



SAVONIA

OPINNÄYTETYÖ - AMMATTIKORKEAKOULUTUTKINTO
TEKNIIKAN JA LIIKENTEEN ALA

SAHAUSSOLUN AUTOMATISOINTISUUNNITELMA

Lapinlahden Koneistus Oy

TEKIJÄ: Mika Hiltunen

| | | | |
|--|----------|--------------------|------|
| Koulutusala Tekniikan ja liikenteen ala | | | |
| Koulutusohjelma/Tutkinto-ohjelma Konetekniikan tutkinto-ohjelma | | | |
| Työn tekijä(t) Mika Hiltunen | | | |
| Työn nimi Sahaussolun automatisointisuunnitelma. Lapinlahden Koneistus Oy | | | |
| Päiväys | 3.5.2020 | Sivumäärä/Liitteet | 37/6 |
| Ohjaaja(t) Arto Liuha | | | |
| Toimeksiantaja/Yhteistyökumppani(t) Lapinlahden Koneistus Oy | | | |
| Tiivistelmä | | | |
| <p>Opinnäytetyön tavoitteena oli laatia automatisointisuunnitelma Lapinlahden Koneistus Oy:n sahaussoluun. Sahatujen aihoiden kappalemäärä kasvaa yrityksessä kesällä 2020, kun kappaleenkäsittelyrobotti otetaan käyttöön yrityksen monitoimisorvisolussa. Sahaussolu toimii tällä hetkellä täysin henkilötyövoimalla, ja koska robotisointi aiheuttaa vaatimuksia aihoiden puhtauteen ja lavaukseen, sahalle tarvitaan joko enemmän työvoimaa tai jonkinasteista automaatiota.</p> <p>Työn aluksi kartoitettiin sahaussoluun tulevan automaation laajuutta, minkä jälkeen soluun suunniteltiin ja mallinnettiin alustava layout Alibre suunnitteluohjelmalla. Solun robotisointi oli tarkoitus toteuttaa avaimet käteen -periaatteella, koska yrityksen oma tietotaito ja resurssit eivät olisi riittäneet kokonaisen robottijärjestelmän rakentamiseen. Robotista lähetettiin tarjouspyyntö neljälle robottijärjestelmätoimittajalle sekä tarjouspyynnöt pylväsnosturista ja varastohallista tuotantotilaan raaka-ainetankoja tuovasta kuljettimesta. Lopuksi tarjoukset analysoitiin, valittiin yrityksen tuotantoon sopiva robottijärjestelmä ja laskettiin automatisoinnin kustannukset sekä takaisinmaksuaika.</p> <p>Lopputuloksena tästä työstä saatiin valmis suunnitelma ja kustannusselvitys Lapinlahden Koneistus Oy:n sahaussolun osittaiseen automatisointiin. Vaikka näitä suunnitelmia ei voi suoraan käyttää solun robotisointiin tulevaisuudessa, opinnäytetyö antaa arvokasta informaatiota teollisuusrobottien ja niiden lisälaitteiden mahdollisuuksiin Lapinlahden Koneistus Oy:n tuotannon kehittämisessä jatkossakin.</p> | | | |
| Avainsanat robotiikka, layout | | | |
| | | | |

| | | | |
|--|-------------|------------------|------|
| Field of Study Technology, Communication and Transport | | | |
| Degree Programme Degree Programme in Mechanical Engineering | | | |
| Author(s) Mika Hiltunen | | | |
| Title of Thesis A Cutting Cell Automation Plan for Lapinlahden Koneistus Oy | | | |
| Date | May 3, 2020 | Pages/Appendices | 37/6 |
| Supervisor(s) Arto Liuha | | | |
| Client Organisation /Partners Lapinlahden Koneistus Oy | | | |
| <p>Abstract</p> <p>The aim of this thesis was to draw up an automation plan for Lapinlahden Koneistus Oy cutting cell. The number of sawn blanks will increase in the company in the summer of 2020, when the part handling robot will be introduced in the company's multifunctional lathe cell. The cutting cell currently operates entirely with manpower, and as robotization imposes demands on the cleanliness and palletization of the blanks, it requires either more labor or some degree of automation for the sawmill.</p> <p>At the beginning of the work, the extent of automation entering the cutting cell was mapped, after which the initial layout of the cell was designed and modeled with the Alibre design program. Cell roboticization was to be carried out on a turnkey basis, as the company's own know-how and resources would not have been sufficient to build a complete robot system. A call for tenders about the robot was sent to four robot system suppliers, and calls for tenders about a column crane and a conveyor bringing raw material bars to the production hall. Finally, the bids were analyzed, a robot system suitable for the company's production was selected, and the costs of automation and the payback period were calculated.</p> <p>As a result of this work, a completed plan and cost statement for the partial automation of the cutting cell of Lapinlahden koneistus Oy was obtained. Although these plans cannot be directly used for cell robotization in the future, this thesis provides valuable information on the possibilities of industrial robots and their accessories in the further development of Lapinlahden Koneistus Oy's production.</p> | | | |
| Keywords robotics, layout | | | |
| | | | |

SISÄLTÖ

| | | |
|-------|--|----|
| 1 | JOHDANTO | 6 |
| 2 | LAPINLAHDEN KONEISTUS OY | 7 |
| 3 | LAYOUT..... | 8 |
| 3.1 | Layout-suunnittelu | 10 |
| 3.2 | Robottisolun layout | 10 |
| 4 | ROBOTIIKKA..... | 11 |
| 4.1 | Robotisoinnin perusteet..... | 11 |
| 4.2 | Teollisuusrobotti ja robottityypit..... | 11 |
| 4.2.1 | Lineaarirobotit | 13 |
| 4.2.2 | Yhteistyörobotit..... | 13 |
| 4.2.3 | Nivelvarsirobotit | 15 |
| 4.3 | Robotin kinematiikka ja koordinaatistot | 16 |
| 4.4 | Robotin ohjelmointi | 17 |
| 4.5 | Tarttujat..... | 18 |
| 4.6 | Robottisolun turvallisuus..... | 20 |
| 5 | LÄHTÖTILANTEEN KARTOITUS..... | 23 |
| 6 | SAHAUSSOLUN LAYOUT..... | 25 |
| 7 | SAHAUSSOLUN AUTOMAATIO | 27 |
| 7.1 | Automaatiolla sahattavien aihoiden rajaus | 27 |
| 7.2 | Robotin valinta | 27 |
| 7.3 | Aihion poiminta, puhdistus ja lavaus | 28 |
| 7.4 | Robottisolun ohjaus ja turvallisuus | 30 |
| 8 | AUTOMAATIOJÄRJESTELMÄN KUSTANNUKSET | 30 |
| 8.1 | Tarjouspyynnöt..... | 30 |
| 8.2 | Tarjousten analysointi | 31 |
| 8.3 | Sahaussolun automaation hankintakustannukset..... | 31 |
| 8.4 | Takaisinmaksuaika | 32 |
| 9 | PÄÄTÄNTÖ..... | 34 |
| | LÄHTEET JA TUOTETUT AINEISTOT | 35 |
| | LIITE 1: TARJOUS YASKAWA MOTOMAN GP50 ROBOTTISOLUSTA | 38 |

| | |
|--|----|
| LIITE 2: TARJOUS ABB IRB4600 ROBOTISTA..... | 39 |
| LIITE 3: TARJOUS FANUC M-710IC/70 ROBOTISTA..... | 40 |
| LIITE 4: ROBOTITARJOUS SAVON AUTOMAATIOLTA..... | 41 |
| LIITE 5: NOSTURITARJOUS KONECRANESILTA..... | 42 |
| LIITE 6: NOSTURITARJOUS SATATERÄKSELTÄ..... | 43 |

1 JOHDANTO

Tämän opinnäytetyön aiheena on laatia sahaussolun automatisointisuunnitelmat Lapinlahden Koneistus Oy:lle. Yrityksessä otetaan käyttöön kesällä 2020 Fanuc -kappaleenkäsittelyrobotti Mazak Integrex -monitoimisorvilla, mikä kasvattaa sahattujen kappaleaihioiden määrää tuotannossa. Automaation määrän kasvu aiheuttaa myös omat vaatimukset aihoiden käsittelyyn, sillä aihoiden täytyy olla lavoilla oikeinpäin, järjestyksessä sekä lastuista puhdistetut. Tällä hetkellä solu toimii täysin henkilötyövoimalla, ja aihiot ovat lavoilla puhdistamattomina ja suoraan sahan kuljettimelta tippuneina.

Tässä työssä pääpaino on robotiikan ja lisälaitteiden valinnassa sahaussoluun sekä sahaussolun layoutin suunnittelussa materiaalivirtausten parantamiseksi ja automaation mahdollistamiseksi sahaussoluun. Teoriaosuudessa keskitytään tuotantosolun layout – suunnitteluun, teollisuusrobotiikan perusteisiin sekä kolmen eri robottityypin, lineaarirobotin, yhteistyörobotin ja nivelvarsirobotin ominaisuuksiin. Useimmiten teollisuusrobottien maahantuojat tarjoavat kokonaisia automaatiolosuja ja -järjestelmiä koulutuksineen avaimet käteen -periaatteella. Näin ollen yrityksen ei ole järkevää eikä taloudellisesti kannattavaa ryhtyä itse suunnittelemaan ja rakentamaan toimivaa robottisoluja tuotantonsa. Työn aluksi sahaussoluun suunnitellaan pieniä layout -muutoksia materiaalivirtojen parantamiseksi ja automaation mahdollistamiseksi. Tämän jälkeen kartoitetaan markkinoilla olevat automaatiojärjestelmät ja niiden sopivuus Lapinlahden Koneistus Oy:n tuotantoon. Lopuksi pyydetään tarjoukset yritykselle sopivista automaatoratkaisuista ja lasketaan investoinnin takaisinmaksuaika.

Tavoitteena tällä työllä on saada tietoa tällä hetkellä markkinoilla olevien kappaleenkäsittelyrobottien mahdollisuuksista ja hintatasosta. Tekniikka kehittyy valtavaa vauhtia ja samanaikaisesti kustannukset laskevat teollisuuden automaation lisääntyessä. Luultavasti jo vuoden päästä nämä laskelmat ovat vääristyneitä, mutta tästä työstä saadaan suuntaa antavaa tietoa tulevaisuudessakin.

2 LAPINLAHDEN KONEISTUS OY

Lapinlahden Koneistus Oy on vuonna 2005 perustettu koneistusalan yritys, joka sijaitsee Lapinlahdella. Nykyisiin toimitiloihin yritys muutti vuonna 2008, ja vuonna 2019 teollisuushallin yhteyteen rakennettiin noin 300 neliömetrin pressuhalli raaka-aineen varastotilaksi. Lapinlahden Koneistus Oy valmistaa alihankintana koneistusosia kaikkiaan noin 30 asiakkaalle, joista suurimmat ovat Viere-mällä toimiva metsäkonevalmistaja Ponsse Oy, kiinteistöhuoltolaitteita valmistava lapinlahtelainen Lametal Oy sekä Iisalmessa kaivoskoneita valmistava Normet Oy. (Litmanen 2020-01-09.)

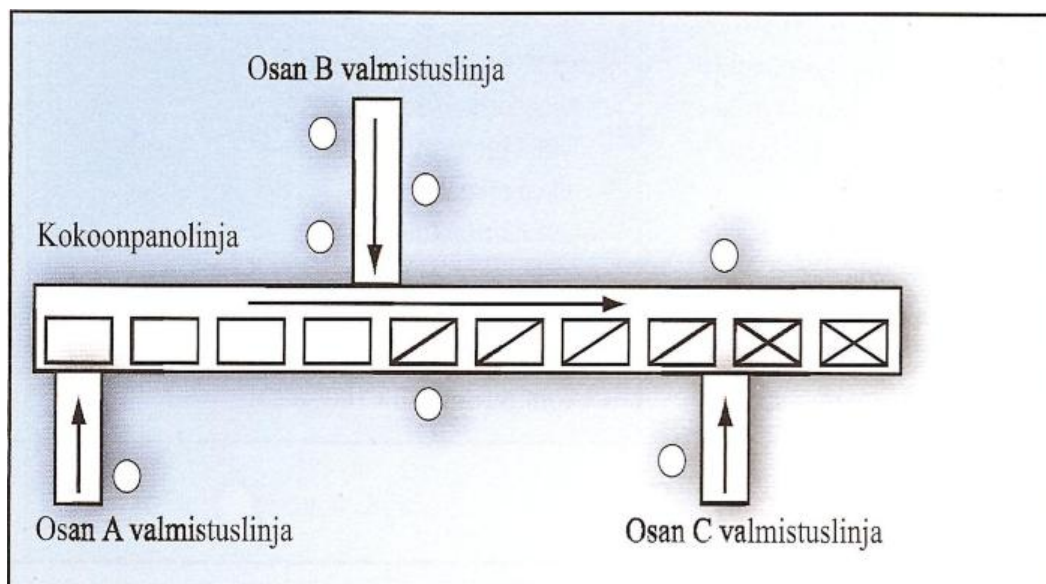
Lapinlahden Koneistus Oy investoi jatkuvasti konekannan uusimiseen sekä tuotantojärjestelmiin, jotta se pystyy vastaamaan tehokkaasti asiakkaiden tarpeisiin. Viimeisimpänä yritykseen on hankittu Mitutoyo -koordinaattimittauskone sekä viisiakselinen Mazak Integrex -monitoimisorvi. Jatkuvalla tuotannon, henkilöstön sekä konekannan kehityksellä pystytään varmistamaan, että tuotteiden laatu, palvelu ja toimitusvarmuus ovat koko ajan parhaalla mahdollisella tasolla. (Litmanen 2020-01-09.)

Yrityksen toimitusjohtajana toimii Erkki Litmanen ja hallintojohtajana Mirja Litmanen. Yrityksen tuotantopäällikkönä toimii Ville Hiltunen. Tällä hetkellä työntekijöitä yrityksessä on kaikkiaan 17. (Litmanen 2020-01-09.)

3 LAYOUT

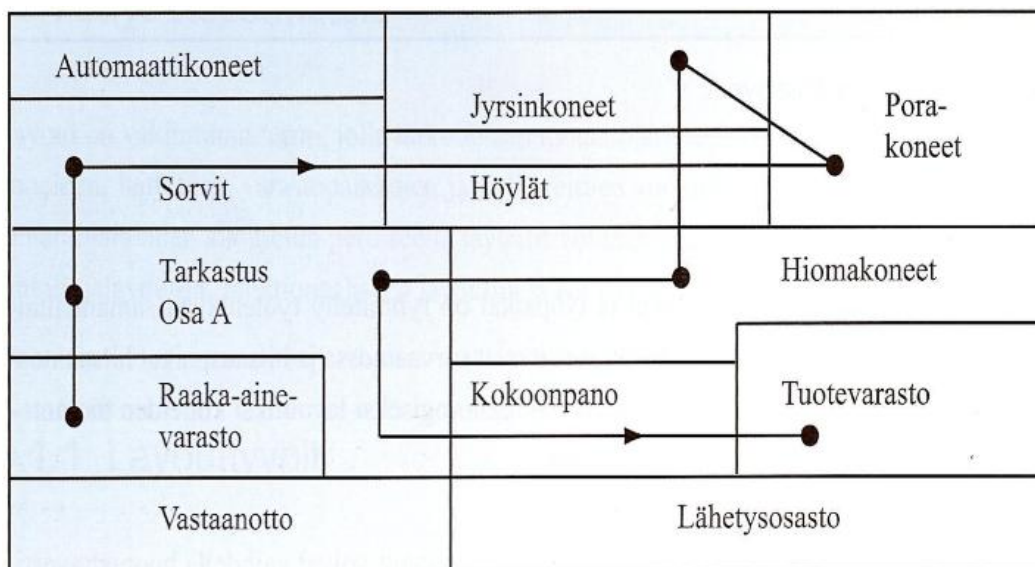
Layoutilla on tuotannossa suuri merkitys sujuvuuden ja tehokkuuden kannalta. Layoutin muuttaminen on usein aikaa ja rahaa vievä prosessi ja näin ollen layoutsuunnittelulla on suuri merkitys lopputulokseen. Sujuva tuotannon layout on työturvallinen, materiaalivirroiltaan tehokas kokonaisuus, joka minimoi tuotteen läpimenoajan ja työntekijän turhan liikkeen. (Logistiikanmaailma 2017.)

Layoutit voidaan jakaa laitteiden sijoittelun perusteella kolmeen eri tyyppiin: tuotantolinjaan, funktionaaliseen layoutiin ja solulayoutiin. **Tuotantolinjassa** koneet ovat tuotteen työvaiheiden mukaisessa järjestyksessä ja usein tuotteen valmistus ja käsittely on automatisoitua ja tehokasta. Tuotteen virtaus on selkeää ja työpisteiden välillä käytetään usein kuljettimia. Tuotantolinjan rakentamisen tai muuttamisen kustannukset ovat suuret ja tuotantolinja soveltuu suurille valmistusmäärille, jolloin tuotteen yksikköhinta jää alhaiseksi. Tuotantolinja on altis häiriöille ja laadunvalvonnan on oltava tehokasta. (Haverila, Kouri, Miettinen ja Uusi-Rauva 2009, 475–476.)



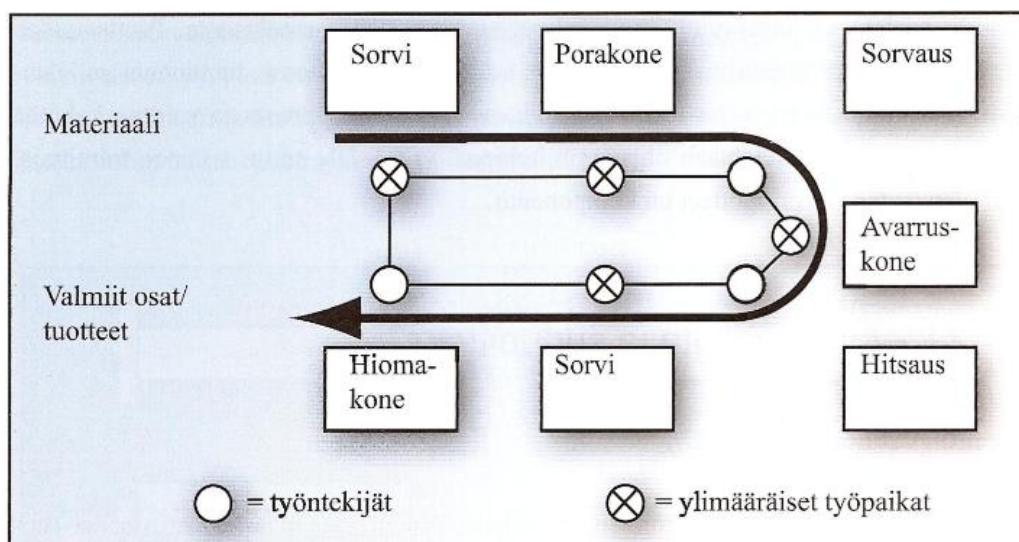
KUVA 1. Tuotantolinjalayout (Haverila ym. 2009, 476.)

Funktionaalisessa layoutissa koneet ja työpisteet on ryhmitelty työtehtävän samankaltaisuuden perusteella. Tuotetyypit ja sarjakoot vaihtelevat funktionaalisessa layoutissa huomattavasti ja tuotteita valmistetaan pienissä sarjoissa tai yksittäiskappaleina. Kappaleenkäsittelyautomaatiota on rajoitetusti ja materiaalin kuljetus- ja käsittelykustannukset ovat suuret. Funktionaalisessa layoutissa oikea-aikainen tuotannonohjaus ja laadunvalvonta on hankalaa välivarastojen ja työpisteiden suuren etäisyyden vuoksi. Funktionaalisen layoutin toteuttaminen on edullista verrattuna tuotantolinjaan ja muutokset on helppo toteuttaa. Tuotannon kuormitusaste ja tuottavuus ovat kuitenkin tuotantolinjaan verrattuna heikompia ja keskeneräisten töiden määrä suurempi. (Haverila ym. 2009, 476–477.)



KUVA 2. Funktionaalinen layout (Haverila ym. 2009, 477.)

Solulayoutissa koneet tai koneryhmät muodostavat omat työpisteensä, jotka ovat erikoistuneet tiettyjen osien valmistamiseen. Solulayoutissa tuotteen läpäisyajat ovat lyhyet ja materiaalivirrat selkeät, eikä siinä ole välivarastoja. Solu pystyy valmistamaan tuotteita joustavasti ja tehokkaasti. Solulayoutissa eri tuotteiden eräkoot vaihtelevat paljonkin yksittäisvalmistuksesta pieniin sarjoihin. Laadunvalvonta ja tuotannonohjaus on helppoa, mutta solun kuormitusaste voi vaihdella huomattavasti. Soluvalmistuksessa työntekijät usein vastaavat tehtävien suunnittelusta ja suorittamisesta. (Haverila ym. 2009, 477–478.)



KUVA 3. Solulayout (Haverila ym 2009, 478.)

3.1 Layout-suunnittelu

Layout-suunnittelu on monimutkainen prosessi, johon vaikuttavat monet eri tekijät. Layout on usein kompromissi, koska kaikkiin vaikuttaviin asioihin ei ole olemassa optimaalista ratkaisua. Layout-suunnittelussa huomioitavia asioita ovat muun muassa tuotteiden työvaiheistus, tuotantomäärän mukaiset tuotantokoneet, tuotteiden tuotantorakenteet sekä tuotannon aikajänne. Lisäksi on huomioitava tuotantosolujen tehokas tilankäyttö sekä työturvallisuus ja varauduttava mahdollisiin laajennuksiin ja muutostarpeisiin sekä tuote- että tuotantorakenteessa. Raskaat koneet ja kiinteät rakennelmat on sijoitettava siten, etteivät ne haittaa layoutin kehittämistä. (Haverila ym. 2009, 480–482.) Yleisesti ottaen layout ja toiminta on suunniteltava siten, että usein tarvittavat tavarat sekä toiminnot ovat lähellä ja kulkuyhteydet ovat sujuvia. Näin vältetään turhaa ajanhukkaa, joka aiheutuu turhasta siirtelystä ja liikkumisesta. (Logistiikanmaailma 2017.)

Hyvän layoutin ominaisuuksia ovat selkeät materiaalivirrat, helppo muunneltavuus sekä lyhyet materiaalien siirtomatkat. Materiaalivirta kokonaisuudessaan sisältää materiaalien tai tuotteiden säilyttämisen ja kuljettamisen. Materiaalivirran sujuvuus näkyy tuotteen lyhyenä toimitusaikana ja asiakas-tyytyväisyytenä. (Logistiikan maailma 2017.) Lisäksi tehtaan palveluiden, kuten sosiaalitoimien, on hyvä sijaita käyttöpaikkojen läheisyydessä ja työpisteiden sisäisen kommunikoinnin on oltava helppoa. Tämän lisäksi toimivassa layoutissa materiaalien vastaanotto ja jakelu on järjestetty tehokkaasti ja työvaiheet, jotka vaativat erityisosaamista on keskitetty yhteen paikkaan. (Haverila ym. 2009, 482.)

3.2 Robottisolun layout

Ennen robottisolun lopullista layout-suunnittelua tehdään lähtötilanteen analysointi, jossa aluksi kartoitetaan robottisolun tilantarve tuotantotilassa, kappaleiden siirrot solun sisällä sekä robotin teke- mät työvaiheet. Lähtötilanteessa kartoitetaan myös robottisolun mahdolliset vaikutukset ympäristö- olosuhteisiin. Näiden lisäksi alkuvaiheessa huomioitavia asioita ovat muun muassa robottisolun liittyn- nät muuhun tuotantoon, oheislaitteiden sijoittelu sekä solun miehitys. (Billing 2015, 73–75.)

Itse robottijärjestelmän layoutsuunnittelu aloitetaan robotin ja oheislaitteiden sekä kappaleenkäsit- tely- että syöttölaitteiden sijoittelulla solun sisälle. Tämän jälkeen suunnitellaan suoja-aitojen ja mui- den turvajärjestelmien paikat sekä solun sisäiset kulkuväylät. Lopuksi robottijärjestelmään suunnitel- laan kiinnittimet ja kartoitetaan yhteensopivuus muiden laitteiden kanssa. Myös robotin valintaan on hyvä kiinnittää huomiota jo layoutsuunnitteluvaiheessa. Robotin käsittelykyky, ulottuvuus, liikeno- peus sekä soveltuvuus kyseiseen tehtävään vaikuttavat ratkaisevasti robotin kokoon ja solun tilan- tarpeeseen. Lisäksi robotin valinnassa on huomioitava liitettävyyys oheislaitteisiin sekä ohjauksen eri- koisominaisuudet suunniteltuun tehtävään. (Billing 2015, 73–75.)

4 ROBOTIIKKA

Tuotantosolua ohjataan täysin robotilla silloin, kun solun toiminnoissa ei välttämättä tarvita ihmistä. Työ voi olla raskasta tai yksitoikkoista ja robottisolussa ihminen hoitaa pelkästään häiriötilanteiden poistamisen. Robottiohjatussa solussa tuotettavien kappaleiden täytyy kulkea eteenpäin ongelmitta ja koneiden ja laitteiden toimia häiriöittä. (Heinonen, Keinänen ja Kärkkäinen 2016, 14.)

4.1 Robotisoinnin perusteet


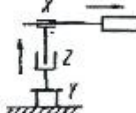


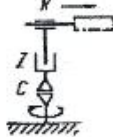





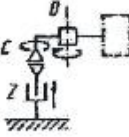


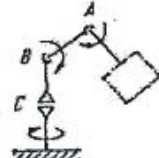


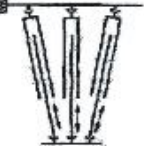

Robottisolun hankinta on kokonaisuutena kallis investointi, mutta se useimmiten parantaa yrityksen tuottavuutta, tuotannon tehokkuutta ja tuotteen laatua. Lisäksi robottiautomaation käyttö tuotantoprosesseissa parantaa työturvallisuutta, nostaa työntekijöiden motivaatiota ja vähentää työntekijöiden sairaslomien määrää. Syitä robotin hankinnalle on monia, mutta usein robotti hankitaan tekemään yksitoikkoisia tai ihmiselle vaarallisia työvaiheita. Robottien tarkkuus ja liikkeen toistettavuus tuottaa tasalaatuisia tuotteita väsymättä ja olosuhteista riippumatta, ympäri vuorokauden. Tämä parantaa myös työturvallisuutta, koska ihmisen ei tarvitse olla tekemisissä koneiden kanssa prosessin aikana. Lisäksi robotin käyttö tuotantoprosessissa vähentää tuotannossa syntyvän hukan määrää ja vähentää tuotantokatkoksia. Robottisolun tuotantokatkokset voidaan minimoida offline-ohjelmoinnilla, jolloin tuotantoprosessien vaihto sujuu helposti ja nopeasti. (ABB 2015.)

Robottijärjestelmä voidaan hankkia yritykselle monella eri tavalla. Yksinkertaisin tapa on tilata koko järjestelmä suoraan toimittajalta avaimet käteen -periaatteella. Tällöin yrityksen vastuu projektin onnistumisesta on pieni, mutta hankintakustannukset ovat suuret. Tämä ratkaisu vaatii robottitoimittajalta tuotantoprosessin tuntemusta sekä tiivistä yhteistyötä robottijärjestelmää hankkivan yrityksen kanssa. Toinen tapa robottijärjestelmän hankkimiseksi on antaa asennus- ja käyttöönototyöt ulkopuoliselle taholle. Yritys hankkii robottilaitteiston itse ja asennusyritys suorittaa järjestelmälle asennus- ja käyttöönototyöt. Tätä vaihtoehtoa suositaan usein käytettyjen robottien asennuksessa. Yritys voi myös hankkia robottijärjestelmän tekemällä kaikki asennus- ja käyttöönototyöt itse. Tämä ratkaisu vaatii yrityksen henkilökunnalta paljon tietotaitoa, ja koko hankinnan riskit ovat yrityksen kannattavana, mutta tällä tavoin voidaan saavuttaa parhaat tulokset kannattavuuden ja käytön kannalta. (Billing 2015, 70–72.)

4.2 Teollisuusrobotti ja robottityypit

Standardin SFS-EN ISO 10218-1:2011 mukaan teollisuusrobotit määritellään seuraavasti: "Teollisuuden automaatiosovelluksissa käytettäväksi tarkoitettu automaattisesti ohjattu, uudelleen ohjelmoitavissa oleva monikäyttöinen käsittelylaite, jonka akseleista vähintään kolme on ohjelmoitavissa ja joka voi olla kiinteästi asennettu tai liikkuva." Lisäksi standardin mukaan teollisuusrobottiin kuuluvat robotin käsittely- ja toimilaite sekä ohjauslaite kannettavine ohjelmointilaitteineen, tiedonsiirron rajapinnat sekä mahdolliset yhdistetyt lisäakselit. Teollisuusrobotteina pidetään standardin mukaan käsin ohjattavia robotteja, liikkuvien robottien käsittelylaiteosuuksia sekä yhteistoimintarobotteja. (Robotit ja robotiikkalaitteet 2011, 12.)

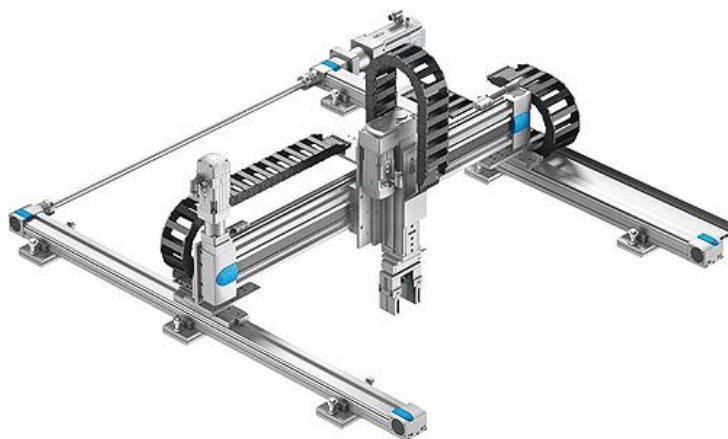
Standardissa ISO 8373 määritellään vakiintuneet robottimallit mekaanisen rakenteen, kinemaattisen kaavion ja työalueen mukaan. Kuvassa 4 on esitetty standardin mukaan vakiintuneet robottityypit. Näitä ovat muun muassa suorakulmainen robotti, Scara-robotti, kiertyvänivelinen robotti ja rinnakkaisrakenteinen robotti. (Kuivanen 1999, 12.)

| Nimitys pääakseleiden mukaan | Rakenne | Kinemaattinen kaavio | Työalue |
|-------------------------------|---|---|--|
| Suorakulmainen robotti |  |  |  |
| Sylinterirobotti |  |  |  |
| Napa-koordinaatisto-robotti |  |  |  |
| Scara-robotti |  |  |  |
| Kiertyvänivelinen robotti |  |  |  |
| Rinnakkaisrakenteinen robotti |  |  |  |

KUVA 4. Erilaiset robottityypit, kinemaattinen kaavio ja työalue (Kuivanen 1999, 12.)

4.2.1 Lineaarirobotit

Lineaarirobotti, joka on esitetty kuvassa 5, on robotti, jonka kolme ensimmäistä vapausastetta, useimmiten x-, y-, ja z-akselit ovat lineaarisia. Lineaarirobotin akselit on koottu lineaarijohteista, jotka voidaan käsiteltävän kuorman mukaan kahdentaa. Akseleiden käyttömekanismina voivat toimia hihna, pallo- tai johtoruuvi, pneumaattinen toimilaite tai lineaarimoottori. Tarttujana lineaarirobotissa voidaan käyttää samanlaisia tarttujia kuin nivelvarsirobotissa. Lineaarirobotin huonona puolena on liikkeen lineaarisuus, kappaleen kääntämiseen tarvitaan nivel tai erillinen kääntölaite. Lisäksi kuorman kasvaessa johteiden koko ja samalla hinta kasvavat suureksi, jolloin monessa tapauksessa hyöty - hintasuhteeltaan parempi valinta on nivelvarsirobotti. Lineaarirobotteja käytetään useimmiten pakkaus- ja lavaustehtävissä, mutta robotti soveltuu myös teollisuuden automaatio- ja kokoonpanotehtäviin. (Collins 2018.)



KUVA 5. Lineaarirobotti (Linear Motion Tips 2018.)

4.2.2 Yhteistyörobotit

Yhteistyörobotit eli cobotit ovat robotteja, jotka on suunniteltu toimimaan yhdessä ihmisen kanssa samassa ympäristössä. Niiden avulla yrityksen on helpompaa ja taloudellisempaa toteuttaa tuotantosolun robotisointi kuin teollisuusrobotilla. Yhteistyörobotit ovat kevyitä ja helposti siirreltäviä, eikä niiden ohjelmointiin tarvita erityisemmin koulutusta. Lisäksi ne vievät vähän lattiapinta-alaa, koska ympärille ei tarvita suoja-aitausta. Erityisesti yhteistyörobotit sopivat yrityksille, joiden tuotantosarjat ovat lyhyitä ja tuotannossa tarvitaan nopeaa robotin uudelleenohjelmointia. (IFR 2018.)

Nykyiset yhteistyörobotit ovat vielä nostokyvyssä ja nopeudessa teollisuusrobotteja heikompia. Yhteistyörobotin suurin nostokyky on tällä hetkellä 35 kg ilman tarttujaa, mutta tarttujan kanssa nostokyky pienenee tarttujan painon verran. Toistettavuudessa yhteistyörobotit ovat teollisuusrobottien kanssa yhdenvertaisia: pienimmillä yhteistyöroboteilla päästään +/- 0.01 millimetrin tarkkuuteen, ja suuremmilla yhteistyöroboteilla, kuten Fanuc CR-35iA, toistettavuus on +/- 0.08 millimetriä. (Cobotsguide 2016.)

Yhteistyöroboteihin on suunniteltu teknisiä ominaisuuksia, joiden tehtävänä on varmistaa, ettei robotti aiheuta vahinkoa ihmiselle suorassa kosketuksessa. Robotin runkoon ja niveliin on asennettu antureita, jotka mittaavat nopeutta ja voimaa sekä varmistavat, etteivät nopeus ja voima ylitä kynnyksarvoja kosketuksessa. Nämä kynnyksarvot on määritetty teknisessä spesifikaatiossa ISO/TS 15066:2016 Robotics and robotic devices – Collaborative robots. Näiden teknisten ominaisuuksien lisäksi robotti on valmistettu kevyistä materiaaleista sekä päällystetty pehmeällä materiaalilla, kuten esimerkiksi nahalla. Kuitenkin työvaiheessa, jossa robotin työkaluna on terävä tai muuten ihmiselle vahinkoa aiheuttava työkalu, tarvitsee yhteistyörobottikin ympärilleen suoja-aidat. (IFR 2018.)



KUVA 6. ABB Yumi IRB-14400 -yhteistyörobotti (ABB 2020.)

Yhteistyörobottien toimiessa samassa työtilassa ihmisen kanssa, on myös fyysinen kontakti mahdollinen. Näin ollen robotin käyttäjän on ennen käyttöönottoa tehtävä yhteistoimintatehtävien ja -tilojen riskiarviointi, jossa on tarkasteltava robotin ominaisuuksia, kuten nopeutta, voimaa ja tehoa. Lisäksi riskiarvioinnissa huomioidaan robottijärjestelmän sijoittelu, käyttäjän sijainti ja liikkumisreitit, mahdolliset työskentelystä sinkoutuvat roiskeet sekä tarraimet ja robotin ohjaimet. Riskiarvioinnin perusteella säädetään robotin parametrit, kuten nopeus, teho, voima sekä pienin välietäisyys. Yhteistoimintatilalle asetettuja vaatimuksia ovat selkeät merkinnät, robotin vaaraton sijoittelu sekä autonomisen ja yhteistoimintotilan vaihtopisteen vaarattomuus. (Robotit ja robotiikkalaitteet 2011, 38–41.)

Yhteistyörobottisovellus voidaan toteuttaa myös normaalin teollisuusrobotin avulla. ABB on muun muassa kehittänyt SafeMove 2 -järjestelmän, joka valvoo yhdessä turvakannerin kanssa robotin liikealuetta ja rajoittaa robotin liikettä ihmisen ollessa työalueella. SafeMove 2 -optiolla varustettu robotti vähentää perinteisten turvalaitteiden tarvetta järjestelmän valvoessa kaikkia kuutta akselia ja työkalua kolmiulotteisesti. SafeMove rajoittaa robotin liikettä turvallisilla vyöhykkeillä, jotka voidaan mukauttaa mihin tahansa tarpeeseen. Vyöhykkeet ohjelmoidaan Robot Studiolla robotin ympärille, ja ihmisen tullessa vyöhykkeen sisälle robotin liike hidastuu vyöhykkeittäin tai pysähtyy kokonaan. Vyöhykkeitä voidaan ohjelmoida kaikkiaan kahdeksan kappaletta, ja muodoltaan ne voivat olla monimutkaisia kolmiulotteisia muotoja. (ABB 2017.)

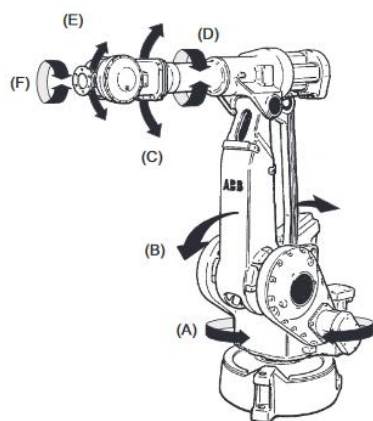
4.2.3 Nivelvarsirobotit

Nivelvarsirobotiksi kutsutaan robottia, jolla on kuusi tai useampi vapausastetta. Nivelvarsirobotin etuna on muun muassa työkalun tai tarttujan liikkuvuus työalueella mihin tahansa pisteeseen tai asentoon. Rajoittavana tekijänä tässä on robotin työskentelyalue tai nivelten liikealueet. (Kuivanen 1999, 18.) Nivelvarsirobotit ovat yleensä raskaita, lattiaan kiinni asennettuja teollisuusrobotteja, joiden nostokyky voi olla yli 2000 kg ja ulottuvuus jopa viisi metriä (Fanuc 2020).



KUVA 7. ABB IRB 4400 -nivelvarsirobotti (ABB 2018.)

Nivelvarsirobotin akselit nimetään alhaalta ylöspäin (kuva 8) ja jokaisella robottimerkillä on oma merkitsemistäpansa. Esimerkiksi ABB nimeää akselit yksinkertaisesti Axis 1:ksi, Axis 2:ksi, ja niin edelleen, kun taas Yaskawan roboteissa akselit on nimetty isoilla kirjaimilla. Ensimmäinen akseli sijaitsee robotin pohjassa ja pyörittää koko robottia keskipisteestä 180 astetta molempiin suuntiin. Toinen akseli liikuttaa robotin alavartta eteen- ja taaksepäin ja kolmas akseli nostaa ja laskee robotin olkavartta. Neljäs akseli pyörittää robotin olkavartta ja viides akseli kallistaa robotin rannetta ylös- ja alaspäin. Kuudes akseli sijaitsee robotin ranteessa ja tämä akseli pyörittää robottiin liitettyä tarttujaa tai työkalua. (Robotic Automation Systems 2019.)



xx1100000607

| Pos | Description | Pos | Description |
|-----|-------------|-----|-------------|
| A | Axis 1 | B | Axis 2 |
| C | Axis 3 | D | Axis 4 |
| E | Axis 5 | F | Axis 6 |

KUVA 8. Nivelvarsirobotin akselit (ABB 2018.)

4.3 Robotin kinematiikka ja koordinaatistot

Robotin tukivarret ja niitä liikuttavat nivelet muodostavat kinemaattisen ketjun, joiden sovelluksia robotiikassa on kaksi, suora ja käänteinen kinematiikka. Suoran kinematiikan avulla voidaan laskea robotin työkalun tai tarraimen asema työavaruudessa. Laskeminen tapahtuu matriisilaskennalla tiedossa olevien nivelkulmien, kaikkien tukivarsien pituuksien ja työkalulaipassa kiinni olevan työkalun etäisyyden mukaan. Käänteisen kinematiikan avulla lasketaan robotille uudet nivelkulmat, kun työkalu tai tarrain halutaan siirtää uuteen paikkaan työavaruudessa. Kun asema, johon robotin työkalu siirtyy, ja tukivarsien pituudet ovat tiedossa, tarvitsee robottiohjaimen laskea käänteisen kinematiikan avulla ainoastaan nivelkulmat uuden aseman saavuttamiseksi. (Billing 2015, 13–15.)

Standardin ISO 9787 – 1990 mukaan teollisuusrobotin koordinaatistot ovat maailmankoordinaatisto, peruskoordinaatisto ja työkalukoordinaatisto. Kaikki nämä koordinaatistot ovat oikeakätisiä, suorakulmaisia koordinaatistoja. Robotin paikoitukset on tallennettu suhteessa ohjelmassa määritettyyn koordinaatistoon. Maailmankoordinaatisto on robotin ulkopuolinen koordinaatisto, joka on sidottu robotin työskentely-ympäristöön, esimerkiksi oheislaitteisiin, rakennukseen tai kuljettimeen. Peruskoordinaatisto puolestaan on sidottu robotin jalustaan. Koordinaatiston XY -taso on lattian tasossa ja Z -akseli on sidottu robotin keskiakseliin. Työkalukoordinaatisto sidotaan robotin työkaluun itse määritettyyn kohtaan verrattuna työkalulaipassa olevaan koordinaatistoon. Joissain tapauksissa, esimerkiksi kokoonpanotehtävissä, työkalukoordinaatisto voidaan sijoittaa myös tarttujassa olevaan kappaleeseen. (Kuivanen 1999, 20–21.)

4.4 Robotin ohjelmointi

Robotin ohjelmoinnissa käytetään pääasiassa kahta eri tapaa, online- ja offline-ohjelmointia. Online-ohjelmointi tapahtuu robottisolussa, eikä robotti voi olla tuotantokäytössä ohjelmoinnin aikana. Offline-ohjelmointi tehdään tietokoneella siihen tarkoitettulla ohjelmalla, esimerkiksi RobotStudiolla ja robotti on tuotantokäytössä ohjelmoinnin ajan, robotti seisahtaa ainoastaan ohjelman alaslatauksen ajaksi. (Owen-Hill 2018-10-09.)

Online-ohjelmointi voidaan suorittaa joko opettamalla tai taluttamalla. Opettamalla ohjelmoitaessa robotin käsivarsi siirretään ohjainta käyttämällä haluttuun pisteeseen ja asentoon, minkä jälkeen piste tallennetaan robotin muistiin. Tätä toistetaan, kunnes koko liikerata on valmis. Sen jälkeen ohjelmaan muokataan liikekäskyt, tarkkuus sekä liikkeiden nopeus ohjelmoijan haluamaan muotoon. Taluttamalla ohjelmointi tapahtuu muuten samalla tavalla, mutta robotin käsivarsi viedään fyysisesti ohjaten haluttuun pisteeseen. Näiden lisäksi online-ohjelmointia voi tehdä kirjoittamalla ohjelmakoodia robotin käsiohjaimella tai parametrisesti muokaten toista ohjelmaa uudelle työkappaleelle. Parametrinen ohjelmointi sopii varsinkin silloin, kun uudet työkappaleet ovat samanmuotoisia edellisten kanssa ja niiden välillä on ainoastaan mittamuutoksia. (Owen-Hill 2018-10-09.)

Offline-ohjelmointi on joko malli- tai tekstipohjaista ohjelmointia. Mallipohjaisessa ohjelmoinnissa simulointiohjelmaan on 3D-mallinnettu koko robottisolu tarttujineen, ohjaimineen ja ympäristöineen. Robottia liikutetaan näytöllä, kuten oikeassa robottisolussa ja paikkapisteet tai liikeradat tallennetaan ohjelmaan. Tämän jälkeen valmis ohjelma käännetään ohjelmakoodiksi ja koodiin muokataan tarvittavat parametrin kohdalleen. Ennen ohjelman latausta robotille ohjelma simuloidaan tietokoneella ja tarkistetaan, ettei robotti törmää esteisiin ja poistetaan mahdolliset ohjelmavirheet. Tekstipohjaisessa ohjelmoinnissa ohjelma kirjoitetaan suoraan tekstieditorilla, esimerkiksi Notepadilla. Haittana tekstipohjaisessa ohjelmoinnissa on suuri virheen mahdollisuus, ja lisäksi tarvitaan paljon ohjelmointitietämystä. (Owen-Hill 2018-10-09.)

Robottiohjelmointia voidaan nykyisin tehdä myös virtuaalitodellisuuden avulla. Sovellukseen mallinnetaan kokonainen robottisolu kuljettimiseen, työstökoneineen, robotti kaikkine oheislaitteineen sekä robotin käsittelemä kappale. Ohjelmoijalla on päässään virtuaalitodellisuuslasit ja käsissään ohjaimet, joiden avulla ohjelmoija luo robotin liikeradat. Tämän tekniikan avulla ohjelmoija pääsee jo ohjelmointivaiheessa tutkimaan robotin liikkumista solun sisään ja varmistamaan että robotti liikkuu sulavasti ja turvallisesti. Lisäksi sovellusta voidaan käyttää myös etäyhteyden välityksellä (RobotWorx 2019.) VR-tekniikan käyttö automatisoinnissa tutkitusti vähentää ohjelmoinnin kouluttamiseen käytettyä aikaa noin puoleen entisestä, lisää solun tuottavuutta ja tehokkuutta sekä parantaa turvallisuutta ja yleistä robotin käsittelyä. (Owen-Hill 2019-07-31.)

4.5 Tarttujat

Tarttuja on yksi robotin tärkeimmistä osista. Se on suoraan kontaktissa työkappaleeseen eikä saa aiheuttaa vaurioita tuotteeseen. Käyttövoimana tarttujissa käytetään pääasiassa neljää eri tapaa, servo-ohjausta, alipainetta, pneumatiikkaa tai hydraulikkaa (RobotWorx 2018.) Servo-elektronisissa tarttujissa leukojen tai sormien ohjausta säätelee sähkömoottorit robotin ohjaukselta tulevan sähkönsyötön kautta. Nämä tarttujat ovat tarkkoja ja niitä voidaan käyttää monessa eri sovelluksessa. Lisäksi tarttujat voidaan varustaa antureilla, jotka tunnistavat tartunnan tai säätävät leukojen puristusvoimaa ja nopeutta tartuttavan materiaalin mukaan (Shajahan 2015, 3–4.) Heikkouksina servo-elektronisessa tarttujassa on sen hinta sekä rajoitukset toimintaympäristössä. Tarttuja on kalliimpi hankkia kuin pneumaattinen tai hydraulinen tarttuja, eikä se sovellu vaarallisiin tai kuumiin olosuhteisiin. Lisäksi servo-elektroninen tarttuja voi olla muita tarttujia kookkaampi, ja moottori voi ylikuumentua jatkuvassa käytössä. (Gonzalez 2015.)

Alipainetarraimet on tarkoitettu kevyille levytuotteille ja tarrain nostaa esineet imukupeilla, jotka on valmistettu kumista tai polyuretaanista. Tarraimen alipaine muodostetaan joko paineilmalla tai sähkömekaanisesti toimivalla pumpulla. Nostovoimaa voidaan säädellä imukuppien määrää muuttamalla. (Motion controls robotics 2015.) Alipainetarrain on hankintahinnaltaan halpa, mutta se ei sovellu reikälevyille. Lisäksi nostettavan kappaleen pinnan likaisuus heikentää nostovoimaa. (Shajahan 2015, 5–6.)

Pneumaattiset tarttujat ovat paineilmatoimisia, usein pienikokoisia ja kevyitä tarttujia, jonka ansiosta niitä voidaan käyttää ahtaissakin paikoissa (RobotWorx 2018). Ne kestävät hankalia olosuhteita, kuten kosteutta sekä korkeita lämpötiloja. Lisäksi pneumaattisten tarttujien käyttölämpötilaskaala on jopa $-40\text{ °C} - 120\text{ °C}$ (Gonzalez 2015). Pneumaattisten tarttujien toimintaa voidaan ohjata kahdella eri tavalla. Tarttujan leuat sulkeutuvat kun paineilmaa ohjataan sylinteriin ja avautuvat, kun ilmaa ohjataan sylinteriin männän toiselle puolelle. Toinen tapa ohjata tarttujaa on ohjata paineilmaa sylinteriin, jolloin leuat sulkeutuvat ja avautuvat, kun paineilma vapautetaan sylinteristä. Pneumaattiset tarttujat ovat halpoja ja helppokäyttöisiä, mutta niiden rajoitteena on leukojen voiman hallinta, jota käytännössä voidaan muuttaa ainoastaan rajoittamalla vanttiilistä sylinterille tulevaa ilmaa. (Bernier 2016.) Myös osassa magneettitarttujia käytetään pneumatiikkaa magneetin avaamiseen ja sulkemiseen (Ixtur 2017).

Hydrauliset tarttujat ovat toimintaperiaatteeltaan samanlaisia kuin pneumaattiset tarttujat, erona on väliaineena toimiva öljy tai hydraulikkaneste. Hydrauliset tarttujat sopivat voimaa tarvittaviin sovelluksiin, pumppu voi tuottaa tarttujalle painetta jopa 135 baaria. (RobotWorx 2018.) Koska hydraulijärjestelmä ei menetä tehoaan pitkilläkään etäisyyksillä, pumppu voidaan asentaa huomattavan kauas tarttujasta. Lisäksi nesteen puristumattomuuden takia nestepumpun ei tarvitse syöttää enemmän nestettä, jotta tarttujan voima ja vääntömomentti säilyvät vakiona. (Rosenfield 2017.) Huonoina puolina hydraulisilla tarttujilla ovat huoltotarve, hydrauliohjasta johtuva sotkuisuus sekä pneumaattista tarttujaa korkeampi hinta. Usein hydrauliset tarttujat vaativat enemmän huoltoa kuin muut tarttujat johtuen tarttujaa vahingoittavasta suuresta puristusvoimasta. Myös mahdolliset öljyvuodot

ovat haitallisia ympäristölle ja itse tarttujalle. Lisäksi hydrauliseen tarttujaan tarvitaan suuri määrä lisälaitteita tehtävien suorittamiseen, kuten pumput, moottorit, lämmönjohtimet sekä venttiilit. (Rosenfield 2017.)

Magneettitarttijat ovat toiminnaltaan samankaltaisia kuin alipainetarttijat. Erona näiden kahden välillä on se, että magneettitarttuja kykenee tarttumaan myös reiälliseen levyyn ja toimiakseen se tarvitsee rautapitoisen materiaalin. Lisäksi magneettitarttuja pystyy käsittelemään myös pyöreitä kappaleita. Magneettitarttijat toimivat pääasiassa kolmella eri tavalla, elektromagneettisesti, paineilmalla tai pysyvällä magneettisuudella. Sähkömagneettiset ja pneumaattisesti toimivat tarttijat ovat helppoja käsitellä, koska magneettisuus voidaan kytkeä päälle ja pois. Tällöin kappaleen poimiminen ja irroittaminen on tarkkaa ja yksinkertaista. Poimiessaan poimiessa kevyttä kappaletta, pysyvä magneetti saattaa tarttua kiinni hallitsemattomasti ja kappaleen irroittamiseen pysyvä magneetti tarvitsee työn-tötapin. Magneettitarttujen heikkouksina ovat muun muassa pienten metallilastujen kiinni tarttuminen sekä poimittavaan kappaleeseen mahdollisesti jäävä magneettisuus. Lisäksi nopeat liikkeet sekä kappaleeseen jääneet öljy ja lika saattavat irroittaa kappaleen tarttujasta. (Shajahan 2015, 6–7.)

Tarttujatyyppejä on useita erilaisia aina pienistä yksisormisista tarttujista suuriin, raskaiden esineiden nostamiseen yksilöllisesti suunnitelluihin tarttajiin. Yksisorminen tarttuja on lähinnä koukku, jolloin siirrettävässä kappaleessa täytyy olla nostokorvake tai reikä, josta koukku saa otteen. Yksisormiset tarttijat ovat halpoja ja huoltovapaita, eivätkä ne tarvitse erillistä käyttövoimaa. Kaksi – neljä-sormiset tarttijat voivat olla leukojen liikkeen mukaan joko mukautuvia tai yhdensuuntaisia. Yhdensuuntaisissa tarttujissa leukojen liike on lineaarinen, toisiaan vasten suoraviivaisesti kohdistuvaa liikettä. Nämä tarttijat ovat jäykkiä ja jos leuat halutaan mukauttaa tartuttavaan kappaleeseen, on leuat valmistettava kappaleen muodon mukaiseksi. Sylinterin muotoisia kappaleita nostettaessa, yhdensuuntaisessa tarttujassa täytyy olla vähintään kolme leukaa kappaleen asemoimiseksi tarttujan keskelle. Mukautuvassa tarttujassa leuat kiinnittyvät ja avautuvat erillisellä mekanismilla nivelien avustuksella. Mukautuvalla tarttujalla voidaan nostaa pyöreitä ja suorakaiteen muotoisia kappaleita samoilla leuoilla. Leuat mukautuvat kappaleen muotoon automaattisesti. (Bélanger-Barrette 2015-07-02.) Uusimpana innovaationa mukautuvissa tarttujissa on Schunkin valmistama, ihmiskättä jäljittelevä viisisorminen tarttuja (kuva 9). Tarttujassa on yhdeksän käyttölaitetta ja joustavat tartuntapinnat, joiden avulla tartunta kappaleeseen onnistuu herkästi. (Schunk 2020.)

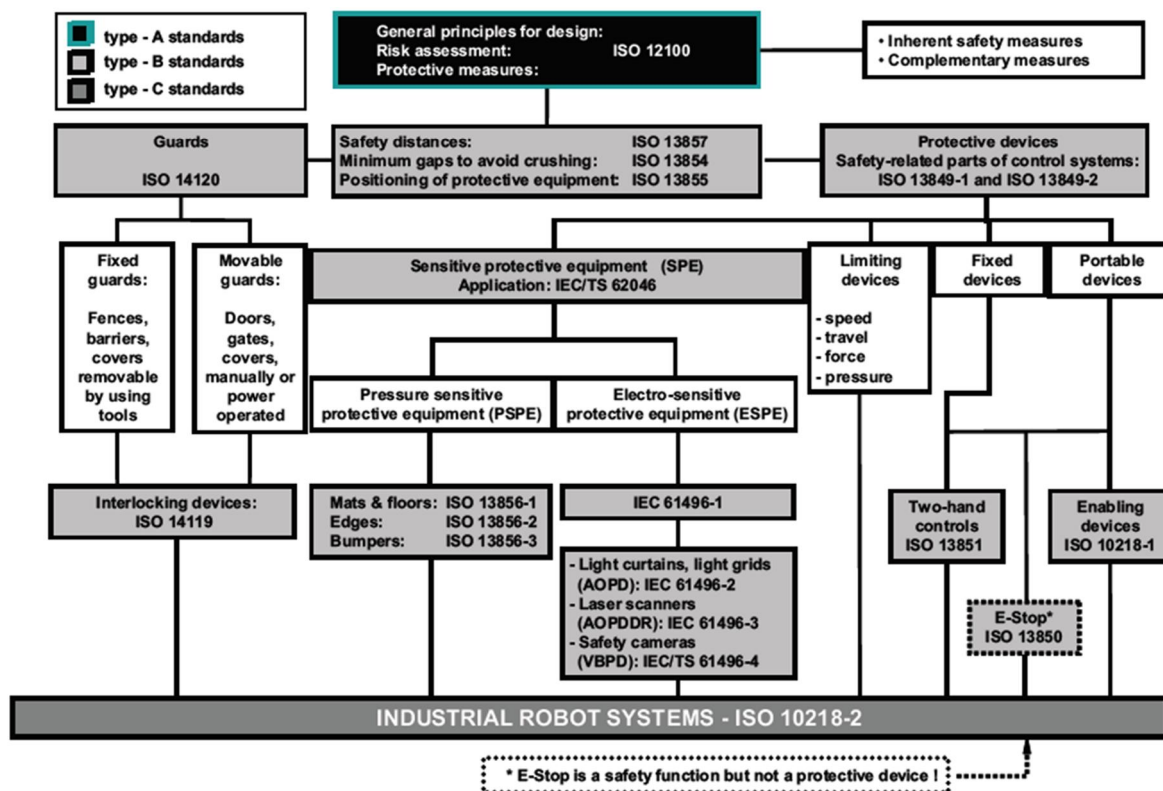


KUVA 9. Viisisorminen tarttuja (Schunk 2020.)

Tarttujan valinnassa on otettava huomioon monia eri asioita ja huomioitava kokonaisuutena koko automaatiojärjestelmä. Tärkeimpinä kriteereinä tarttujan valinnassa ovat tartunnan luoksepäästävyyys, kunnossapito, tartuntamenetelmä sekä robotin hyötykuorma – painava tarrain pienentää robotin hyötykuormaa. Näiden lisäksi huomioonotettavia seikkoja ovat tartuttavan kappaleen massa, muoto ja materiaali, kappaleen asemointi sekä mahdolliset tuotantoprosessin aiheuttamat ongelmat. Myös tartuntatapahtuma on analysoitava tarkasti ennen tarttujan valintaa, voiko tartunta perustua puristusvoimaan, kappaleen muotoihin vai vetovoimaan. Kaikki nämä edellämainitut tartuntatavat aiheuttavat omat vaatimuksensa käsiteltävälle kappaleelle tai prosessille. Lisäksi tarttujan valintavaiheessa on hyvä huomioida, onko tartuntatapahtumassa tarvetta erilaisten tarttujan sisäistä tai ulkoista tilaa mittaavien anturien käytölle. (Kuivanen 1999, 64–72.)

4.6 Robottisolun turvallisuus

Teollisuusrobotin turvallisuusvaatimukset on määritelty standardeissa ISO 10218-1:2011 sekä ISO 10218-2:2011, joista osa 1 on tarkoitettu robottivalmistajille ja osa 2 robottijärjestelmäintegraattoreille. Usein tarvitaan molemmat standardit, koska jotkin turvallisuusvaatimukset esitetään ainoastaan toisessa näistä standardeista. Kaikki turvallisuuteen liittyvät toimenpiteet, ominaisuudet ja vaatimukset on ensin tutkittava näistä standardeista, sitten koneturvallisuusstandardista ISO 12000 ja lopuksi asiaan liittyvistä turvalaite- ja ominaisuusstandardeista. Teollisuusrobotteihin liittyvät standardit ja niiden suhteet on esitetty kuvassa 10. (Malm 2017, 11.)



KUVA 10. Robotin suojalaitteisiin liittyvien standardien suhde (SFS-EN ISO 10218-2:2011, 128.)

Yhteistyörobottien periaatteena on, ettei robotti aiheuta toimintansa aikana vahinkoa ihmiselle. Turvallisuuden takaamiseksi yhteistyörobottien voima ja nopeus on rajoitettu sekä etäisyys ja pysähtyminen on valvottua. Standardeissa ISO 10218-1 sekä ISO/TS 15066 on määritelty yhteistyörobotin suurimpien paineiden ja voimien rajat sen toimiessa yhteistyötilassa. Enimmäisvoima kasvoilla on 65 N ja enimmäispaine 110 N / cm², kun polvessa enimmäisvoima on 220 N. Muissa kehonosissa enimmäisvoiman raja on näiden kahden arvon välissä. Yhteistyötilassa tapahtuvassa hätäpysäytyksessä robotin servovirta on päällä, jolloin uudelleenkäynnistäminen on helpompaa. (Malm 2017, 14.)

Päävastuu robottisolun käyttöönoton turvallisuudesta on solun valmistajalla, joka allekirjoittaa vaatimustenmukaisuusvakuutuksen ja hänen vastuullaan on tarkistaa kaikkien asiakirjojen ja vaadittavien tehtävien asianmukaisuus. Näitä direktiivissä kuvattavia turvallisten koneiden valmistamiseksi vaadittavia tehtäviä ovat riskinarviointi, terveys- ja turvallisuusvaatimustenmukaisuuden tarkistaminen sekä käyttöohjeiden ja muiden teknisten dokumenttien asianmukaisuuden tarkistaminen. Näiden lisäksi robottisolun valmistajan on laadittava rakenneilmoitus sekä tarkistettava koneen CE- ja muut tarpeelliset merkinnät. (Malm 2017, 8–10.)

Robottisolun asennettavilta suojuksilta ja turvalaitteilta vaadittavia ominaisuuksia ovat rakenteen kestävyys ja paikoillaan pysyminen, eikä suojuksia saa aiheuttaa lisävaaraa. Lisäksi suojuksien on sijaittava riittävän kaukana vaaravyöhykkeestä, niitä ei voi tehdä helposti toimimattomaksi eivätkä ne saa estää työprosessin tarkkailua. Suojusten on myös suojattava mahdollisilta koneesta lentäviltä esineiltä, mutta niiden on sallittava kunnossapitotoimet sekä työkalujen asettaminen ilman että turvalaite tai suojuksia poistetaan pois käytöstä. Näiden lisäksi suojuksilta vaaditaan erilaisia ominaisuuksia.

sia riippuen siitä, ovatko suojukset avattavia, kiinteitä tai käynnistystoimintoon kytkettyjä. Turvalaitteiden valinnassa on varmistettava turvatoiminnon oikea toteutuminen. Erityisvaatimuksena kiinteiden suojusten avaaminen ei saa olla mahdollista ilman työkaluja. (Valtioneuvoston asetus koneiden turvallisuudesta 2008, liite 1.) Robotilla on myös oltava standardin SFS-EN ISO 10218-1 mukaan itsenäinen hätäpysäytys- sekä suojauspysäytystoiminto. Hätäpysäytysohjain on oltava näkyvillä, tavoitettavissa ja helposti tunnistettava sekä sen on lisävaaraa aiheuttamatta pysäytettävä vaarallinen toiminto niin nopeasti kuin mahdollista (Valtioneuvoston asetus koneiden turvallisuudesta 2008, liite 1).

Teollisuusrobottisolun turvavarusteina käytetään useimmiten suoja-aitoja, joista yhdellä sivulla on turvakytkimellä varustettu ovi tai valoverho. Muita käytettäviä turvavarusteita ovat erilaiset anturit, turvakamera tai turvamatto. Suoja-aitojen vaatimukset ja turvaetäisyydet on esitetty standardissa SFS-EN ISO 13857, jossa on määritetty suoja-aidan silmäkoko ja turvaetäisyys robotin tarttujaan käsivarren ollessa suorassa. Suoja-aidan etuna muihin suojausmenetelmiin nähden on se, jos kapale irtoaa tarttujasta niin sen liike pysähtyy aitaan vahingoittamatta ympäristöä. Suoja-aidan yhteyteen asennettu kulkuovi on varmistettava turvakytkimellä, ettei ihminen pääse liikkuvan robotin vaara-alueelle. Ovi on asennettava riittävän kauas robotista tai oven avaaminen on sallittava vasta robotin pysähtyttyä. (Kivipuro, Malm ja Tiusanen 1998, 16.)

Robottisolussa käytettävät turva-anturit jaetaan kahteen ryhmään, kosketuksettomaan tunnistukseen ja kosketukseen perustuviin tunnistimiin. Kosketuksettomat anturit toimivat valo-, ultraääni-, mikroaalto- tai infrapunatekniikalla, ja niiden toimintaperiaatteena on havaita valvotulla alueella olevaa liikettä, lämpösäteilyä, ääntä tai estettä. Kosketuksettomia antureita ovat muun muassa ultraääni- ja mikroaaltoanturit, optiset lähestymiskytkimet sekä valokennot ja verhot. Valokennoja ja valoverhoja käytetään suojaamaan kulkuaukkoja, joita ei ole tarkoituksenmukaista valvoa mekaanisesti, esimerkiksi materiaalin toimittamiseksi työsoluun. Valokenno on yksisäteinen turvalaite, kun taas valoverho muodostuu useista säteistä ja havaitsee lähettimen ja vastaanottimen välissä olevan esteen. Kosketukseen perustuvat tunnistimet ovat toiminnaltaan yksinkertaisia ja sopivat turvallisuustasonsa puolesta muun muassa konepajakäyttöön. Näitä turvalaitteita ovat esimerkiksi hätäpysäytin, kaksin käsin hallintalaite, tuntoreuna ja tuntomatto. (Kivipuro ym. 1998, 20 – 27.)

Myös konenäköä voidaan käyttää robottisolun turvavarusteena, mutta näiden turvajärjestelmien teknologiat ovat vielä epäluotettavia. Kameran ei vielä osaa täydellisesti erotella vaaratilanteita taustakohinasta ja robotin hätäpysäytys vie liikaa aikaa eikä ole riittävän hallittua. (Keränen 2018.) Uusimpana sovelluksena robottiturvallisuudessa on kehityksen alla oleva, 3D-antureihin ja stereonäkökameraan perustuva turvajärjestelmä, joka antaa mahdollisuuden työskennellä yhteistyörobotin kanssa entistä intensiivisemmin. Näiden anturien avulla robotin konenäköön saadaan syvyyttä koskevia tietoja, jolloin robotti pystyy havaitsemaan turva-alueelle tunkeutumiset paljon tarkemmin. Järjestelmän havaitessa ihmisen jalan turva-alueella, robotti jatkaa toimintaansa kunnes ihminen ojentaa kätensä robottia kohti. (Denenberg 2019.)

5 LÄHTÖTILANTEEN KARTOITUS

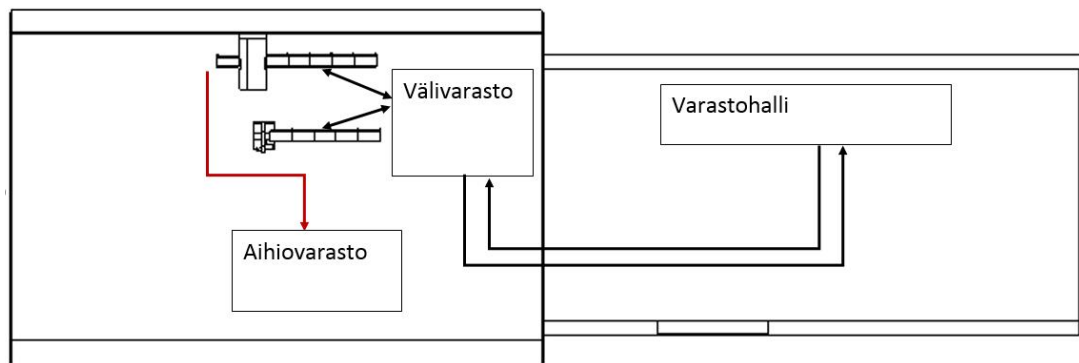
Tällä hetkellä Lapinlahden Koneistus Oy:n sahaussolussa (kuva 11) on kaksi automaattivannesaha, Kasto Win A3.3 sekä Carif 320. Solu toimii täysin henkilötyövoimalla ja tämän opinnäytetyön tarkoituksena on tehdä automatisointisuunnitelma Kasto Win A3.3 -sahalle. Toinen saha säilyy edelleen manuaalikäyttöisenä, koska kaikkea sahattavaa materiaalia ei kyetä käsittelemään robotilla aihion koon, materiaalin tai painon takia.



KUVA 11. Lapinlahden Koneistus Oy:n sahaussolu, vasemmalla Kasto Win 3.3 (Hiltunen 2020-01-14.)

Haasteita automaatiolle tuovat tuotettavat sarjakoot sekä raaka-ainemikkejien suuri määrä. Sarjakoot vaihtelevat muutamasta kappaleesta jopa viiteensataan kappaleeseen ja raaka-ainemikkeitä on varastossa yli 200. Tämä aiheuttaa lähes jatkuvaa sahan asettamista sekä liikennettä varaston ja sahaussolun välillä. Osittain asetusten ja turhan liikenteen määrää voidaan välttää tuotannosuunnittelulla, eli toimitusajan salliessa sahataan samasta raaka-aineesta valmistettavat tuotantosarjat peräkkäin. Lisähaasteita aiheuttaa sahattavien aihoiden pituus, sillä kapeimmat ahiot ovat ainoastaan muutamia millimetrejä, kun taas pisimmillään aihion pituus on yli metrin. Näistä seikoista johtuen täytyy tehdä rajauksia siihen, mitkä tuotantosarjat sahataan manuaalisesti ja mitkä automaattisolussa.

Sahaussoluun tuleva raaka-aine siirretään nykyisin trukilla varastosta hallin puolelle välivarastoon, josta ne siirretään siltanosturilla jommallekummalle sahalle työstöä varten. Sahauksen jälkeen tangot siirretään takaisin välivarastoon ja siitä edelleen varastohalliin. Tankojen siirtely trukilla edestakaisin on aikaa vievää, sillä hallin nosto-oven leveys on 5,4 metriä ja usein siirrettävät tangot ovat jopa 8 metrisiä. Myös materiaalin välivarastointi vie turhaa lattiapinta-alaa. Pienillä layoutmuutoksilla raaka-aineen materiaalivirtaa (kuva 12) saadaan parannettua ja turhaa liikkumista varaston ja sahaussolun välillä vähennettyä.

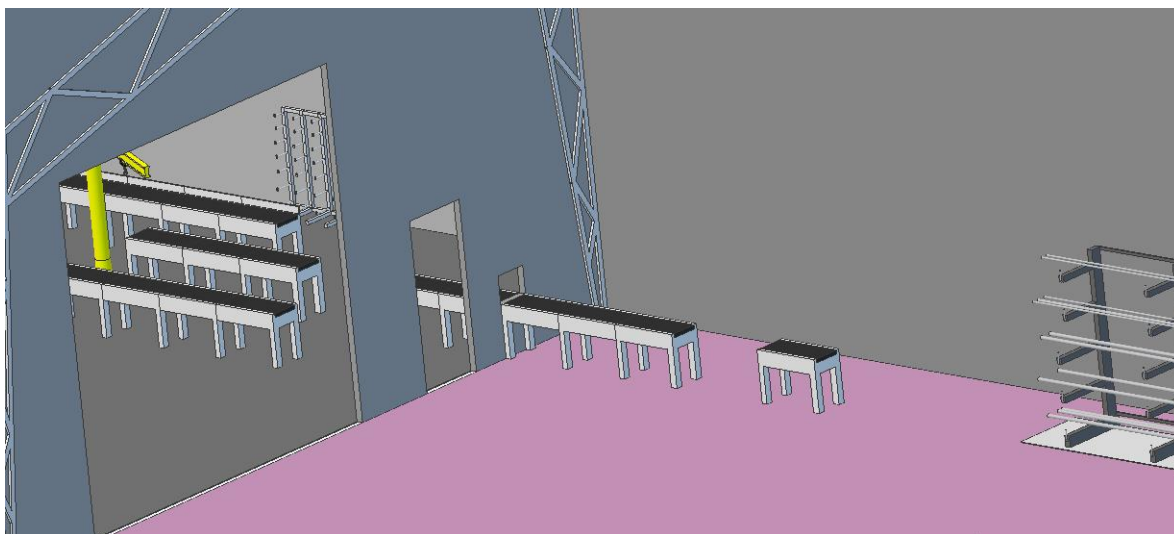


KUVA 12. Sahaussolun materiaalivirta (Hiltunen 2020-01-22.)

Kappaleenkäsittelyrobotin tultua käyttöön monitoimisorville, sahattujen aihoiden puhtausvaatimukset kasvavat. Nykyisin sahattuja aihioita ei puhdisteta ennen työstökoneelle menoa ja aihoiden annetaan pudota sahan kuljettimelta suoraan lavalle tai työntekijä siirtää aihion käsin kuljettimelta lavalle. Robottisoluun menevien aihoiden täytyy olla lavattuina järjestyksessä ja lastuista puhdistettuina.

6 SAHAUSSOLUN LAYOUT

Sahaussolun layoutsuunnittelu aloitettiin tilantarpeen kartoituksella sekä hallin päädyn mitoituksella. Aluksi varastohallista suunniteltiin tulevaksi kaksi erillistä kuljetinta, jolloin raaka-aineita voidaan väli-varastoida kuljettimelle odottamaan siirtoa takaisin varastohyllyyn. Tilanpuute varastohallissa ja käyntioven sijainti estivät kahden kuljettimen käytön, joten suunnitelmassa päädyttiin yhden kuljettimen käyttöön (kuva 13). Kuljettimien pituudeksi määritettiin kuusi metriä sisäpuolella ja viisi metriä varastohallin puolella. Pidempiä tankoja varten varastohalliin hankitaan erillinen tukirulla. Kuljettimien jätettiin pieni kulkuaukko sekä varastohalliin että sisäpuolelle helpottamaan operointia kuljettimen molemmilla puolilla.



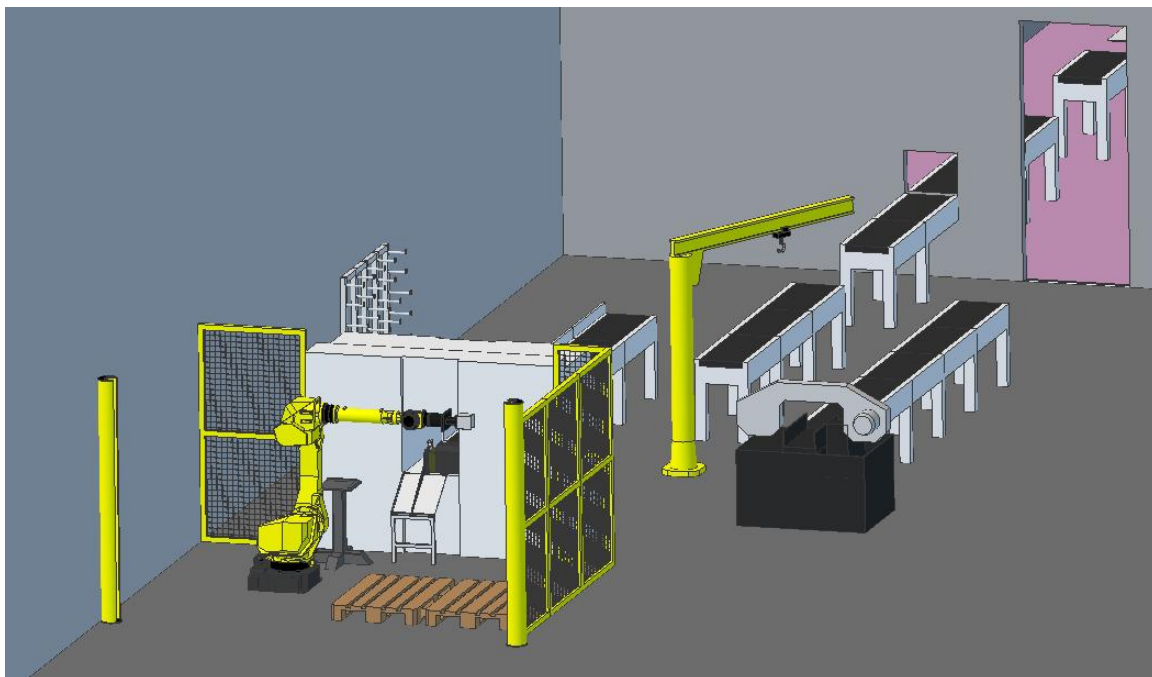
KUVA 13. Varastohallista tuleva kuljetin (Hiltunen 2020-01-09.)

Hallin sisäpuolella kuljettimen jatkeeksi suunniteltiin asennettavaksi pylväsnosturi, jonka ulottuvuus on 4000 mm ja nostokyky 600 kg. Pylväsnosturin käyttö on siltanosturia nopeampi keino nostaa raaka-ainetangot sahan kuljettimelle ja takaisin. Nosturin nostokapasiteetti on laskettu halkaisijaltaan 120 millimetrin ja pituudeltaan 6000 millimetrin tangon mukaan, jolloin tangon painoksi saadaan 531 kg. Tangon paino on laskettu kaavasta

$$m = \pi \cdot r^2 \cdot d \cdot 7830 \text{ kg/m}^3 \quad (1)$$

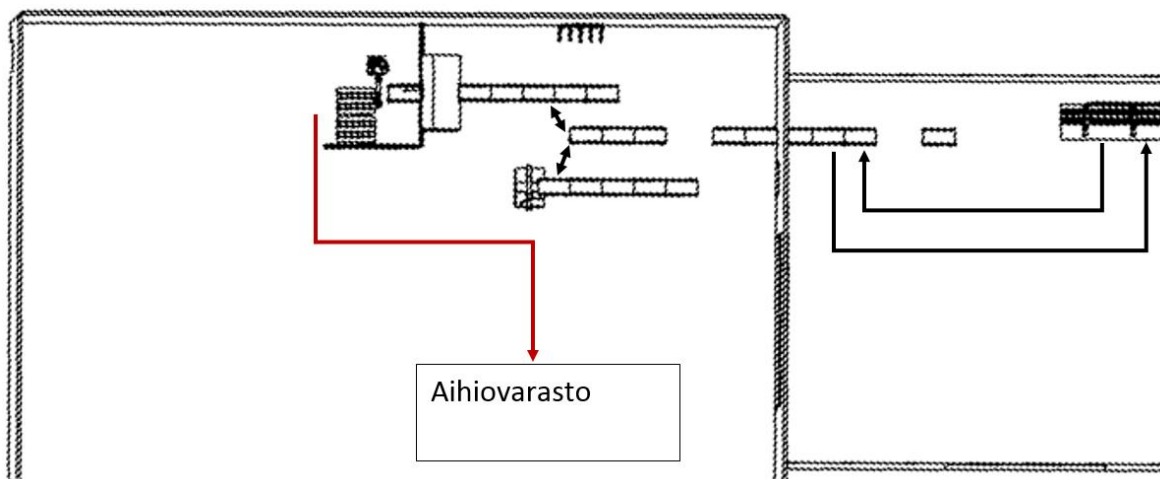
jossa m on massa, r on tangon säde, d on tangon pituus ja 7830 kg/m^3 on teräksen tiheys (Mäkelä, Soininen, Tuomola ja Öistämö 2005, 177).

Sahat sijoitettiin layoutissa hieman limittäin, robotisoitava saha seinän viereen ja toinen saha hiukan kauemmas taakse kulkuväylän puolelle. Tällainen sijoittelu mahdollistaa helpomman operoinnin manuaalisesti toimivan sahan ympärillä eikä robottisolun suojaseinät ole esteenä aihiolavojen ja siirtopöytien liikuttelulle. Itse robottisolu suunniteltiin Kasto Win A3.3 sahan ympärille, ja hallin seinä toimii yhtenä suojaseinänä. Robottisolun etuseinä jätettiin avoimeksi ja suojattiin valoverholla, jolloin kuormalavoilla olevat aihiot voidaan siirtää aihiovarastoon robottisolun etupuolelta (kuva 14).



KUVA 14. Sahaussolun layoutsuunnitelma (Hiltunen 2020-01-09.)

Sahaussolun layout-muutoksilla materiaalivirtaa varastohallin ja solun välillä saatiin nopeutettua. Pitkiä tankoja ei tarvitse enää trukin avulla siirtää sisäpuolelle oven kautta, vaan ne voidaan laskea trukilla varastohallin kuljettimelle ja rullata ne suoraan sahaussoluun. Lisäksi tankojen välivarastointi jää pois hallin sisäpuolella, jolloin saadaan käyttöön lisätilaa sahojen järkevään sijoitteluun.



KUVA 15. Sahaussolun materiaalivirta uudessa layoutissa (Hiltunen 2020-01-22.)

7 SAHAUSSOLUN AUTOMAATIO

Työn aluksi kartoitettiin, millaisia vaihtoehtoja sahaussolun automaation toteuttamiseksi on tarjolla sekä automaation laajuutta sahaussoluun. Vaihtoehtoina olivat automaattiset varastohyllyratkaisut ja kuljettimet varastohallin puolelta sahaussoluun sekä sahattujen aihioden käsittely ja lavaus. Automaattiset varastohyllyratkaisut kuljettimiseen olisivat tulleet suhteettoman kalliiksi nykyiseen raaka-aineen käsittelymäärään nähden, joten lopulta päädyttiin pelkästään aihioden kappaleenkäsittelyn automatisointiin sekä manuaaliseen kuljettimeen varastohallista sahaussoluun.

7.1 Automaatiolla sahattavien aihioden raja

Automaatiosolussa sahattavien aihioden pituusmitat rajattiin minimissään 40 millimetrin ja maksimissaan 600 millimetrin välille. Samoin sahattavan tangon maksimipaksuus rajattiin 100 millimetriin ja minimipaksuus 15 millimetriin. Tätä paksummat aihiot tilataan jatkossa suoraan sahamittaan toimitettuna ja ohuempat tangot sahataan manuaalisesti. Myös alle 40 millimetriä ja yli 600 millimetriä pitkät aihiot sahataan jatkossakin manuaalisesti.

Toinen automaatiolla sahattavien aihioden rajausta aiheuttava tekijä oli tuotettavien kappaleiden sarjakoko. Sarjakoot vaihtelevat muutamasta aina satoihin kappaleisiin saakka, eikä muutaman kappaleen sahaaminen automaattisesti ole taloudellisesti kannattavaa. Sarjakoossa rajausta tehtiin 10 kappaleen sarjaan, jota pienemmät sarjat sahataan manuaalisesti. Näiden lisäksi rajausta aiheuttaa robotin tarttujan valinta. Projektin alkuvaiheessa päätettiin, että robotin tarttujaksi valitaan magneetti, jolloin automaatiosolussa ei voi sahata ei - ferriittisiä materiaaleja. Sinänsä tämä ei tuota ongelmaa, muovien ja ei - ferriittisten metallien osuus Lapinlahden Koneistus Oy:n tuotannossa on noin kolmen prosentin luokkaa.

7.2 Robotin valinta

Sahaussolun kappaleenkäsittelyautomaatiolle asetettiin vaatimuksia, joiden pohjalta kartoitettiin sopivaa yrityksen tarpeisiin sopivaa ratkaisua. Näitä vaatimuksia olivat muun muassa

- aihion poiminta sahauksen jälkeen
- aihion puhdistus
- aihion kääntö
- aihion lavaus
- robotin ulottuvuus noin 2000 mm
- robotin nostokyky noin 50 kg.

Aluksi automaatoratkaisuksi mietittiin lineaarijohteilla toimivaa robottia, joka olisi asennettu Kaston kuljettimen yläpuolelle. Ongelmaksi tässä ratkaisussa tuli aihion kääntö, sillä sen toteuttamiseksi kuljettimen jatkeeksi olisi pitänyt rakentaa kääntöpöytä. Lisäksi tuotantosarjan vaihto olisi aiheuttanut asetuskustannuksia, tarttuja olisi pitänyt vaihtaa manuaalisesti sahattavan raaka-aineen vaihtuessa

pyörötangosta lataksi tai pyörötangon halkaisijan muuttuessa riittävästi. Yhtenä rajoittavana tekijänä oli myös tämän automaattioratkaisun yksipuolisuus, lineaaribottia ei voi asettaa palvelemaan kahta sahaa eikä sitä voi siirtää toiseen soluun palvelemaan työstökoneita.

Toisena vaihtoehtona sahaussolun robotiksi mietittiin yhteistyörobotia. Tämä ratkaisu olisi huomattavasti monipuolisempi kuin lineaaribotti, ja yhteistyörobotin siirtäminen solusta toiseen kävisi helpposti. Lisäksi solun ympärille ei tarvitsisi asentaa suoja-aitoja, jolloin automaation tilantarve olisi pienempi. Yhteistyörobotin ongelmaksi tuli sen pieni nostokyky. Suurin nostokyky, joka yhteistyörobotilla voidaan nykyisin saavuttaa, on Fanuc CR-36iA -robotin 35 kg (Fanuc 2020). Tämä rajoittaa yhteistyörobotin käyttöä sahaussolussa, koska painavimmat sahattavat aihiot ovat noin 37 kg ja tarttujan kanssa nostettava massa kasvaa noin 50 kilogrammaan. Yhteistyörobotiikkaan liittyen myös ABB IRB4400-robotin varustamista SafeMove 2 -järjestelmällä kartoitettiin sahaussolun robotiksi. Näin solun automaatio saataisiin toteutettua nostokyvyllään riittävällä robotilla yhteistyörobotiikan keinoin. Tämäkin ratkaisu hylättiin turvallisuusriskien takia, aihoiden paino voi olla noin 35 kg ja aihion irrotessa tarttujasta se voi ihmiseen osuessa aiheuttaa suuren tapaturman. Lisäksi suoja-aidattoman robotin tehokkuus on huomattavasti alempi aidattuun robottiin verrattuna. Robotin läheisyydessä liikkuu jatkuvasti työntekijöitä, jonka takia aitaamaton robotti pääsee harvoin toimimaan täydellä liikenopeudella.

Lopulta sopivaksi automaattioratkaisuksi tarkentui nivelvarsirobotti, jonka hyötynä on kartoitettujen vaatimusten lisäksi monikäyttöisyys. Robotin saa tarvittaessa palvelemaan kahta sahaa ja sahan vaihtuessa robotin saa nopeasti integroitua uuteen soluun. Robotin saa myös tarvittaessa pienillä muutoksilla vaihdettua toiseen työstösoluun. Robotin kokoluokaksi asetettiin noin 50 kg:n nostokapasiteetti, joka riittää lähes kaikkiin Lapinlahden Koneistus Oy:ssä itse sahattavien aihoiden käsitteilyyn.

7.3 Aihion poiminta, puhdistus ja lavaus

Kappaleen poimintaan mietittiin ensimmäisenä erilaisia tarttujavaihtoehtoja. Sahauksen jälkeen aihiot tulevat kuljettimelle vaaka-asennossa (kuva 16), jolloin keskittäviä, useampileukaisia tarttuvia ei voida käyttää poiminnassa ilman aihion kääntöä pystysuoraan. Myöskään kaksileukaisia sormitarttuvia ei voida käyttää aihion nostamiseen. Aihion painon vuoksi kaksileukainen tarttuja vaatii paljon voimaa ja nostamisen täytyy tapahtua aihion keskipisteestä keinumisen estämiseksi. Aihoiden pyöreän pinnan vuoksi myöskään alipainetarttujaa ei voida käyttää poiminnassa. Parhaaksi tarttujavaihtoehdoksi valikoitui joko sähkömagneetti tai paineilmatoiminen magneetti, joita tarvitaan kolme erilaista, yksi latalle, yksi ohuelle ja yksi paksulle pyörötangolle.



KUVA 16. Aihion siirtyminen kuljettimelle sahauksen jälkeen (Hiltunen 2020-01-14.)

Toinen poiminnassa huomioitava seikka oli aihion asemointi tartuntaa varten. Robottia ei tulla varustamaan konenäöllä, jolloin aihoiden täytyy asemoitua jokaisella kerralla samaan paikkaan poimintaa varten. Aluksi mietittiin aihion poimimista suoraan sahan leukojen välistä, jolloin aihio on valmiiksi asemoituna paikoilleen. Toisena vaihtoehtona oli sahaan asennettava liukumäki ja sahan liikkuvassa leuassa oleva ohjuri, joka puristaa sahatun aihion liukumäen reunaa vasten. Näissä molemmissa ratkaisuisa ongelmaksi muodostuivat aihioon ja sahan terän ympäristöön keräytyvät metallilastut, jotka tarttuvat kiinni robotin magneettitarttujaan aihiota poimittaessa. Magneettiin kiinni tarttuneet lastut heikentävät kiinnityksen tehoa. Aluksi kappaleen puhdistukseen suunniteltiin paineilmasuuttimia ja ilmaveistä tai sahan omaan nestejärjestelmään lisättäviä nestesuuttimia, jotka suunnataan terän etupuolelta aihiota kohden. Tästä suunnitelmasta luovuttiin, koska sahan nestesäiliön tilavuus ja pumpun teho eivät riitä lisänesteen suihkuttamiseen. Lisäksi näissä molemmissa ratkaisuisa metallilastut lentävät sahan sisälle ja siellä oleviin optisiin antureihin, joita ei voi kunnolla suojata lastuilta.

Lavapaikkoja soluun suunniteltiin kolme kappaletta ja solun operaattori vaihtaa aihioilla täytetyn lavan uuteen tarvittaessa. Lavapaikat numeroidaan yhdestä kolmeen, jolloin robotti voidaan ohjata asettamaan ahiot halutulle lavapaikalle. Yhdelle lavalle asetellaan yksi tuotesarja ja ahiot ovat lavalla järjestyksessä. Välipahvin avulla aihioita voidaan asetella lavalle useaan kerrokseen.

7.4 Robottisolun ohjaus ja turvallisuus

Robotin ja sahan ohjaus suunniteltiin toteutettavaksi siten, että molemmat yksiköt saadaan asetettua seuraavan tuotteen tuotantoon saman valikon kautta. Sahan soveltuvuus automaattikäyttöön robotin kanssa varmistettiin maahantuojalta. Solun operaattori asettaa raaka-ainetangon sahan tulopuolen kuljettimelle ja syöttää tietokoneen valikkoon sahattavan tuotteen koodin, lavapaikan sekä kappalemäärän. Ohjelma syöttää tuotteelle asetetut parametrit sekä sahalle että robotille ja aloittaa solun tuotannon. Tuotteen parametreihin on asetettu valmiiksi sahattavan raaka-ainetangon halkaisija tai lattatangon leveys ja korkeus, sahattavan aihion pituusmitta, robotin ohjelma sekä robotin tarttuoja. Raaka-aineen tai ahiomitan muuttuessa tuotteen revisiomuutoksen myötä suorittaa robotin ohjelmoija ohjelma- ja parametrimuutokset sekä koeajon.

Turvavarusteina robottisolun kahdelle sivulle asennetaan metalliverkolla varustetut turva-aidat. Yhdellä sivulla suojana on tuotantohallin seinä ja solun etureuna suojataan valoverholla. Tämä nopeuttaa lavojen vaihtoa, kun operaattorin ei tarvitse avata rajakytkimellä suojattua ovea jokaisella lavanvaihtokerralla. Lisäksi valoverhon viereen sekä sahan puolelle asennetaan hätä-seis kytkimet, jolloin häiriötilanteessa operaattori voi keskeyttää solun toiminnan nopeasti. Turva-aitojen tarkoituksena on myös pysäyttää tarttujasta mahdollisesti irronnut kappale. Irrotessaan täydellä vauhdilla liikkuvasta robotin tarttujasta, kappale aiheuttaa ilman suoja-aitausta vakavan vaaratilanteen. Robotin ollessa toiminnassa ei valoverhon läheisyydessä ole tarvetta työntekijöiden liikkumiselle.

8 AUTOMAATIOJÄRJESTELMÄN KUSTANNUKSET

Robottijärjestelmän kustannukset koostuvat investointi- sekä käyttökustannuksista. Investointikustannuksiin kuuluvat järjestelmän suunnittelukustannukset, robotin ja oheislaitteiden hankintakustannukset sekä asennuksesta ja käyttöönotosta aiheutuneet kustannukset. Lisäksi investointikustannuksiin voidaan lukea tuotantosolun mahdollisiin layoutmuutoksiin sekä muihin järjestelmän kannalta tarpeellisiin hankintoihin kuuluvat kustannukset. Käyttökustannuksiin kuuluvat palkka-, koulutus-, kunnossapito- sekä energiakustannukset. Toisaalta tuotantosolun robotisointi tuottaa yritykselle säästöjä miehittämättömien tuotantopaksojen, laadun parantumisen sekä joustavan tuotannon muodossa. (Billing 2015, 77–79.) Tarjousten tarkka sisältö ja hintatiedot, sekä muut automaation kustannukset on salattu tästä opinnäytetyöstä liikesalaisuuksiin vedoten.

8.1 Tarjouspyynnöt

Tarjouspyynnöt robottijärjestelmästä lähetettiin neljälle automaatoratkaisujen tarjoajalle, Yaskawa Finlandille (liite 1), ABB:lle (liite 2), MTC Flextekille (liite 3) sekä Savon Automaatio Oy:lle (liite 4). Tarjouspyynnöt pyydetään potentiaalisilta toimittajilta ja tarjouspyyntöön on hyvä sisällyttää mitä tuotteita tai palveluja halutaan, tuotteen vaatimukset, toimitusmäärä, toimitusaika ja -paikka, mahdolliset optiot sekä mahdolliset pyytäjän omat ostoehdot tavarantoimittajille (Logistiikanmaailma 2017). ABB:lta tarjouspyyntö tehtiin IRB4600 - robotille, Yaskawan tarjous kysyttiin Motoman GP-50 - robotista ja MTC Flextekin sekä Savon automaation tarjouspyynnössä robottina oli Fanuc M-

710iC/70. Robottien lisäksi tarjouksen sisällössä oli mukana robotin ohjain, tarttujat ja tarttujateline, suoja-aidat sekä asennus, käyttöönotto ja koulutus. Robottijärjestelmän lisäksi tarjoukset pyydettiin pylväsnosturista Konecranesilta (liite 5) sekä Satateräkseltä (liite 6). Maanterältä puolestaan kysyttiin tarjoukset varastohallista sisään tuotantotilaan tulevasta kuljettimesta sekä pesutunnelista.

8.2 Tarjousten analysointi

Robottijärjestelmästä saatiin kattavat budjettitarjoukset ABB:ltä, Yaskawa Finlandilta sekä MTC Flextekiltä, Savon Automaation tarjous oli sähköpostiin kirjoitettu luettelo robotista ja oheislaitteista sekä arvioitu hinta tästä paketista. Kaikkiin tarjouksiin sisältyi robotin ja robottiohjaimen lisäksi turva-aidat ja -piirit, dokumentointi sekä robotin asennus ja koulutus. Tarttujen osalta oli pieniä eroavaisuuksia, Yaskawan tarjouksessa oli kolme magneettitarttujaa ja tarttujanvaihtoteline, ABB tarjosi mukaan kahta magneettitarttujaa ja vaihtotelinettä. MTC Flextek ja Savon Automaatio tarjosivat robottia yhdellä magneettitarttujalla ja manuaalisella työkalunvaihdolla. Kappaleen poimintaa ja puhdistusta oli huomioitu sekä MTC Flextekin että Yaskawan tarjouksissa.

Jokaiseen tarjoukseen sisältyi robotin käyttökoulutus sekä ohjelmointikoulutus. Käyttökoulutus suoritetaan robotin käyttöönoton yhteydessä tai välittömästi käyttöönoton jälkeen Lapinlahden Koneistus Oy:n tiloissa. Ohjelmointikoulutus pidetään robottijärjestelmän toimittajan tiloissa ABB Vantaalla, Yaskawa Turussa ja Fanuc Nurmijärvellä. ABB:n koulutuspakettiin kuuluu yksi päivä käyttökoulutusta Lapinlahdella ja neljä päivää ohjelmointikoulutusta Vantaalla. Yaskawan pakettiin puolestaan kuuluu kaksi päivää käyttökoulutusta ja kolme päivää ohjelmointikoulutusta ja MTC Flextek tarjoaa Fanucille yhden päivän käyttökoulutuksen ja kaksi päivää ohjelmointikoulutusta Nurmijärvellä. Kaikkiin tarjouksiin sisältyi optio maksullisesta lisäkoulutuksesta. Robottijärjestelmien huoltosopimukset olivat ABB:n ja Yaskawan tarjouksissa optiona, MTC Flextekillä on voimassaoleva kunnossapitosopimus Lapinlahden Koneistus Oy:n kanssa.

8.3 Sahaussolun automaation hankintakustannukset

Sahaussolun automaation investointikustannukset koostuvat robottijärjestelmästä, kuljettimesta ja nosturista, sahojen siirrosta uuteen layoutin mukaiseen paikkaan sekä asennuskustannuksista. Robotin ja nosturin osalta hinnat saatiin suoraan tarjouksista, kuljettimen kustannukset arvioitiin XXX euroa / metri ja siihen lisättiin XXX euroa seinään puhkaistavasta aukosta sekä asennuksesta aiheutuvia kustannuksia. Sahojen siirron ja asennuksen uuteen paikkaan suorittaa MCT Flextek ja heidän osaltaan kustannuksiksi arvioitiin XXX euroa. Lapinlahden Koneistus Oy huolehtii robottisolun sähkö- ja paineilialiittymistä yhdessä paikallisten sähkö- ja LVI-yritysten kanssa, ja näihin toimenpiteisiin laskettiin kustannuksia XXX euroa. Lisäksi kustannuksiin lisättiin Lapinlahden Koneistus Oy:n henkilöstön palkkakuluja XXX euroa, joka vastaa noin XX tunnin työpanosta. Palkan sivukulujen kertomena käytettiin 1,7 ja sivukulut sisällytettiin kokonaiskuluihin.

TAULUKKO 1. Sahaussolun automaation hankintakustannukset

| | |
|-------------------------|--------|
| Robottijärjestelmä | XXX € |
| Pylväsnosturi | XXX € |
| Kuljetin | XXX € |
| Sahojen siirto | XXX € |
| Asennuskustannukset | XXX € |
| Sähkötyöt + paineilma | XXX € |
| Henkilöstön palkkakulut | XXX € |
| Yhteensä | XXXX € |

8.4 Takaisinmaksuaika

Investointien kannattavuuden laskemiseen on useita menetelmiä, mutta tässä laskettiin ainoastaan takaisinmaksuajan menetelmällä. Takaisinmaksuajan laskemisen tarkoituksena on selvittää, kuinka nopeasti investoinnin nettotuotot ylittävät hankintakustannukset. Yksinkertaisimmillaan takaisinmaksuaika saadaan laskettua kaavalla hankintakustannus : nettotuotto. (Yritystulkki 2019.) Tässä tapauksessa takaisinmaksuajan laskemista yksinkertaistettiin ja laskeminen suoritettiin ainoastaan palkkakustannusten säästön osalta. Kokonaisvaltaisesti takaisinmaksuaikaa laskettaessa täytyy ottaa huomioon lisääntynyt sähkön kulutus, solun kunnossapitokustannukset, tuotantotilojen pinta-alan osuus sekä kiinteiden kulujen osuus robottisolun käyttökustannuksiin. Yleisesti ottaen kiinteiden kulujen ja sähkön kulutuksen jakaminen kone- tai solukohtaisesti on hankalaa konepaja-alalla. Työstökoneiden sähkönkulutus riippuu koneen koosta, eikä sitä voi jakaa tasaisesti joka koneelle. Myöskään tuotettuun kappalemäärään sitominen ei anna todellista vastausta konekohtaisesta sähkönkulutuksesta vaan pahimmillaan vääristää tuotteiden hinnoittelua huomattavasti.

Takaisinmaksuajan laskeminen aloitettiin laskemalla investoinnin rahoituksen vuosittain maksettava tasaerä eli annuiteetti sekä rahoituksesta aiheutuvat korkokulut. Lisäksi rahoitussumman päälle lisättiin järjestelykuluja XX euroa. Annuiteetti saadaan laskettua kaavalla

$$A = \frac{(1 + \frac{p}{100})^n \cdot \frac{p}{100}}{((1 + \frac{p}{100})^n - 1)} \cdot N \quad (2)$$

jossa A on annuiteetti, p on korkokanta % / vuosi, n on laina-aika vuosissa ja N on lainasumma (Jyväskylän yliopisto 2004). Laskennassa käytettiin lainasummana XXX euroa, laina-aika määritettiin kuudeksi vuodeksi ja tämänhetkiseksi korkokannaksi asetettiin 2 %, jolloin annuiteetiksi saatiin laskettua XXX euroa (kaava 3).

$$\text{Kaava salattu liikesalaisuuksiin vedoten} \quad (3)$$

Seuraavaksi laskettiin rahoituksen kokonaiskulut kertomalla annuiteetti laina-ajalla (kaava 4).

Kaava salattu liikesalaisuuksiin vedoten (4)

Henkilöstökustannukset laskettiin yhden vuoron mukaan, työntekijän tuntipalkaksi asetettiin laskelmassa XX euroa / tunti ja vuosittaiseksi tuntimääräksi arvoitiin 1726 tuntia. Palkan sivukuluissa käytettiin kerrointa 1,7. Tästä saatiin laskettua työntekijän vuosiansio, joka oli XXX euroa. Sahaussolun automatisoinnin vaikutukseksi työntekijän työpanokseen laskettiin 75 % työajasta. Ilman automaatiota työntekijä ehtii käyttämään ainoastaan yhtä sahaa, mutta robotin lavatessa aihiot, työntekijän tarvitsee ainoastaan vaihtaa uudet lavat täyttyneiden tilalle ja syöttää raaka-aineet sahalle. Automaation vuosittaiseksi nettotuotoksi laskettiin XXX euroa (kaava 5) ja takaisinmaksuajaksi XX vuotta (kaava 6).

Kaava salattu liikesalaisuuksiin vedoten (5)

Kaava salattu liikesalaisuuksiin vedoten (6)

Investoinnin käyttöiäksi arvoitiin noin kymmenen vuotta, joten investoinnin voidaan katsoa olevan takaisinmaksuajan suhteen kannattava.

9 PÄÄTÄNTÖ

Automaation ja robotiikan osuus kappaleenkäsittelyssä ja hitsauksessa kasvaa nykyään nopeasti konepajateollisuudessa. Osaltaan kasvua lisää teknologiakustannusten laskeminen, osaltaan alan työvoimapula. Myös yhteistyörobottien sekä tarttujien kehittyminen laskee kynnystä hankkia robotiikkaa yrityksen kalustoon. Yhteistyörobottien myötä robottien käyttö ja ohjelmointi on yksinkertaista ja tarvittaessa yhteistyörobotti pystyy palvelemaan useampaa työpistettä. Usein robotti hankitaan yritykseen lisäämään kapasiteettia miehittämättömillä työkajsoilla, mutta myös korvaamaan ihmisen tekemiä toistuvia ja rasittavia työtehtäviä. Robottijärjestelmän hankinta on kustannuksiltaan kallis investointi, jonka kannattavuutta on tarkasteltava etukäteen.

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli laatia automatisointisuunnitelma Lapinlahden Koneistus Oy sahaussoluun. Työn lähtökohtana oli saada toteuttamiskelpoinen robotisointisuunnitelma sekä sujuvoittaa solun materiaalivirtausta. Robottisolua ei lähdetty suunnittelemaan alusta alkaen yrityksen sisäisesti, vaan tarkoitus oli selvittää robotisoinnin kustannukset avaimet käteen periaatteella. Kokonaisen robottisolun suunnitteluun ja rakentamiseen ei yrityksen omat resurssit ja tietotaito ole riittävää. Suurimpana haasteena työssä oli sahatun aihion asemointi robotin poimintaa varten, johon erinäisten pohdintojen jälkeen saatiin ratkaisu Yaskawalta. Suunnitelma on tarkoitus toteuttaa lähitulevaisuudessa kahdessa vaiheessa. Ensimmäisessä vaiheessa muutetaan sahojen layout ja hankitaan varastohallista tuotantotilaan tuleva kuljetin sekä pylväsnosturi, toisessa vaiheessa toteutetaan sahan robotisointi.

Itselleni tämän työn tekeminen antoi paljon uutta tietoa robotiikasta ja sen mahdollisuuksista teollisuuden tarpeisiin. Teoriaosuutta kirjoittaessa tietoa tuli etsittyä eri lähteistä huomattavasti enemmän kuin tässä työssä on esitetty. Yhteistyö eri robottijärjestelmien tarjoajien kanssa oli sujuvaa ja antoisaa, ja myös sillä tavoin sain työn etenemiseen uusia näkökulmia. Opinnäytetyö vastasi määritetyt tavoitteet hyvin, ja Lapinlahden Koneistus Oy voi tulevaisuudessa käyttää tätä työtä pohjana sahaussolun robotisoinnissa.

LÄHTEET JA TUOTETUT AINEISTOT

- ABB 2015. 10 good reasons to invest in robots [verkkojulkaisu]. ABB library. [Viitattu 2020-04-20.] Saatavissa: https://library.e.abb.com/public/af906afd6ec74c229f3bf58e0473a79e/V2bgw_10%20Reasons%20eBook%20links6b.pdf
- ABB 2017. SafeMove 2 [verkkojulkaisu]. ABB. [Viitattu 2020-02-20.] Saatavissa: <https://new.abb.com/products/robotics/controllers/irc5/irc5-options/safemove-2>
- ABB 2018. IRB 4400, M2004, Product spesification [verkkojulkaisu]. ABB. [Viitattu 2020-03-08.] Saatavissa: <https://new.abb.com/products/robotics/industrial-robots/irb-4400>
- ABB 2020. YuMi - IRB 14000 [verkkojulkaisu]. ABB. [Viitattu 2020-03-08.] Saatavissa: <https://new.abb.com/products/robotics/industrial-robots/irb-14000-yumi>
- BÉLANGER-BARRETTE, Mathieu 2015. Why use a robot gripper with 3 fingers? [verkkojulkaisu]. Robotiq. [Viitattu 2020-04-06.] Saatavissa: <https://blog.robotiq.com/why-use-a-robot-gripper-with-3-fingers>
- BERNIER, Catherine 2016. How Pneumatic End Effectors Work? [verkkojulkaisu]. Robotiq. [Viitattu 2020-04-05.] Saatavissa: <https://blog.robotiq.com/bid/65604/How-Pneumatic-End-Effectors-Work>
- BILLING, Mikael 2015. Robotiikka [verkkojulkaisu]. Vaasan ammattikorkeakoulun kurssimateriaali. [Viitattu 2020-02-29.] Saatavissa: <https://docplayer.fi/29180796-Robotiikka-m-billing-2015.html>
- COBOTSGUIDE 2016. Cobots Comparision Chart [verkkojulkaisu]. Cobotsguide. [Viitattu 2020-02-14.] Saatavissa: <https://cobotsguide.com/cobots/>
- COLLINS, Danielle 2018. What is cartesian robot [verkkojulkaisu]. Linear Motion Tips. [Viitattu 2020-02-20.] Saatavissa: <https://www.linearmotiontips.com/what-is-a-cartesian-robot/>
- DENENBERG, Scott 2019. 3D sensors: new applications & approaches to robot safety [verkkojulkaisu]. The Robot Report. [Viitattu 2020-04-16.] Saatavissa: <https://www.therobotreport.com/3d-sensors-robot-safety/>
- FANUC 2020a. Robot finder [verkkojulkaisu]. Fanuc. [Viitattu 2020-04-26.] Saatavissa: <https://www.fanuc.eu/tr/en/robots/robot-filter-page/collaborative-robots/collaborative-cr35ia>
- FANUC 2020b. Robot finder [verkkojulkaisu]. Fanuc. [Viitattu 2020-03-08.] Saatavissa: <https://www.fanuc.eu/tr/en/robots/robot-filter-page/m-2000-series/m-2000ia-2300>
- GONZALEZ, Carlos 2015. What's the Difference Between Pneumatic, Hydraulic, and Electrical Actuators? [verkkojulkaisu]. MachineDesign. [Viitattu 2020-04-05.] Saatavissa: <https://www.machinedesign.com/mechanical-motion-systems/linear-motion/article/21832047/whats-the-difference-between-pneumatic-hydraulic-and-electrical-actuators>
- HAVERILA, Matti J, KOURI, Ilkka, MIETTINEN, Asko ja UUSI-RAUVA, Erkki 2009. Tuotantotalous. 6. painos. Ylöjärvi: Infacs.
- HEINONEN, Mika, KEINÄNEN, Toimi, KÄRKKÄINEN, Pentti 2016. Konetekniikan perusteet. 12. uudistettu painos. Helsinki: Sanoma Pro.
- HILTUNEN, Mika 2020-01-09. Lapinlahden Koneistus Oy sahaussolun 3d-layout [3d-mallinnos]. Sijainti: Lapinlahti: Mika Hiltusen sähköiset kokoelmat.
- HILTUNEN, Mika 2020-01-14. Lapinlahden Koneistus Oy sahaussolu [digikuva]. Sijainti: Lapinlahti: Mika Hiltusen sähköiset kokoelmat.
- HILTUNEN, Mika 2020-01-22. Lapinlahden Koneistus Oy sahaussolun materiaalivirta [piirros]. Sijainti: Lapinlahti: Mika Hiltusen sähköiset kokoelmat.
- IFR 2018. Demystifying Collaborative Industrial Robots [verkkojulkaisu]. International Federation of Robotics. [Viitattu 2020-02-29.] Saatavissa: https://ifr.org/downloads/papers/IFR_Demystifying_Collaborative_Robots.pdf

IXTUR 2017. Products [verkkojulkaisu]. Ixtur. [Viitattu 2020-03-27.] Saatavissa: <https://www.ixtur.com/index.php/products>

KERÄNEN, Matti 2018. Robotit pysyvät edelleen häkeissä - "kameratekniikkaan ei voi vielä luottaa, tuottavat suuren määrän virheitä" [verkkojulkaisu]. Tekniikka & Talous. [Viitattu 2020-04-16.] Saatavissa: <https://www.tekniikkatalous.fi/uutiset/robotit-pysyvat-edelleen-hakeissa-kameratekniikkaan-ei-voi-viela-luottaa-tuottavat-suuren-maaran-virheitä/0979f648-286d-3adf-8c2d-a20bf67d9dac>

KIVIPURO, Maarit, MALM, Timo, TIUSANEN, Risto 1998. Laajojen koneautomaatiojärjestelmien turvallisuus [verkkojulkaisu]. VTT. [Viitattu 2020-04-13.] Saatavissa: <https://www.vttresearch.com/sites/default/files/pdf/tiedotteet/1998/T1938.pdf>

KONETURVALLISUUS 2010. Yleiset suunnitteluperiaatteet, riskin arviointi ja riskin pienentäminen. SFS-EN ISO 12100. Metalliteollisuuden Standardintyhdistys ry. Vahvistettu 2010. 3. painos. Helsinki: Suomen Standardoimisliitto.

KONETURVALLISUUS 2019. Turvaetäisyydet yläraajojen ja alaraajojen ulottumisen estämiseksi vaaravyöhykkeille. SFS-EN ISO 13857:2019. Vahvistettu 2019. 2. painos. Helsinki: Suomen Standardoimisliitto.

KUIVANEN, Risto 1999. Robotiikka. Vantaa: Talentum

LITMANEN, Mirja 2020-01-09. Hallintojohtaja. [Haastattelu.] Lapinlahti: Lapinlahden Koneistus Oy

LOGISTIIKAN MAAILMA 2017a. Tuotannon layout [verkkojulkaisu]. Logistiikanmaailma. [Viitattu 2020-02-09.] Saatavissa: <http://www.logistiikanmaailma.fi/tuotanto/tuotantostrategia/tuotannon-layout/>

LOGISTIIKAN MAAILMA 2017b. Varaston layout [verkkojulkaisu]. Logistiikanmaailma. [Viitattu 2020-02-09.] Saatavissa: <http://www.logistiikanmaailma.fi/huolinta-terminaalit/varastointi/varastotilojen-suunnittelu/varaston-layout/>

LOGISTIIKAN MAAILMA 2017c. Tieto-, raha- ja materiaalivirrat [verkkojulkaisu]. Logistiikanmaailma. [Viitattu 2020-02-14.] Saatavissa: <http://www.logistiikanmaailma.fi/logistiikka/logistiikka-ja-toimitusketju/tieto-raha-ja-materiaalivirrat/>

LOGISTIIKAN MAAILMA 2017d. Tarjouspyyntö [verkkojulkaisu]. Logistiikanmaailma. [Viitattu 2020-02-14.] Saatavissa: <http://www.logistiikanmaailma.fi/osto-ja-myynti/hankintaprosessi/tarjouspyynto/>

MALM, Timo 2017. Guidelines to make safe industrial robot systems [verkkojulkaisu]. VTT. [Viitattu 2020-04-13.] Saatavissa: <https://www.vttresearch.com/sites/default/files/julkaisut/muut/2017/VTT-R-01109-17.pdf>

MATEMATIIKAN JA TILASTOTIETEEN LAITOS 2004. Tasaerälaina [verkkojulkaisu]. Jyväskylän yliopisto. [Viitattu 2020-04-29.] Saatavissa: <http://www.math.jyu.fi/matyl/peruskurssi/talousmatematiikkaa/korkor3.8.htm>

MOTION CONTROLS ROBOTICS 2015. Gripping power in a vacuum [verkkojulkaisu]. Motion Controls Robotics. [Viitattu 2020-04-06.] Saatavissa: <https://motioncontrolsrobotics.com/gripping-power-in-a-vacuum/>

MÄKELÄ, Mikko, SOININEN, Lauri, TUOMOLA, Seppo ja ÖISTÄMÖ, Juhani 2005. Tekniikan kaavasto. 5. uudistettu painos. Tampere: Amk-kustannus.

OWEN-HILL, Alex 2018. What Is the Best Way to Program a Robot? [verkkojulkaisu]. RoboDK. [Viitattu 2020-04-16.] Saatavissa: <https://robodk.com/blog/program-robot-tips/>

OWEN-HILL, Alex 2019. Yes, Virtual Reality Now Works With Offline Programming [verkkojulkaisu]. RoboDK. [Viitattu 2020-04-19.] Saatavissa: <https://robodk.com/blog/virtual-reality-offline-programming/>

ROBOTIC AUTOMATION SYSTEMS 2019. 6-Axis robots [verkkojulkaisu]. Robotic Automation Systems. [Viitattu 2020-03-08.] Saatavissa: <https://www.roboticautomationsystems.com/6-axis-robots.html>

ROBOTIT JA ROBOTIIKKALAITTEET 2011a. Turvallisuusvaatimukset. Osa 1: Teollisuusrobotit. SFS-EN ISO 10218-1:2011. Metalliteollisuuden Standardointiyhdistys ry. Vahvistettu 2011. 3. painos. Helsinki: Suomen Standardoimisliitto.

ROBOTIT JA ROBOTIIKKALAITTEET 2011b. Turvallisuusvaatimukset. Osa 2: Robottijärjestelmät ja niiden yhdistelmät. SFS-EN ISO 10218-2:2011. Metalliteollisuuden Standardointiyhdistys ry. Vahvistettu 2011. Helsinki: Suomen Standardoimisliitto.

ROBOTS AND ROBOTIC DEVICES 2016. Collaborative robots. ISO/TS 15066:2016. Sveitsi: Kansainvälinen standardoimisliitto ISO.

ROBOTWORX 2018. Grippers for robots [verkkojulkaisu]. RobotWorx. [Viitattu 2020-03-27.] Saatavissa: <https://www.robots.com/articles/grippers-for-robots>

ROBOTWORX 2019. ABB Offers VR Integration for Robot Programming [verkkojulkaisu]. RobotWorx. [Viitattu 2020-04-16.] Saatavissa: <https://www.robots.com/blogs/abb-offers-vr-integration-for-robot-programming>

ROSENFELD, Samantha 2017. Pros and Cons of Pneumatic, Hydraulic, and Electric Actuation [verkkojulkaisu]. Electronics360. [Viitattu 2020-04-05.] Saatavissa: <https://electronics360.globalspec.com/article/9480/pros-and-cons-of-pneumatic-hydraulic-and-electric-actuation>

SCHUNK 2020. Gripping systems. SVH [verkkojulkaisu]. Schunk. [Viitattu 2020-04-08.] Saatavissa: https://schunk.com/fi_en/gripping-systems/series/svh/

SHAJAHAN, Basim 2015. How to choose the right end effector for your application [verkkojulkaisu]. [Viitattu 2020-04-06.] Saatavissa: https://www.academia.edu/27264795/How_To_Choose_The_Right_End_Effector_For_Your_Application

VALTIONEUVOSTON ASETUS KONEIDEN TURVALLISUUDESTA. A2008/400. Finlex. Lainsäädäntö. [Viitattu 2020-04-13.] Saatavissa: <https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2008/20080400#L4P14>

YASKAWA FINLAND OY 2020-02-11. Jaakko Riihimäki. Sahaussolun automatisointi [sähköpostiviesti]. Vastaanottaja Mika Hiltunen. [Tulostettu 2020-02-19.]

YRITYSTULKKI 2019. Investoinnin kannattavuus [verkkojulkaisu]. Yritystulkki. [Viitattu 2020-04-28.] Saatavissa: <https://www.yritystulkki.fi/fi/alue/lapinlahti/toimiva-yrittaja/investoinninkannattavuuslaskentaohjelma/>

LIITE 1: TARJOUS YASKAWA MOTOMAN GP50 ROBOTTISOLUSTA

Liite salattu liikesalaisuuksiin vedoten

LIITE 2: TARJOUS ABB IRB4600 ROBOTISTA

Liite salattu liikesalaisuuksiin vedoten

LIITE 3: TARJOUS FANUC M-710IC/70 ROBOTISTA

Liite salattu liikesalaisuuksiin vedoten

LIITE 4: ROBOTITARJOUS SAVON AUTOMAATIOILTA

Liite salattu liikesalaisuuksiin vedoten

LIITE 5: NOSTURITARJOUS KONECRANESILTA

Liite salattu liikesalaisuuksiin vedoten

LIITE 6: NOSTURITARJOUS SATATERÄKSELTÄ

Liite salattu liikesalaisuuksiin vedoten