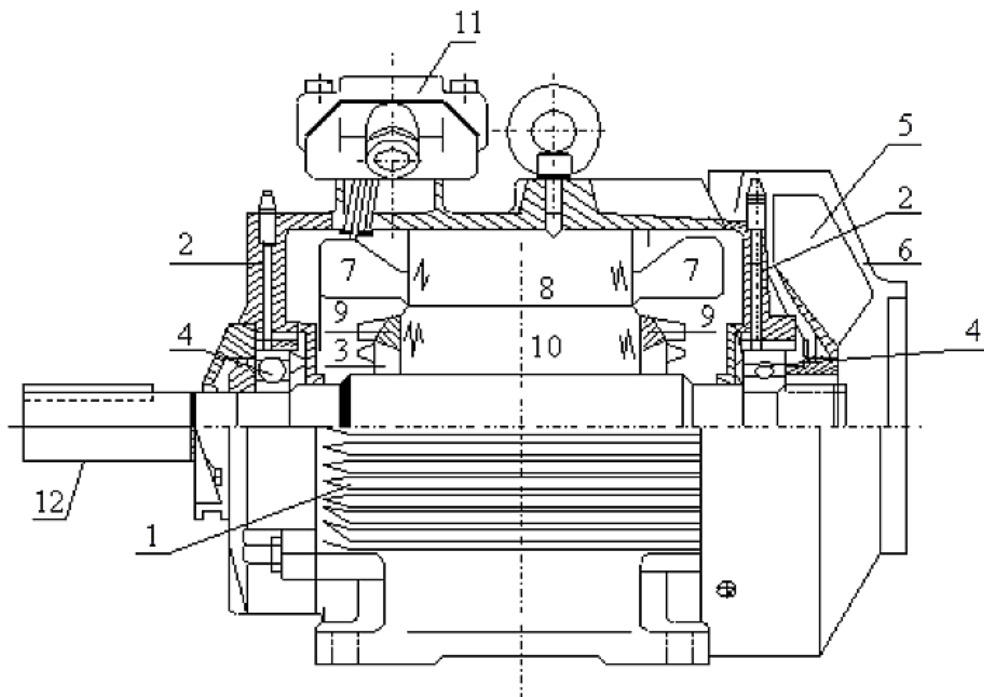
- komivaiheiset oikosulkumoottorit
- yksivaiheiset oikosulkumoottorit
- liukurengasmoottorit.

Epätahtigeneraattoreita ovat

- verkkomagnetoidut epätahtigeneraattorit
- kondensaattorimagnetoidut epätahtigeneraattorit.

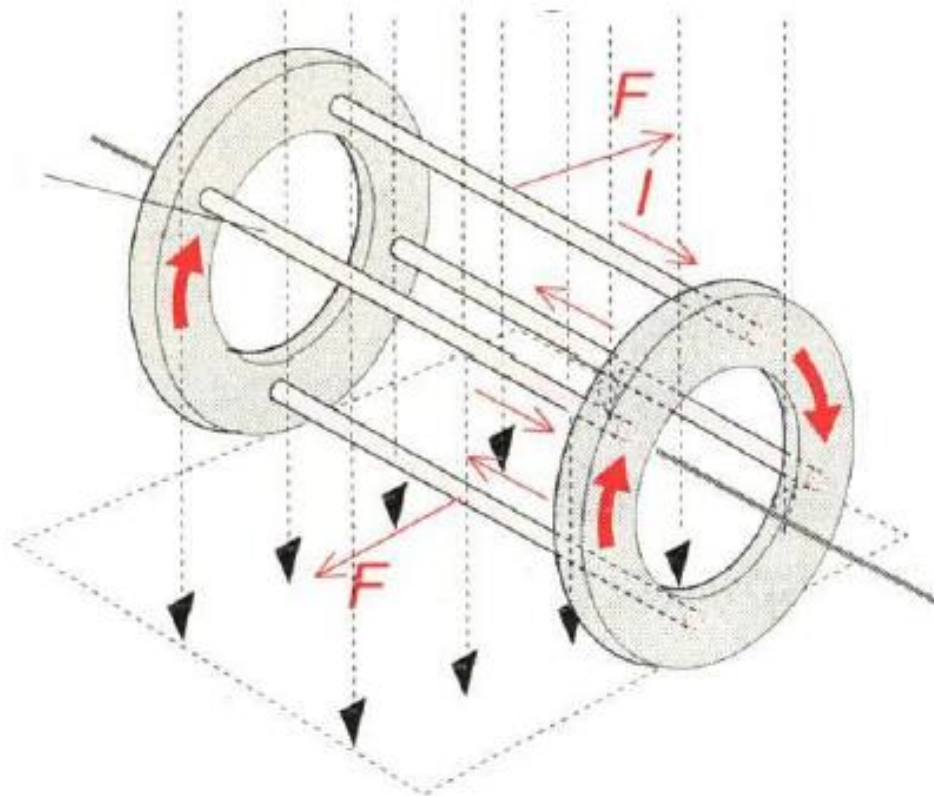
Eri epätahtikoneiden ryhmien rakenteiden eroavaisuuksista huolimatta koneen toiminnan kannalta tärkeimmät osat säilyvät samana kaikissa koneista. Rakenneperiaatteen tärkeimmät osat ovat nähtävissä oikosulkumoottorin kokoonpanopiirustuksesta (kuva 3). Kolmivaiheiset oikosulkumoottorit eli induktiomoottorit ovat kaikista sähkökoneista yleisimmin käytettyjä. Tämä johtuu oikosulkumoottorin muokattavuudesta sen toimintatarkoitukseen ja muihin sähkökoneisiin verrattuna yksinkertaisesta rakenteesta. Tasasähkökoneiden lailla oikosulkumoottori tuottaa momenttia roottorin aksiaalisten sähkövirtojen ja staattorin radiaalisen magneettikentän vuorovaikutuksen ansiosta. Sen sijaan, että tulovirta syötetään tasasähkökoneiden tapaan harjojen ja kommutaattorin kautta, momentin tuottava virta voidaan syöttää sähkömagneettisesti indusoimalla. (Hughes 1993: 152.)

Nopeuden säätöä vaatimattomissa käyttökohteissa oikosulkumoottorit ovat yleisimpiä. Moottorit voidaan kuitenkin nykyään optimoida taajuusmuuntajakäyttöille, joiden avulla pyörimisnopeus sekä tuotettu momentti ovat säädettävissä. Yleisimpiin käyttökohteisiin lukeutuvat muun muassa pumput, puhaltimet, kompressorit, kuljettimet sekä alusten ohjauspotkurit. (ABB 2017.)



Kuva 3. Kokoonpanopiirustus täysin suljetusta oikosulkumoottorista. 1. Staattorin runko. 2. Laakerikilvet. 3. Roottori. 4. Laakerit. 5. Tuuletin. 6. Tuulettimen suojaus. 7. Staattorin käämitys. 8. Staattorin levypaketti. 9. Roottorin käämitys. 10. Roottorin levypaketti. 11. Liitäntäkotelo. 12. Akseli. (Aura & Tonteri 1986.)

Epätahtimoottoreiden roottorin rakenteen mukaan kone määrittyy joko oikosulkumoottoriksi tai liukurengasmoottoriksi, mutta ylivoimaisesti eniten käytetty roottorirakenne on oikosulkumoottorille ominainen oikosulkuroottori (kuva 4). Oikosulkuroottori toimii sen häkkikäännin avulla, joka muodostuu eristämättömistä alumiini- tai kuparisauvoista, jotka juotetaan päistä kiinni oikosulkurenkaisiin. Käämit sijaitsevat normaalisti roottorin levypaketin ulkopinnalla, mutta ne voidaan sijoittaa myös paketin sisälle. Staattorin muodostama pyörivä sähkökenttä indusoi roottorin läpi kulkeviin sauvoihin jännitteen. Jännitteestä aiheutuva virta muodostaa sauvojen ympärille oman magneettikentän, joka staattorin muodostaman magneettikentän vaikutuksesta aiheuttaa roottoriin sitä pyörittävän momentin voiman. (Hughes 1993: 170.) Liukurengasroottorit ovat rakenteeltaan muuten samanlaisia, mutta käämitykset ovat koneen sisällä kytketty tähteen. Käämitysten vapaat päät on liitetty liukurenkaisiin, jotka ovat moottorin akselilla. Liukurenkaita pitkin laahaavat hiiliharjat, millä voidaan säätää käynnistyksen aikaista vääntömomenttia. Liukuroottoria käytetään ainoastaan, kun koneen käynnistysaika venyy liian pitkäksi oikosulkumoottorille, joka ei kestä siinä aiheutuvaa lämpölaajenemista ja tärinää. (Aura & Tonteri 1996: 167.)

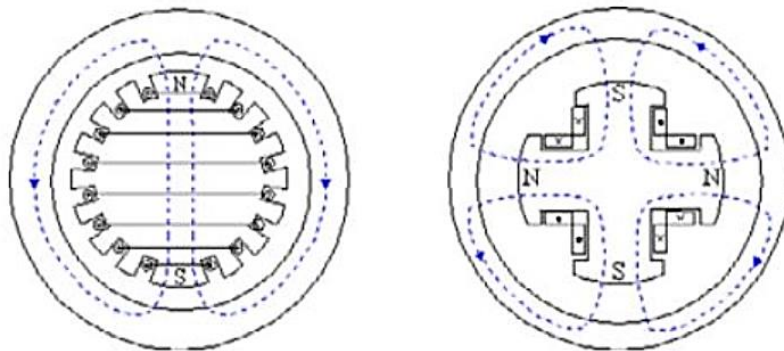


Kuva 4. Staattorin muodostaman pyörivän magneettikentän vaikutus häkkikäännittyyneen oikosulkuroottoriin (Ahoranta, 1995).

3.2.3 Tahtikoneet

Tahtikone on vaihtosähkökone, jonka roottori pyörii sen ympärillä olevan staattorin synnyttämän pyörivän magneettikentän kanssa samassa tahdissa. Suuret moottorit ovat yleensä tahtimoottoreita, koska ne ovat taloudellinen ratkaisu. Yleisin käyttökohde tahtikoneille on kuitenkin sähkön tuotantoon käytettävä tahtigeneraattori. Tahtigeneraattorien tehot voivat suurimmillaan olla jopa 1000 MVA. (Korpinen 2007: 2.)

Tahtikoneen staattorin rakenne ja kääminnät tehdään täysin samalla tavalla kuin epätahtikoneissakin. Sylinterimäisen häkkikäämityn roottorin sijaan roottori, jota tahtikoneiden kohdalla kutsutaan myös napapyöräksi, on joko umpi- tai avonaparakenteinen (kuva 5). Napojen ympärille käämitään magnetointikäämitys, joka on tyypillisesti lattakuparia tai muotolankaa. (Hietalahti 2011: 87.) Avonapaisia roottoreita käytetään normaalisti hitaissa tahtikoneissa ja umpinapaisissa nopeakäyntisissä koneissa (Aura & Tonteri 1996: 214). Tahtikoneiden roottorit eroavat epätahtikoneista myös niin, että niiden magnetointikäämitykset vaativat magnetointivirtaa, joka on tasavirtaa. Syötetty tasavirta synnyttää roottorin magneettinapaan pysyvän magneettivuon, vaikka roottori pyöriikin. Magneetikäämitykset voi korvata myös kestopagneeteilla. Magnetointivirran aiheuttama magneettivoao saa roottorin lukkiutumaan pyörivän magneettikentän mukaan ja saa ne kulkemaan tahdissa. Kun roottori ja magneettikenttä pyörivät samaa tahtia, kone pyörii vakio- pyörimisnopeudella taakan vaihtelusta huolimatta. (Hughes 1993: 294.)



Kuva 5. 2-napainen umpinaparoottori vasemmalla ja 4-napainen avonaparoottori oikealla sekä niiden käämintöjen muodostamat magneettikentät (Korpinen 2007: 2).

Tahtikoneen napapyörän pyöriessä avo- ja umpinapaisen roottorin lisäksi tahtikoneet jakautuvat vielä ankkurikäämin magnetoimismenetelmien mukaan harjallisiin sekä harjattomiin tahtikoneisiin. (Aura & Tonteri 1996: 217.)

Harjallisten tahtikoneiden tapauksessa magnetoimisvirta tuodaan hiiliharjojen ja teräksestä tai messingistä tehtyjen liukurenkaiden avulla pyörivään roottorikäämiin. Magnetointi voidaan suorittaa erillisellä vaihtosähkölähteellä tai pääkoneella, eli tahtikoneella. Säättäjä tasasuuntaa magnetointivirran ja se säädetään sopivaan arvoon. Magnetointi voidaan myös tehdä tuottamalla pääkoneen kanssa samalla akselilla olevalla magnetointigeneraattorilla tasasähköä tai liittämällä siihen erillinen tasasähkölähde. (Korpinen 2007: 3.)

Harjattomiin tahtikoneisiin liitetään magnetointikoneeksi erillinen ulkonapainen vaihtosähkögeneraattori. Ulkonapakoneen magneettinavat sijaitsevat sen staattorissa ja sen käämitys, johon lähdejännite indusoituu, on sen roottorissa. Tuotettu vaihtojännite tasasuunnataan tasajännitteeksi, joka synnyttää pääkoneen magnetoimiskäämiin magnetointivirran. (Aura & Tonteri 1996: 218.)

3.3 Erikoiskoneet

Tasa- ja vaihtosähkökoneissa on molemmissa omat hyvät ja huonot puolensa toisiinsa nähden. Tasasähkökoneiden helpompaa nopeuden säädettävyyttä haluttiin saada myös rakenteeltaan yksinkertaisempaan vaihtosähköä käyttävään oikosulkumoottoriin. Tästä syystä, ennen 1960-luvulla tapahtunutta läpimurtoa tehopuolijohdetekniikassa, kehitettiin useita erilaisia erikoiskoneita ja tasa- ja vaihtosähkökoneiden yhdistelmiä, joiden tarkoituksena oli ratkaista nopeuden säädön ongelmat. Tehopuolijohteiden kehitys on tehnyt mahdolliseksi yhdistää koneisiin hyötysuhteeltaan hyviä suuntaajia, minkä vuoksi useimpia erikoiskoneita pidetään nykyään vanhentuneina. Joitakin erikoiskoneita on kuitenkin nykypäivänäkin käytössä. (Aura & Tonteri 1996: 334.)

Yleisimpiä erikoiskoneita ovat

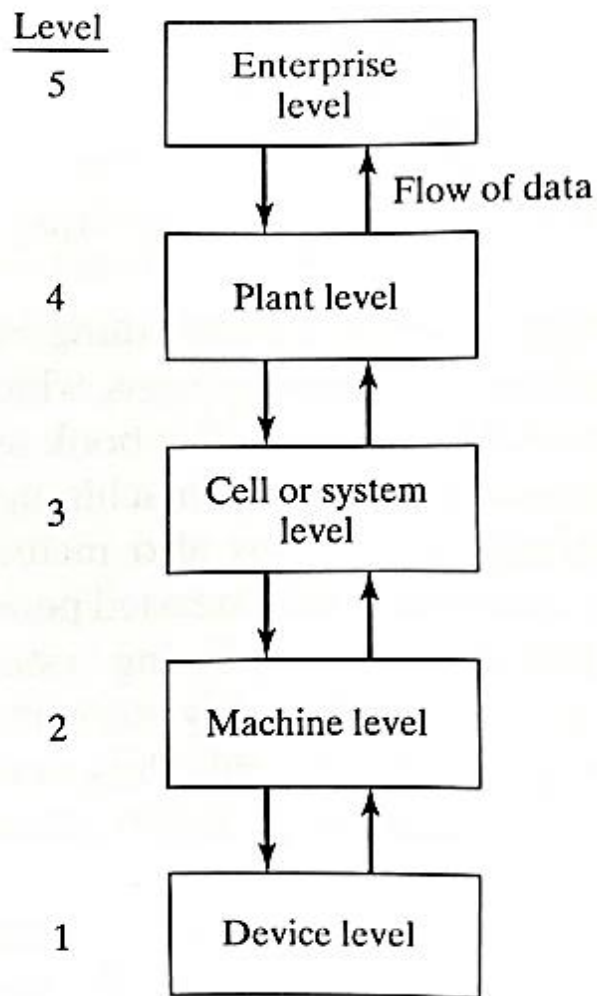
- reluktanssimoottorit
- jarrumoottorit
- lineaarimoottorit
- massiiviroottorikoneet.

4 Tuotantoautomaatio

4.1 Tuotantoautomaation tasot

Automaatiikkaa voidaan käyttää hyväksi tehtaan toiminnan useissa eri tasoissa. Usein automaatiikka yhdistetään vain yksittäisiin automaattisiin tuotantokoneisiin, mutta sen tasot ylettyvät tästä vielä pienempiin ja paljon suurempiin sovelluksiin. Automaattinen tuotantokone koostuu esimerkiksi sitä pienemmistä alajärjestelmistä, jotka voivat olla myös itsessään automatisoituja. Tuotantokone voi myös olla osa sitä suurempaa automaattista linjaa. Tuotantoautomaation eri tasot voidaan jakaa viiteen eri ryhmään (kuva 6):

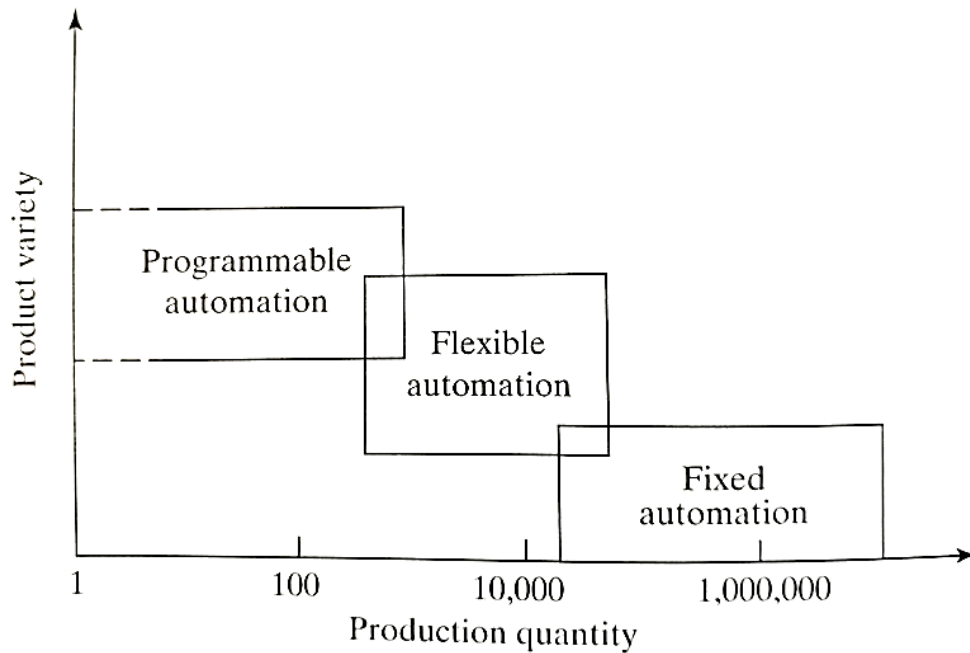
- Ensimmäinen taso on *toimilaitetaso*. Ryhmään kuuluvat yksittäiset automaattiset toimilaitteet, kuten sensorit ja aktuaattorit, joista koneet muodostetaan. Hyvä esimerkki tästä on robotin nivel, joka on automaattinen osa isompaa automaattista konetta.
- Toinen taso on *konetaso*. Ryhmään kuuluvat toimilaitteista muodostetut automaattiset koneet, kuten esimerkiksi robotit ja kuljettimet. Koska kone koostuu useammasta toimilaitteesta, vaaditaan sen ohjaamiseen useista eri askelista koostuva ohjelma.
- Kolmas taso on *solutaso*. Kun automaattisia koneita yhdistetään osallistumaan saman tuotteen valmistamiseen, saadaan aikaan tuotantosolu. Automaattiseen soluun lasketaan normaalisti mukaan koneiden lisäksi järjestelmä, joka tuo solulle materiaalia ja käsittelee solussa valmistetun tuotteen.
- Neljäs taso on *tehdastaso*. Tehdastason automaatiossa yrityksen järjestelmistä saatavien tietojen ja ohjeiden avulla tehtaan tuotantojärjestelmä osaa muodostaa tuotannolle toiminnallisen suunnitelman. Automatisoituja toimintoja voivat olla muun muassa laadunvalvonta, inventaarion hallinta, tilausten käsittely sekä materiaalien osto.
- Viides ja ylin taso on *yrittystaso*. Korkeimmassa automaation tasossa automatisoidaan koko yrityksen hallintaan liittyviä toimintoja. Näihin lukeutuvat tuotannon-ohjaus, markkinointi, tutkinta, myynti, kirjanpito sekä suunnittelu. (Groover 2008: 101.)



Kuva 6. Tuotannon automaation viisi astetta (Groover 2008: 101).

4.2 Tuotantoautomaation tyypit

Automaattisella tuotannolla tarkoitetaan tuotteen valmistamiseen vaadittavien työvaiheiden suorittamista vähennetyllä määrällä ihmisten osallistumista. Yleisimpiä automatisoituja toimintoja on tuotteen kokoonpano, tarkastus sekä käsittely. Tuotantojärjestelmien automatisointi voidaan luokitella ja jakaa laajuuden sekä tavan perusteella kolmeen eri ryhmään; kiinteä, joustava ja ohjelmoitava automaatio. Tuotteen valmistamiseen käytetyn automaation tyyppi valitaan yleisesti tuotannon määrän sekä sen vaihtelevuuden mukaan (kuva 7). (Groover 2008: 25.)



Kuva 7. Automaation kolme tyyppiä tuotannon määrän ja tuotteen vaihtelevuuden mukaan (Groover 2008: 26).

Kiinteässä automaatiossa prosessin vaiheet on muodostettu ja vakioitu tietylle tuotteelle. Tämä tarkoittaa sitä, että käytetyt toimilaitteet ja niiden työkierrot ovat joka kerta samat ja tehty tietyn kohteen käsittelyyn. Prosessin askeleet tehdään yleensä yksinkertaisiksi käyttäen pääosin lineaari- ja rotaatioliikkeitä. Kiinteää automaatiota käytetään, kun tuotteen tuotantoaste on niin suuri, että sen tuotantolinja maksaa itsensä takaisin järkevässä ajassa. Systemi vaatii mittatilaustyötä, mikä tekee siitä suuren investoinnin. (Groover 2008: 26.)

Joustavassa automaatiossa systeemillä pystytään valmistamaan useampaa erilaista versiota tuotteesta. Tämä johtuu siitä, että systeemi tehdään useammalle tuotteelle säädettäväksi esimerkiksi muuttamalla sen työkaluja tai koneen asetuksia. Joustava automaatio vaatii valmistettavilta tuotteilta kohtalaista tuotantoastetta, eivätkä tuotteet voi erota kovin paljoa toisistaan. Systemin pitää tässäkin tapauksessa olla tehty mittatilaustyönä. (Groover 2008: 27.)

Ohjelmoitavan automaation tapauksessa systeemi muodostetaan niin, että sillä kyetään valmistamaan suurta määrää toisistaan poikkeavia versioita tuotteesta. Systemin operaatioita ohjataan ohjelmalla, joka muodostuu koodatuista käskyistä. Käskyjä muutta-

malla voidaan muuttaa systeemin toimintoja. Systeemille voidaan siis ohjelmoida valmistettavaksi uusia variaatioita tuotteesta myös sen rakentamisen jälkeen luomalla uusia ohjelmia. Tämä tekee ohjelmoitavasta automaatiosta kannattavan koskien erityisesti tuotteita, joiden tuotantoaste ei ole suuri. Systeemin muuttaminen uutta tuotetta varten on hidasta, minkä vuoksi tuotteet valmistetaan usein suuremmissa erissä. Hyvä esimerkki ohjelmoitavasta automaatiosta ovat teollisuusrobotit. (Groover 2008: 26.)

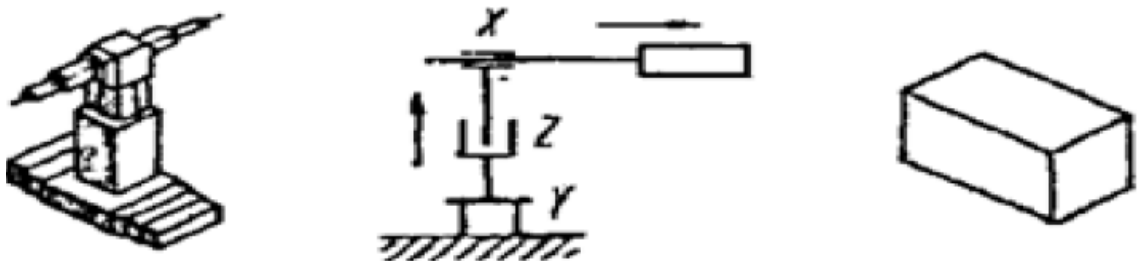
4.3 Teollisuusrobotit

Teollisuusroboteiksi määritellään standardin ISO 8373 mukaan teollisuuden sovelluksia varten suunniteltu vähintään kolminivelinen mekaaninen laite, jota voidaan ohjelmoida liikuttamaan kappaleita tai suorittamaan erilaisia tehtäviä. Liikeradat voidaan ohjelmoida robotille etukäteen tai ne voivat määrittyä liikkeen aikana erilaisten antureiden havaintojen perusteella. Teollisuusrobotit ovat monikäyttöisiä, koska ne voidaan uudelleenohjelmoida uusia käyttökohteita varten. (Lehtinen 2017: 1.)

4.3.1 Teollisuusrobotityypit

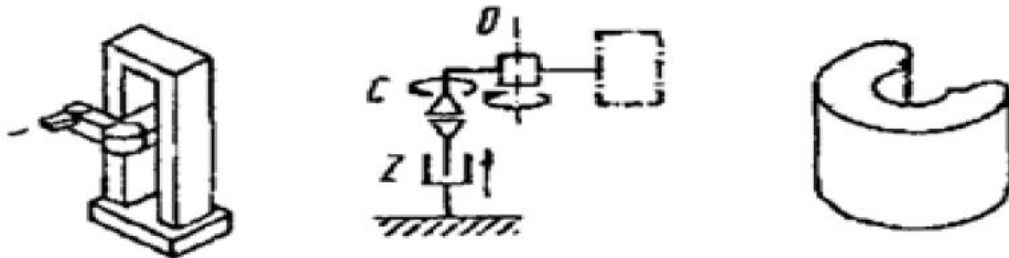
Teollisuusrobotit voidaan yleisesti jakaa eri luokkiin niiden käyttämän liikekoordinaatiston sekä niiden perusrakenteensa mukaan (Lehtinen 2017: 2). Yleisimpiä teollisuusrobotityyppejä ovat standardin ISO 8373 mukaan seuraavat:

- *Suorakulmaiset robotit* (kuva 8), joiden liikkeet suoritetaan pääosin lineaaristen vapausasteiden mukaisesti. Suorakulmaiset robotit tunnetaan usein myöskin nimellä portaalirobotti. (Groover 2008: 233.)



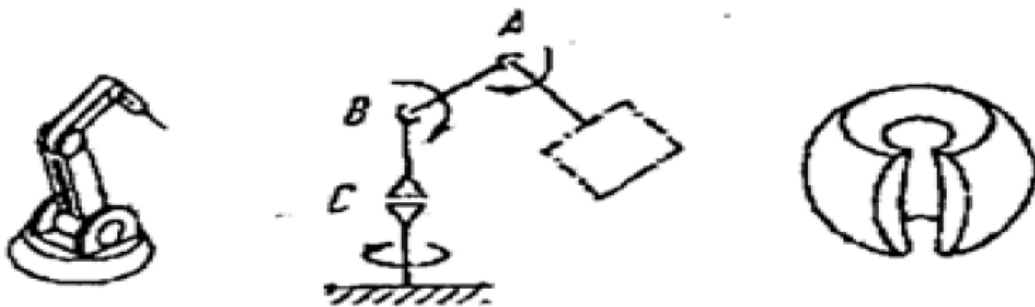
Kuva 8. Suorakulmaisen robotin rakenne vasemmalla, kinemaattinen kaavio keskellä sekä työalue oikealla (Kuivanen 1999: 12).

- *SCARA-robotit* (Selective Compliance Assembly Robot Arm) (kuva 9), jotka ovat kolmella kiertyvällä nivelellä ja pystysuuntaisella lineaarisella liikeradalla varustettuja kokoonpanorobottikäsiä. Pystysuuntaisen liikkeensä vuoksi kyseinen robottityyppi soveltuu hyvin kappaleiden poimimiseen sekä asettamiseen, jonka vuoksi se on yleinen kokoonpanosovelluksissa. (Groover 2008: 233.)



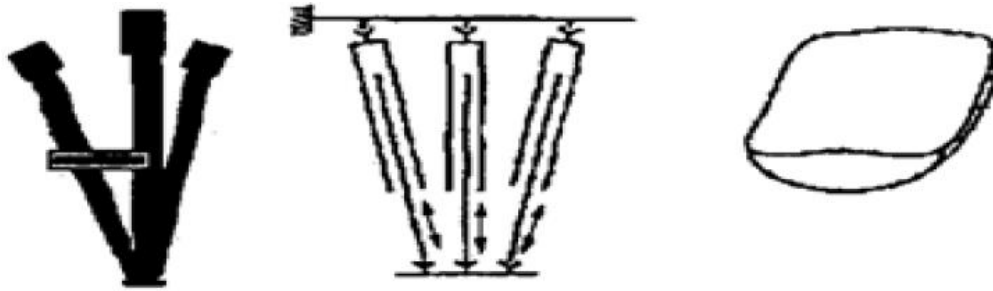
Kuva 9. SCARA-robotin rakenne vasemmalla, kinemaattinen kaavio keskellä sekä työalue oikealla (Kuivanen 1999: 12).

- *Kiertyväniveliset robotit* (kuva 10), jotka ovat ihmisen käsivartta muistuttavia useasta kiertyvillä nivelillä toisiinsa kiinnityvistä varsista koostuvia teollisuusrobotteja. Kyseisten robottien ulottuvuus on laaja, mutta niiden kuormankantokyky on peräkkäin kiinnitetyistä tukivarsista johtuen melko pieni. Kiertyvänivelinen robotti on monipuolisuutensa vuoksi yleisin teollisuusrobottityyppi. (Kuivanen 1999: 17.)



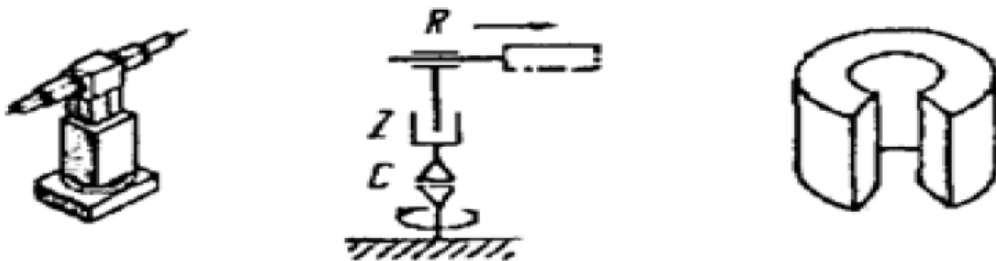
Kuva 10. Kiertyvänivelisen robotin rakenne vasemmalla, kinemaattinen kaavio keskellä sekä työalue oikealla (Kuivanen 1999: 12).

- *Rinnakkaisrakenteiset robotit* (kuva 11), joissa vapausasteet kytketään rinnakkain kiinni toisiinsa siten, että tukirakenteisiin kohdistuvat voimat jakautuvat tukien kesken. Koska voimat jakautuvat tukirakenteiden kesken, saavutetaan hyvä kantokyky käyttämällä muita robottityyppejä kevyempiä rakenteita. (Groover 2008: 233.) Erilaisia variaatioita kyseisistä roboteista voidaan muodostaa kytke-mällä niiden vapausasteita erilaisin tavoin ja muuttamalla niiden liikematkoja. (Kuivanen 1999: 16.)



Kuva 11. Rinnakkaisrakenteisen robotin rakenne vasemmalla, kinemaattinen kaavio keskellä sekä työalue oikealla (Kuivanen 1999: 12).

- *Sylinterirobotit* (kuva 12), jotka ovat kiertyvälle alustalle asennetuista lineaarisia liikkeitä tuottavista toimilaitteista koostuvia teollisuusrobotteja. (Groover 2008: 233.)



Kuva 12. Sylinterirobotin rakenne vasemmalla, kinemaattinen kaavio keskellä sekä työalue oikealla (Kuivanen 1999: 12).

4.3.2 Robottien tarttujat

Robotin tarttuja on osa, jolla käsiteltävän kappaleen suoranainen manipulointi tapahtuu. Koska tämä osa on yleensä kosketuksessa itse valmistettavaan tuotteeseen, sen on yksi automaattisen järjestelmän tärkeimmistä ja kriittisimmistä osista. (Kuivanen 1999: 60.) Käsiteltävien kappaleiden muodot sekä painot vaihtelevat paljon käyttökohteesta riippuen, minkä vuoksi tarttujat valmistetaan lähes aina mittatilaustyönä. Tarttujan suunnittelu aloitetaan aina käsiteltävästä kappaleesta määrittämällä, mikä tartuntatapa sopii sille parhaiten. (Monkman, Hesse, Steinmann & Shunk 2007: 36.) Tuotantoautomaatiossa käytettäviä erilaisia tarttujatyyppejä ovat seuraavat:

- *Mekaaniset tarttujat*, jotka koostuvat useimmiten kahdesta tai useammasta sormesta. Sormien liikkeitä ohjataan pneumaattisilla, sähköisillä tai hydraulisilla toimilaitteilla ja niillä tartutaan kappaleeseen sen ulko- tai sisäpuolelta joko kitka- tai

muotosulkeisesti. Tartuntamekanismi voidaan toteuttaa muun muassa nivelillä, hammaspyörillä tai ruuveilla, ja erilaisia mekaanisten tarttujen rakenteita on tästä syystä paljon erilaisia. Mekaanisilta tarttujilta vaaditaan suurta tarkkuutta tai joustavuutta, jotta ne eivät vahingoita käsiteltävää kappaletta. Kyseiset tarttumat soveltuvat parhaiten, kun käsiteltävien kappaleiden koot eivät vaihteile suuresti. (Kuivanen 1999: 60.)

- *Magneettiset tarttumat*, jotka ovat rautapitoisia kappaleita varten. Kappaleelta vaaditaan tasaista pintaa, josta tarttuminen voidaan suorittaa joko sähkömagneetilla tai erillisellä irrotusmekanismilla varustetulla kestopolymagneetilla. Koska tarttuma suoritetaan yhdeltä pinnalta, magneettisilla tarttujilla voidaan käsitellä hyvin erikokoisia kappaleita. Tarttujan magneetin nostovoimaan vaikuttaa magneettikentän voimakkuus, magneetin lämpötila, kappaleen ja magneetin välinen ilmarako sekä kappaleen materiaali ja muoto. Kestopolymagneettitarttuvia voidaan käyttää räjähdysherkissä käyttökohteissa toisin kuin sähkömagneettitarttuvia, mutta ne jättävät kappaleen sen irrotuksen jälkeen magneettiseksi. (Kuivanen 1999: 64.)
- *Alipainetarttumat*, joissa kappaleeseen tartutaan yleensä kumisilla tai muovisilla imukupeilla sen tasaisista pinnoista. Kappaleeseen tartutaan yleensä yhdeltä pinnalta ja siihen voidaan tarttua yhdellä tai useammalla imukupilla. Yhdeltä pinnalta tarttumisen vuoksi alipainetarttumat eivät ole magneettisten tarttujen tapaan kovin riippuvaisia käsiteltävän kappaleen koosta. Tartuntavoimaan voidaan vaikuttaa vaihtelemalla tarttujan imukuppien määrää, kokoa sekä imukuppien ja tartuttavan kappaleen välisen alipaineen suuruutta. (Kuivanen 1999: 63.)
- *Adhesiiviset tarttumat*, joissa käsiteltävään kappaleeseen tartutaan adhesiivisella aineella, kuten liimalla. Ei sovellu suurina toistomääriä vaativiin käyttökohteisiin, koska aineen tartuntavoima heikkenee toistojen myötä. Usein sähkökenttien avulla kappaleita manipuloivat tarttumat lasketaan myös tähän tyyppiin. (Monkman, Hesse, Steinmann & Shunk 2007: 36.)
- *Yksinkertaiset mekaaniset päät*, jotka ovat kiinteitä osia kuten koukkuja tai las-toja, joilla kappaleeseen ei varsinaisesti tartuta vaan se poimitaan. (Groover 2008: 239.)

Robotin tarttujan tartuntatapahtuma voidaan jakaa neljään eri vaiheeseen. Tartunnan ensimmäinen vaihe on tartuttavan kappaleen valmistelu tartuntaa varten. Valmistelulla tarkoitetaan tapaa, jolla kappale tuodaan tarttujalle. Toisessa vaiheessa suoritetaan itse tartunta kappaleeseen eli aiheutetaan robotin tarttujan sekä tartuttavan kappaleen kosketus. Kappaleeseen aiheutetaan tässä vaiheessa myös tartuntatavasta riippuva staattinen voima, jonka tulee olla tarpeeksi suuri kestämään kappaleen painon, mutta olla synnyttämättä muodonmuutoksia tähän. Kolmannessa vaiheessa kappale siirretään tarttujalla sen määränpäähän. Siirrossa kappaleeseen kohdistuu dynaamisia voimia, jotka tarttujan tulee myös kestää ilman, että kappale irtoaa. Neljännessä vaiheessa kappale vapautetaan tarttujasta sen määränpäähän. Tarttujan yksityiskohtaisempi suunnittelu voidaan toteuttaa edellä mainittujen vaiheiden pohjalta. (Monkman, Hesse, Steinmann & Shunk 2007: 36.)

5 Segmenttistaattoripaketin valmistus

Tarkasteltavalla osastolla valmistetaan vain vaihtosähkökoneiden staattoreita. Vaikka vaihtosähkökoneita on useita erilaisia tyyppejä, pysyy staattorin toimintaperiaate kaikissa samana. Tämän vuoksi staattorien rakenne pysyy myös samanlaisena. Osastolla valmistettavat levypaketit siis muistuttavat paljon toisiaan, mutta eri mittakaavoissa.

5.1 Ladontajigi

Nykyisen ladontatavan tärkeimpänä työkaluna toimii ladontajigi (kuva 13), joka valitaan ladonnan valmistelun vaiheessa valmistettavan sähkökoneen akselikorkeuden mukaan. Staattoripaketin valmistamisessa tämä kyseinen mitta määrittää paketin ulkohalkaisijan. Osastolla valmistetaan staattoripaketteja useille erikokoisille sähkökoneille, minkä takia ladontajigejä on myös useita. Jokaisen ladontajigin kylkeen on merkattu akselikorkeus sähkökoneelle, jonka staattoripaketille se on tarkoitettu. (P-ohjeisto 2017.)

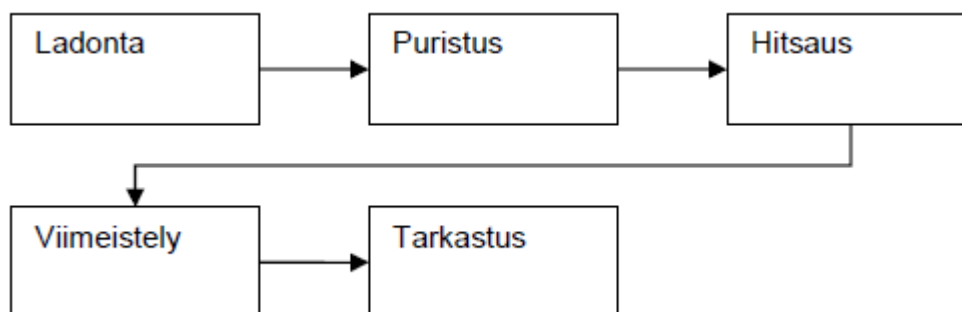


Kuva 13. Tietyin akselikorkeuden sähkökoneiden staattoripaketeille tarkoitettu ladontajigi.

Ladontajien toiminta perustuu niiden sisäpinnasta löytyviin ohjauskiskoihin. Kiskojen tehtävä on keskittää ladontajisiin ladotut ohutlevysegmentit samalle kehälle ja samaan kulmaan kuin muut ladotut kerrokset. Ladontajien kiskojen kuntoa pitää jatkuvasti tarkkailla, koska ne kuluvat käytössä ja joudutaan aika-ajoin vaihtamaan kokonaan uusiin. Jos niissä on ulkonevia kolhuja, ne hiotaan. Ohutlevysegmenttien ladontaa varten segmenttien ulkopintaan tehdään niiden valmistusvaiheessa ohjauskiskoille tarkoitetut lovet staattoripaketin ladontajien kiskojen sijainnin mukaan. Segmenttien tarkkaa keskitystä varten ladontajien ohjauskiskot ovat kiristettävissä jigin ulkopinnasta sen keskustaa kohti. Kun segmentit puristetaan kohti niiden muodostaman ympyrän keskustaa, saadaan paketista tiivis, eivätkä levyt pääse liikkumaan ladonnan aikana. (P-ohjeisto 2017.)

5.2 Työvaiheet

Staattoripaketin valmistus etenee prosessikaavion (kuva 14) mukaan ladonnasta puristukseen ja edelleen hitsaukseen. Hitsauksen jälkeen staattorin levypaketti viimeistellään ja toimitetaan seuraavaan työvaiheeseen. Viimeistelyn jälkeen suoritetaan ladotun staattoripaketin tarkastus ja pyöreiden mittaaminen. (P-ohjeisto 2017.)



Kuva 14. Ladonnan prosessikaavio (P-ohjeisto 2017).

Ennen staattorin levypaketin ladonnan aloittamista varmistetaan kyseisen työn tekemiskelpoisuus. Kaikki alihankinnasta tulevat osat sekä paketin valmistamiseen tarvittavat materiaalit tuodaan valmiiksi ladontapisteelle. Osien laadun pitää täyttää ohjeistuksen asettamat vaatimukset, eikä ladontaa aloiteta, jos tarvittavissa osissa havaitaan selkeitä ja mahdollisesti työn keskeytymiseen johtavia virheitä. Pienet korjattavissa olevat laatu- virheet dokumentoidaan ja korjataan ennen aloittamista. Ennen aloitusta varmistetaan myös valmistusdokumenttien ja kuvien saatavuus sekä niiden laatu. Työtä ei saa aloittaa virheellisillä tiedoilla. (P-ohjeisto 2017.)

Välineiden ja työkalujen tarve selvitetään etukäteen, jotta työ ei keskeydy tarpeettomasti. Ensisijaisesti selvitetään nosturien nostokapasiteetti ja varmistetaan, että se riittää kestämään valmiin staattoripaketin paino. Valitaan valmistettavan koneen akselikorkeuden mukaan ladontajigi, jonka tarkoituksena on toimia ohjurina ladottavalle staattoripaketille niin, että mittapoikkeamat säteen suunnassa pysyvät annettujen arvojen sisällä. Valittu ladontajigi asetetaan paikkaan, missä ladonta halutaan suorittaa. (P-ohjeisto 2017.)

Kun ladonnan valmistelu on suoritettu, aloitetaan segmenttien ladonta valittuun ladontajigiin. Ohutlevysegmentit ladotaan jigien ohjauksikokoihin usean levyn nipuissa, joiden paksuus pidetään koko ladonnan aikana samana. Segmenttiniput ladotaan aina limittäin verrattuna edellisen kerroksen nippuihin siten, että joka toiset kerrokset ovat sijoitettu toisiinsa nähden samoin. Normaalien ohutlevysegmenttikerroksien väliin ladotaan ajoittain kerros ilmasolalevyjä (kuva 15), jotka jättävät staattoripakettiin rakoja ilmanvaihtoa varten. Ilmasolalevyjen jakamia osuuksia levypaketista kutsutaan osapaketeiksi ja niiden pituudet määritetään suunnitteluvaiheessa. Ohutlevysegmenttinippuja ladotaan niin pitkään, kunnes levypaketti on saavuttanut halutun pituuden. (P-ohjeisto 2017.)



Kuva 15. Ilmasolalevy, jonka ilmasolatikut osoittavat ylöspäin.

Staattoripaketin sisäpinnalle ladonnassa muodostuneiden koneen käämeille tarkoitettujen urien pinnanlaadun kanssa ollaan erittäin tarkkoja. Ohutlevysegmenttien urien tulee olla täysin kohdallaan, tai niihin käämityksessä asetettavat vyyhdet voivat vahingoittua. Tämä varmistetaan urapuikoilla, joita asetetaan paketin uriin koko ladonnan ajan (kuva

16). Urapuikot valitaan ladontaa varten urien leveyden mukaan, joka on vaihtuva mitta ja riippuu valmistettavan koneen vaatimuksista. (P-ohjeisto 2017.)



Kuva 16. Urapuikkojen käyttö ladonnassa.

Jotta ladotusta levypaketista saadaan tiivis, se puristetaan hitsausta varten. Ladontajigi peittää paketin ulkopinnan, minkä takia puristus suoritetaan sen sisäpuolelta. Levypaketti nostetaan sen koosta riippuen joko lattiaan upotetun puristimen ympärille tai vaihtoehtoisesti ulkoinen liikutettavissa oleva puristin nostetaan paketin sisälle. Levypaketin hitsaus suoritetaan sen ollessa puristuksissa. Paketin pätyihin tulee puristusta varten sormi- tai puristusrenkas ja sen hitsausta varten pätyjen renkaat yhteen sitovat sidepalkit. Kun paketti on puristuksissa, sidepalkit asetetaan piirustusten määräämiin paikkoihin ja hitsataan kiinni pätyjen renkaisiin sekä levypaketin kylkeen. (P-ohjeisto 2017.)

6 Ladontaprosessin nykytilakartoitus

Paremmän käsityksen saamiseksi nykyisen ladontaprosessin kehittämisestä, on sitä tarkasteltava nykytilakartoituksen muodossa. Nykytilakartoitus tehtiin seuraamalla staattoriladonnan osaston toimintaa sekä keskustelemalla prosessista osaston työntekijöiden ja työnjohtajien kanssa. Lopputuloksena saatiin kuvaus ladontaprosessin työvaiheista sekä erittely kaikista nykyisen menetelmän positiivisista puolista ja kehityskohteista. Ladontaprosessin tuleva automatisointi otettiin huomioon työvaiheita tarkasteltaessa. Kehityskohteet ja positiiviset puolet otettiin jiggittömän ladonnan suunnittelussa mahdollisimman hyvin huomioon.

6.1 Ladonnan automatisointi

Staattorien levypakettien ladonta on toistuvaa sekä työntekijää rasittavaa työtä, mikä tekee siitä optimaalisen automaation kohteen. Käsiteltävien kappaleiden mittojen vaihtelevuuden automatisointiin tuottamien haasteiden vuoksi prosessi on nykyään vielä manuaalinen. Tahtotila automatisoinnille on kuitenkin suuri, minkä vuoksi se on päätetty toteuttaa. Työvaiheen automatisointia varten on hyvä määrittää etukäteen, minkälaista tuotantoautomaation tasoa sekä tyyppiä sen toteuttamiseen on parasta käyttää.

Automaattinen ladonta lukeutuu automaation tasoista tasolle 3, eli solutasolle. Ladontasolussa useampia automaattisia koneita, kuten ladontarobotteja sekä kuljettimia, yhdistetään valmistamaan samaa tuotetta. Ladonnan automaatiotason nostamista varten ylempään luokkaan tulisi muutoksia tehdä koko tehtaassa.

Staattorien levypaketit muistuttavat toisiaan niille tarkoitettusta koneesta riippumatta, mutta niiden mitat muuttuvat niin paljon, että niiden valmistamisen automatisointi kiinteänä tai joustavana on mahdotonta. Sähkökoneet tehdään asiakkaan toiveiden mukaan, minkä takia uusia variaatioita tuotteesta luodaan jatkuvasti. Ladonnan automatisoinnin tyyppin täytyy siis olla ohjelmoitava. Tällä tavoin pystytään valmistamaan myös uusilla mitoilla suunniteltuja staattoreita.

6.2 Prosessista löydetty kehityskohteet

Seuraamalla nykyistä ladontaprosessia ja keskustelemalla siitä osaston työntekijöiden sekä työnjohtajien kanssa löydettiin siitä työvaiheita ja yksityiskohtia, joita olisi hyvä kehittää. Mahdollisimman monia löydettyistä kehityskohteista tulee kehittää siirryttäessä uuteen ladontaprosessiin.

6.2.1 Työergonomia

Staattoripakettien ohutlevysegmenttien ladonta suoritetaan täysin manuaalisesti, minkä takia työntekijät joutuvat prosessissa koville. Staattoriladontaosaston latojat nostavat päivittäin todella suuria määriä ohutlevysegmenttinippuja paketin yläpuolella olevasta hyllystä paketin päälle. Tämä liike tulee pidemmän päälle raskaaksi muun muassa hartioille sekä olkanivelille. Olkapäävaivojen kaltaiset tuki- ja liikuntaelinten vaivat aiheuttavat usein poikkeuksellisen pitkiä sairauspoissaoloja, koska niiden parantuminen vaatii räsituksen lopettamista. Kulumaperäiset ongelmat eivät korjaannu muutamissa viikoissa, minkä vuoksi olkapäävaivojen ennaltaehkäisy on erityisen tärkeää.

6.2.2 Segmenttien keskitysmenetelmä

Ohutlevysegmenttien keskitys oikeaan kulmaan muihin segmentteihin verrattuna tehdään ladontajigien ohjauskiskojen avulla. Segmenttien ohjauskiskoille tarkoitetut urat urat tehdään ladontajigien kiskojen sijainnin mukaan. Jotta segmenttikerrokset saadaan ladottua limittäin ladontajigin kiskoihin siten, että niiden vyyhdeille tarkoitetut urat osuvat kohdalleen, joudutaan usein käyttämään yhden levypaketin ladontaan useita erilaisia segmenttejä. Jos segmenttien keskittäminen onnistuisi jollakin muulla tavalla ja ohjauskiskoille tarkoitettuja uria ei tarvitsisi enää tehdä segmentteihin, helpottaisi se prosessia ja sen valmistelua. Segmenttien erilaisella keskityksellä saataisiin mahdollisesti karsittua yhteen levypakettiin vaadittavien erilaisten segmenttien määrää. Koska staattoriladonnassa käytetyt ohutlevysegmentit valmistetaan samalla tehtaalla, helpottaisi erilaisten segmenttien tarpeen väheneminen myös muiden osastojen toimintaa. Ohjauskiskoille tarkoitettujen urien poistaminen toisi ohutlevysegmentteihin myös lisää materiaalia. Sähkölevyjen materiaalin määrä vaikuttaa koneen sähköisiin arvoihin, ja urien poisto voisi parantaa sen hyötysuhdetta marginaalisesti.

6.2.3 Ladontajigien viemä tila

Jokainen eri ulkohalkaisijan omaava staattoripaketti vaatii ladontaa varten kyseiselle halkaisijalle valmistetun ladontajigin ja paketin pituudesta riippuen myös jigien päätyihin liitettäviä jatko-osia. Staattoripaketit ovat itsessään jo melko kookkaita, ja ladontajigit ovat sille tarkoitettua pakettia vielä huomattavasti suurempia. Ladontajigit eivät useimmissa tapauksissa edes mahdu säilöttäväksi toisten jigien sisälle, joten yksi jigi vie usein oman päätynsä pinta-alan verran tilaa osastolta. Staattoriladonnan osaston pinta-alasta huomattavan suuri osa on erikokoisten ladontajigien hallinnassa, ja useimmat näistä eivät ole käytössä. Milloin tahansa voi tulla tilaus staattoripaketille, joka vaatii ladontaan yhden toimettomana osaston tilaa vievistä jigeistä. Näissä tapauksissa kyseisen ladontajigin on hyvä olla osastolla, minkä takia varastointi tehtaan ulkopuolella olisi epäkäytännöllistä. Lisäksi ladontajigien koosta johtuen niiden varastointi muualla olisi logistisesti haastavaa.

Sen sijaan, että jokaiselle erikokoiselle staattoripaketille on oma ladontajiginsä, olisi jigien parempi olla säädettävissä useammalle eri koolle. Jos ladontapiste olisi säädettävä, voisi kaikkien siihen sopivien levypakettien ladontajigit hävittää tai vähintään varastoida tehtaan ulkopuolelle. Säädettävä ladontapiste tulisi luultavasti olemaan kookkaampi kuin yksi ladontajigi, mutta se, että niitä tarvittaisiin vähemmän vapauttaisi silti tilaa osastolta.

6.2.4 Yhteensopivuus automaation kanssa

Ohutlevysegmenttiniput ladotaan ladontajigin sisäpinnan ohjauskiskoihin sen sisäpuolelta. Tämä tekee ladonnan automatisoimisesta, eli manuaalisen latomisen korvaamisesta segmentit latovalta teollisuusrobotilla, melko hankalaa. Robotin tulee ylettää latoon segmenttejä kaikkiin erikokoisiin ladontajigeihin, mikä vaatii siltä suurta kokoa, joten se ei mahtuisi toimimaan kaikkien jigien sisäpuolella. Tämä jättää vaihtoehdoiksi latoon segmentit ladontajigiin kurottamalla sen sisään robotilla joko sen yläpuolelta tai sen laitojen rakenteen aukoista. Ladontajigin yli kurottaminen vaatisi robotilta vielä huomattavasti parempaa ulottuvuutta, mikä tekisi ladontasolusta tarpeettoman suurikokoisen sekä epäkäytännöllisen. Ladonta jigien laitojen läpi taas vaatisi robotilta vaikeita ladontarutiineja, joiden ohjelmointi olisi haastavaa. Robotilla ladonnan tekisi huomattavasti helpommaksi, jos ladottavat segmentit tuettaisiin niiden ulkokehän sijasta paketin sisäpuolelta.

6.2.5 Paketin puristus

Levypaketit ladotaan yksittäisistä ohutlevysegmenteistä asettamalla näitä toistensa päälle. Segmenttien pinta-ala on todella suuri verrattuna niiden paksuuteen, ja tämän vuoksi niitä käsitellessä ne on mahdotonta saada pysymään täysin suorina. Hieman taipuneita segmenttejä päällekkäin latoessa kerrosten väliin jää tyhjää tilaa. Tämä tyhjä tila halutaan täyttää sähköä johtavalla materiaalilla staattorista saatavien sähköisien arvojen optimoimista varten, minkä takia tyhjä tila täytetään puristamalla levyt toisiaan vasten suoriksi.

Levypaketin paksuudesta johtuen puristuksiin tarvitaan suuret määrät voimaa, ja näihin voimiin pääsemiseen tarvitaan kookkaita puristimia. Ladontajigi on levypaketin ympärillä, minkä vuoksi puristus täytyy suorittaa paketin sisäpuolelta. Levypaketti täytyy nostaa puristusta varten siis puristimen ympärille tai puristin puolestaan paketin sisäpuolelle (kuva 17). Toimenpide on nostettavien kappaleiden kokojen ja painojen vuoksi aikaa vievä. Nostot vievät osaston nosturikapasiteettia, mikä voi aiheuttaa jopa muiden töiden seisahdumista puristukseen vaadittavien nostojen ajaksi.



Kuva 17. Siirrettävä puristin, jota nostetaan ladotun levypaketin sisäpuolelle siltanosturilla.

6.2.6 Urapuikkojen määrä

Urapuikot ovat oleellinen osa nykyistä ladontaprosessia ja niiden käyttö on välttämätöntä. Ladottavan levypaketin sisäpinnan vyyhdeille tarkoitetut urat, mihin urapuikot asetetaan, vaihtuvat kuitenkin kaikilta mitoiltaan konekohtaisesti riippuen koneelta vaadittavista sähköisistä arvoista. Kaikille erilaisille urien mitoituksille tulee kuitenkin olla niille sopivat puikot. Urapuikot on valmistettu kiinteästä metallista ja ne sopivat tämän vuoksi vain tietylle uran mitalle, jonka takia jokaiselle erilevyiselle uralle on valmistettu omat puikot. Erilaisten urien leveyksien vuoksi erikokoisille urapuikoille on varattu osastolta oma hylly (kuva 18). Hylly vie osastolta turhaa tilaa ja jos puikkojen tilalle suunniteltaisiin kaikille urien leveyksille sopiva ratkaisu, niin voisi osaston tilan käytön lisäksi itse ladontaprosessikin kehittyä. Tällöin olisi myös edellytykset latoa levypaketteja uudella urien mitoilla ilman, että joudutaan valmistamaan lisää työvälineitä.



Kuva 18. Erikokoisia urapuikkoja vaaditaan suuret määrät urien leveyden vaihtelevuuden vuoksi.

6.3 Prosessin positiiviset puolet

Nykytilakartoitusta tehtäessä saatiin hyvä käsitys myös nykyisen ladontaprosessin positiivisista yksityiskohdista sekä prosessille tärkeistä työvälaineistä ja -vaiheista. Mahdollisimman monia nykyisen prosessin positiivisia puolia tulee sisällyttää uuteen ladontaprosessiin tai hyödyntää niiden periaatteita uutta prosessia suunniteltaessa.

6.3.1 Urapuikot

Levypaketin sisäpinnalta löytyviin uriin asetetaan paketin valmistumisen jälkeisessä käämitysvaiheessa vyyhdet. Jotta vyyhdet saadaan vedettyä uran läpi ehjänä, on tärkeää, että segmentit ladotaan suoraan. Ohutlevysegmenttien reunat ovat teräviä ja jos kerros segmenttejä ladottaisiin vähänkään eri kulmaan verrattuna muihin kerroksiin, voisi vyyhti repeytyä uran reunasta pilkottavaan ohutlevyyn. Urien pinnanlaatu on asia, joka tulee ottaa uudessakin ladontatavassa tarkasti huomioon. Urapuikot tulee siis sisällyttää automatisoituun prosessiin tai korvata ne erilaisella ratkaisulla, joka ei heikennä ladonnan työn laatua. Ladonnan aikana puikkojen sivuihin kohdistuu melko suuria voimia, koska ne jäävät ladottujen segmenttikerroksien väliin puristuksiin. Urapuikot on valmistettu kiinteästä metallista, jonka vuoksi ne kestävät ladonnan aikana niihin kohdistuneet voimat ilman muodonmuutoksia. Uuden ladontaprosessin urapuikot tai niiden korvaava ratkaisu tulee olla suunniteltu myös kestäväksi nämä voimat.

6.3.2 Ladontajigien ohjauskiskot

Yksi jiggittömän ladonnan tavoitteista on keksiä ohutlevysegmenttien keskitykselle uusi tapa, mikä tekisi ohjauskiskoista ja niille tarkoitetuista segmenttien ulkokehän urista tarpeettomia. Kappaleessa 6.1.2, *Segmenttien keskitysmenetelmä*, käsitellyistä ohjauskiskoilla segmenttien keskittämisestä aiheutuvista haasteista huolimatta tulee ottaa huomioon mahdollisuus, että kiskokeskitys on automaattisen prosessin puolesta kannattavin vaihtoehto. Ladontajigien ohjauskiskoja käyttämällä levypaketista tulee todistetusti hyvän laatuista jälkeä. Ladontajigin ulkopinnassa on jigin tukirakenteiden läpi ohjauskiskoihinkiinnittyvät pultit (kuva 19), joita kiristämällä kiskoja saadaan ajettua jigin keskustaa kohti. Tämä on erittäin hyvä tapa pakottaa segmentit asettumaan toisiinsa kiinni mahdollisimman tiiviisti. Kiristämällä varmistetaan samalla, että ladotut segmentit eivät pääse vahingossakaan liikkumaan mihinkään suuntaan niille tarkoitettuun paikkaan.



Kuva 19. Ladontajigin ohjauskiskojen kiristyspultit (P-ohjeisto 2017).

6.3.3 Segmenttikehän ulkopinnan standardoidut koot

Tehtaalla valmistetut sähkömoottorit suunnitellaan tarkasti vastaamaan asiakkaan tarvetta. Saman akselikorkeuden omaavilta moottoreilta vaaditaan erilaisia tehoja riippuen niiden käyttötarkoituksesta, ja halutut sähköiset arvot määrittävät, minkälaiseksi staattoripaketin täytyy valmistaa. Vyyhdeille tarkoitettujen urien määrä, syvyys ja niiden väliset kulmat akseliin nähden vaihtelevat konekohtaisesti kuten vaihtelee myös urien välisten sormien päiden muodostama levypaketin sisähalkaisija. Staattoripaketin ladontaa sisäpuolelta tukeva alusta vaatisi siis säädettävyyden lukemattomia eri sisähalkaisijan mittoja varten. Mikäli paketin tukeminen halutaan suorittaa sisäpinnan uria käyttäen, vaaditaan siltä vielä enemmän säädettävyyttä. Alustan urista tukevien elementtien pitäisi akseliin kohtisuorassa olevan säädön lisäksi olla säädettävissä kehän suuntaisesti erilaisia urien kulmajakoja varten. Staattoripaketin ulkohalkaisija on kuitenkin jokaisessa tietyn akselikorkeuden omaavassa koneessa sama. Tämä tekee siitä staattoripaketin vähiten vaihtuvan mitan, ja tämä olisi hyvä hyödyntää uuden ladontatavan suunnittelussa. Ulkopinnan tuki edellyttää säädettävyyttä vain jokaiselle eri akselikorkeuden omaavalle paketille nykyisten ladontajigien tyyliin. Pienemmällä määrällä liikkuvia osia alusta saataisiin suunniteltua vahvemmaksi ja vähemmän virhealttiiksi.

6.3.4 Laadun mittaus

Levypaketin laatua tarkastellaan visuaalisesti sekä mitataan erilaisilla tavoilla läpi ladontaprosessin. Tällä tavoin varmistetaan, että jos tuotteen laatu on sallittujen rajojen ulkopuolella, niin korjaavia toimenpiteitä pystytään suorittamaan ajoissa. Automaattisen ladonnan tapauksessa laadun tarkastelu pitää saada säilymään vähintään samalla tasolla. Tarkastelu voidaan suorittaa automatisoidussakin prosessissa nykyisellä todistetusti toimivalla manuaalisella mittauksella. Automaattinen ladonta tulisi tässä tapauksessa ajoittain keskeyttää, jotta solun operaattori pääsee mittaamaan ja hyväksymään ladottavan tuotteen laadun. Laadun mittaus voidaan suorittaa myös automaattisesti lisäämällä prosessiin erilaisia mittatietoja antavia sensoreita. Sensoreiden tulisi mitaten todistaa vähintään, että ladottavan levypaketin pyöreys sekä pituus pysyvät määritettyjen rajojen sisäpuolella.

6.4 Segmenttinippujen esipuristus

Nykyisessä ladontaprosessissa ohutlevysegmentit ladotaan manuaalisesti usean segmentin nipussa ladontajigiin. Levypaketti koostuu tuhansista ohutlevykerroksista, ja mitä useampi kerros saadaan ladottua pakettiin yhdellä ladontaliikkeellä, sitä tehokkaampi prosessista saadaan. Automaattisen ladonnan eduksi olisi siis myös saada mahdollisimman paksu nippu segmenttejä ladottua yhdellä ladontarobotin liikkeellä. Ongelmaksi tässä kuitenkin nousee robotin kyky käsitellä useita irtonaisia ohutlevysegmenttejä kerralla. Ladonnan laadun kannalta robotilla latomiseen ainoaksi toimivaksi tavaksi on todettu segmenttien latominen yksi levy kerrallaan, mikä on myös melko haastavaa segmenttien pinta-alan ja paksuuden suhteen aiheuttaman herkän taipuvuuden vuoksi. Irtonaisten peltien robotilla käsittelyn haasteiden vuoksi päätettiin, että automaattista ladontasolua varten segmentit tuodaan usean valmiiksi toisiinsa kiinnitetyn ohutlevysegmenttikerroksen nippuina. Paketin ilmasolasegmenttikerrokset voidaan latoa myös valmiiksi näihin nippuihin. Tällä tavoin vältetään siltä, että joudutaan ajoittain tarttumaan robotilla muista käsiteltävistä kappaleista poikkeaviin yksittäisiin pelteihin.

Valmiiden nippujen avulla paremman käsiteltävyyden lisäksi saadaan myös ladontaprosessin puristusvaihe suurimmalta osin poistettua automaattisen solun tehtävistä. Esipuristetut segmenttiniput valmistetaan ennen niiden saapumista ladontaosastolle ja ne syötetään ladontarobotille helpommin käsiteltävinä kiinteämpinä nippuina. Nykyiseen tapaan segmenttikerrokset kiinnitetään toisiinsa niiden ollessa puristuksissa, mutta koska

tämä tapahtuu jo ennen osastolle saapumista, ladottu paketti ei vaadi oletettavasti enää nykyisen ladontaprosessin puristuksen kaltaisia voimia. Puristusvoimaa tarvittaisiin vain sen verran, että saataisiin esipuristettujen nippujen väliset välit puristettua pois sidepalkkien hitsausta varten.

Kaikki ladontajigittömän ladonnan mallit muodostettiin käyttäen 14 kerroksesta koostuvia kiinteitä nippuja. Todellisuudessa nipusta voidaan kuitenkin tehdä niin paksuja kuin valittu ladontarobotti kykenee nostamaan.

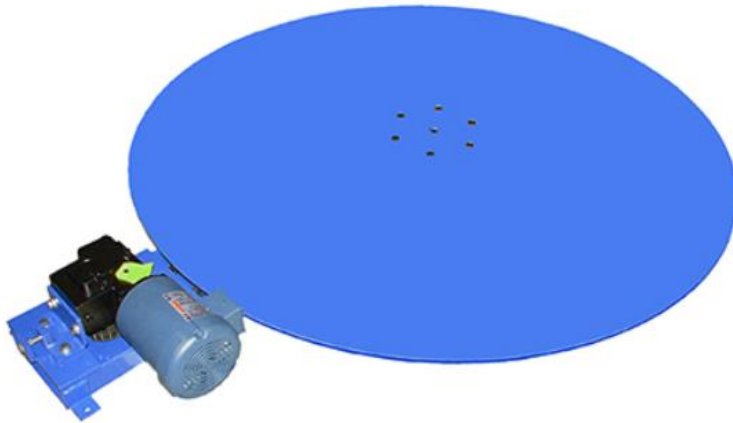
7 Ehdotukset staattoripakettien jigittömälle ladonnalle

Opinnäytetyön tavoitteena oli ideoida erilaisia tapoja toteuttaa automatisoitu ladonta ilman ladontajigijä. Kaikista vartenotettavista ratkaisuista muodostettiin karkeat 3D-mallit miettimättä niissä käytettäviä komponentteja tarkemmin. Koska ladontajigit korvaavan ratkaisun todettiin olevan liian haasteellinen kattamaan kaikki eri kokoiset staattorit, päätettiin, että järkevintä oli käsitellä ladontaa kahdessa eri kokoluokassa. Mallit on tästä johtuen luotu pienimmästä staattorikoosta keskimmäiseen kokoon asti. Suuremmasta akselikorkeuksien puolikkaasta ei muodostettu malleja, mutta ne voitaisiin toteuttaa vastaavalla tavalla.

Erilaiset ladontaideat supistettiin kolmeksi kokonaisuudeksi yhdistelemällä eri ominaisuuksia toisien niiden kanssa yhteensopivien ominaisuuksien kanssa. Ensimmäisissä malleissa keskityttiin enemmän segmenttien kehälle keskittämisen erilaisiin tapoihin. Nämä ideat esitettiin ladonnan automatisoinnin projektista vastaaville henkilöille. Projektin vastaavat esittivät mielipiteensä kaikista esitetyistä ideoista ja yhdessä päätettiin, kuinka malleja lähdetään jalostamaan pidemmälle.

7.1 Pyörivä alusta

Staattoripakettien suurista koista johtuen, niitä automaattisesti latova robotti on valittava ABB:n robottivalikoiman isommasta päästä. Robotin ulottuvuuden tarvetta saadaan kuitenkin pienennettyä joko asentamalla robotti ladottavan paketin ympäri kulkevalle alustalle tai lisäämällä ladottavia segmenttejä tukevaan elementtiin mekanismi, jolla se pysyy pyörimään akselinsa ympäri. Ladottavan tuotteen rotaatio akselinsa ympäri helpottaisi myös huomattavasti ladontarobotin työkiertojen luontia. Tällä tavoin robotti pystyisi latomaan segmentin aina kohtisuoraan levypaketin pintaa kohden pysyen itse samassa asemassa. Alustan pyörittäminen voisi tapahtua esimerkiksi anturoidulla servomoottorilla (kuva 20). Servomoottorin tulisi olla tarpeeksi vahva kestämään suurimman levypaketin aiheuttama hitausmomentti ja anturoinnin tarpeeksi tarkka, että alusta kääntyy tarkasti ladotun segmentin kulman verran seuraavan segmentin latomista varten. Tarkkuus riippuu siitä, kuinka vahvasti edellinen ladottu segmentti pysyy ladotulla paikallaan ja kuinka hyvin se kestää ohjaamaan seuraavaa segmenttiä sijoilleen.



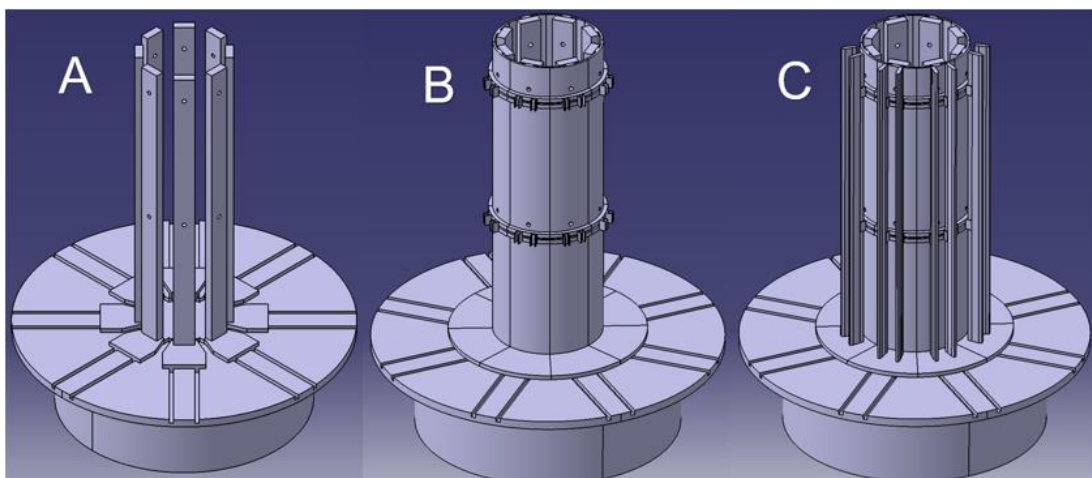
Kuva 20. Moottoroitu pyörivä alusta teollisuuskäyttöön (TPL Industrial Powered Turntables 2017).

7.2 Urapuikkoalusta

Urapuikkoalustan ideassa hyödynnettiin ladontaprosessin laadun kannalta tärkeitä urapuikkoja ladottavien segmenttien keskittämisessä. Urapuikkojen tai vaihtoehtoisesti niitä korvaavan menetelmän on joka tapauksessa oltava käytössä uudessa automatisoidussa ladontaprosessissakin. Urapuikkojen hyödyntäminen siis toisessakin prosessin vaatimassa tarkoituksessa voi vähentää ladonnassa tarvittavien erilaisten komponenttien määrää. Lisäksi, koska urapuikot ovat käytössä levypaketin sisäpinnalla, päästään paketin tuenta toteuttamaan toivotusti sen sisäpuolelta niiden avulla segmenttien keskittämisellä.

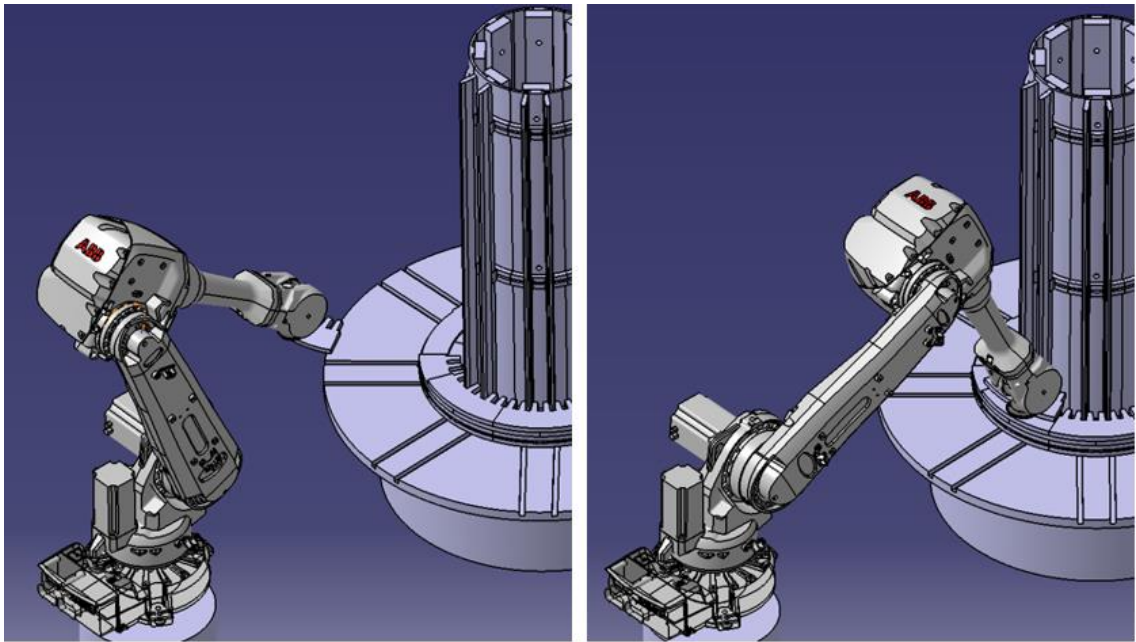
Segmentin sisäpinnan mitat vaihtelevat konekohtaisesti, minkä vuoksi urapuikkojen käyttö niiden keskittämisessä vaatii solulta todella paljon säädettävyyttä. Alustan säädettävyydessä huomioitavia segmenttien vaihtuvia ominaisuuksia ovat urien lukumäärä, leveys ja syvyys sekä sormien päiden muodostama paketin sisähalkaisija. Näiden vuoksi urapuikkojen tulee olla säädettävissä kehän suuntaisesti uran kulmalle, leveyssuunnassa uran leveydelle ja lisäksi myös kohtisuoraan kehän pintaan kohden uran syvyydelle.

Solulla ladottavien erikokoisten staattoripakettien mittojen eron vuoksi solulta vaadittava säteen suuntainen säädettävyys on niin suuri, että se on todella haastavaa toteuttaa ilman vaihdettavia osia. Toisen haasteen samaan asiaan luo ladottavan paketin sisäpinnan kaarevuuden muuttuminen. Segmenteillä olisi hyvä olla ladonnan aikana jyrkää vastetta urapuikkojenkin lisäksi, mutta mikäli tämä valmistettaisiin pienintä tuotteen sisäpinnan sädettä varten, ei se todennäköisesti isoimmissa tuotteissa pienen säteensä vuoksi tukisi ladottua segmenttiä ollenkaan. Tämän vuoksi urapuikkoalustan mallissa on vaihdettavat sisävasteet ladottavan staattoripaketin akselikorkeuden mukaan. Urapuikkoalustan halkaisijan säätö tapahtuisi sisävasteiden kiinnitysalustojen (kuva 21, kohta A) toimesta. Alustat liikkuisivat kiskoilla tai johteilla oikealle halkaisijalle, minkä jälkeen ladottavan tuotteen sisävaste (kuva 21, kohta B) kiinnitettäisiin siihen manuaalisesti. Säädettävyuden automaatiotaso sekä mekanismi on jätetty tässä mallissa auki. Vasteet mitoitettaisiin aina pienimmän kyseisen akselikorkeuden segmenttien sormien päiden muodostaman sisähalkaisijan mukaan, jotta muut saman konetyypin segmentit sopivat samaan vasteeseen. Vasteita valmistettaisiin nykyisten ladontajigien tapaan yhdet koot jokaiselle eri akselikorkeudelle. Ladonnan aikana vasteet, jotka eivät ole käytössä, voidaan varastoida osaston laidalle sisäkkäin säästää huomattavasti tilaa verrattuna nykyisiin ladontajigeihin. Säädettävyys urien kulmien mukaan tapahtuisi sisävasteen ulkopinnassa olevan kaarevan kiskon tai johteen avulla, johon on kiinnitettävissä liitin urapuikoille (kuva 21, kohta B). Liittimien lukumäärä määrittäisi sen mukaan, kuinka monella urapuikolla yksi segmentti on tarve tukea ladonnan aikana (kuva 21, kohta C). Urien syvyydelle ja leveydelle säätö tapahtuisi liittimiin kiinnitettyjen urapuikkojen avulla. Urapuikko valittaisiin nykyisen uran leveyden mukaan valitsemisen lisäksi myös uran syvyyden mukaan, jotta segmentti keskittyy oikealle kehälle.



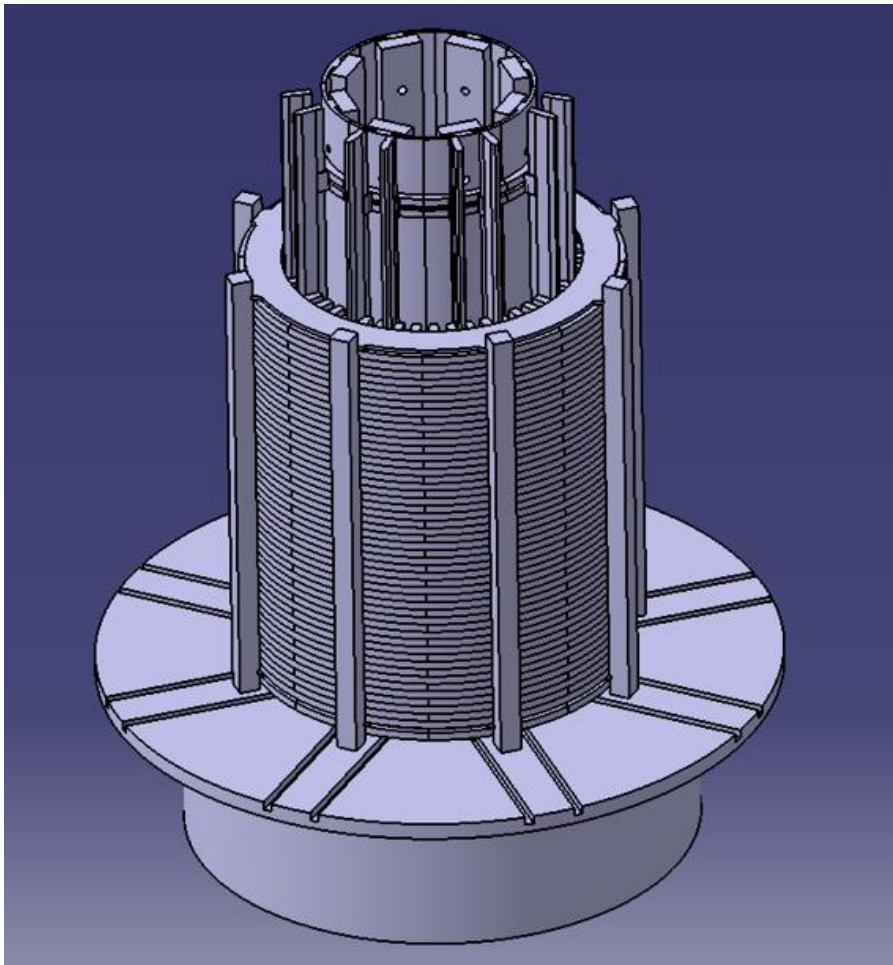
Kuva 21. Urapuikkoalustan osat.

Sisäpuolisesti tuettu staattoripaketti tuo automaattiselle ladonnalle (kuva 22) paljon vaihteluja ulkopuoliseen tuentaan verrattuna, koska ladottavalta robotilta vaaditaan huomattavasti vähemmän ulottuvuutta. Malleja varten robotiksi valittiin ABB:n kiertyväniveli-robotin IRB 4600 -teollisuusrobotti, jonka ulottuvuuden katsottiin olevan riittävä pakettien säteen vaihtelulle. Koska kaikki säädöt eri kokoisille staattoripaketeille tapahtuvat urapuikkoalustalla paketin sisäpuolella, robotin ohjelmat pystytään pitämään melko yksinkertaisina. Robotin ladontaohjelma parhaissa tapauksissa määrittyy pelkästään ladottavan segmentin ulkohalkaisijan mukaan, jolloin ohjelmia täytyy luoda vain jokaiselle eri akselikorkeudelle.



Kuva 22. Automaattinen ladonta urapuikkoalustaan.

Paketin tuenta sisäpuolelta ladonnan aikana tekee sidepalkkien tuomisen prosessiin mukaan vaikeaksi ennen paketin tavoitepituuden saavuttamista. Jos sidepalkki laitetaan paikoilleen jo ladonnan aikana, robotti ei pääse latomaan segmenttiä urapuikkoon kohtisuoraan sen pintaa vasten vaan joutuu nostamaan sen sidepalkin yli ja pujottamaan sen sieltä edelliseen segmenttikerrokseen asti. Järkevintä olisi ladata levy paketti sen tavoitepituuteen, tuoda yläpäädyn puristuslevy paikoilleen ja hitsata sidepalkit vasta tämän jälkeen kiinni paketin ulkopintaan (kuva 23). Sidepalkkien hitsauksen jälkeen staattoripaketti olisi valmis nostettavaksi pois alustasta.



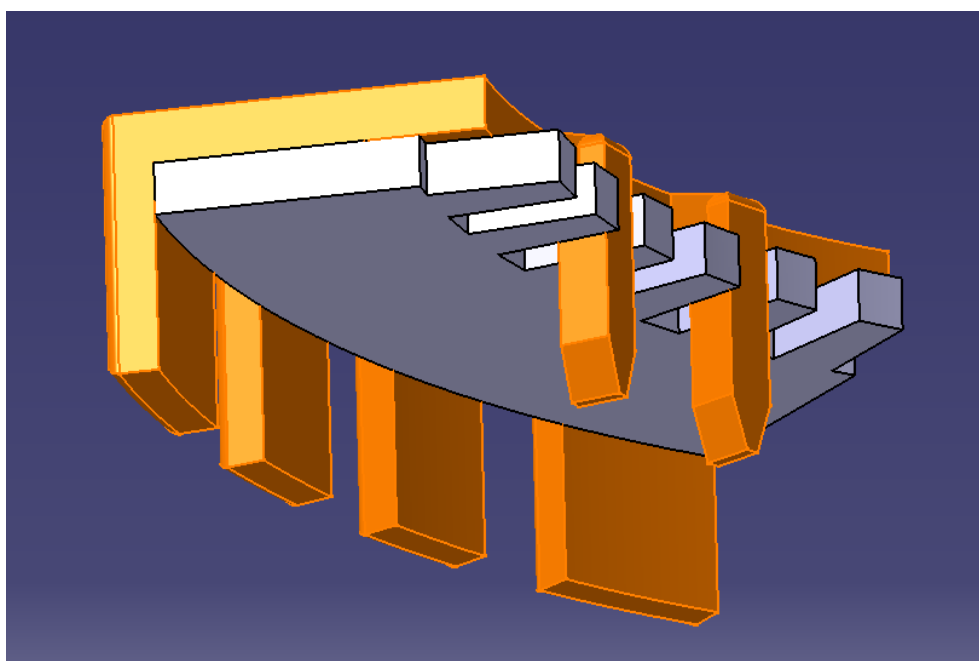
Kuva 23. Sidepalkit hitsattuna kiinni urapuikkoalustaan ladottuun levypakettiin.

7.3 Urapuikkotarttuja

Urapuikkotarttujan ideassa ladottavien segmenttien keskittäminen yhdistetään robotin tartuntatapahtumaan. Tartuntatapahtuma voidaan yleisesti jakaa neljään eri vaiheeseen, joiden perusteella tarttujan suunnittelu voidaan suorittaa. Tartunnan ensimmäinen vaihe on tartuttavan segmentin valmistelu tartuntaa varten. Valmistelulla tarkoitetaan tapaa sekä asentoa, jolla ladottava segmentti tuodaan tarttujalle. Toisessa vaiheessa suoritetaan itse tartunta segmenttiin eli aiheutetaan robotin tarttujan sekä tartuttavan segmentin välinen kosketus. Käsiteltävään segmenttiin aiheutetaan toisessa vaiheessa myös tartuntatavasta riippuva staattinen voima, jonka tulee olla tarpeeksi suuri kestämään segmentin painon, mutta olla synnyttämättä minkäänlaisia laatuun vaikuttavia muodonmuutoksia tähän. Kolmannessa vaiheessa segmentti siirretään tarttujalla sen määränpäähän eli edellisten ladottujen kerrosten päälle. Siirrossa segmentteihin kohdistuu dynaamisia

voimia, jotka tarttujan tulee myös kestää ilman, että segmentti irtoaa. Neljännessä vaiheessa segmentti vapautetaan tarttujasta pakettin päälle. Vapautuksen tulee tapahtua niin, että edelliset ladotut kerrokset eivät liiku tarttujaa ylös nostaessa.

Segmenttien latominen yksittäisten sähkölevyepeltien sijaan paksumpina esipuristettuina kiinteinä nippuina herätti kysymyksen ladonnan aikaisen tuennan tarpeesta. Esipuristettujen nippujen laadusta riippuen on mahdollisuus, että automaattinen ladonta voitaisiin toteuttaa ilman tuentaa pakettin sisä- tai ulkopinnasta. Pelkkä segmentit keskittävä elementti voisi riittää. Urapuikkotarttujan malli (kuva 24) suunniteltiin kyseistä mahdollisuutta varten.

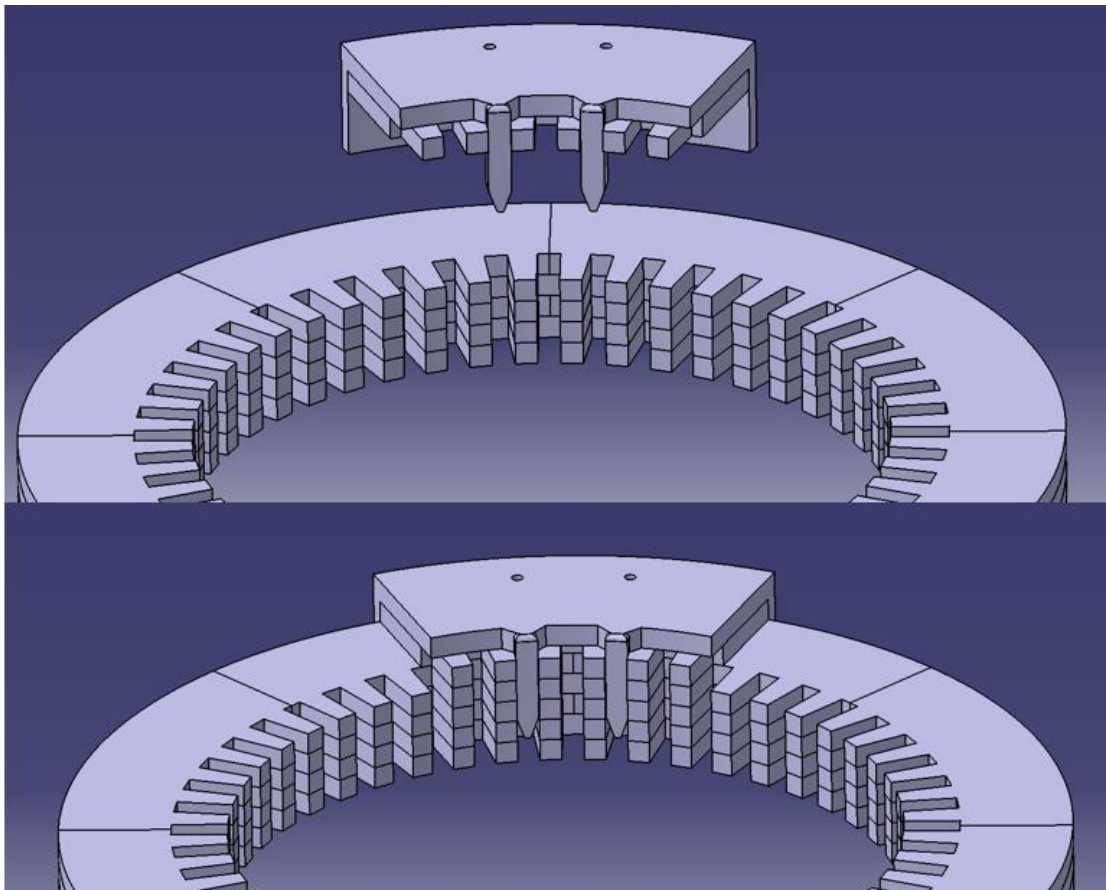


Kuva 24. Segmentti urapuikkotarttujassa.

Keskittävänä elementtinä toimivat tässäkin mallissa ladonnan laadun kannalta tärkeät urapuikot. Urapuikot on kuitenkin alustan sijaan yhdistetty robotin tarttujaan, jolla segmentit ladotaan pakan päälle. Yhdistämällä nämä kaksi automaattiselle ladontaprosessille välttämätöntä välinettä saadaan vähennettyä työvaiheita ja ladontasolun osien määrää. Segmentin asemointi oikealle paikalle edelliseen kerrokseen nähden tapahtuisi tarttujan takalaidan kaaren avulla sekä etuosaan kiinnitettyjen urapuikkojen avulla (kuva 25). Molemmat elementit mitoitettaisiin osumaan tarttujassa olevan segmentin lisäksi myös seuraaviin jo ladottuihin kerroksiin, ja alempien kerroksien avulla tarttuja ohjautuisi oikeaan asemaan. Tämä edellyttää ladotuilta segmenttikerroksilta kuitenkin sitä, että ne

pysyvät asemassaan melko sitkeästi eivätkä liiku seuraavaa kerrosta ladottaessa. Mikäli tämä ei tapahdu pelkästään segmenttien painon ja niiden välisen kitkan toimesta, prosessiin pitäisi lisätä esimerkiksi hitsaus jokaisen segmentin ladonnan yhteyteen.

Tarttuvia valmistettaisiin segmenttien mittojen mukaan. Takalaidan kaarevuuden mitoittaminen on yksinkertaista, sillä kyseinen mitta vaihtuu vain akselikorkeuden mukaan. Urapuikot ovat kuitenkin haastavampi osuus. Jos tarttujaa ei haluta valmistaa erikseen jokaista erilaista staattoripakettia varten, tulee urapuikkojen olla joko vaihdettavissa tai säädettävissä. Urien paksuus vaihtelee konekohtaisesti, joten tarttujan urapuikot tulee olla mahdollista irrottaa ja vaihtaa erikokoisiin tai vaihtoehtoisesti olla säädettävissä eri paksuudelle. Urien määrä ja kulma paketin keskipisteeseen nähden vaihtelee myös, joten urapuikkojen kulman pitäisi olla myös säädettävissä niiden kiinnityskohtan kaaren suuntaisesti. Segmenttiin tarttuminen tapahtuisi joko mekaanisesti, magneettisesti tai yhdistämällä molemmat tartuntatavat.

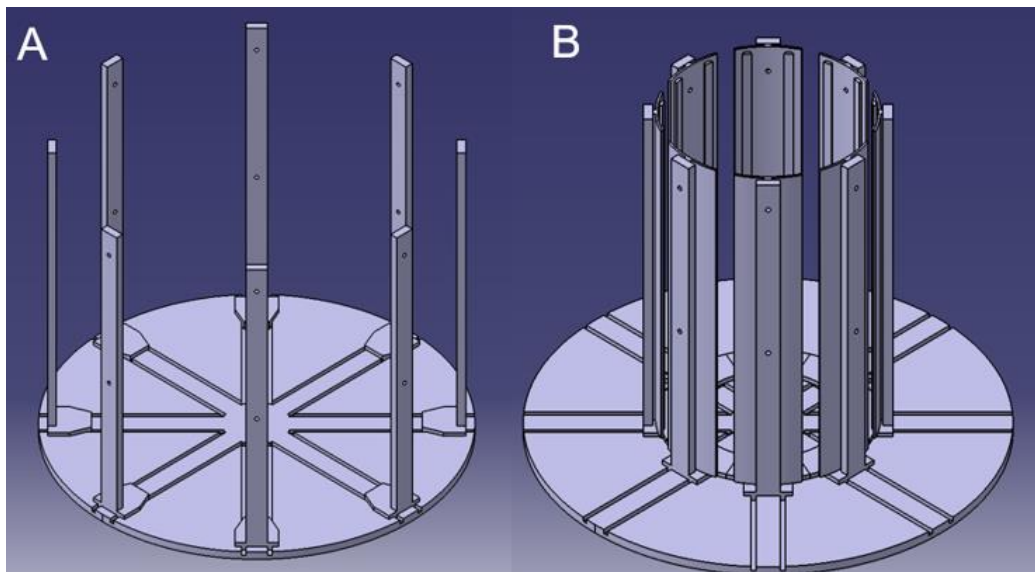


Kuva 25. Ladonta urapuikotarttujalla. Uuden kerroksen segmentti keskittyy oikealle kehälle aiempien ladottujen kerroksien mukaan.

7.4 Säädetty kiskoalusta

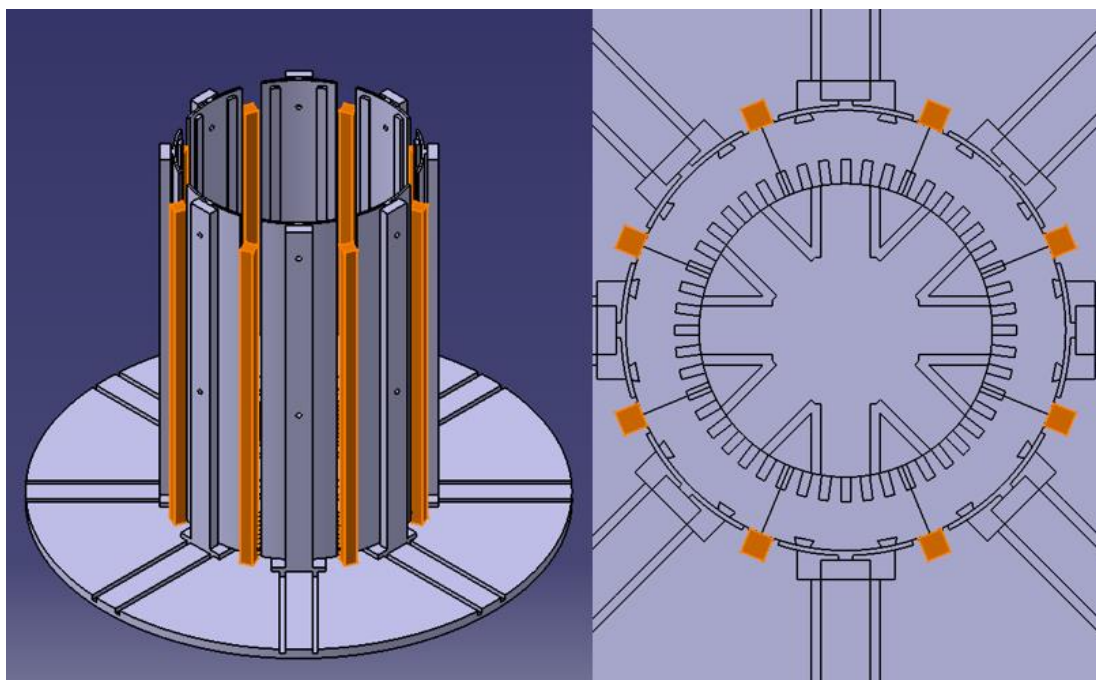
Nykyinen tapa ladata segmenttistaattoripaketteja keskittämällä segmentit paketin ulkopinnasta ohjauskiskojen avulla on ollut käytössä jo useita vuosia. Kyseinen ladontatapa on siis todistetusti toimiva, ja tällä tavalla ladottujen pakettien laatu on erittäin hyvää. Tästä syystä segmenttien keskittämistä ohjauskiskojen avulla tuli harkita myös automaattisen ladontasolun yhteyteen. Ohjauskiskoille tarkoitettuista segmenttien lovista ei päästäisi tällä tavoin eroon kuten toivotaan, mutta kiskoilla levypaketista saataisiin kiristettyä tiivis sekä laadukas tuote. Nykyisessä menetelmässä jokaiselle eri akselikorkuiselle staattoripaketille on osastolla siis oma ladontajigi, joka vie osaston pinta-alasta turhaa tilaa sen ollessa käyttämättömänä.

Jigien viemän tilan tuomat ongelmat mielessä syntyi ajatus säädettyä kiskoalustasta. Urapiikkoalustan tapaan alustan säädettyvyys tapahtuisi siihen kiinnitettyjen kiskoja tai johteita pitkin kulkevien kiinnitysalustojen liikkeellä (kuva 26, kohta A). Keskittävänä elementtinä taas toimisi alustoihin kiinnitettävät ohjauskiskolliset jigilohkot, jotka olisivat käytännössä kuin segmentti nykyisistä ladontajigeistä (kuva 26, kohta B). Koska paketin ulkopinta vaihtelee akselikorkeuden mukaan, tulisi jigijä valmistaa yksi kehä jokaista konetyyppiä varten. Ladonnan aikana jigit, jotka eivät ole käytössä voitaisiin varastoida sisäkkäin, jolloin ne veisivät huomattavasti vähemmän tilaa kuin nykyiset ladontajigit. Ladottavan tuotteen jigisegmentit kiinnitettäisiin alustoihin ja alustat ajettaisiin oikealle kaarelle. Säädettyvyyden automaatiotasoa ja menetelmä on jätetty mallissa auki.



Kuva 26. Säädetty kiskoalustan kokoonpano.

Yksi suuri etu ladottavan paketin tukemisessa sen ulkopinnasta on se, että staattorin sidepalkit on helpompi ottaa mukaan prosessiin jo ladonnan aikana. Sidepalkit voidaan kiinnittää ladottavaan tuotteeseen jo ensimmäisten segmenttikerrosten aikana, sillä ne eivät ole ulkokehällä ladonnan tiellä (kuva 27). Sidepalkkien tuominen prosessiin ladonnan aikana mahdollistaa myös sen, että segmentit voidaan hitsata suoraan palkkiin kiinni ladonnan edetessä ilman ylimääräisiä välihitsejä. Hitsit heikentävät ladottavien sähkölevyjen eristekalvoja ja vaikuttavat tällä tavoin negatiivisesti koneen sähkötehoon. Mitä vähemmällä määrällä hitsausta levypaketin kasaamisessa siis päästään sitä parempi.



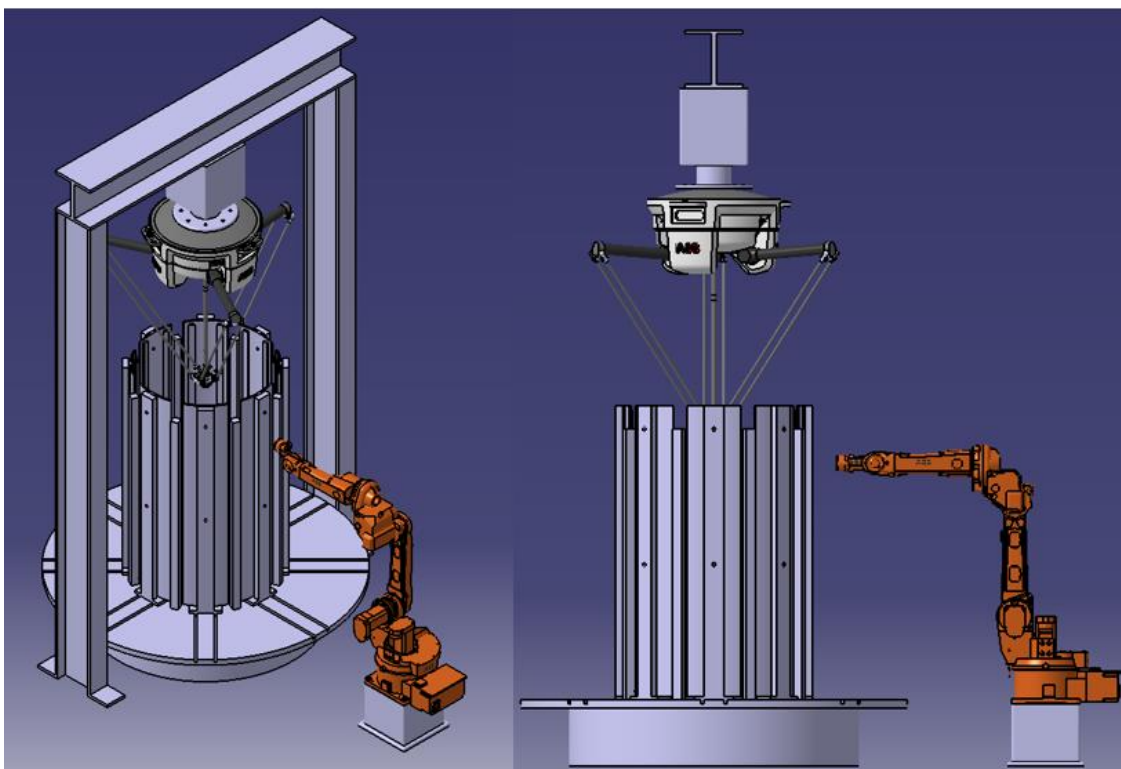
Kuva 27. Sidepalkit paikoillaan ladonnan alkaessa.

Tuottaessa ladottava levypaketti sen ulkopinnasta tekee kuitenkin automaattisen ladonnan toteuttamisen haastavaksi. Koska alustan ulkopuolelle sijoitettuna robotti joutuisi latoessaan kurottamaan jigien yli saadakseen segmentin ohjauksiskoihin kiinni, vaadittaisiin siltä epäkäytännöllisen suurta ulottuvuutta. Alustan sisäpuolellekaan robottia ei kannata sijoittaa, koska pienempien akselikorkeuksien paketit tuottaisivat ongelmia pienen sisähalkaisijansa vuoksi. Tästä syystä järkevintä olisi sijoittaa latojarobotti alustan yläpuolelle (kuva 28).

Urapuikkoalustassa käytetyn IRB 4600 -teollisuusrobotin pystyy kiinnittämään vaakatasoon tai jopa ylösalaisin. Saman robotin sijaan mallissa latojarobottina toimii kuitenkin aina päältä kiinnittyvä ABB:n Delta-robotin mallinen eli rinnakkaisrakenteinen IRB

360 -teollisuusrobotti. Mikäli soluun ei haluta lisätä ylimääräistä robottia, joutuu latojarobotti noutamaan ladottavan segmentin aina alustan ulkopuolelta. Tähän menee turhaa aikaa, ja tämä myös kasvattaa robotilta vaadittavaa ulottuvuutta.

Hitsaus olisi hyvä ladonnan nopeuden kannalta kuitenkin suorittaa erillisellä robotilla sen sijaan, että tämä työ lisättäisiin latojarobotin toimintoihin. Mallissa hitsauksen suorittavaksi robotiksi on ulottuvuutensa perusteella valittu ABB:n IRB 1520ID -kaarihitsausrobotti. Työkierron voisi ajoittaa esimerkiksi joko niin, että hitsausrobotti hitsaa ladontarobotin latoman segmentin aina välittömästi sidepalkkiin kiinni sitä mukaa kuin niitä ladotaan tai vaihtoehtoisesti odottaa useamman kerroksen ajan sivussa ja hitsaa nämä sidepalkkiin kiinni kerralla.



Kuva 28. Automaattinen ladonta ja hitsaus säädettävään kiskoalustaan.

Staattoripaketin valmistuessa tällä toimintamallilla tulee kuitenkin vastaan vielä yksi haaste. Solun yläpuolelle sijoitettu ladontarobotti on osaston siltanosturien tiellä yleisesti koko osaston toiminnassa sekä varsinkin nostaessa valmista pakettia pois alustasta. Alustan olisi siis oltava vielä liikutettavissa pois latojarobotin alta tai latojarobotin liikutettavissa pois paketin päältä.

8 Urapuikkoalustan ja -tarttujan jatkojalostus

Ideat erilaisista segmenttien keskittämismenetelmistä esitettiin projektiryhmälle. Edellä mainituista kolmesta kokonaisuudesta päätettiin, että tarkastellaan mahdollisuutta yhdistää urapuikkoalustan sekä urapuikkotarttujan toiminta samassa automaattisessa ladontasolussa. Tätä varten kyseisiä malleja jalostettiin pidemmälle ja mietittiin tarkemmin niissä ilmenneitä haasteita. Tahtotila päästä segmenttien ulkopinnasta löytyvistä ohjauskiskoille tarkoitetuista lovista eroon oli suuri, minkä takia säädettävän kiskoalustan malli päätettiin jättää nykyiseen muotoonsa ilman jatkojalostusta. Ulkopuolisen tuennan sisään latomisessa ilmenneet ongelmat olivat myös suuri kannuste keskittyä mieluummin täysin sisäpuolisen tuennan puoleen.

Urapuikkoalustan ja -tarttujan aikaisemmissa malleissa keskityttiin enimmäkseen mallien toimivuuteen segmentit keskittävänä ladontasolun elementtinä. Molemmista malleista oli kuitenkin omat haasteensa, ja päätettiin tutkia mahdollisuutta yhdistää nämä kaksi ideaa kompensoimaan toistensa vajavuuksia. Urapuikkoalustaa pidettiin potentiaalisena vaihtoehtona ladottavien segmenttien sisäpuolisen tukemisen ratkaisuksi, mutta tämän epäiltiin olevan yksinään riittämätön keskittämään segmentit tarkasti oikealle kehälle. Urapuikkotarttujan taas todettiin olevan potentiaalinen vaihtoehto keskittämään segmentit tarkasti oikealle kehälle oikeaan asemaan verrattuna aikaisempaan segmenttikerrokseen, mutta aikaisemmassa vaiheessa mietityn sisäpuolisesti tukemattoman ladonnan päätettiin olevan mahdotonta toteuttaa. Urapuikkotarttuja siis vaatisi myös tuen, mitä vasten latoa segmentit.

Urapuikkoalustan ja -tarttujan pidemmälle jalostettujen mallien toiminnasta yhdessä muodostettiin esitys, joka esitettiin projektiryhmälle sekä myös projektin kanssa työskentelevien ulkoisten insinööritoimistojen edustajille.

8.1 Säädettävät urapuikot

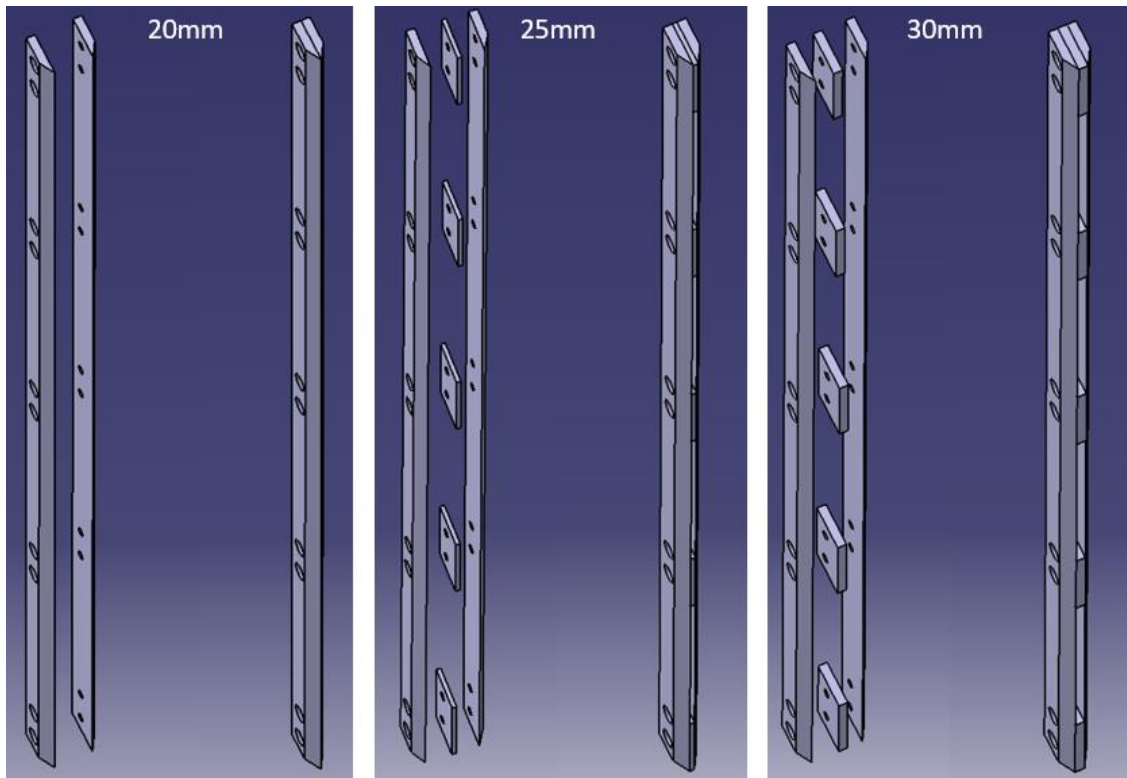
Urapuikkoalustaan ja -tarttujaan suunnitelluista lukuisista säädettävistä elementeistä huolimatta alustan liittimiin sekä tarttujaan kiinnitettävistä urapuikoista oli mallinnettu kiinteitä säätymättömiä työvälaineitä kuten ne ovat nykyisessä ladonnassa. Segmenttien urien leveyden vaihtelevuuden vuoksi urapuikkoja on osastolla nykyisin korkea hylly

täynnä eripaksuisia tankoja. Urapuikkojen vaihtaminen alustaan sekä tarttujaan manuaalisesti aina uuden levypaketin ladonnan valmistelun yhteydessä ei kuitenkaan kuulosta nopealta ja mukavalta toimenpiteeltä, minkä takia siirryttiin vaihtoehtoisesti miettimään säädettävien urapuikkojen mahdollisuutta. Säädettävillä urapuikoilla päästäisiin myös eroon urapuikkohyllystä ja sen sisällöstä luoden taas lisää tilaa osastolle. Lisäksi olisi edellytykset latoa uusilla urien mitoilla suunniteltuja segmenttejä ilman, että täytyy valmistaa uusia työkaluja kyseisille mitoille.

8.1.1 Leveyssuunnan säätäminen

Säätömekanismien lisääminen urapuikkoihin on haastavaa puikkojen pienen koon vuoksi. Urapuikon sivujen ulkopinnassa ei saa olla ulkonevia elementtejä, minkä vuoksi säätömekanismi täytyisi joko liittää urapuikkoon sen jigin puoleiselle pinnalle tai saada mahtumaan puikon sisäpuolelle. Säätömekanismin lisääminen kiinni pelkästään urapuikon takapinnalle jättäisi isommille leveyksille säädetyin puikon sisälle tyhjää ja tukematonta tilaa, minkä vuoksi puikosta olisi haastavaa saada tarpeeksi vankka kestäminen siihen ladonnan aikana segmenttien keskittämistä kohdistuvat sivuttaissuuntaiset voimat. Erilaisia säätömekanismeja yhdistettiin malleissa kahden urapuikkopuolikkaan väliin, jotka toisiinsa yhdistettynä muistuttavat nykyisiä urapuikkoja.

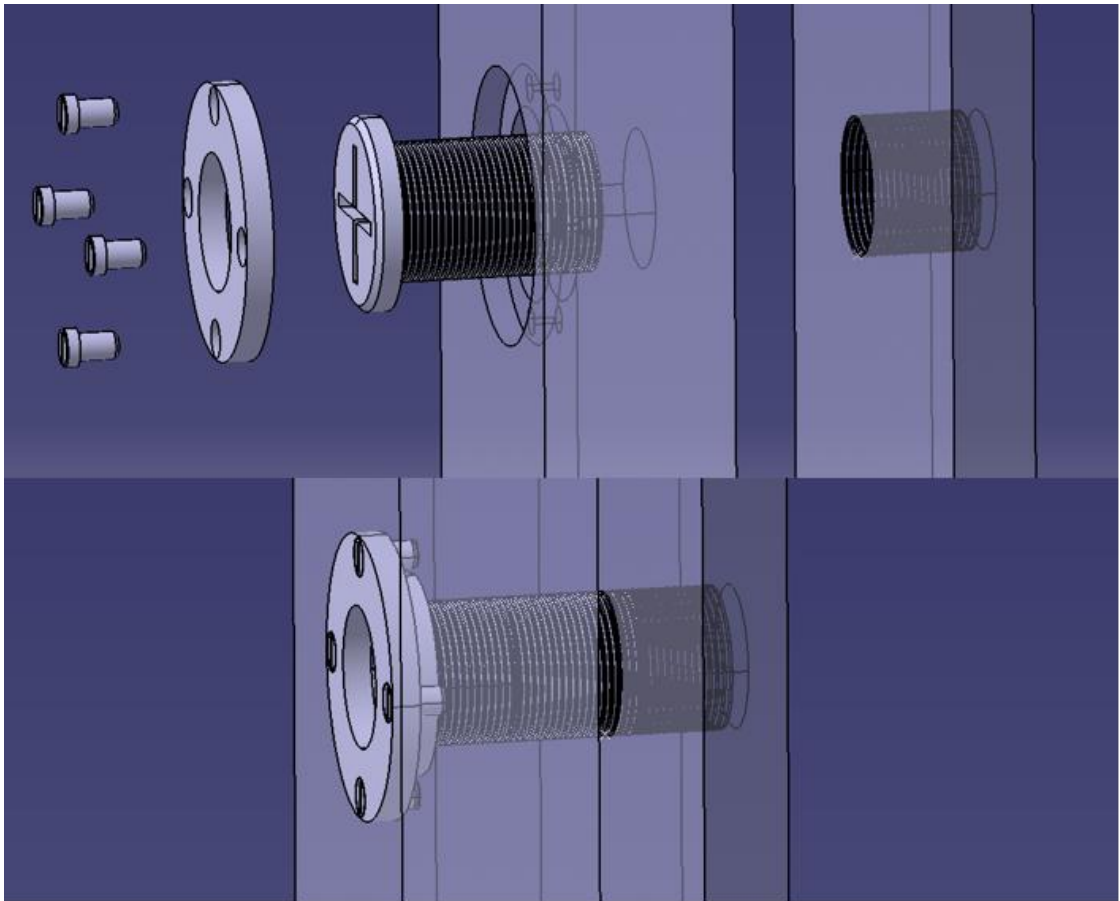
Yksinkertaisin vaihtoehto urapuikkojen säätämiseksi olisi puolikkaiden väliin kiinnitettävät kiinteät levennyspalat (kuva 29). Urapuikkopuolikkaat valmistettaisiin kapeimman mahdollisen uran mukaan ja levennyspaloja jokaiselle erilevyiselle uralle. Puolikkaat liitettäisiin toisiinsa kiinni levennyspalojen lävitse oikean pituisilla uppokantapulteilla siten, että urapuikon sivuihin ei tule ulkonevia elementtejä.



Kuva 29. Urapaukon leveyden säätö väliin kiinnitettävillä levennyspaloilla.

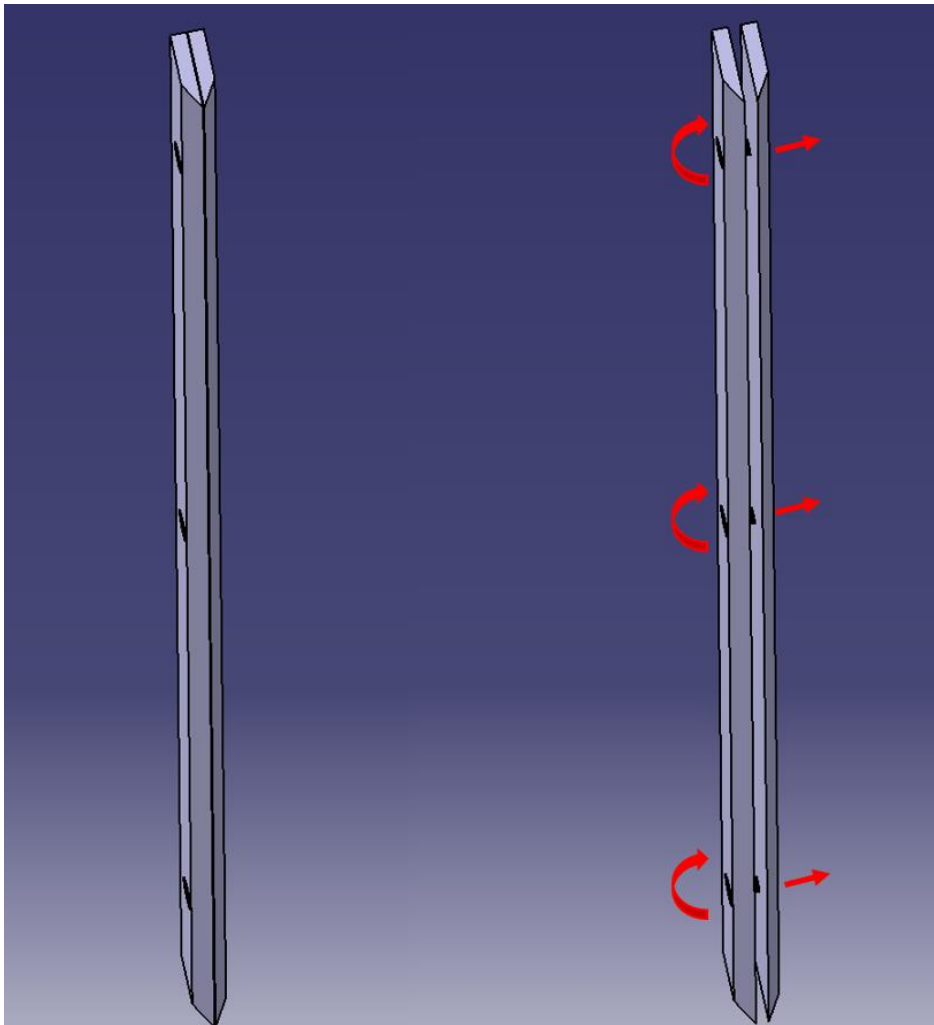
Kiinteillä levennyspaloilla urapaukot saataisiin vankoiksi ja kestäväksi niihin kohdistuvat voimat. Erilaisten valmistettävien työvälineiden määrä kuitenkin pysyisi samoissa luokissa kuin nykyäänkin, koska levennyspaloja tulisi valmistaa joko jokaiselle eri uraleveydelle tai paljon erilaisia standardikokoisia levyjä, joista yhdisteltäisiin puolikkaiden väliin tarvittava määrä. Nykyisiin urapaukkoihin verrattuna vaihdettavat työvälineet olisivat kuitenkin pienemmässä helpommin säilytettävässä koossa. Ladonnan valmistelun kannalta vaihdettavien levennyspalojen vaihtoehto on kuitenkin melko aikaa vievä. Uuden paketin ladonnan valmistelun yhteydessä tulisi aina avata jokaisen urapaukon pultit, vaihtaa levennyspalat uusiin ja kiristää pultit takaisin paikoilleen.

Urapaukkopuolikkaiden etäisyyttä toisistaan voisi säätää myös mahdollisesti niiden välillä pulteilla (kuva 30). Pultit kiinnitettäisiin toiseen urapaukkopuolikkaaseen siten, että ne on lukittu pituutensa suuntaisesti kiinni urapaukkoon, mutta ovat vapaita kiertymään. Säätopultit kierrettäisiin toisesta urapaukkopuolikkaasta löytyviin kierteisiin. Tällä tavoin urapaukkopuolikkaiden etäisyyttä toisistaan voidaan säätää kiertämällä säätopultteja. Kun urapaukko on säädetty oikealle leveydelle, voidaan pultit lukita kyseiselle säätöasetukselle kiristämällä niiden pituussuunnassa lukittuna pitävää levyä tiukemmin kiinni urapaukkoon.



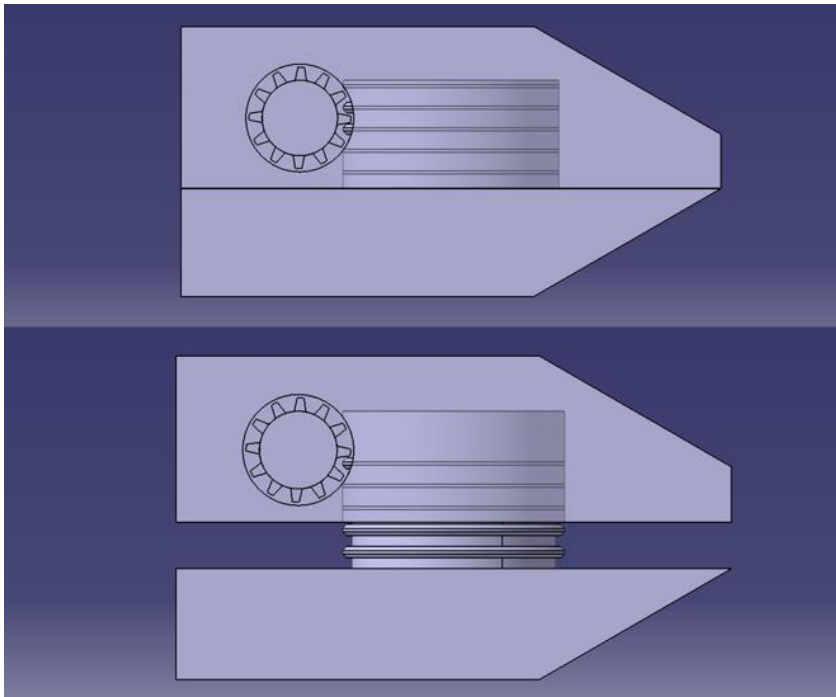
Kuva 30. Urapuikon leveyden säätöpultti liitettynä urapuikkopuolikkaisiin.

Urapuikon olisi hyvä olla tuettuna kyseisellä menetelmällä useasta pisteestä urapuikkoon ladonnan aikana kohdistuvien voimien vuoksi. Mallissa havainnollisuuden vuoksi säätöpisteitä urapuikossa on kolme kappaletta (kuva 31). Ennen ladonnan aloittamista urapuikkojen leveys säädettäisiin segmenttien urien leveydelle kiertämällä tasaisesti vuorotellen urapuikon säätöpultteja, välillä mittaamalla leveyttä työntömitalla, kunnes se on säädetty kaikista kohdista oikealle leveydelle. Kaikkien urapuikossa olevien säätöpulttien tulee tässäkin tapauksessa olla upotettu puikon kylkeen siten, että puikon sisällä ei ole ulkonevia elementtejä.



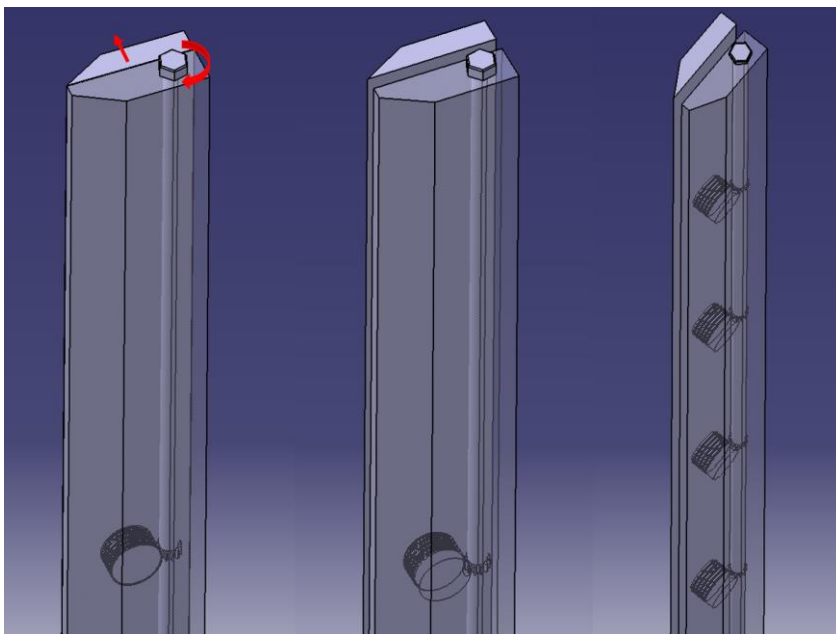
Kuva 31. Urapuikon leveyden säätäminen kolmella säätöpultilla.

Urapuikot tulee säätää oikealle leveydelle aina ennen ladonnan aloittamista. Toimenpiteen toistuvuuden vuoksi se olisi tärkeää saada mahdollisimman nopeaksi ja helpoksi. Urapuikon olisi siis parasta olla säädettävissä keskitetysti yhdestä pisteestä säätöjen määrän karsimiseksi. Tämä voisi tapahtua lisäämällä koko urapuikon pituuden läpi kulkeva säätöelementti puikkoon (kuva 32). Toisessa urapuikkopuolikkaassa olisi tässä tapauksessa säätöelementille pituuden suuntaisesti kulkeva reikä sekä puolikkaiden toisiinsa liittämistä varten sisäpinnalla kolot, jotka risteäisivät säätöelementin reiän kanssa. Toisessa urapuikkopuolikkaassa olisi sisäpinnalla taas uritetut tai kierteelliset ulokkeet, jotka uppoaisivat puolikkaat yhdistäessä toisen urapuikkopuolikkaan sisäpinnan koloihin. Säätöelementin kolon sekä uritetujen ulokkeiden kolojen välisen limittäisyyden vuoksi urapuikon päästä voidaan upottaa säätökoloon vastaavasti uritettu tanko, jonka urat sopivat urapuikkopuolikkaat yhdistävien ulokkeiden uriin.



Kuva 32. Urapuikkopuolikkaiden liittäminen toisiinsa uritetuilla sylinterimäisillä ulokkeilla.

Säätötanko osuisi tällä tavoin kaikkiin uritettuihin ulokkeisiin samalla ja tangoa kiertämällä urapuikkojen etäisyys toisiinsa säätäisi kaikkien ulokkeiden kohdalta samanaikaisesti (kuva 33). Ladontaa valmisteltaessa urapuikot saataisiin siis säädettyä oikealle halkaisijalle kiertämällä vain urapuikon päästä löytyvää säätötangon päätä.



Kuva 33. Urapuikon leveyden säätäminen urapuikon sisälle upotetun säätötangon avulla.

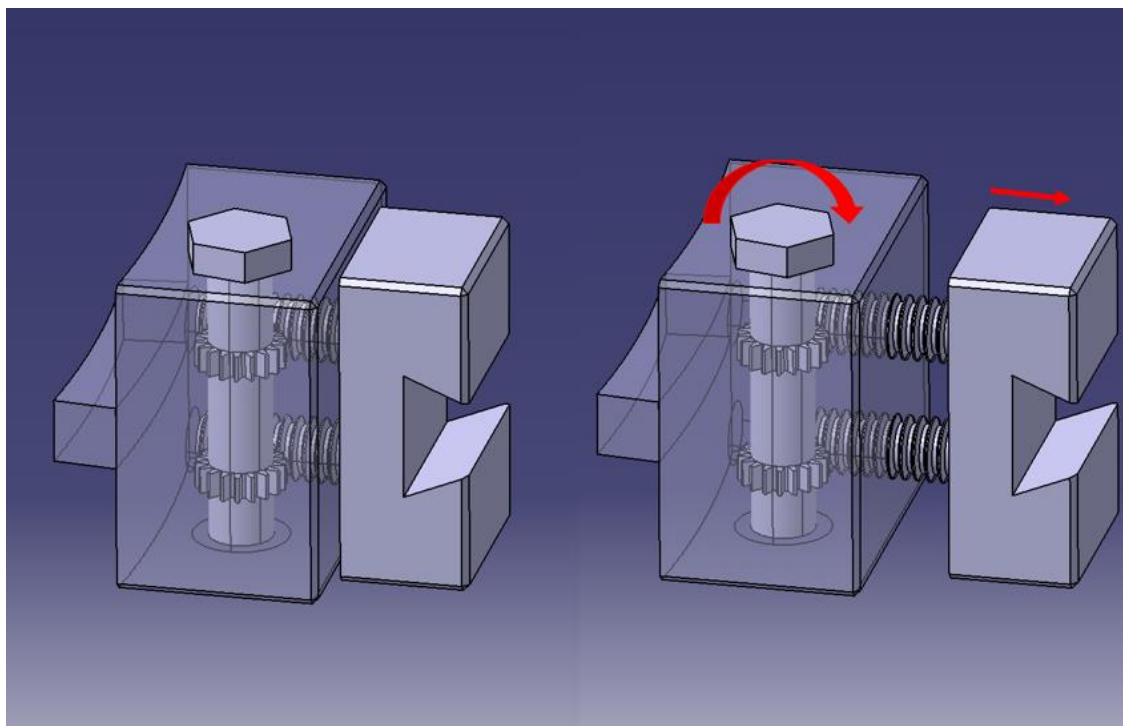
Haasteet idean toteuttamiselle tuo kuitenkin urapuikon sisällä oleva todella pieni tila, minkä takia säätötangosta jouduttaisiin tekemään melko ohut sen mahduttamiseksi urapuikon sisälle. Leveyden säädön vuoksi säätötankoa kierretään ja tangon urien vastakappaleet, toisen urapuikkopuolikkaan uritetut ulokkeet, aiheuttavat tankoon sitä vääntäviä momenteja. Nämä vääntömomentit eivät saa aiheuttaa tangossa lainkaan kiertymää. Säätöpisteiden välinen deformaatio aiheuttaisi sen, että urapuikko säätäisi säätötankoa kiertämällä eri leveyksille eri säätöpisteiden kohdalta. Mitä pidempi säätötanko siis on, sitä suurempi vääntömomentti siihen kohdistuu säädön aikana. Säätötangon pieni halkaisija tarkoittaisi mitä luultavimmin sitä, että urapuikosta pitäisi saada lyhempi, jotta sen pituuden mittainen säätötanko kestäisi paremmin säädön vääntömomentin. Säätötangon kyvyn vastustaa kiertymää määrittää sen pituus, säädössä tankoon aiheutuva vääntömomentti sekä tangon materiaalille ominainen vääntöjäykkyys kyseisellä profiililla. Tällä tavoin säädettävä urapuikko jouduttaisiin siis luultavasti toteuttamaan useampana päällekkäin pinottavana urapuikkona koko levypaketin pituuden mittaisien urapuikkojen sijaan.

8.1.2 Kehän säätäminen

Urapuikkoalustassa urapuikot toimivat ladottavien segmenttien sisävasteena, minkä takia urapuikon päädyn tulee ladonnan aikana olla juuri oikealla kehällä osuakseen uran päätyyn. Segmenttien urien syvyyden vaihtelemisen vuoksi urapuikkojen tulee olla myös säädettävissä erikokoisille kehille. Kehän säätöä ei voi toteuttaa vaihtamalla kehän keskipistettä kohtisuorassa säätöviiden alustojen muodostaman kehän halkaisijan säädöllä, koska samalla niihin kiinnitettävien jigien ulkopinnan muodostama kehä menettää muotonsa. Koska urapuikon leveyden säädettävyyden on toteutettu malleissa kahden urapuikkopuolikkaan sisällä, ei toiseen suuntaan säädettävyyden lisäämiselle jää tilaa. Näistä syistä kehän suuntaisen säädön voisi toteuttaa urapuikon jigien kiinnittämiseen tarkoitettuilla liittimillä.

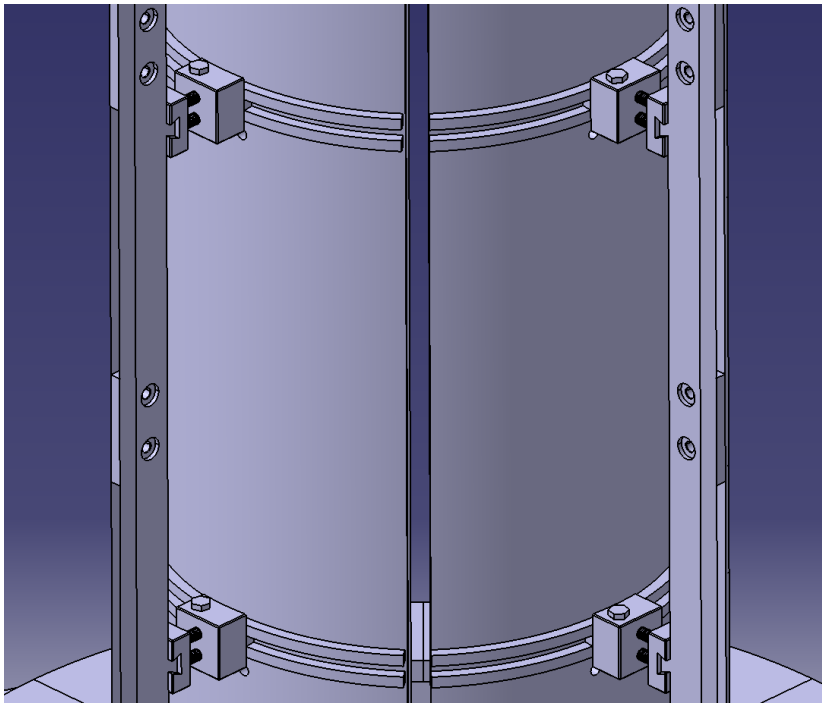
Kehän säädön urapuikkojen liittimillä voisi toteuttaa yhden urapuikkojen leveyden säädön mallien tapaisesti manuaalisesti säätötangolla (kuva 34). Toisessa liittimen puolikkaassa olisi säätötangolle tarkoitettu kolo sekä liittimen puolikkaiden yhteen liittämistä varten kolot siten, että ne risteävät keskenään hieman. Toisessa liittimen puolikkaassa olisi puolestaan puolikkaiden välisellä pinnalla uritetut tai kierteitetty ulokkeet, jotka uppoisivat liittimen osat yhdistäessä toisen liittimen puolikkaan koloihin. Säätötangon ko-

lon sekä uritettujen ulokkeiden kolojen välisen limittäisyyden vuoksi liittimen päältä voidaan upottaa säätökoloon vastaavasti uritettu tanko, jonka urat sopivat urapuikkopuolikkaat yhdistävien ulokkeiden uriin. Säätötankoa kierrettäessä liittimen liikkuva osa säätyy tasaisesti oikealle kehälle.



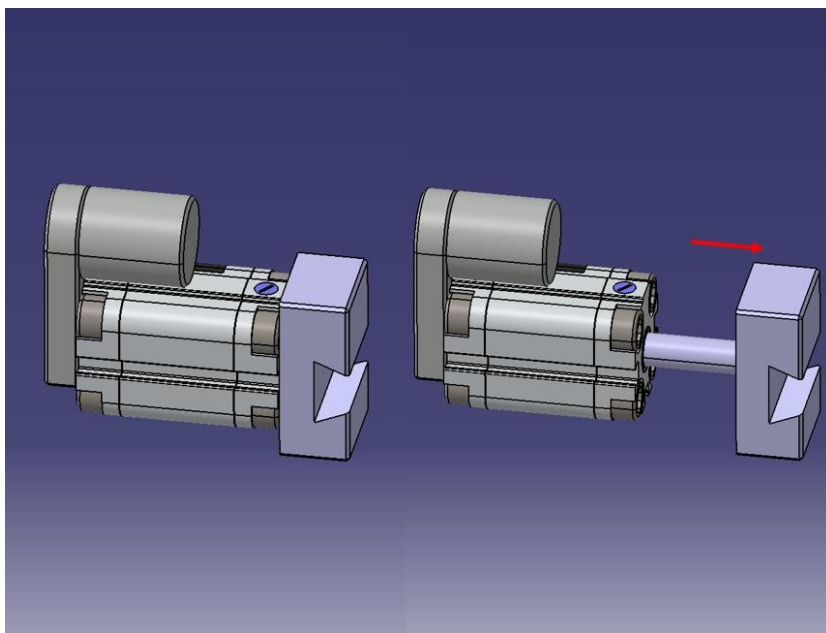
Kuva 34. Manuaalisesti säädettävä urapuikon liitin.

Urapuikkojen liittimillä säädettäisiin alkuperäisen urapuikkoalustan mallin mukaisen kehän suuntaisen säädön lisäksi myös urapuikkojen muodostaman kehän sädettä (kuva 35). Liittimen puolikas, johon säätötanko on liitetty, olisi kiinnitetty jigien ulkopinnan kiskoon ja olisi tämän vuoksi valmistettu kiskon kaaren mukaiseksi. Näitä liittimen puolikkaita täytyy siis valmistaa jokaiselle jigille omat, ja ne voisivat tästä syystä pysyä jigien kiskoissa koko ajan kiinni. Urapuikkoon kiinnitettävä osa liittimestä taas voidaan valmistaa sopivaksi kaikille urapuikoille sekä liittimen toisille puolikkaille. Tämä osa liittimestä voi olla liitettynä urapuikkoon siten, että se voidaan jigia vaihdettaessa pujottaa jo jigistä löytyviin liittimen kantoihin.



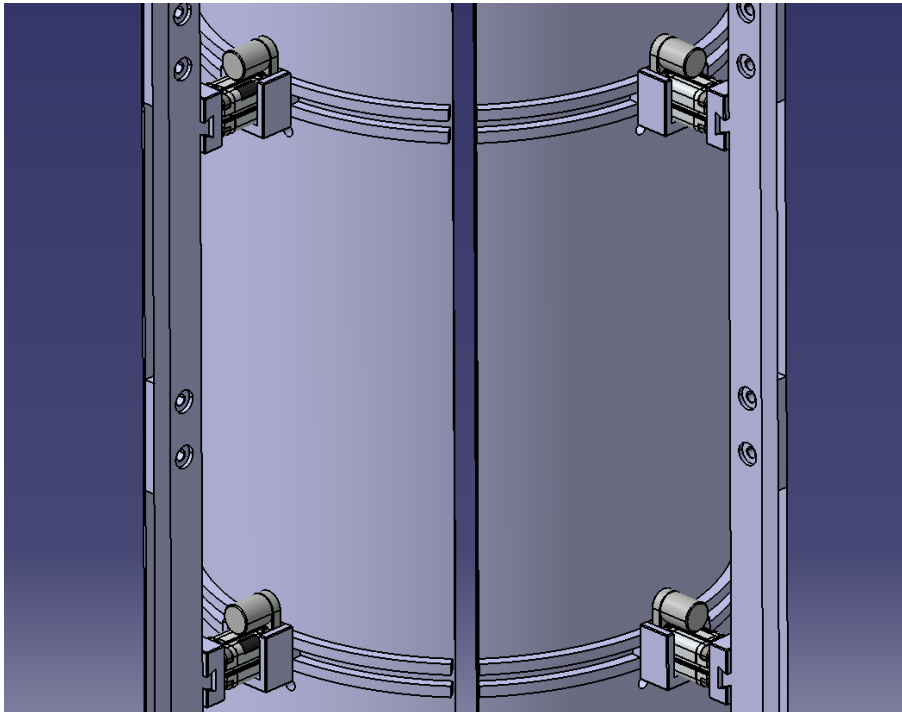
Kuva 35. Manuaalisesti säädettävät liittimet jigien ja urapuikkojen välissä.

Liittimen säätö oikealle kehälle voidaan haluttaessa suorittaa myös vaihtoehtoisesti automaattisella ratkaisulla. Manuaalisen säätötangon sijaan koko liittimen jigin kiskoihin kiinnittyvän puolikkaan voisi korvata automaattisella, esimerkiksi sähköisesti säätävällä, sylinterillä (kuva 36).



Kuva 36. Automaattisesti sähkösylinterillä säätävä urapuikon liitin.

Sähkösylinterien käyttö helpottaisi ladonnan valmistelussa tehtäviä säätöjä, koska kaikki urapuikot pystyttäisiin ajamaan oikealle kehälle samanaikaisesti antamalla yksi komento. Jigien vaihtamisen yhteydessä kuitenkin taas hävitään aikaa manuaaliseen ratkaisuun verrattuna. Sähkösylinterit tarvitsevat virtaa, minkä takia aina jigien vaihdon yhteydessä vaihdettavien jigien kytkennät pitää aina ensiksi purkaa ja uuden jigin sähkösylinterit kytkeä kiinni. Sähkösylinterit kiinnitettäisiin jigihin niiden ulkopinnan kiskoissa oleviin liittimiin (kuva 37). Kytkenät sylinterien virransyöttöä varten tuotaisiin jigien sisäpuolelta liittimien kiskoja pitkin. Jigejä vaihdettaessa sylinterit voisivat pysyä kokonaisuudessaan kiinni niiden urapuikoissa ja irrota jigien kiskoissa kiinni olevista liittimistä. Uuden jigien ollessa paikoillaan urapuikot tuotaisiin alustaan kiinni siten, että sylinterit kiinnitettäisiin niissä valmiiksi kiinni oleviin liittimiin.

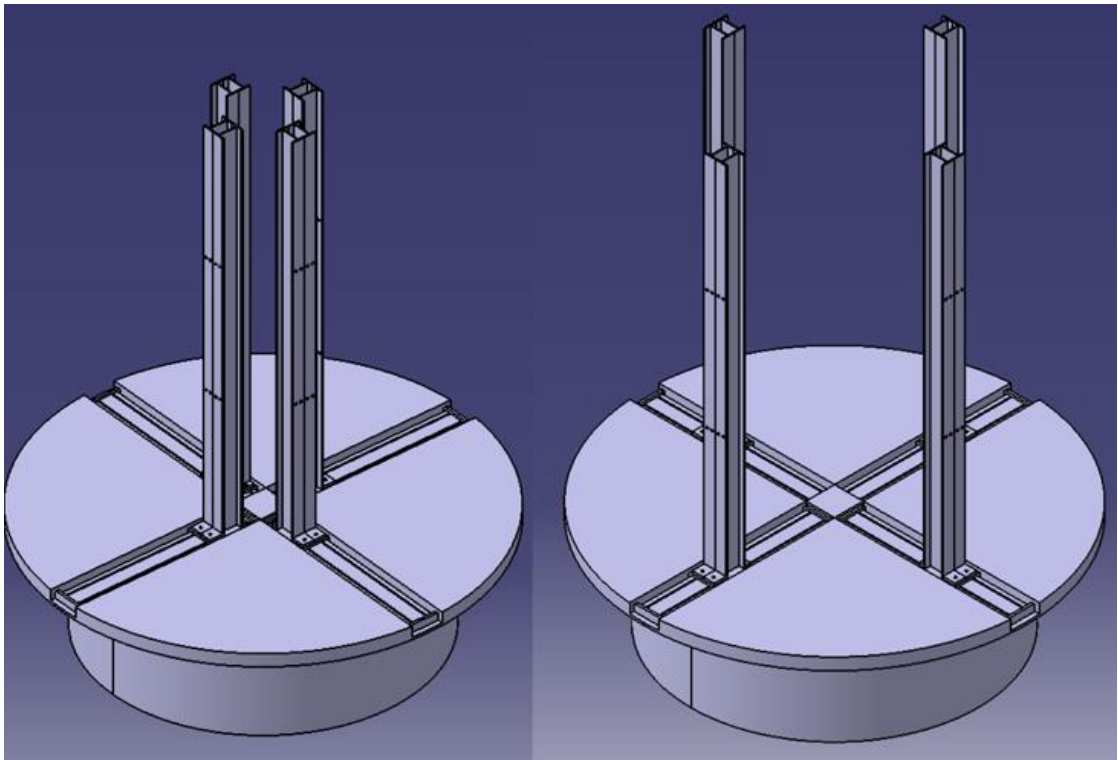


Kuva 37. Automaattisesti säädettävät urapuikkojen liittimet jigien sekä urapuikkojen välissä.

8.2 Urapuikkoalusta sisäpuolisena tukena

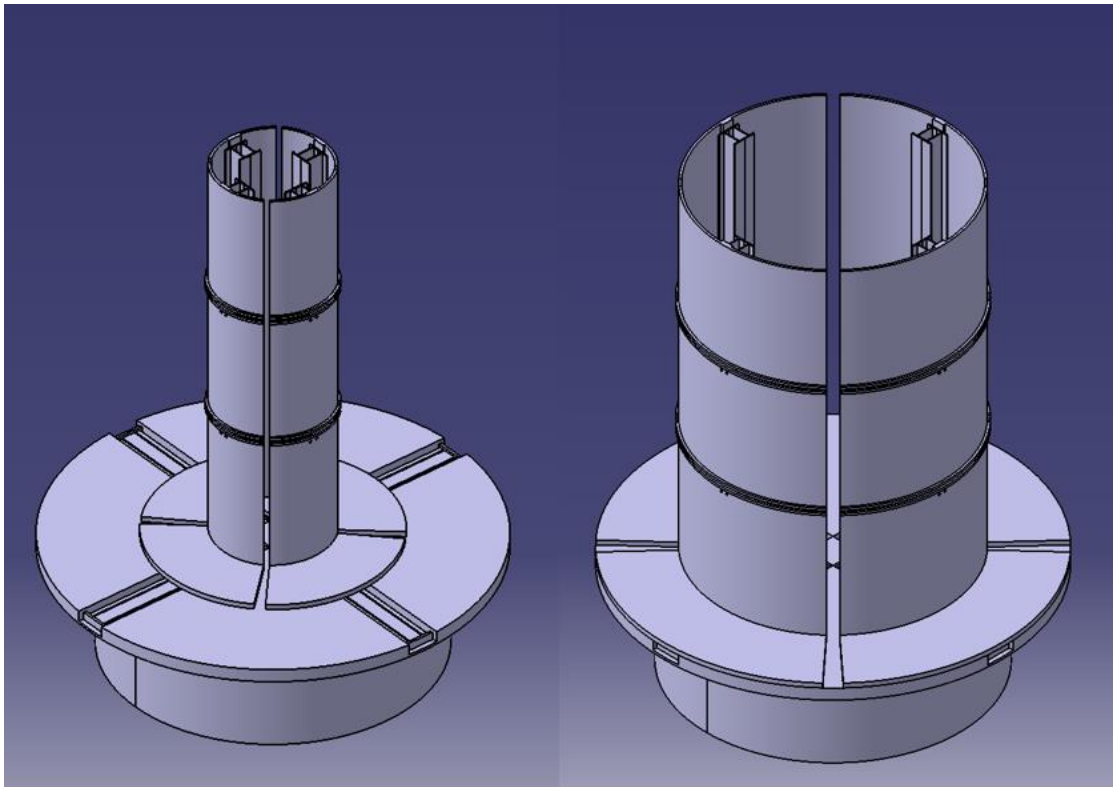
Urapuikkoalustan toimintaperiaate pysyi jalostetussa mallissa samana siitä huolimatta, että sen käyttötarkoitus ladontaprosessissa muuttui. Kiinnitysalustojen sijaan kiinnitystä varten alustassa olisi liikutettavat pystypalkit, ja pyörivän alustan pinta toimisi jigien pohjien tukena. Automaatitason nostamisen vuoksi jalostetussa mallissa jigien halkaisijoille

säätyvät kiinnityspalkit luotiin kulkemaan alustan keskipistettä kohtisuoraan sijoitetuilla lineaarijohteilla (kuva 38). Kaikki kiinnityspalkit säädetäisiin oikealle etäisyydelle keskipisteestä yhdellä komennolla riippuen ladottavan tuotteen akselikorkeudesta. Alkuperäisissä malleissa nousi esille huoli, että kiinnitysalustojen pystypalkit eivät kestäisi ladonassa niihin kohdistuvaa voimaa taipumatta. Tästä syystä pystypalkit luotiin malliin IPE-palkeiksi, joiden avulla kestävyys saavuttaminen tulee olemaan todennäköisempää. Palkkien paksuuden kasvattamisella kestävyttä voidaan vielä tarvittaessa nostaa huomattavasti lisää.



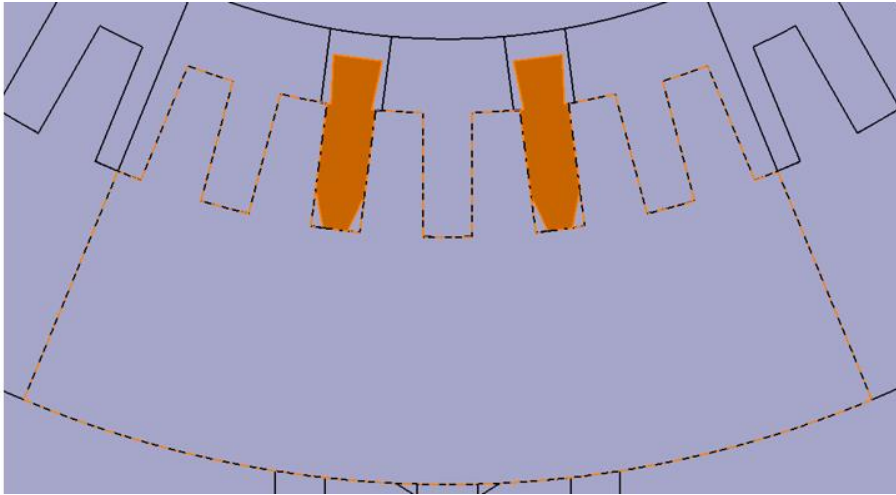
Kuva 38. Kiinnityspalkit säädettyinä pienimmälle sekä suurimmalle staattoripaketille.

Akselikorkeuden mukaan vaihdettavien jigien määrää kehällä päätettiin myös vähentää ladonnan valmistelun nopeuttamiseksi. Alkuperäisen mallin kahdeksasta jigilohkosta koostuva kehä päätettiin puolittaa neljään vaihdettavaan jigilohkoon (kuva 39). Jigilohkot ovat tällöin painavampia ja haastavampia liikuttaa sekä asettaa paikoilleen, mutta asennukseen tarvittavien nostojen sekä kiinnityskertojen määrän pienentämisellä saavutetaan mitä luultavimmin lyhyempi asennusaika. Samalla vähennetään ladonnan valmistelussa tarvittavaa nosturikapasiteettia, jolle on käyttöä osaston muissa töissä. Toimettomana olevien jigien säilytys vie osastolta tosin hieman enemmän tilaa jigilohkojen suuremmasta koosta johtuen.



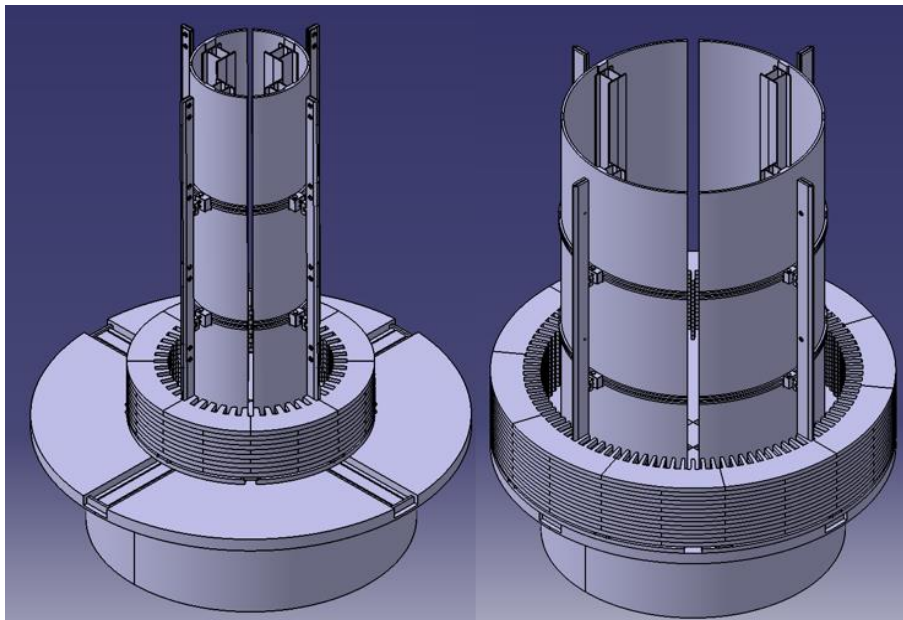
Kuva 39. Alustalla tuettavan pienimmän sekä suurimman tuotteen jigilohkot kiinnitettynä kiinnityspalkkeihin.

Urapuikkoalusta toimisi ladonnassa siis pelkästään segmenttien sisäpuolisena tukena. Itse pakettia tukevien elementtien, urapuikkojen, määrä ladontaprosessissa on helposti vaihdettavissa. Liittimiä mahtuu kulkemaan jigin ulkopinnan kiskoilla monta kappaletta ja ne voidaan valmistaa helposti kiskoille liitettäviksi. Urapuikkoja voidaan lisätä tarvittaessa alustaan lisää ainakin niin paljon, että jokaista segmenttiä tuetaan yhdestä urasta, mutta mikäli urapuikkoja halutaan lisätä vielä lisää, tulee ottaa huomioon segmenttien urien määrä. Segmenttien urat eivät aina ole symmetrisiä, ja tämä riippuu paketin vyyhteille tarkoitettujen urien määrästä suhteessa kehän muodostavien segmenttien lukumäärään. Otetaan esimerkkinä helpoin tapaus, kun urien määrä paketissa on jaollinen segmenttien määrällä ja segmentti on tämän vuoksi symmetrinen siten, että yksi ura osuu segmentin muodostaman kulman keskelle (kuva 40). Urapuikkoja ei voida sijoittaa kuvan mukaisella tavalla, sillä tässä tapauksessa työntäessä segmenttiä urapuikkoihin kiinni, urapuikot eivät pääse uriin. Urapuikkojen päät törmäävät sen sijaan sormilevyjen päihin, ja ainoa tapa saada urapuikot uriin olisi pujottaa segmentti niihin kiinni urapuikkojen yläpuolelta. Tässä tapauksessa, jos urapuikkoja haluttaisiin alustaan mahdollisimman paljon, tulisi ne sijoittaa segmentin keskimmäiselle sekä reunimmaisille urille. Tällä tavoin segmentti pystyttäisiin työntämään kiinni urapuikkoihin.



Kuva 40. Urapuikot sijoitettu virheellisesti. Segmenttiä ei pysty latomaan urapuikkoja vasten, koska niiden päät törmäävät segmentin sormiin.

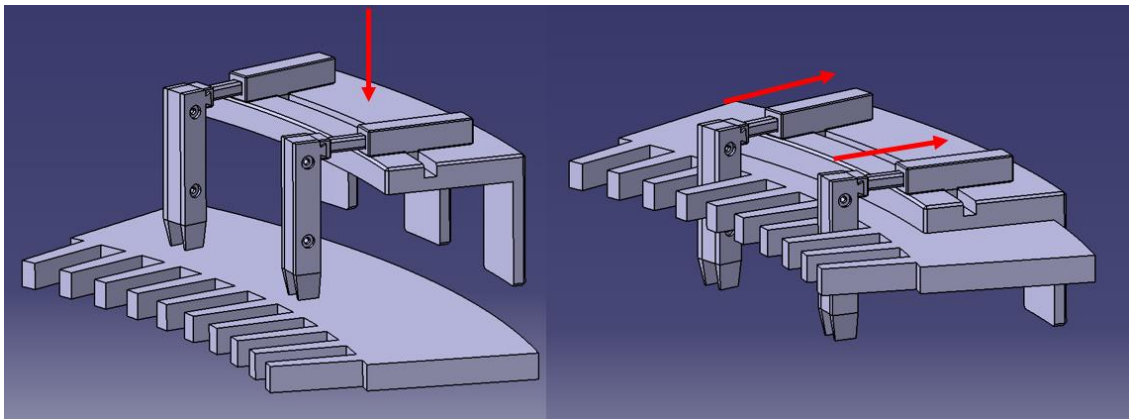
Lähdettiin liikkeelle siitä ajatuksesta, että jokaisen ladottavan segmentin ei tarvitse olla tuettuna urapuikolla eli paketti vaatisi sisäpuoliseksi tueksi kehän segmenttien määrää pienemmän määrän urapuikkoja. Mitä vähemmän urapuikkoja ladonnassa tarvitaan, sitä helpompaa ja nopeampaa ladonnan valmistelu on. Malleissa on tämän vuoksi käytetty tukemiseen vain neljää urapuikkoa (kuva 41). Jos tukemattomat segmentit vaikuttavat ladottavan paketin laatuun, voidaan alustaan tuoda helposti lisää urapuikkoja, esimerkiksi yhdet jokaiselle segmentille.



Kuva 41. Ladottavan staattoripaketin sisäpuolinen tuenta neljällä urapuikolla pienimmän sekä suurimman tuotteen ladonnassa.

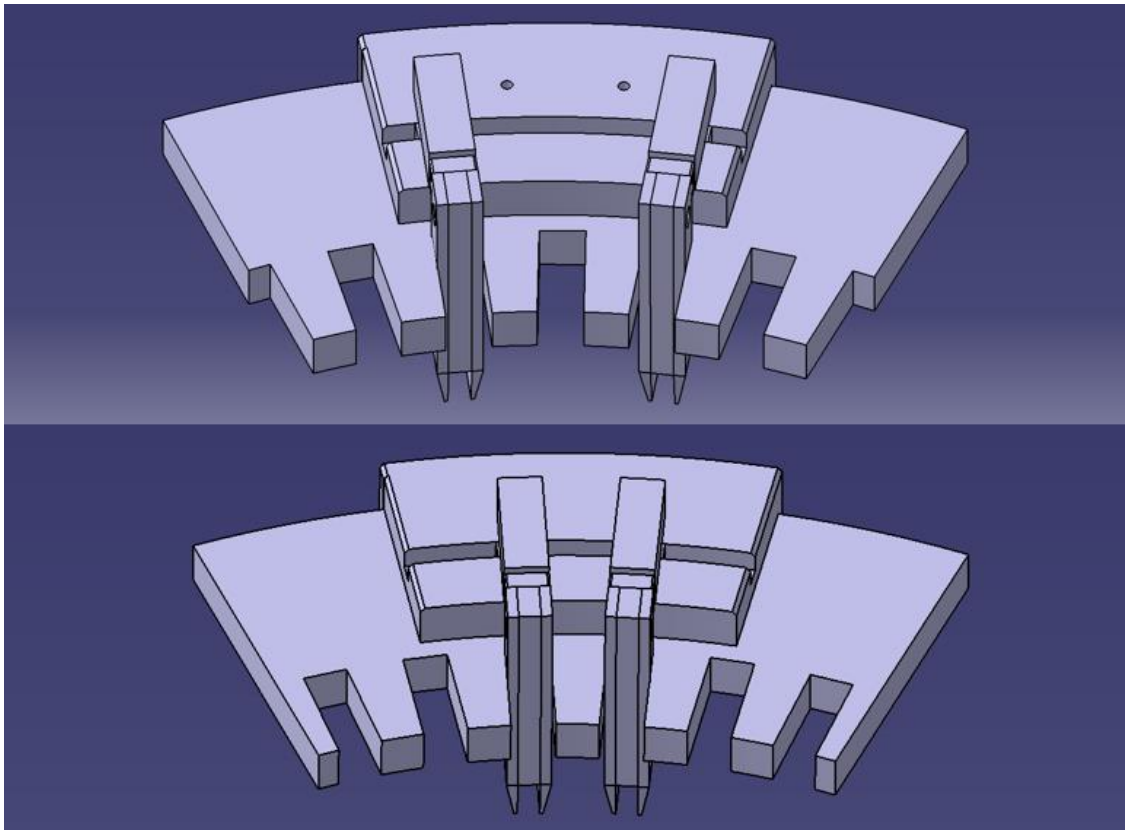
8.3 Säädetty urapuikkotarttuja

Segmenttien keskittäminen kehälle suunniteltiin suoritettavaksi pääasiassa robotin urapuikkotarttujalla. Urapuikkotarttuja koostuu kolmenlaisista komponenteista; säädetty urapuikoista, tarttujan segmentin ulkopinnan mukaan muotoillusta pohjasta sekä nämä kaksi yhdistävistä lineaarisylintereistä. Tarttuja poimisi ja keskittäisi segmentin lähtökohtaisesti kokonaan mekaanisesti, mutta mikäli segmentiniput todetaan liian painaviksi mekaanisesti nostettaviksi, voidaan tarttujaan lisätä myös magneetti kantamaan osan taakasta. Mekaaninen segmenttiin tarttuminen (kuva 42) tapahtuisi lineaarisylinterien toimesta. Tarttuja vietäisiin segmentin päälliseen pintaan ja sen ulkokehään kiinnitettäväksi, että urapuikot kulkevat segmentin urien lävitse. Sylinterit vetäytyisivät tämän jälkeen sisään jättäen segmentin puristuksiin urapuikkojen ja ulkokehän vasteen väliin.



Kuva 42. Segmentin käsittely latojarobotin urapuikkotarttujalla.

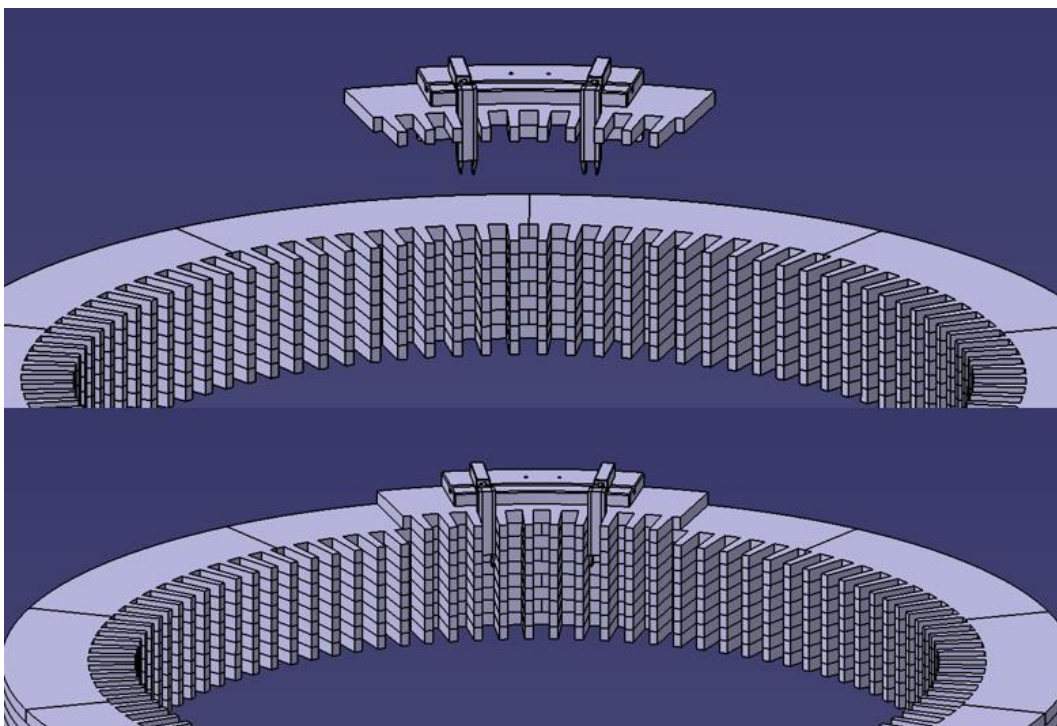
Urapuikkotarttujalta vaaditaan segmentin mittojen vaihtelevuuden vuoksi paljon säädettävyyttä, jos halutaan välttää uuden tarttujan valmistaminen jokaista erilaista staattoripakettia varten. Tarttujan pohja valmistetaan segmentin ulkokehän mukaan, minkä vuoksi pohja tulee valmistaa omat jokaiselle eri akselikorkeudelle. Segmentin urien leveyksien, syvyyksien ja kulmajaon vaihtelevuuden vuoksi urapuikkojen tulee olla urapuikkoalustan kaltaisesta säädettyissä, koska muuten erilaisia urapuikkoja tulisi valmistaa liian paljon erilaisia. Urapuikkojen leveyden säätö voidaan toteuttaa joillakin 9.1.1 *Leveysuunnan säätö* -kappaleessa ehdotetuista tavoista. Mallissa urapuikot on yksinkertaisuuden vuoksi valittu kiilasäädettäviksi. Urapuikkojen säätö oikeille kulmille tehtäisiin tarttujan pohjan päällä kulkevaa pakettin keskipisteeseen kohdistetun kehän muotoista kiskoa pitkin (kuva 43). Sylinterit voidaan tehdä tarttujan pohjan kiskoille automaattisesti tai manuaalisesti säätöviksi.



Kuva 43. Urapuikkotarttujan sylinterit säädettyinä kahdelle saman akselikorkeuden erilaisella urituksella olevalle segmentille.

Ladonta urapuikkotarttujalla tapahtuisi samalla periaatteella kuin alkuperäisessä mallissa (kuva 44). Segmentti keskittyisi edellisten ladottujen kerroksien mukaan niiden uriin uppoavien urapuikkojen avulla oikealle kulmalle ja niiden ulkokehälle muotoillun tarttujan pohjan avulla oikealle kehälle. Sylinterien avulla voidaan vielä varmistaa, että ladottu segmentti on keskitetty oikealle kehälle puristamalla sitä ja sen alempia kerroksia yhteen vetämällä sylinterit uudelleen sisään segmentin irrottamisen jälkeen. Segmentin ollessa varmasti oikealla kehällä sylinterit voidaan ajaa ulos, ulkopinnan vaste irrottaa paketin ulkopinnasta ja nostaa tarrain ylös seuraavan segmentin latomista varten.

Urapuikot tulee hyvän laadun varmistamiseksi säätää melko tarkasti samalle leveydelle segmentin urien kanssa. Urien pinnan ja urapuikon välissä voi tästä johtuen olla hieman kitkaa, joka voi liikuttaa ladottua segmenttiä tarttujaa ylös nostaessa. Jotta saadaan varmistettua, että segmentti pystyy paikoillaan, voi sen liittää alempaan kerrokseen esimerkiksi pienellä hitsillä.



Kuva 44. Segmentin keskittäminen aiempiin ladottuihin kerroksiin säädettävällä urapuikkotarttujalla.

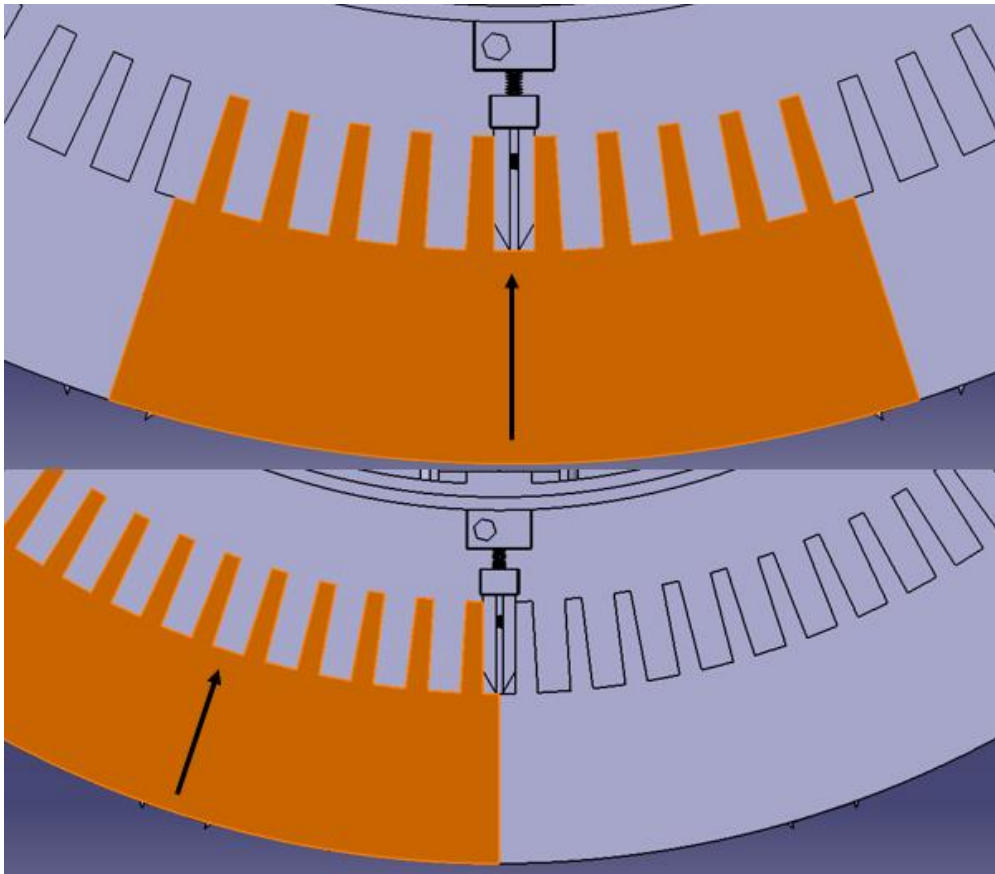
8.4 Segmenttien ladonta

Ideoiden jatkojalostamisen yhteydessä keskityttiin myös segmenttien ladonnassa esiintyneiden haasteiden ratkaisemiseen. Segmenttien urien määrän ja niiden kulmien vaihtelevuuden vuoksi urapuikkoalustan ja -tarttujan säädettävyydestä huolimatta myös robotin ladontaohjelmilta vaaditaan vaihtelevuutta. Alustan sisävasteina toimivat urapuikot uppoavat ladottavien segmenttien uriin eivätkä nämä urat ole aina sijoittuneet symmetrisesti segmentin muodostaman kulman keskellä. Segmentti tulee kuitenkin latoa alustaan siinä kiinni olevan urapuikon mukaisesti, tai muuten urapuikon kärki törmää segmentin sormien päihin.

8.4.1 Symmetristen segmenttien ladonta

Koneelta vaadittavien sähköisien arvojen perusteella määrittyvien levypaketin sisäpinnan urien lukumäärä voi olla jaollinen kehän muodostamiseen käytettyjen segmenttien lukumäärällä. Näissä tapauksissa segmentti on uriensa mukaan symmetrinen. Symmetriset segmentit voidaan jaottaa siten, että urat sijoittuvat segmentin reunoihin ja keskelle

segmentin muodostamaa kulmaa. Näin saadaan aikaiseksi yksinkertaisin ladontaohjelma. Alustan urapuikot voidaan sijoittaa siten, että robotti latoo segmentin kohtisuoraan paketin ulkopintaa kohden työntäen urapuikon segmentin keskimmäväliseen uraan (kuva 45). Seuraava segmenttikerros ladotaan samalla komennolla, mutta kerrosten välisen limityksen vuoksi kyseinen urapuikko osuu kahden segmentin väliin niiden reunimmaisessa uraan.

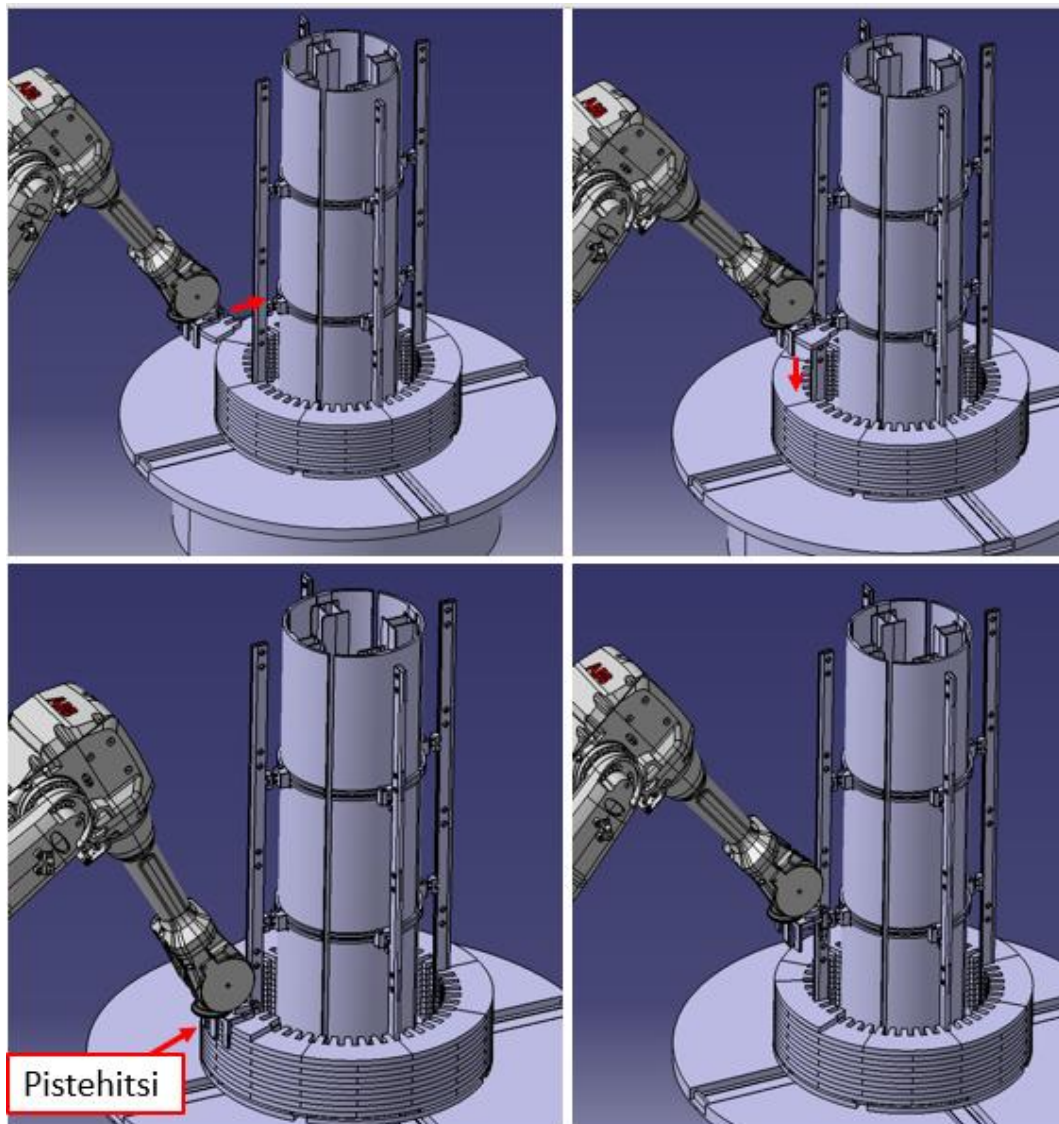


Kuva 45. Urapuikkoalustan urapuikkojen sijoittaminen symmetrisen segmentin tapauksessa.

Ladontarobotin ohjelmat pysyvät symmetrisesti uritettujen segmenttien tapauksissa yksinkertaisina, koska ladonta tapahtuu ladottavan staattoripaketin akselikorkeuden määrittämän segmentin ulkokehän mukaan. Jokaiselle akselikorkeudelle voidaan siis tehdä oma symmetristen segmenttien ladontaohjelma, joka sopii kaikille symmetrisille segmenteille riippumatta urien määrästä, syvyydestä tai leveydestä.

Tarttujan urapuikot uppoavat ladottavasta segmentistä läpi, minkä takia ensimmäiset kerrokset pakettiin tulee latoa toisella tarttujalla tai manuaalisesti sormilevyn asettamisen yhteydessä. Ladonnassa robotti tarttuu segmenttiin siten, että sen keskimäinen ura jää

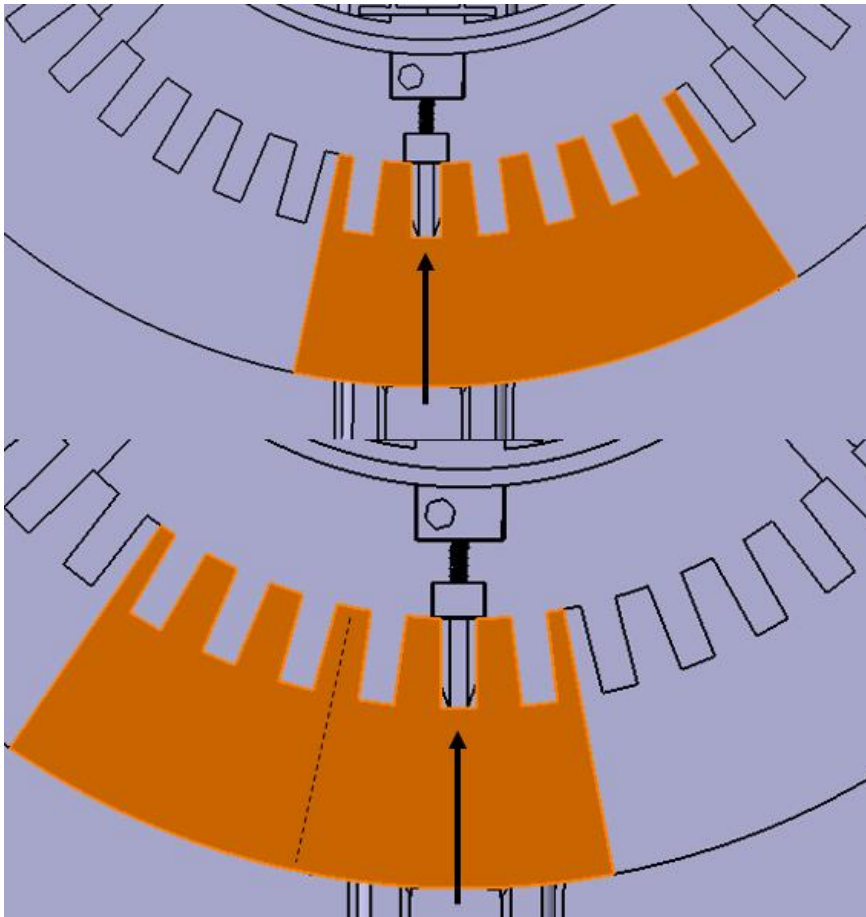
vapaaksi. Robotti työntää tämän segmentin urapuikkoon ja segmentin ollessa oikealla kehällä, urapuiikon pääty osuu uran päätyyn, minkä jälkeen robotti laskee segmentin pake-
 ketin päälle urapuikkoa pitkin (kuva 46). Jos todetaan, että segmentti ei pysy paikoillaan
 nostaessa tarttujaa pois urien sisältä, voidaan ladottava segmentti liittää edelliseen la-
 dottuun kerrokseen kiinni segmentin ollessa vielä tarttujan puristuksessa. Tämä voidaan
 suorittaa esimerkiksi kerrosten välisillä pistehitseillä. Pistehitsin voisi tehdä samalla la-
 dontaan käytettävällä robotilla lisäämällä sen varteen alapuolelle hitsauspään, joka on
 myös säädettävissä eri paketin ulkohalkaisijoille. Toisiinsa hitsatut kerrokset pysyisivät
 varmasti tukevammin paikoillaan tarttujaa nostaessa ja seuraavia kerroksia ladottaessa,
 mutta samalla tämä vaikuttaisi sähkölevyjien eristeisiin ja niistä saataviin sähköisiin arvoi-
 hin.



Kuva 46. Symmetrisen segmentin ladonta robotilla urapuikkoalustaan.

8.4.2 Epäsymmetristen segmenttien ladonta

Urapuikkoalustan ja -tarttujan yhdessä toimiminen on epäsymmetristen segmenttien ladonnan tapauksessa hieman vaikeampi toteuttaa. Segmentissä ei aina ole uraa sen kulman keskipisteessä, ja koska segmentti tulee latoa alustaan urapuikon suuntaisesti (kuva 47), ei segmenttiä voida latoa tarttumalla siihen sen keskeltä ja työntämällä se alustaan kohtisuoraan pakettin ulkopintaa kohden. Useammalla kuin yhdellä urapuikolla yhden segmentin tukeminen ei näissä tapauksissa onnistu, koska segmenttiä olisi muuten mahdotonta työntää urapuikkoihin kiinni alustan sivusta. Kaikki segmentit pystytään kuitenkin tukemaan yhdellä urapuikolla sijoittamalla se kahden toisiinsa kohden limittäin olevan segmenttipinon limittäisen kohdan väliin.

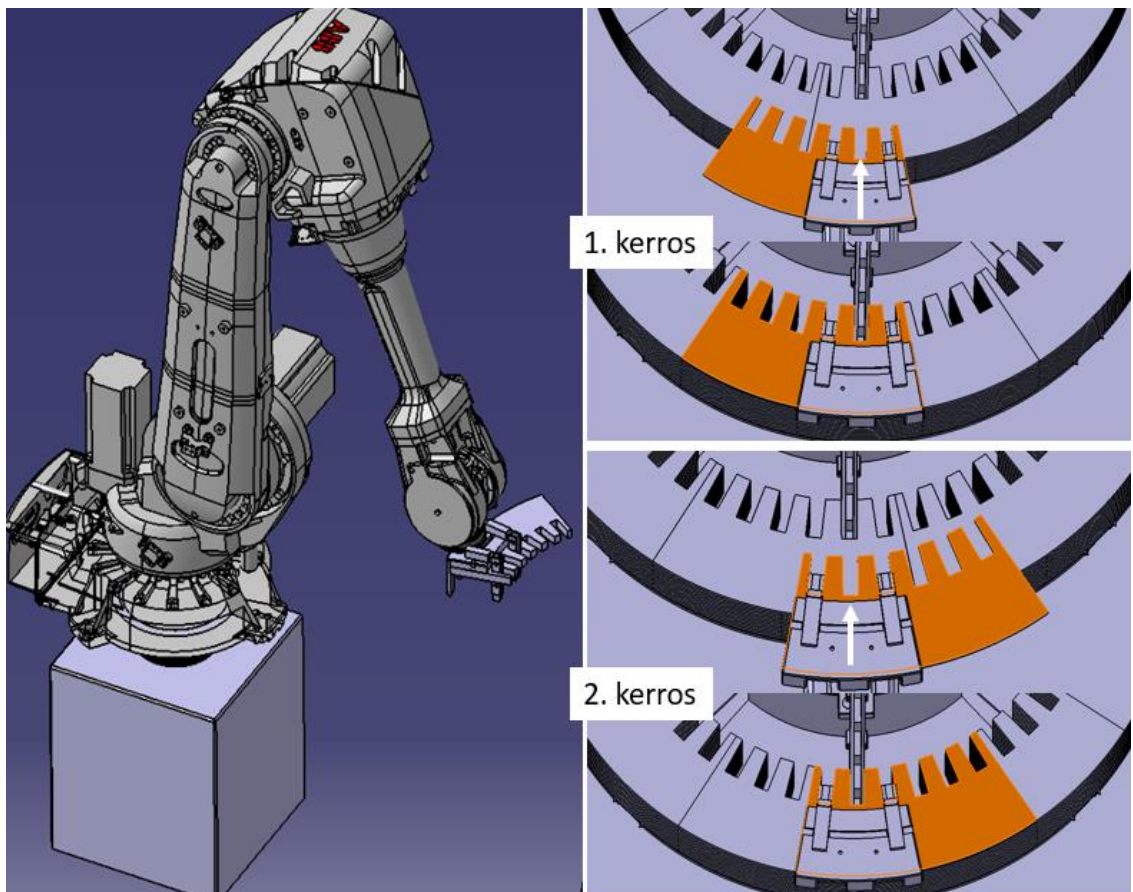


Kuva 47. Kahden toisiinsa nähden limittäisen segmenttikerroksen tukeminen urapuikkoalustalla, kun segmentin urat eivät sijaitse sen keskellä tai reunoissa.

Urien sijaintien vaihtelevuudet tekevät robotin ladontaohjelmista monimutkaisempia, koska toisin kuin symmetristen segmenttien ohjelmissa, uudenlaisia ladottavia staattori-paketteja varten joudutaan luomaan luultavasti uusi ladontaohjelma. Epäsymmetristen

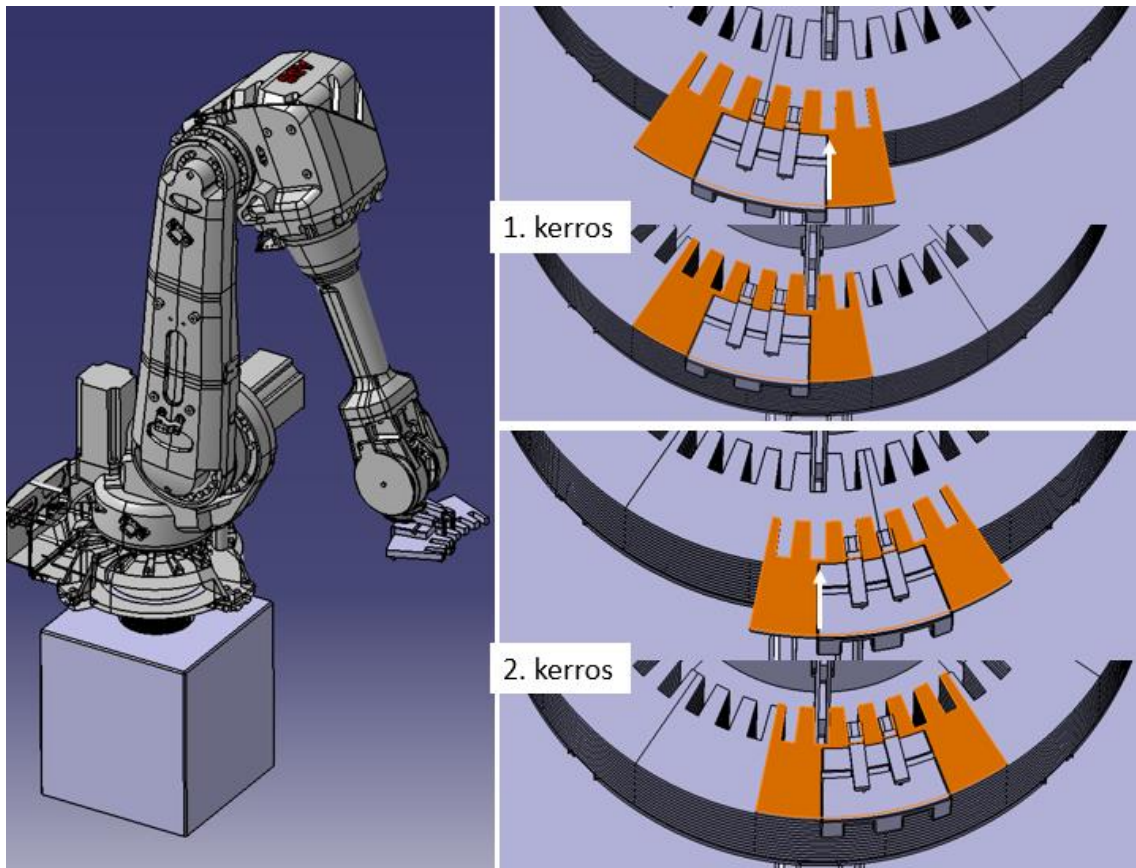
segmenttien ladonta voidaan toteuttaa kahdella tavalla; tarttumalla segmenttiin urapuikotarttujalla muualta kuin sen keskeltä ja latomalla se alustaan kohtisuoraan tai tarttumalla segmenttiin sen keskeltä ja latomalla segmentti urapuikkoon vinossa. Ladontatapa valitaan sen perusteella, kumman tavan ladontaohjelman luominen on helpompaa.

Mikäli segmentit halutaan latio alustaan symmetristen segmenttien tapaan kohtisuoraan pakettin ulkopintaan nähden, tulee segmenttiin tarttua sitä tukevan urapuikon mukaan (kuva 48). Urapuikotarttujalla tartutaan segmenttiin urista, jotka sijaitsevat symmetrisesti urapuikolla tukemiseen varatun uran molemmilla puolilla. Segmenttikerrosten välisen limityksen vuoksi eri kerroksessa olevat segmentit ladotaan urapuikkoon vuorotellen segmentin eri päissä sijaitsevista urista. Robotin tulee siis tarttua segmentteihin vuorotellen eri päistä. Urien mahdollisen epäsymmetrisyyden niiden välisten kulmien vaihtelevuuden vuoksi robotille pitää ladontaohjelmassa opettaa, mistä urista sen pitää tarttua segmenttiin. Segmentin paino jakautuu toisesta laidasta tarttuessa epätasaisesti, mikä voi asettaa tarttujalle suurempia vaatimuksia tarttumisvoiman suhteen.



Kuva 48. Ladontaohjelma, missä robotti tarttuu segmenttiin muualta kuin sen muodostaman kulman keskipisteestä ja latio segmenttiin kohtisuoraan urapuikkoon.

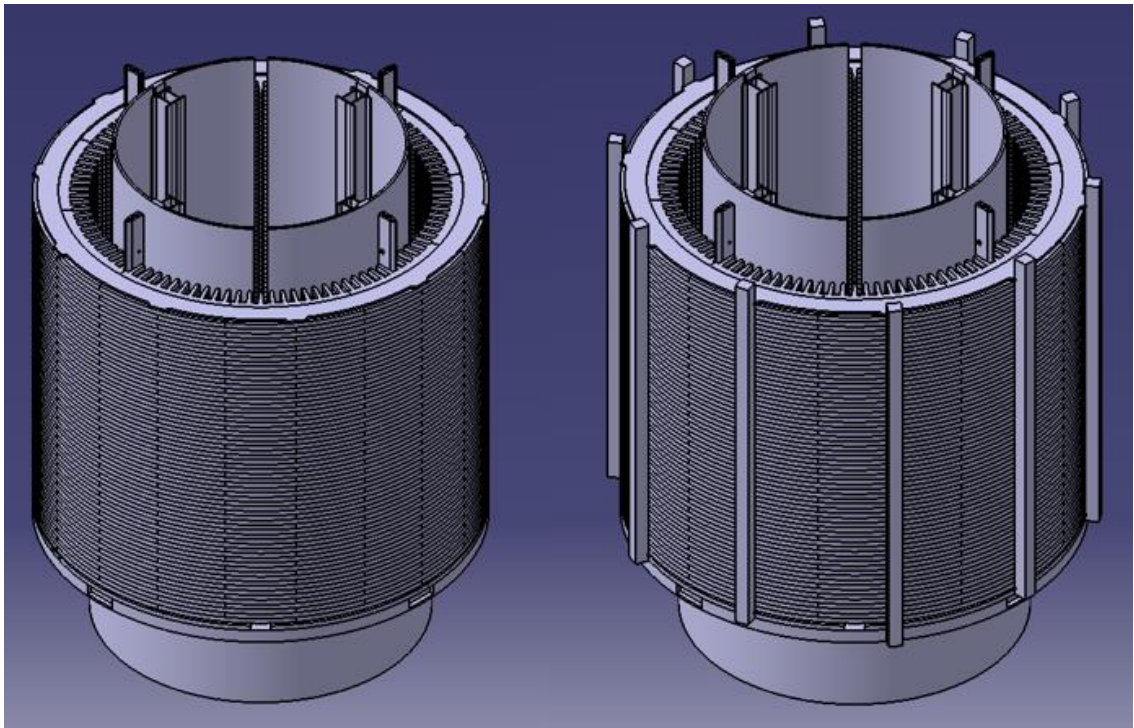
Segmenttiin tarttuminen on huomattavasti helpompaa, kun se tehdään joka kerta samasta kohtaa mahdollisimman keskeltä segmenttiä. Segmentin paino jakautuu täten tasaisesti tarttujalle, ja robotille tulee opettaa segmentin poimimista varten vain yksi liike, jolla kaikki paketin segmentit saadaan nostettua. Segmentin urapuikolle varattu ura on kuitenkin tällä tavoin segmenttiin tartuttaessa eri kulmassa verrattuna tarttujan keskipisteeseen. Tämä tarkoittaa sitä, että robotti voi latoa segmenttiä täysin kohtisuoraan paketin ulkopintaan nähden. Robotti joutuu sen sijaan kääntämään segmenttiä tarttujan keskipisteen sekä urapuikkoa varten varatun uran välisen kulman verran aina ennen segmentin työntämistä urapuikkoa vasten (kuva 49). Ladontaohjelmia varten robotille tulee uutta pakettia ladottaessa opettaa kyseinen kulma ja ohjelmoida se kääntämään tarttujaa siten, että urapuikolle varattu ura oikeaan kulmaan kääntymisen lisäksi sijoittuu myös oikeaan kohtaan robotin ja alustan väliin urapuikon kohdalle.



Kuva 49. Ladontaohjelma, missä robotti tarttuu segmenttiin sen keskimmäisistä urista ja latoi segmentin urapuikkoon kulmassa.

8.4.3 Staattoripaketin viimeistely

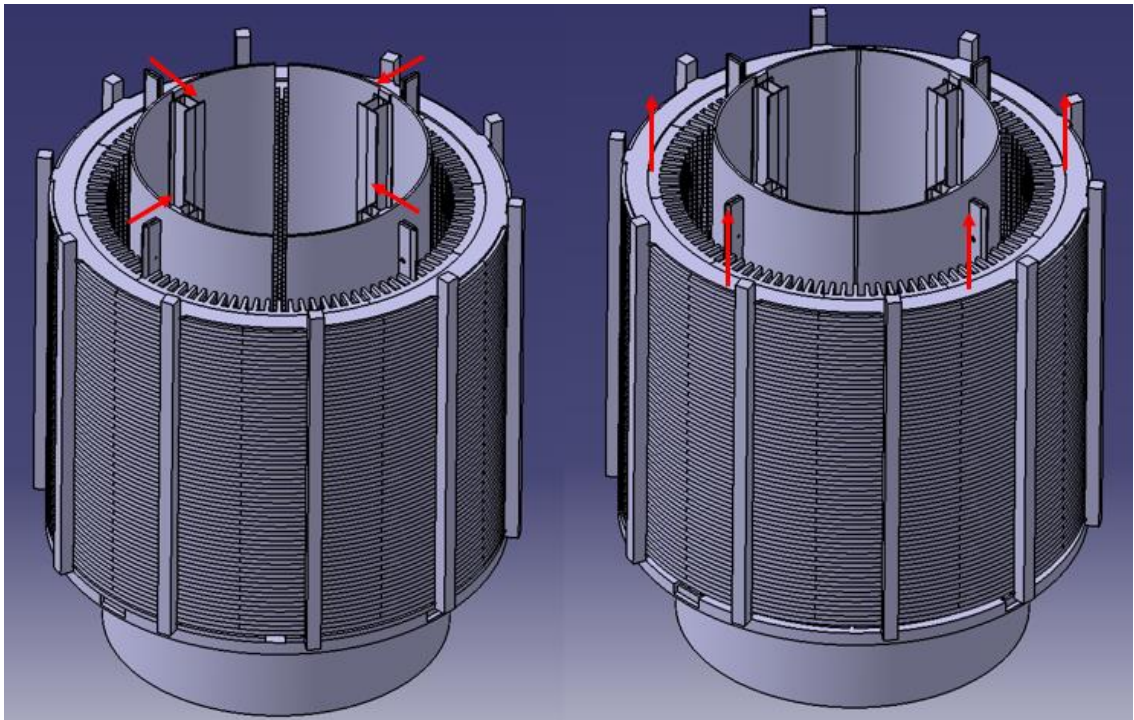
Ladontarobotti lopettaa segmenttien latomisen, kun paketin suunniteltu pituus on tavoitettu. Solun operaattori varmistaa tässä vaiheessa tuotteen laadun ja hyväksyy aikaansaannoksen asentamalla yläpään sormilevyn paikoilleen. Sormilevyn ollessa oikein keskitetyksi paikoillaan paketin päällä voidaan sidepalkit asettaa sormilevyjen ulkopinnasta löytyviin loviin (kuva 50) ja lukita ne paikoilleen ruuvipuristimilla. Sidepalkit voidaan hitsata kiinni paketin ulkopintaan nykyiseen tapaan manuaalisesti. Parempi vaihtoehto olisi kuitenkin, jos hitsauksen pystyisi tekemään tässä työvaiheessa muuten toimettomana olevalla ladontarobotilla. Robotilla hitsaamisessa tulee kuitenkin ottaa huomioon levypaketista löytyvät ilmasolalevyjen erottamat osapaketit. Hitsiä ei saa tehdä ilmapäleihin, joten robotin tulee osata hypätä näiden ylitse hitsaamatta sidepalkkia pakettiin liittäessä. Osapaketien pituudet vaihtelevat konekohtaisesti, minkä vuoksi ne tulee joko opettaa robotille ennen hitsausta tai robotin tulee itse osata tunnistaa ilmapälit ja jättää ne hitsaamatta.



Kuva 50. Sormilevyn sekä sidepalkkien asennus valmiin levypaketin päälle.

Alustavassa urapuikkoalustan mallissa tuli esille ongelma valmiin paketin alustasta poistamisessa. Urapuikot pakottavat segmentin urat samalle linjalle. Segmentit jäävät

kuitenkin painamaan urapuiikkojen kylkiä ja tästä aiheutuneen voiman sekä näiden kahden pinnan välisten kitkan vuoksi urapuiikkojen irrottaminen paketista tulee olemaan vaikeaa. Valmista levypakettia ei siis voi yksinkertaisesti nostaa ylös alustasta urapuiikkoja pitkin. Tämän vuoksi jigit tulee mitoittaa niin, että ne eivät kata koko niille varattua 45° kulmaa. Tällä tavoin jigien välin jää tilaa, ja kiinnityspalkit voidaan ajaa sisäänpäin niin, että urapuikot irtoavat urista (kuva 51). Tätä ei kuitenkaan voida tehdä, jos urapuikkoa ei ole sijoitettu jigien kiskoille kiinnityspalkin liikkeen suuntaisesti. Tässä tapauksessa urapuikot tulee vetää ensiksi sisään niin pitkälle, että puiikko ei törmää enää kiinnityspalkkeja sisään vetäessä segmenttien sormiin.



Kuva 51. Urapuiikkojen irrottaminen urista ajamalla jigien kiinnityspalkit sisäänpäin ennen valmiin levypaketin pois nostamista.

9 Tulokset ja päätelmät

9.1 Keskeiset tulokset

Työn tuloksena saatiin muodostettua esitettäväksi kolme erilaista ehdotusta siitä, kuinka segmenttistaattoripaketteja pystyttäisiin latomaan käyttämättä nykyisiä ladontajigejä. Ehdotukset olivat *säädettävä kiskoalusta*, *urapuikkoalusta* sekä *urapuikkotarttuja*. *Säädettävä kiskoalusta* on nykyisien ladontajigien tapaan paketin ulkopinnasta ohjauksisko- jen avulla segmentit keskittävä alusta, joka koostuu useasta vaihdettavasta jigilohkosta, jotka säädetään oikeaan asemaan ladottavan staattoripaketin halkaisijan mukaan. *Urapuikkoalusta* on ladottavaa pakettia sen sisäpinnalta tukeva alusta, joka koostuu staattorin konetyypin mukaan vaihdettavista jigilohkoista, jotka säädetään oikeaan asemaan. Jigilohkoihin kiinnitetään prosessin laadun kannalta tärkeitä urapuikkoja ja segmentit ladotaan siten, että urapuikot uppoavat niiden uriin ja keskittyvät niiden avulla oikealle kehälle. *Urapuikkotarttuja* on staattorin konetyypin mukaan valmistettu tarttuja, johon on yhdistetty tartuttavan segmentin uriin sopivat urapuikot. Urapuikot ylettyvät segmentin yli, minkä vuoksi tarttuja ohjautuu latomaan segmentin oikeaan asemaan aiemmin ladottujen kerroksien perusteella.

Urapuikkoalustaa sekä -tarttujaa pidettiin ideoista potentiaalisimpina ja päätettiin, että nämä kaksi voitaisiin yhdistää toimimaan samassa solussa. Segmenttien automaattisesta ladonnasta muodostettiin esitettävä kokonaisuus, jossa kuvattiin urapuikkoalustan ja -tarttujan toimintaa yhdessä. Samalla jalostettiin ideoita pidemmälle sekä ratkaistiin alkuperäisissä ehdotuksissa ilmenneitä ongelmia. Lopputuloksena saatiin kaikkien segmenttien vaihtelevien mittojen, paitsi niiden ulkohalkaisijoiden, mukaan säädettävät mallit urapuikkoalustasta ja -tarttujasta. Lisäksi muodostettiin esitysmateriaalia siitä, millaisia ladontaohjelmia robotilta vaadittaisiin ideoita varten.

9.2 Työn arviointia

Ideat segmenttistaattoripakettien jigittömälle ladonnalle muodostettiin nykyisestä ladontaprosessista tehdyn nykytilakartoituksen perusteella. Nykytilakartoitus tehtiin seuraamalla ladontaosaston toimintaa ja keskustelemalla ladontaprosessille tärkeistä ja sitä hidastavista yksityiskohdista osaston työntekijöiden sekä työnjohdon kanssa. Nykytilakar-

toituksessa kuvailtiin ensin havaintojen perusteella ladontaprosessissa suoritettuja erilaisia työvaiheita etenemisjärjestyksessä sekä osaston toimintaa ja listattiin tämän jälkeen kaikki niissä ilmenneet positiiviset puolet sekä kehityskohteet.

Ladontaprosessi oli työn tekijälle ennen nykytilakartoituksen tekemistä melko tuntematon. Osaston ja prosessin tarkastelu suoritettiin ilman tarkempien taustatietojen antamista, jotta tutkimuksesta saataisiin mahdollisimman objektiivinen. Nykytilakartoituksessa saatiin priorisoitua kaikki tärkeimmät kohteet, joihin kiinnittää huomiota jigittömän ladonnan ideoissa, mutta mitään uusia tärkeitä yksityiskohtia ei prosessista oikeastaan löytynyt. Automatisoinnin projektiryhmä ei myöskään tietoisesti jakanut omia ideoitaan jigittömän ladonnan toteuttamiselle, jotta nostettiin tuoreiden ideoiden esiintymisen todennäköisyyttä.

Työn lopputuloksena syntyneet ideat vastasivat onnistuneesti työn tarkoitusta, joka oli tuoda erilaisia vaihtoehtoja pöydälle, joista pystytään lähtemään rakentamaan toimivaa kokonaisuutta. Koska ideat erosivat toimintaperiaatteeltaan paljon toisistaan, pystyttiin niitä toisiinsa vertailemalla päättämään, mitä ominaisuuksia automaattiselta ladonnalta tulisi löytyä.

9.3 Jatkotutkimusaiheita

Tärkein jatkotutkimuksien kohde ladonnan automatisointiin liittyen on esipuristettujen segmenttinippujen toimivuus. Ladottavien segmenttien paino, koko sekä jäykkyys vaikuttavat jossain määrin kaikkiin muihin suunniteltaviin osiin projektissa. Insinööriydessä nämä vaikuttavat eniten muun muassa tarttujan toimivuuteen sekä ladonnan puristuksen tarpeeseen. Urapuikkotarttujan mekaaninen tartuntamekanismi voi olla liian heikko, riippuen siitä, kuinka paksuja ja raskaita segmenttinipuista päätetään tehdä. Jos esipuristetut segmenttiniput vaativat suurempaa puristusvoimaa kuin mihin latojarobotti kykenee, joudutaan alustaan tekemään rakenteellisia muutoksia lisäten siihen suurempia puristimia.

Ideoita esittäessä heräsi huolenaiheita, jotka koskivat valmiin paketin irrottamista urapuikkoalustasta sekä alustan kestämistä ladonnan aikana siihen kohdistuneet voimat. Urapuikot jäävät ladonnassa segmenttien uriin puristuksiin ja niiden poistaminen

vaatii jonkin verran voimaa. Pidemmät levypaketit saattavat pyrkiä ladonnan aikana kallistumaan johonkin suuntaan, minkä vuoksi urapuikkoalusta voi vaatia vankempaa tukea paketin sisäpuolelle. Kyseiset voimat olisi hyvä selvittää nykyisestä ladontaprosessista ja ottaa ne tarkemmin huomioon lopullisen ratkaisun suunnittelussa.

10 Yhteenveto

Työn tavoite oli ideoida erilaisia tapoja latoa segmenttistaattoripaketteja käyttämättä nykyisessä ladontaprosessissa käytössä olevia ladontajigejä. Ideoissa tuli ottaa huomioon niiden yhteensopivuus työvaiheen tulevaisuudessa tehtävän automatisoinnin kanssa. Päämääräksi asetettiin suunnitella ja esittää kolme erilaista ideaa, kuinka segmenttistaattoripaketteja voitaisiin latoa ilman ladontajigejä.

Ideat kehitettiin osastolle tehdyn nykytilakartoituksen pohjalta. Nykytilakartoitus muodostettiin seuraamalla ladontaosaston toimintaa ja keskustelemalla ladontaprosessin toimivuudesta staattorinladonnan työntekijöiden sekä työnjohtajien kanssa. Osaston toiminnasta muodostettiin kuvaus ja ladontaprosessista listattiin kaikki siinä ilmenneet positiiviset puolet sekä kehitystä kaipaavat puolet. Jigittömän ladonnan ideat muodostettiin käyttämällä niissä hyväksi nykyisen ladontaprosessin positiivisia puolia yrittäen samalla kehittää mahdollisimman monia prosessin vaiheita.

Tuloksena saatiin jigittömälle ladonnalle erilaisia ideoita, joista muodostettiin kolme kärkeää mallia; urapuikkoalusta, säädettävä kiskoalusta sekä urapuikkotarttuja. Suunnitelut mallit ja niiden toimintaperiaatteet esitettiin ladonnan automatisoinnista vastaavalle projektiryhmälle. Esityksessä tuotiin esille mallien positiiviset sekä negatiiviset puolet verrattuna toisiinsa sekä nykyiseen ladontaprosessiin. Kiskoalusta päätettiin jättää pois harkinnasta, koska tahtotila sen toimintaperiaatteelle oleellisten segmenttien ohjauksikojen urien poistamiselle on suuri. Lisäksi, koska automaattinen ladonta on suunniteltu suoritettavan robotin toimesta, olisi paketin ulkopuolinen tuenta tiellä. Urapuikkoalustan toimintaa yksinään segmentit kehälle keskittävänä elementtinä epäiltiin, mutta se nähtiin sen sijaan potentiaalisena ratkaisuna segmenttien sisäpuoliseksi tueksi. Urapuikkotarttuja taas nähtiin mahdolliseksi tavaksi keskittää segmentit oikealle kehälle. Urapuikkoalusta ja -tarttuja päätettiin yhdistää toimimaan samanaikaisesti.

Urapuikkoalustan ja -tarttujan yhdessä toiminnasta muodostettiin malli. Samalla ratkaistiin mahdollisuuksien mukaan myös kyseisissä malleissa ilmenneitä haasteita ja mallinnettiin niissä käytettäviä komponentteja hieman yksityiskohtaisemmin. Jatkojalostettu versio ideoista esitettiin projektiryhmälle sekä automatisointiprojektia varten palkattujen ulkoisten insinööri-toimistojen edustajille. Edellä mainitut henkilöt hyödynsivät mallinnetun ratkaisun positiivisia puolia omassa suunnittelutyössään ja kiinnittivät erityistä huomiota niiden alkuperäisissä sekä jalostetuissa versioissa ilmenneisiin haasteisiin.

Kriittisimmät palautteet mallista liittyivät sen kestävyteen sekä valmiin paketin poistamiseen alustasta. Alusta vaatisi jigien kehän sisäpuolelle vankan tukipisteen, joihin jigilohkot pystyttäisiin kiinnittää niiden asennuksen jälkeen. Ilman tätä on vaara, että jigit tai niiden kiinnityspalkit taipuvat ladonnassa aiheutuvien voimien vaikutuksesta. Paketin sisäpuoliseen tuentaan käytettyjen urapuikkojen irrottaminen valmiin paketin urista koettiin myös haasteena. Urapuikot jäävät ladonnan aikana ladottujen segmenttien väliin puristuksiin, ja tämän vuoksi urapuikkojen vetäminen ulos paketin nostamista varten vaatii mahdollisesti voimia, joihin sähkösylitereillä ei päästä.

Työssä päästiin sen alussa määritettyyn päämäärään. Työn toteuttamiseksi ehdotettiin toimintaperiaatteeltaan paljon toisistaan poikkeavia ratkaisuja, joita vertailemalla toisiinsa kyettiin määrittämään yksityiskohtia, joita halutaan ja joita ei haluta käyttöön tulevassa ladontaprosessissa. Ulkoisten insinööritoimistojen edustajat sekä automatisoinnin projektiryhmä jatkoivat tulevan ladontaprosessin suunnittelua työn ideoiden sekä havaintojen pohjalta.

Lähteet

ABB lyhyesti. 2017. Verkkodokumentti. ABB Oy.

<<http://new.abb.com/fi/abb-lyhyesti>>. Luettu 17.4.2017.

Ahoranta, J. 1995. Sähkötekniikka. Porvoo: WSOY.

Aura, L. & Tonteri, A. 1986. Sähkämiehen käsikirja 2: Sähkökoneet. Porvoo: WSOY.

Aura, L. & Tonteri, A. 1996. Sähkökoneet ja tehoelektroniikan perusteet. Porvoo: WSOY.

Groover, M. 2008. Automation, Production Systems, and Computer-Integrated Manufacturing, Third Edition. New Jersey: Pearson Education Inc.

Hietalahti, L. 2011. Muuntajat ja sähkökoneet. Tampere: Amk-kustannus Oy Tammer-tekniikka.

Hughes, A. 1993. Electric Motors and Drives: Fundamentals, Types and Applications, 2nd Edition. Oxford: Newnes.

Keskijännitemoottorit. 2017. Verkkodokumentti. ABB Oy.

<<http://new.abb.com/motors-generators/fi/keskij%C3%A4nnitemoottorit>>. Luettu 5.10.2017.

Korpinen, L. Sähkökoneet osat 1&2. 2007. Verkkodokumentti.

<http://www.leenakorpinen.fi/archive/svt_opus/10sahkokoneet_2osa.pdf>. Luettu 1.10.2017.

Kuivanen, R. 1999. Robotiikka. Vantaa: Talentum Oyj.

Lehtinen, H. 2017. Robotit. Verkkodokumentti.

<<http://automaatioseura.planeetta.com/index/tiedostot/Robotit.pdf>>. Luettu 27.10.2017.

Monkman, J., Hesse, S., Steinmann, R. & Shunk, H. 2007. Robot grippers. Weinheim: Wiley-WHC.

P-ohjeisto. 2017. ABB:n sisäinen tietokanta. ABB Oy.

TPL Industrial Powered Turntables. 2017. Verkkodokumentti. Advancelifts.

<<http://advancelifts.com/turn-tables/industrial-powered-turntables-tph-tpl/>>. Luettu 5.9.2017.