

Joonna Peltola

PAKKAUSROBOTTIIKAN KEHITTÄMISEN VAIKUTUS TUOTAN- NON TEHOKKUUTEEN

**Opinnäytetyö
CENTRIA-AMMATTIKORKEAKOULU
Tuotantotalouden koulutus
Helmikuu 2022**



TIIVISTELMÄ OPINNÄYTETYÖSTÄ

Centria-ammattikorkeakoulu	Aika Helmikuu 2022	Tekijä/tekijät Joona Peltola
Koulutus Tuotantotalous		<input checked="" type="checkbox"/> AMK <input type="checkbox"/> YAMK
Työn nimi PAKKAUSROBOTIIKAN KEHITTÄMISEN VAIKUTUS TUOTANNON TEHOKKUUTEEN.		
Työn ohjaaja Jari Kaarela, Sakari Pieskä	Sivumäärä 26 + 13	
Työelämäohjaaja Jaakko Palola		
<p>Tuottavassa teollisuudessa pyritään koko ajan toimimaan tehokkaammin. Kova kilpailu pakottaa yritykset miettimään tehokkaampia ratkaisuja tuotannon pyörittämiseen. Opinnäytetyö tehtiin Freeport Cobalt Oy:lle joka vaihtoi työn tekimisen aikaan omistajaa ja muuttui Jervois Finland Oy:ksi. Työssä tarkastellaan pakkaustoiminnan tehokkuutta ja robotiikan kehittämisen vaikutusta tuotannon tehokkuuteen pakkauksien osalta.</p> <p>Työn tavoitteena oli selvittää, kuinka pakkausrobotiikan kehittäminen vaikuttaa pakkausprosessin tehokkuuteen. Toisena tavoitteena oli selvittää muita kehityskohteita sekä jatkuvia vikatiloja.</p> <p>Teoriaosuudessa perehdytään tuotannon tehokkuuden mittaristoon OEE:n avulla sekä teollisuusrobotiikkaan, jota työn pakkauslinjastoilla esiintyy. Kehityksen onnistuminen arvioidaan työn lopussa.</p>		
Asiasanat Mittaaminen, OEE, robotiikka, vikatila-aika.		

ABSTRACT

Centria University of Applied Sciences	Date February 2022	Author Joona Peltola
Degree programme Industrial engineering		
Name of thesis THE IMPACT OF THE DEVELOPMENT OF PACKING ROBOTICS ON PRODUCTION EFFICIENCY		
Centria supervisor Jari Kaarela, Sakari Pieskä		Pages 26 + 13
Instructor representing commissioning institution or company Jaakko Palola		
<p>In productive industry factories try to improve their effectiveness. Hard competition forces companies to find more effective solutions to run their business. This thesis was made for Freeport Cobalt inc. which was sold during the work to Jervois Global inc. and changed its name to Jervois Finland inc.</p> <p>This thesis focuses on the effectiveness of packing processes and on finding out how developing robotics affects on it. The secondary purpose was find other development targets and chart recurring faults.</p> <p>In the theoretical parts the focus is in OEE, which is abbreviation on words overall equipment effectiveness, and industrial robotics, which is used in packing lines on which this thesis focuses. The successfulness of the development is presented at the end.</p>		
Key words Developing, fault condition time, measuring, OEE, robotics.		

KÄSITTEIDEN MÄÄRITTELY

Layout

Layoutilla tarkoitetaan tuotannon tilan järjestystä eli sitä, miten prosessin laitteet, työpisteet, kulkureitit ja muut osat on sijoitettu tehtaaseen. Simulointimallissa layout jäljittelee tuotannon layoutia.

LEAN

Lean on johtamisfilosofia, joka pyrkii poistamaan tuotannon heikkouksia. Lean on kokonaisvaltainen tuotannon johtamisen työkalu.

Hom4&5

Homogenisaattori on sekoittajalla varustettu säiliö, joka tekee lopputuotteesta homogeenistä eli tasalaatuista. 4 ja 5 ovat viittauksia homogenisaattorin numeroon.

OEE

Overall Equipment Effectiveness on tuotannon kokonaistehokkuuden mittaristo. Mittaa kolmea osa-aluetta: tuotannon käytettävyyttä, nopeutta ja laatua. Näiden kolmen osa-alueen mittaristot yhteenlaskettuna tuottavat OEE-arvon, joka kuvaa tuotannon tehokkuutta. Suomeksi OEE:stä käytetään nimitystä KNL-mittausta, joka tulee sanoista käytettävyys, nopeus ja laatu.

TPM

Total Productive Maintenance on kokonaisnäkemys kunnossapidon vaikutuksista tuotannossa, jossa kunnossapitoa ei mietitä kulueränä vaan tuottavana toimintona.

**TIIVISTELMÄ
ABSTRACT
KÄSITTEIDEN MÄÄRITTELY
SISÄLLYS**

1 JOHDANTO	1
2 JERVOIS FINLAND OY	2
3 OEE, TPM JA SIMULOINTI TUOTANNON KEHITTÄMISESSÄ	3
3.1 Kuusi suurta hävikkiä.....	3
3.1.1 Huoltoseisakki	4
3.1.2 Laitevika-aika	4
3.1.3 Aloitus- ja asetus aika	4
3.1.4 Vajaa teholla ajaminen ja lyhyet pysäytykset	5
3.1.5 Prosessivioista johtuvat laatutappiot.....	5
3.1.6 Laatuvirheistä johtuvat materiaali häviöt	5
3.2 OEE-MITTARIT	6
3.2.1 Käytettävyys (K).....	6
3.2.2 Nopeus (N).....	7
3.2.3 Laatu (L)	7
3.3 OEE:N KÄYTTÖ.....	8
3.4 TPM tuottavan käynnissäpidon menetelmänä.....	10
3.5 Simulointi tuotannon kehittämisessä.....	11
4 TEOLLISUUSROBOTIIKKA	12
4.1 Robottien rakennetyyppejä	12
4.1.1 Portaalirobotti	12
4.1.2 Nivelvarsirobotti.....	13
4.1.3 Sylinterirobotti	13
4.1.4 SCARA	13
4.1.5 Napakoordinaatistorobotti	14
4.1.6 Rinnakkaisrakenteinen robotti	14
5 KEHITTÄMISEN VAIKUTUKSEN MITTAAMINEN	15
5.1 Lähtötilanne.....	15
5.2 ABB IRB 640	16
5.3 ABB IRB 660	17
5.4 ABB IRB 4600	17
5.5 Lähtötilanteen kartoittaminen.....	18
5.5.1 Nopeus	19
5.5.2 Käytettävyys	19
5.5.3 Laatu.....	20
5.6 Simulointi	20
5.7 Lähtötilanteen tulokset	21
6 JOHTOPÄÄTÖKSET	23
6.1 Vikatila-ajat kehittämisen jälkeen.....	23
6.2 OEE kehittämisen jälkeen	24
6.3 Kehittämisen onnistumisen arviointi.....	24

LÄHTEET	26
----------------------	-----------

LIITTEET

LIITE 1. Salattu	
LIITE 2. Salattu	
LIITE 3. Salattu	
LIITE 4. Salattu	
LIITE 5. Salattu	
LIITE 6. Salattu	
LIITE 7. Salattu	
LIITE 8. Salattu	
LIITE 9. Salattu	
LIITE 10. Salattu	
LIITE 11. Salattu	
LIITE 12. Salattu	
LIITE 13. Salattu	

KUVAT

KUVA 1. OEE-laskennan periaatteet PSK 7501 -standardin mukaan	6
KUVA 2. Esimerkki OEE-tiedonkeruu lomakkeesta	9
KUVA 3. ABB IRB 640 robotti ja sen akselit	16
KUVA 4. ABB IRB 660 robotti ja sen akselit	17
KUVA 5. ABB IRB 4600 robotti ja sen akselit	18

1 JOHDANTO

Opinnäytteen aihe valikoitui omien mielenkiinnon kohteiden kautta. Halusin tehdä opinnäytetyön tuotannon tehokkuuden parantamiseen tai mittaamiseen liittyen OEE-laskennan (Overall Equipment Effectiveness) kautta. Jervois Finland Oy tarjosikin mahtavan tilaisuuden työn tekemiseen, kun he toteuttivat vanhan lavausrobotin päivittämistä uuteen. Opinnoissani olin jo tehnyt useita töitä tuotannon tehokkuuteen liittyen ja sen parantamiseen, joiden kautta kiinnostukseni OEE-mittaristoon heräsi. OEE:hen olenkin syventynyt opinnoissani mm. sen käyttöön tuotannon johtamisessa.

Työn tavoitteena oli selvittää, paraneeko tuotannon tehokkuus uuden lavausrobotin myötä. Tätä varten luotiin aluksi OEE-mittaristo ja suoritettiin kartoittava tehokkuuden mittaaminen vanhalla robotilla. Tämän jälkeen mittaukset suoritettiin uudestaan uuden robotin asentamisen jälkeen. Toisena tavoitteena oli myös kartoittaa mahdollisia jatkokehityskohteita sekä toistuvia vikoja.

Työn suoritin omien töideni ohessa siten, että olin pakkaamisprosessissa mukana aina kun mahdollista. Tässä suurimmaksi haasteeksi osoittautui viestintä. Minun oli välillä hyvin vaikea saada tietooni, milloin pakataan ja missä pakataan. Näiden kommunikaatio-ongelmien takia en saanut kerättyä niin paljon dataa kuin olisin toivonut. Työn sain kuitenkin tehtyä ja dataa sen verran, että analysointi oli mahdollista. Pakkausten aikana en itse vaikuttanut pakkaamiseen, vaan seurasin sitä sivusta samalla kellottaen vikatila-aikoja sekä merkkäämällä vikatiloja ylös.

Teoriaosuuksissa kerron OEE periaatteesta, TPM menetelmästä, tuotannon simuloinnista sekä hieman teollisuusrobotiikasta. Teollisuusrobotiikka osiossa perehdytään tarkastelemaan, millaista robotiikkaa työhön sisältyy.

2 JERVOIS FINLAND OY

Jervois Finland Oy on Kokkolassa toimiva tuotantolaitos, joka valmistaa kobolttia teollisuuden eri tarpeisiin. Kobolttia käytetään mm. sähköautojen ja matkapuhelimien akuissa, kaivosteollisuuden työkaluissa, rehuissa ja väriaineena. Jervois Finland Oy on osa australialaista Jervois Global-konsernia. (Jervois Finland 2021b.) Sillä on toimintaa Suomen ja Australian lisäksi myös Yhdysvalloissa ja Brasiliassa. (Jervois Global 2021.) Alun perin yritys on ollut Outokumpu Oy ja se aloitti koboltin jalostuksen 1967 (Kokkola Industrial Park 2021.) Vuonna 1991 Outokumpu Oy ja yhdysvaltalainen Mooney Chemicals inc. yhdistyivät ja muodostivat OM Groupin (Outokumpu Mooney Group.) Vuonna 1993 Outokumpu kuitenkin möi osuutensa koboltin tuotannosta. (Wikipedia 2021.) Vuonna 2013 yhdysvaltalainen Freeport McMoran inc. osti OM Groupin, ja sen nimeksi vaihtui Freeport Cobalt. Vuonna 2019 Freeport McMoran myi 60 % koboltin tuotannosta belgialaiselle Umicorelle. (STT info 2020.) Jäljelle jääneen osuuden Freeport McMoran myi Jervois Globalille vuonna 2021. (Jervois Finland 2021b.)

Jervois Global pyrkii pitämään toimitusketjunsä läpinäkyvinä ja eettisinä. Tästä se on saanut todisteeksi RMI-sertifikaatin (Responsible Minerals Initiative), joka tarkoittaa, että sen toimitusketjut ovat tutkitusti vastuulliset. (Jervois Finland 2021a.)

3 OEE, TPM JA SIMULOINTI TUOTANNON KEHITTÄMISESSÄ

OEE eli Overall Equipment Effectiveness (suomeksi KNL, Käytettävyys Nopeus Laatu) on tuotannon tehokkuuden mittaamiseen suunniteltu tunnusluku. OEE:n avulla voidaan seurata tuotannon tehokkuutta, koko tuotantolaitoksen tai, vaihtoehtoisesti yksittäisen koneen mittakaavassa. (Pinja 2021.)

OEE:tä käytetään tehokkuuden tilan analysointiin ja näin pyritään parantamaan tuottavuutta. Kun sen avulla huomioidaan eri osatekijöitä, saadaan selville prosessien ongelmakohtia. (Pinja 2021.)

Täydellisessä tuotantolaitoksessa, jossa koneet toimivat joka päivä ympäri vuoden täydellä nopeudella ilman rikkoutumisia ja laatuhäviöitä on OEE-luku 100 %. Tämä ei kuitenkaan ole mahdollista. Yleisesti valmistavan teollisuuden OEE on noin 60 % luokkaa, jota pidetään hyvänä tasona. Yli 85 % OEE-lukuun pääseviä toimijoita pidetään erittäin tehokkaina. (Pinja 2021.)

OEE:n päätarkoituksena onkin vähentää tuotannossa syntyvää hukkaa eli kaikkea sitä, mikä ei tuota lisäarvoa asiakkaalle. OEE myös paljastaa tuotannon pullonkauloja ja ongelmakohtia ja näin helpottaa ja auttaa prosessien kehittämisessä, kun se tuo esille prosessien nykytilanteen ja pakottaa seuraamaan seisokkien syitä. OEE tukee myös Lean-ajattelua, joten Leanin käyttöönottamiseen on pienempi kynnyks, kun tuotantolaitoksessa on käytössä jo OEE. Yleisesti siis OEE lähtee johtamaan tuotantoa kunnossapidon kautta.

3.1 Kuusi suurta hävikkiä

OEE-ajattelun kulmakivi on prosessien tarkastelu hävikkien kautta. Hävikit heijastuvat konkreettisesti mittaustuloksiin. OEE-kaaviosta saadaan suoraan tuotantoprosessien kuusi suurta hävikkiä: Huolto-seisakit, laitevika-ajat, aloitus- ja asetusajat, vajaa teholla ajaminen ja lyhyet pysäytykset, prosessivoista johtuvat laatutappiot sekä laatuvirheistä johtuvat materiaali tappiot. Näitä tarkastellaan lähemmin seuraavaksi. KUVA 1 selventää kuuden suuren hävikin vaikutuksen tuotannon tehokkuuteen.

3.1.1 Huoltoseisakki

Tehdäänkö liikaa asioita huollossa? Teemmekö oikeita asioita huollossa?

Resurssien lisäys seisokin nopean läpiviennin saavuttamiseksi saattaa tulla kalliimmaksi kuin siten saavutettu hyöty. (Laine 2010, 24.) KUVA 1 selventää huoltoseisokin vaikutusta OEE-arvoon.

3.1.2 Laitevika-aika

Monessa paikassa vielä nykyäänkin laiminlyödään häiriöaikojen rekisteröinti ja seuranta. Yleensä vika korjataan nopeasti, mutta sitä ei analysoida eikä sen ehkäisemiseksi tehdä toimenpiteitä.

Monesti puhutaan jatkuvasta parantamisesta, mutta se ei teoriassa päädy tuotannon/kunnossapidon tasolle.

Tuotannon jatkuvassa kehityksessä vikojen ratkaisujen ja korjaamisen jälkeen kunnossapidon ja tuotannon työntekijän tulisi pitää parin päivän sisällä ongelman ratkaisemisesta palaveri, jossa he laativat raportin tuotannonjohtajalle. Raportissa tulisi esittää, mikä oli ongelma, miten ongelma ilmeni, mikä oli ongelman syy, mitä täytyy muuttaa, ettei ongelma uusiudu? Huomioitavaa on, että aina ei löydetä vastausta kaikkiin kohtiin (Laine 2010, 24.) KUVA 1 selventää laitevika-ajan vaikutusta OEE-arvoon.

3.1.3 Aloitus- ja asetusaika

Tuotantoprosessissa, jossa asetusaikat ovat merkittävä tuotantoaikalukko, tehokkuutta pyritään parantamaan pidentämällä tuotantosarjoja. Tämä taas johtaa varastojen huomattavaan kasvuun, varastohävikkeihin sekä ylimääräisen varaston käsittelyyn uppoavaan työhön jne. (Laine 2010, 25.) KUVA 1 selventää aloitus- ja asetusaikojen vaikutusta OEE-arvoon.

3.1.4 Vajaa teholla ajaminen ja lyhyet pysäytykset

Kun kone hajoaa pahasti, tulee sille pitkä korjausseisokki, ja siihen kiinnitetään huomiota ylintä johtoa myöden. Tällaista särkymistä analysoidaan ja saatetaan jopa ryhtyä merkittäviin korjaaviin toimenpiteisiin rikkoutumisen uusiutumisen estämiseksi. Mutta kun koneella on lyhyitä, muutaman sekunnin tai minuutin mittaisia häiriöitä joka tunti, niitä usein pidetään koneen ”ominaisuuksina” ja ne sivuutetaan. Kun näitä vikoja on myöhemmin alettu perusteellisesti mittaamaan, usein huomataan, että näihin pieniin ”ominaisuuksiin” hukataan tuotantoaikaa ja rahaa jopa moninkertaisesti isoihin vikoihin verrattuna (Laine 2010, 25.) KUVA 1 selventää vajaa teholla ajamisen ja lyhyiden pysähdyksen vaikutusta OEE-arvoon.

3.1.5 Prosessivioista johtuvat laatutappiot

Laatutappioiden jakaminen syiden perusteella ei ole aina aivan helppoa, vaikkakin siihen on pyrittävä mahdollisimman tarkasti. Esim. raaka-aineesta syntyvää virhettä ei voida luokitella käynnissäpidon virheeksi. Tuotantolaitoksella tulisinkin olla luotettava laatuvirhekustannusten järjestelmä, jonka avulla voidaan puuttua ulkoisista syistä aiheutuviin laatuvirheisiin niihin käytettävien keinojen avulla ja käynnissäpidon järjestelmillä minimoida tuotantoprosesseista aiheutuvat virheet. (Laine 2010, 26.) KUVA 1 selventää prosessivioista johtuvien laatutappioiden vaikutusta OEE-arvoon.

3.1.6 Laatuvirheistä johtuvat materiaali häviöt

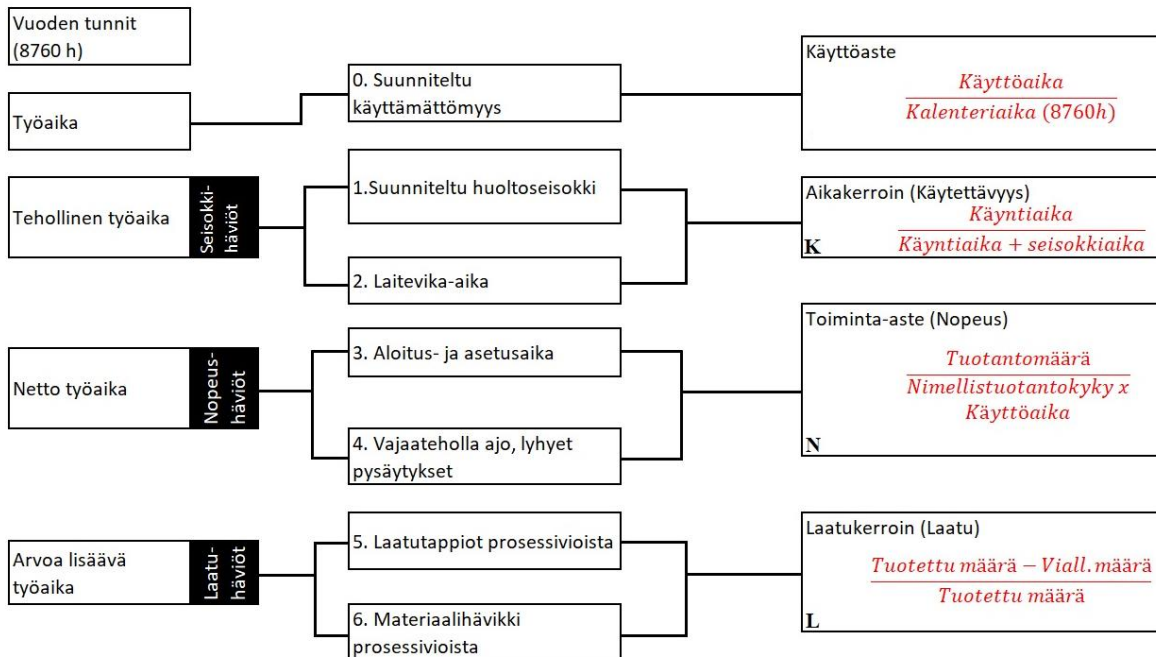
Materiaalihäviöt ovat vain yksi osa puutteellista laatujärjestelmää (Laine 2010, 26.)

Laatuvirheistä johtuvat materiaali häviöt ovat usein estettävissä hyvän laatujärjestelmän ja valvonnan avulla. Kun asioihin reagoidaan tarpeeksi nopeasti ja oikein, voidaan materiaali häviöiltä välttyä.

KUVA 1 selventää laatuvirheistä johtuvien materiaali häviöiden vaikutusta OEE-arvoon.

3.2 OEE-MITTARIT

OEE-laskennan on kehittänyt Toyota. OEE mittaa kolmea tekijää käytettävyyttä (availability), nopeutta eli toiminta-astetta (performance rate) ja laatukerrointa (quality rate). Nämä kolme tunnuslukua kerrottuna toisillaan muodostaa OEE-arvon. (Laine 2010, 20.)



KUVA 1. OEE-laskennan periaatteet PSK 7501 standardin mukaan (mukailien Laine 2010, 20).

3.2.1 Käytettävyys (K)

Toyotan alkuperäisessä mallissa lähdettiin liikkeelle siitä, että vuodessa on 8760 tuntia, ja jokainen tunti, jonka laite seisoo, alentaa OEE-arvoa. Tämän tarkoittaa kuitenkin sitä, että tuotantolaitos, joka pyörii kahdessa vuorossa, ei voisi koskaan saavuttaa yli 40 %:n mittaustulosta. Tällöin kun tuloksia ryhdytään tarkastelemaan näyttää sille, että tehtaan suurin pullonkaula on vuorojärjestelmä, ja kaikki muut ongelmat ovat häviävän pieniä.

Tästä syystä lasketaankin tuotantolaitokselle erillinen käyttöaste, joka kertoo lukijalleen ennen kaikkea sen, paljonko laitoksella on käyttämätöntä tuotantopotentiaalia varastossa. (Laine 2010,22.)

Tämän lisäksi lasketaan erillinen käytettävyystekijä. Tässä jakajana eivät toimi kaikki vuoden mahdolliset tunnit, vaan vuorojärjestelmän mukaiset tunnit eli käyttötunnit + huolto- ja korjausseisokit

(KUVA 1). (Laine 2010, 22.) Itse kuitenkin ajattelisin, että jos jotkin laitteet toimivat kampanjatyyli-
sesti, jolloin ne voivat seistä myös suunnitellusti toimeettomina tiettyjä ajanjaksoja, olisi hyvä ottaa ja-
kajaksi silloin suunnitellut käyttötunnit + huolto- ja korjauskeskukset eli kaava muokkautuisi tähän muo-
toon. Tällöin luku kertoo siitä, kuinka tehokkaasti laitteet ovat toimineet niinä aikoina joina niiden
kuuluukin toimia. Tähän rinnalle olisi hyvä ottaa luku ja tietoja siitä, kuinka monta tuntia koneelle on
tehty korjaustöitä ja mitä korjaustöitä on tehty.

3.2.2 Nopeus (N)

Toiminta-asteen eli nopeuden seurannalla on tarkoituksena selvittää, kuinka lähellä prosessin lai-
tetta/linjaa kyetään ajamaan teoreettista huippusuoritusta. Teoreettisen huippusuorituksen määrittämi-
nen taas voi olla hyvin vaikeaa, koska se riippuu useasta eri tekijästä, joten ratkaisut täytyy miettiä aina
tuotantolinjakohtaisesti (Laine 2010, 22.) Teoreettisen maksimisuorituskyvyn määrittämisen jälkeen,
saavutettu tuotantomäärä jaetaan tuotantomäärällä, joka olisi saavutettu suunnitelluilla käynnissäolo-
tunneilla ja teoreettisella maksimituotannolla/tunti (KUVA 1) (Laine 2010, 22).

3.2.3 Laatu (L)

Laatukerroin kertoo, kuinka paljon tuotetusta tavarasta on laadullisesti puutteellista. Siinä lasketaan
laatuvirheellisen tuotteen osuus koko tuotetusta määrästä (KUVA 1). Jotta laatuun vaikuttavia tekijöitä
voidaan tarkastella, on tärkeää, että laadunvalvonta toimii sisäisen asiakkuuden pohjalta. Jokainen osa-
prosessi on siis asiakas edelliselle osaprosessille, ja se valvoo vastaanotetun jalosteen laatua ja raportoi
siitä toimittajalla.

Varsinkin lyhyellä aikavälillä laatukerrointa laskettaessa voi kerroin antaa vääriä tuloksia. Usein laatu-
virheet saadaan selville vasta reklamaatioiden kautta, ja jos ketju tuotantolaitokselta asiakkaalle on
pitkä, voi reklamaation saaminen kestää jopa useita kuukausia tuotteen valmistumisesta. Tästä syystä
esimerkiksi kuukausittain laskettavaa OEE-arvoa voidaan joutua korjaamaan myöhemmin. (Laine
2010, 23.) Vialliseksi tuotannoksi määritettiin hylkyyn menevät pakkaukset, joiden määrään lisättiin
ylitäytöt.

3.3 OEE:N KÄYTTÖ

Käynnissäpidolla on suuri vaikutus yrityksen tulokseen, varsinkin markkinatilanteissa, joissa yritys pystyy myymään koko tuotantokapasiteettinsa. OEE on mittari, jota tulisi seurata jokaisessa tuotantolaitoksessa. Sen avulla voidaan myös laskea kunnossapidon kokonaisvaikutus yrityksen tuotantokäynnin (Laine 2010, 30.)

Ylin johto tekee tuottavuuden kannalta ratkaisuja tuloslaskelman ja taseen perusteella. Nämä osoittavat erittäin tarkasti toiminnasta realisoituneet tuotot ja yksityiskohtaisesti kaikki kustannukset. Kun tuloslaskelman pohjalta lähdetään analysoimaan, mitä pitäisi tehdä tilanteessa, jossa tulos ei ole tyydyttävä, päädytään helposti seuraaviin ratkaisuihin, kate on liian pieni, tuottoja pitää kasvattaa ja kuluja karsia, kilpailu ei salli hintojen nostamista, joten tuottoja ei voida kasvattaa, tehdas käy jo täysillä, joten tuotantomäärän kasvattamiseksi täytyy tehdä investointeja, tällöin päädytään yleensä johtopäätökseen ”kustannuksia on leikattava”. (Laine 2010, 33.)

Ongelma muodostuu siis siitä, että tuloslaskelma ja tase eivät kerro mitään menetetyistä mahdollisuuksista. OEE-laskelma on apuna juuri tässä ongelmassa ja antaa ratkaisuja siihen, miten tehdä enemmän rahaa tuotantolaitoksella. Yrityksen johto saattaa puhua kuinka laitos käy jo täydellä teholla, jos siellä ei ole suoraan kysynnän puutteesta aiheutuvia seisokkeja, vaikka todellisuudessa OEE-arvo ei ole lähelläkään 100 %, vaan todennäköisemmin 50–60 %:n luokkaa. Olisikin siis tärkeää, että ylimmän johdon tietoon saataisiin ainakin kerran vuodessa tietoa laitoksen tuottavuudesta. (Laine 2010, 33.) Ei siis minimoida kustannuksia vaan pyritään maksimoimaan tuotto. Oikein toteutettuna ja suunniteltuna kunnossapidon kustannuksien kaksinkertaistaminen lisää tuottavuutta enemmän kuin sen kustannuksien leikkaaminen 20 %, mutta ilman toimivaa strategiaa ja suunnittelua ei kustannusten lisäämisestä saada lisähyötyä.

OEE-arvoa analysoitaessa on kuitenkin muistettava tarkastella kaikkia kolmea mittaria erikseen ja yhdessä. Yksittäinen arvo ei välttämättä kerro kaikkea koko laitoksen tilanteesta, esimerkiksi. Jos nopeuserroin jää selvästi pienemmäksi kuin käytettävyyden- ja laatueroin, ei se välttämättä muodosta ongelmaa tai ole heikkoutena. Esimerkiksi $K=91\%$, $N=77\%$ ja $L=94\%$ on OEE-arvo tällöin 66% , joka on valmistavalle teollisuudelle hyvää luokkaa. Tällöin tuleekin miettiä kannattaako tuotannon nopeuden kasvattaminen, jos se vaikuttaa käytettävyyteen ja/tai laatuun. Tässä avuksi onkin hyvä ottaa tuotannon strategia ja miettiä sen kautta, mitä halutaan saavuttaa ja millä keinoilla.

OEE ei yksinään muodosta tuotannon strategiaa, vaan se tarvitsee tällöin rinnalle sitä tukevan toimintamallin. Yleensä tämä malli on TPM (Total Productive Maintenance). OEE:n rinnalle on helppo myös rakentaa ohjauskorttijärjestelmä, kun pidetään kirjaa prosesseissa tapahtuvista häiriöistä ja seisokeista, ja kategorioidaan ne. Tällöin saadaan toimintaa kokonaisvaltaisesti tarkasteleva kokonaisuus, jonka pohjalta toiminnan kehittäminen ja johtaminen on helppoa.

OEE Tiedonkeruulomake				
Erä:				
Seisonta ajat				
Toimilaite 1	Toimilaite 2	Toimilaite 3	Toimilaite 4	Toimilaite 5
Yhteensä:				

Aloitus aika	
Lopetus aika	
Tauko aloitus	
Tauko lopetus	
Pakkaus aika	
Pakattu aika	
Teoria N	
Tauko aloitus	
Tauko lopetus	
Pakkaus aika	
Pakattu aika	
Teoreettinen nopeus	

Pakattu (kg)	
Hylky (kg)	

OEE Arvot	
K	
N	
L	
OEE	

$$\frac{\text{Pakattu aika}}{\text{Pakkaus aika}} = K$$

$$\frac{\text{Teoreettinen nopeus}}{\text{Pakkaus aika}} = N$$

$$\frac{\text{Pakattu (kg)}}{\text{Pakattu (kg) + Hylky (kg)}} = L$$

KUVA 2. Esimerkki OEE-tiedonkeruu lomakkeesta

Yllä oleva (KUVA 2) tiedonkeruulomake on kuitenkin vain yksi esimerkki mahdollisesta tiedonkeruulomakkeesta. Lomake tulee suunnitella jokaista osaprosessia ja kokonaisuutta ajatellen, ja niitä voi olla tuotantolaitoksessa käytössä useita erilaisia, riippuen kohteesta, johon lomake on räätälöity. Tehokkaimmillaan tiedonkeruulomake on yhdistetty yrityksen toiminnanohjausjärjestelmään, josta tiedot tallentuvat automaattisesti järjestelmään, joka ohjaa siitä datan oikeaan paikkaan.

3.4 TPM tuottavan käynnissäpidon menetelmänä

Lyhyesti Total Productive Maintenance (TPM) on kokonaisnäkemys kunnossapidon vaikutuksista tuotannossa. Tämä tarkoittaa sitä, että koko organisaatio sitoutuu ylläpitämään, kehittämään ja huoltamaan tuotantokapasiteettia. Tällöin se toimii työkalu samalla tavalla kuin, laatujohtamisen- tai JIT:n toimintamalli. TPM on tavallaan joukkoepeli, jossa joukkueelle kerrotaan päämäärä ja miten tämä päämäärä joukkueena yhteisesti voidaan saavuttaa. Näin pystytään kehittämään koko joukkuetta, ei vain yksilöitä. Avainasemassa tässä onkin joukkueen motivoiminen oikein, esim. luomalla toimintaympäristön, joka itsessään motivoi työntekijöitä. (Laine 2010, 42.)

TPM:n 5 pilaria ovat laadun ylläpito, tuottava kunnossapito, tuotantotekniikka, siisteys ja järjestys sekä työntekijät, jotka osaavat käyttää laitteistoa.

TPM:n tavoitteita ovat:

1. Ei odottamattomia seisokkeja eikä laitevikoja
2. Lyhyet, hyvin suunnitellut huoltoseisakit
3. Koneet toimivat jatkuvasti huipputeholla ja optimaalisella prosessitehokkuudella
4. Koneet tuottavat asiakkaan määrittelemää laatua
5. Kilpailukykyiset kunnossapito- ja valmistuskustannukset
6. Turvallinen työympäristö

Kuten edellä olevista tavoitteista huomataan TPM:n tavoitteet tukevat korkean OEE-arvon saavuttamista ja yhdessä voivat muodostaa jopa tuotanto- ja/tai käynnissäpitostrategian. (Laine 2010,20.)

TPM:ään ei ole vain yhtä oikeaa mallia, vaan se muovautuu yrityksen mukaan, se kuitenkin tarvitsee aina viisi toimenpidettä: asetetaan tavoitteet, jotka maksivoivat laitteiston tehokkuuden, luodaan tuotava käynnissäpidon menetelmä, joka kattaa tehtaan koko eliniän, sidotaan mukaan kaikki osastot, pidetään huolta, että henkilöstö osallistuu, ylintä johtoa myöden sekä luodaan pienryhmät tuottavan kunnossapidon motivoimiseksi ja tueksi. (Laine 2010, 43.) TPM:n keskeisin tavoite on kuitenkin hävikkien pienentäminen, johon vaikuttavat samat asiat kuin OEE-arvoon, joten TPM toimiikin hyvin OEE:n rinnalla sitä tukevana toimintamallina (Laine 2010, 48).

3.5 Simulointi tuotannon kehittämisessä

Simuloiminen on helppo tapa optimoida prosesseja, mikäli niistä on kerrytetty tarpeeksi tietoa. Simuloimalla prosesseja pystytään selvittämään pullonkauloja ja prosessien ongelmakohteita. Kun prosessista on tiedossa tarpeeksi tietoja, voidaan niiden avulla luoda simulaatiomalli, josta saadaan dataa, jota analysoimalla voidaan tarkastella prosessin eri tekijöitä. Simuloinnilla pystytään myös testaamaan prosessiin vaikuttavia tekijöiden muuttamista virtuaaliympäristössä ja näin saada dataa muutoksen kannattavuudesta tekemättä konkreettiseen prosessiin muutoksia. Simuloinnin tekeminen kuitenkin vaatii prosessien hyvää tuntemista. (Roboai Simuointi 2022.) Simuloinnin avulla voidaan myös määrittää prosessien teoreettista nopeutta, ilman suunnittelemattomia vikatiloja. Tällöin simuloinnin tuloksia voidaan käyttää osana tuotannon tehokkuuden arvioimista pitämällä simuloinnissa saavuttua läpimenoaikaa linjaston/prosessin tavoitteellisena läpimenoaikana.

Enterprise Dynamics-simulointiohjelmisto perustuu erilaisten solujen ja niiden välisten toimintojen kuvaamiseen. Simuloinnissa jokaisella solulla on määrätty tehtävä ja toiminto. Solut ovat muokattavissa hyvinkin yksityiskohtaisesti. (Syrjälä 2017, 2.) Ohjelmistoon luodaan tuotannon linjastoa tai prosessia vastaava layout, johon määritellään kunkin osaprosessin parametrit, esimerkiksi työstöaika, vikatilojen ilmaantuminen ja niiden kesto jne. Tämän jälkeen solujen välille luodaan polut siten että prosessi toimii oikeassa järjestyksessä. Lopuksi ajetaan haluttu simulointimalli prosessista datan ulos saamiseksi. Malli voi sisältää millaisen ajanjakson tahansa, ja laskenta voidaan halutessa aloittaa kesken prosessin, niin sanotun lämmittelyvaiheen jälkeen, kuvaamaan jatkuvan prosessin tilannetta paremmin. Kun nykytilanteen tulokset on saatu, soluihin voidaan tehdä muutoksia ja näin nähdä, miten muutokset vaikuttavat kokonaisprosessin toimintaan.

4 TEOLLISUUSROBOTIIKKA

Teollisuusrobotilla tarkoitetaan robottia, joka on joko sähköisesti, pneumaattisesti tai hydraulisesti liikkuva ja se käsittelee kappaleita tai työkaluja sille ennalta määrätyillä liikeradoilla, jotka ovat ohjelmitavissa uudelleen. Robottia, joka liikkuu vain äärirajasta toiselle, kutsutaan manipulaattoriksi. Jotta laitetta voidaan kutsua robotiksi, täytyy siinä olla vähintään kolme liikkuvaa, vapaasti ohjelmitavaa akselia ja sen tulee käyttää vähintään yhtä työkalua. (Keinänen, Kärkkäinen, Lähetkangas & Sumujärvi 2009, 259.)

Yleisesti teollisuusrobotteja käytetään metalli-, muovi- ja elintarviketeollisuudessa. Yleensä robotteja käytetään kokoonpanoissa, hitsauksessa, koneistuksen ja ruiskupuristuksen kappalekäsittelyissä, paketoinnissa ja pakkauksessa. (Keinänen ym. 2009, 259.) Myös varastoissa robotiikka yleistyy ja hoitaa osittain tai kokonaan varastoinnin. Tästä hyvänä esimerkkinä Sievin jalkineen varasto, joka hoitaa automaattisesti valmiiden tuotteiden varastoinnin ja tilauksien haun. Robottia on hyvä käyttää sellaisissa tehtävissä, jotka ovat raskaita tai vaarallisia tai jotka vaativat paljon toistoa.

4.1 Robottien rakennetyyppejä

Jos robotteja tarkastellaan mekaanisesta näkökulmasta, voidaan ne hyvin monella tapaa eri rakennetyyppeihin. Esimerkiksi Keinänen ym. (2009). esittävät robotit jaettavaksi kahteen rakennetyyppiin, portaalirobotteihin ja nivelvarsirobotteihin. Robotteja on kuitenkin hyvin monen tyyppisiä riippuen tarkastelijasta. Yleisesti kuitenkin robotit voidaan jakaa kuuteen eri rakennetyyppiin (DIY robotics 2020).

4.1.1 Portaalirobotti

Portaalirobotissa on kolme suorakulmaista koordinaatio tasossa liikkuvaa vapausastetta. Joissakin tapauksissa tarttuja on nivelletty niin, että se pystyy kääntymään tai kiertämään tarttujaa eri asentoihin. Portaalirobotin rakenne on yksinkertainen ja se on suunniteltu kestäväksi hyvin kuormitusta ja kuormituksen vaihtelua. (Keinänen ym. 2009, 259.) Portaalirobotti on hyvä käsittelemään laajoja työskentelyalueita sekä käsittelemään suuria ja painavia kappaleita ja koska portaalirobotti työskentelee ylhäältäpäin, se myös säästää tehtaassa lattia pinta-alaa. (Keinänen ym. 2009, 259.)

4.1.2 Nivelvarsirobotti

Nivelvarsirobotilla on yleensä viisi tai kuusi vapaasti ohjelmoitavaa niveltä. Nivelkäsivarren päässä oleva työkalu voidaan asettaa robotin ulottuvuudelle mihin tahansa kulmaan. (Keinänen ym. 2009, 259.) Koska 5- ja 6-akseliset nivelvarsirobotit ovat juostavia ja monikäyttöisiä, on niistä tullut teollisuuden yleisimpiä käytössä olevia robottimalleja. Ne soveltuvat erinomaisesti mm. kokoonpanotehtäviin, työstökoneiden palveluun, pakkaamiseen, hitsaamiseen ja maalaamiseen. (Keinänen ym. 2009, 260.) Nivelvarsirobottien työskentelyalue on pallomainen. Nivelvarsirobottien mekaaninen rakenne mahdollistaa niiden hyvin laajan kokovalinnan 1 kg:n käsittelykapasiteetista aina 500 kg:n käsittelykapasiteettiin asti. Näin löytyy jokaiseen käyttötarkoitukseen sopivan kokoinen robottimalli. (Keinänen ym. 2009, 260.) Tässä työssä tarkastellaan kolmea nivelvarsirobottia, jotka ovat 4-akselinen ABB IRB 640, 4-akselinen ABB IRB 660 ja 6-akselinen ABB IRB 4600.

4.1.3 Sylinterirobotti

Sylinteriroboteilla on vähintään yksi rakennetta pyörittävä akseli sekä yksi prismaattinen nivel yhdistämässä linkit. Kääntyvän akselin ja jatkettavan varren avulla ne voivat liikkua joko pysty- tai vaakasuunnassa liukumalla. Sylinterirobotit liikkuvat sekä lineaarisesti että pyörivin liikkein pystyakselinsa ympäri. Kompaktin rakenteensa ansiosta sylinterirobotti pystyy liikkumaan ahtaisiin tiloihin menettämättä nopeutta. Sylinterirobotteja käytetään pääsääntöisesti yksinkertaisissa sovelluksissa, kuten nosto ja aseta- työtehtävissä. (DIY Robotics 2020.)

4.1.4 SCARA

SCARARobotissa on kaksi vartta, jotka yhdistyvät näiden varsien leikkauspisteestä. Sen neljästä akselistä kolme liikkuvat pyörien ja yksi lineaarisesti ylös ja alas. Akseleita liikuttaa kaksi erillistä moottoria. Toisin kuin kuusiakseliset robotit, SCARA ei pysty kallistus- tai kääntöliikkeeseen. SCARA on suunniteltu käsittelemään erilaisia materiaalinkäsittelytoimintoja ja yleisimmin sitä käytetäänkin kokoonpanosovelluksissa, joihin liittyy osan siirtäminen paikasta A paikkaan B. SCARA soveltuu myös ruuvaustoimintoihin. (Fanuc 2021.)

4.1.5 Napakoordinaatistorobotti

Napakoordinaatistorobotti on robottikokoonpano, jossa yhdistyy lineaarinivel ja kaksi pyörivää niveltä, joissa varsi on yhdistetty robotin alustan kiertyvään niveleen. Napakoordinaatistorobotin akselit luovat pallomaisen työympäristön ja napakoordinaationjärjestelmän. Ensimmäiset teollisuusrobotit olivat napakoordinaatistorobotteja. (MWES 2021.) Napakoordinaatistorobotilla on vain kolme akselia. Nykyään napakoordinaatistorobotit ovat syrjäyttäneet muun tyyppiset robotit. (MWES 2021.)

4.1.6 Rinnakkaisrakenteinen robotti

Rinnakkaisrakenteisilla roboteilla on tyypillisesti kolme tai neljä kevytrakenteista vartta, jotka on kytketty rinnakkain ulottumaan alaspäin robotin rungosta. Tämän takia niitä kutsutaan usein myös hämähäkiroboteiksi. Rinnakkaisrakenteisen robotin varret on liitetty keskeltä. Ne taipuvat sisäänpäin ja yhdistyvät pieneen työkalulevyyn. Tähän levyyn liitetään robotin päätyökalu. Jokainen varsi on kytketty moottoriin, jotka sijaitsevat robotin rungossa. Nämä moottorit koordinoivat käsivarsien liikkeitä ylös- ja alaspäin työntämällä niitä sisään- tai ulospäin. (Robots Done Right 2022.) Rinnakkaisrakenteiset robotit ovat muita robotti tyyppisiä nopeampia ja niillä on suurempi kiihtyvyys. Useimmin roboteissa moottorit sijaitsevat robottien varsissa, mikä mahdollistaa raskaampien kuormien käsittelyn, mutta moottorit lisäävät varren painoa ja siten haittaavat robotin nopeutta. Rinnakkaisvartisissa roboteissa kaikki moottorit sijaitsevat päärungossa työalueen yläpuolella. Näin robotin pääpaino pysyy paikallaan ja liikkeistä tulee kevyitä ja nopeita. (Robots Done Right 2022.)

5 KEHITTÄMISEN VAIKUTUKSEN MITTAAMINEN

Aivan ensimmäisenä täytyi luoda OEE-mittaristo, jolla mitattaisiin linjaston tehokkuutta ja jonka avulla voidaan vertailla lähtötilannetta ja tilannetta kehittämisen jälkeen. Kehityksen vaikuttamisen onnistumista tarkastetaan OEE-arvolla, josta seurattiin erityisesti käytettävyyden arvoa sekä vikatila-aikoja.

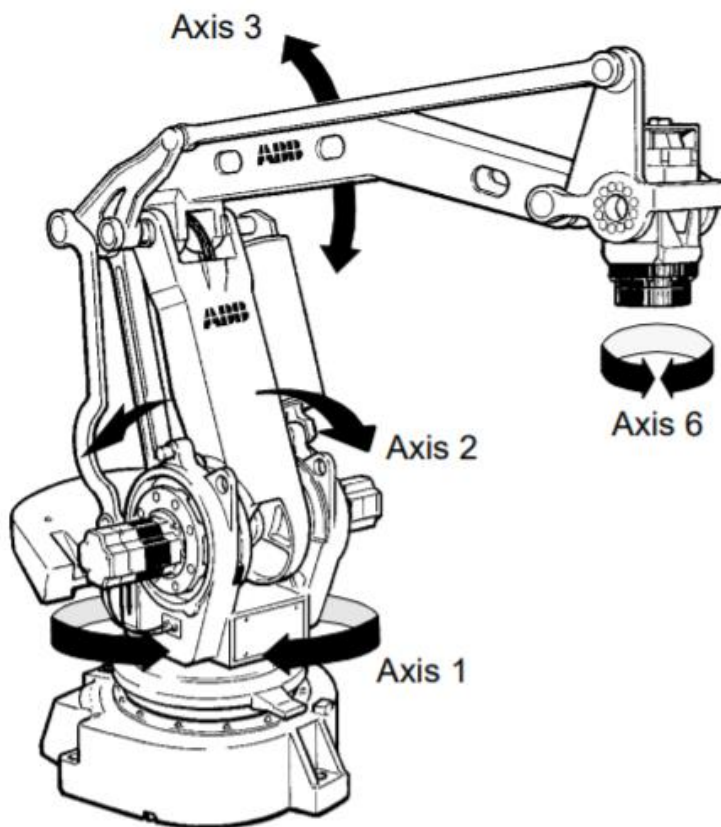
Työssä mitattiin aluksi kuukauden mittaisen kampanjan aikana niin monta pakkausta kuin oli mahdollista sekä HOM4-pakkauslinjastolta, että HOM5-pakkauslinjastolta. Mittausten yhteydessä oli myös tarkoitus koota vikalistaa. Molemmille linjastoille luotiin omat simulointimallit. Kun kampanja loppui, purettiin vanha robotti pois ja uusi asennettiin tilalle. Tämän mittaukset toistettiin uuden kampanjan aikana. Näistä kahdesta kampanjasta saatuja tuloksia sitten vertailtiin toisiinsa ja arvioitiin robotin kehittämisen vaikutusta. Koska pakkauksien ja datan määrä vaihteli, suhteutettiin lopulliset OEE-arvot keskiarvoon ja vikatila-ajat pakattua lavaa kohden.

5.1 Lähtötilanne

Lähtötilanteena oli, että vuosimallia -97 oleva lavausrobotti, ABB IRB 640, päivitetään nykyaikaisempaan, ABB IRB 660-malliin. Tähän päivitykseen pohjana olivat vanhan robotin viat ja sen vanhan ohjausjärjestelmän huono kommunikointi linjaston muiden uudempien ohjausjärjestelmien kanssa. Tästä ohjausjärjestelmien huonosti kommunikoinnista seurasi myös paljon virheellisiä vikatiloja, jotka ilmenivät ympäri linjastoa. Vikaa ei välttämättä todellisuudessa ollut tai se ilmeni väärässä paikassa johdettujen ohjausjärjestelmien huonosta keskinäisestä kommunikoinnista. Tätä vikatilaa oli usein hankala saada pois päältä ja se saattoikin kadota ajan myötä itsestään, jolloin todellista vikaa ei koskaan löytynyt. Tällaisten vikojen, esimerkiksi robotti saattoi seistä pitkiäkin aikoja, ja näistä turhista keskeytyksistä pyrittiin pääsemään eroon robotin päivittämisellä. Vanhassa robotissa myös itsessään alkoi vanhemmuuttaan ilmetä vikoja, kuten kohteiden tunnistaminen ei onnistunut, ja jostain syystä se saattoi törmätä tai jättää joitain vaiheita tekemättä, minkä seurauksena linjasto jossain vaiheessa pysähtyi odottamaan robottia. Lisäksi linjastolla on ABB IRB 4600-robotti, jonka tehtävänä on asettaa pussi tynnyriin.

5.2 ABB IRB 640

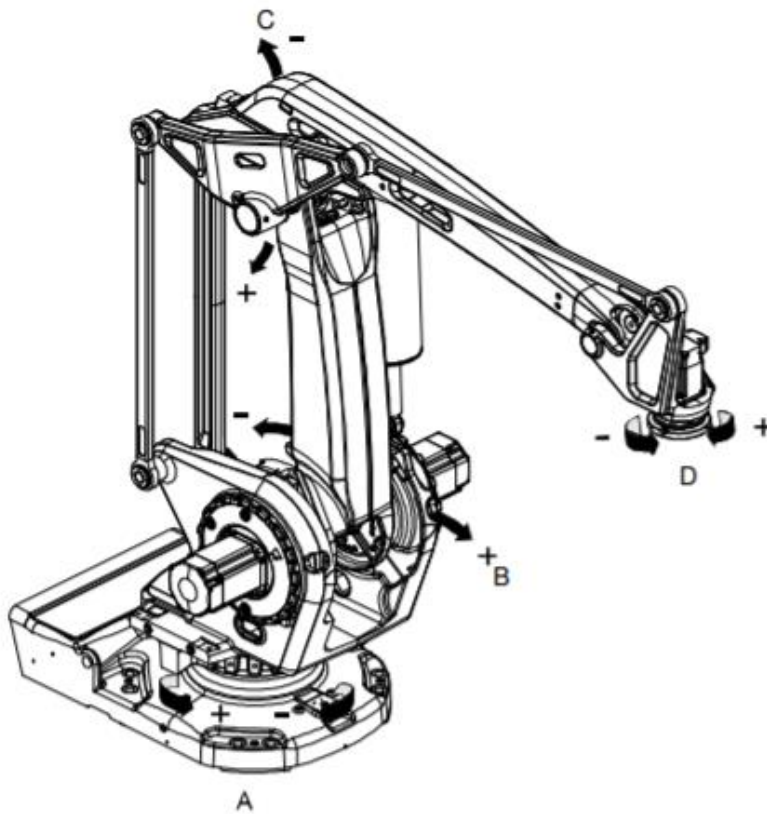
Tässä työssä vanha lavausrobotti oli mallia ABB IRB 640 ja siinä oli 4-akselia (KUVA 3). Se on vuosimalliltaan 1997, mutta otettu tuotannossa käyttöön vasta vuonna 1999 ja se oli käytössä tuotannossa aina vuoteen 2021 asti. Robotilla oli vain yksi työkalu, jolla se pystyi viemään kuormalavan, tyhjän tynnyrin ja täyden tynnyrin oikeille paikoilleen. Käsiteltävät painot eivät olleet suuria, korkeintaan 30 kg. Robotti olisi kuitenkin pystynyt käsittelemään jopa 160 kg:n painoisia kappaleita. Tärkeimpänä tekijänä oli kuitenkin robotin ulottuvuus. Robotti joutui viemään useiden metrien päähän kappaleita. Robotin ulottuvuus olikin 2,9 metriä.



KUVA 3. ABB IRB 640-robotti ja sen akselit (ABB 2001, 6).

5.3 ABB IRB 660

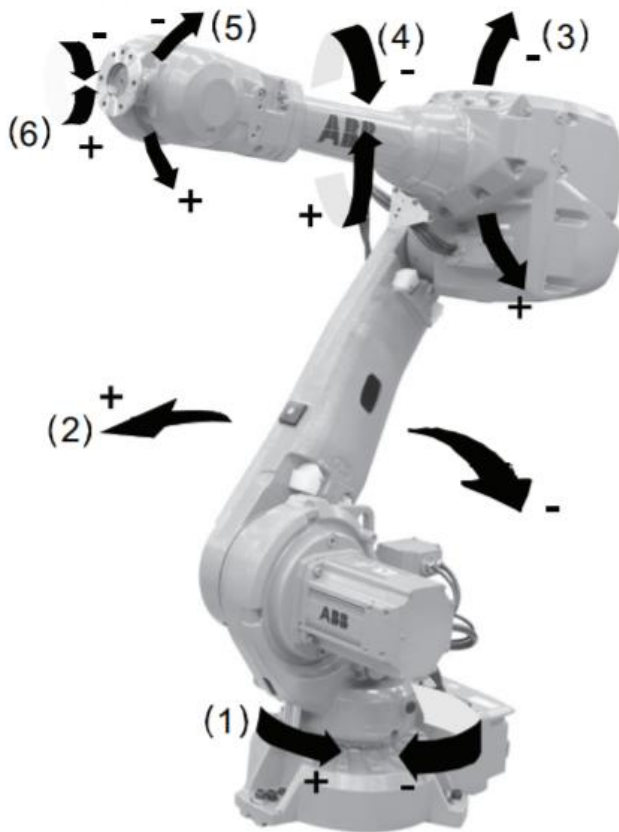
Uusi lavausrobotti on mallia ABB IRB 660 ja edeltäjänsä tapaan se on 4-akselinen (KUVA 4). ABB IRB 660 on vuosimallia 2021. Se pystyy käsittelemään maksimissaan 180 kg:n kuormaa ja sen ulottuvuus on 3,15 metriä.



KUVA 4. ABB IRB 660-robotti ja sen akselit (ABB 2021, 14).

5.4 ABB IRB 4600

IRB 4600 on kooltaan pienempi kuin IRB 660 ja IRB 640. Sen ulottuvuus on kuitenkin 2,05 metriä ja se pystyy käsittelemään jopa 45 kg:n kuormaa. IRB 4600 kuitenkin toimii pussitusrobottina. Sen tehtävänä on nostaa pussi, levittää se ja asettaa levitetty pussi sylinterille, joka puhaltaa pussin muotoonsa ja asettaa sen tynnyriin. IRB 4600:n ei tarvitse ulottua pitkälle eikä sen tarvitse käsitellä suuria painoja, mutta sen täytyy olla tarkka ja liikkua ahtaassa tilassa. Tämän mahdollistaa sen 6-aselinen runko (KUVA 5.)



KUVA 5. ABB IRB 4600-robotti ja sen akselit (ABB 2021, 30).

5.5 Lähtötilanteen kartoittaminen

Kun OEE-mittaristo oli luotu, eri vaiheiden ihanteelliset työskentelyajat oli mitattu ja simuloinnit suoritettu, aloitettiin vikatilojen kartoittaminen.

Kartoittaminen tapahtui yksinkertaisesti pakkauspaikalla kellottamalla sekuntikellolla eri toimilaitteiden seisona-aikoja. Haasteena oli huomata kaikki vikatilat jokaisella toimilaitteella heti niiden sattuessa. Toinen haaste oli mitata usean toimilaitteen samanaikaista vikatila-aikaa. Tehtävästi suoriuduttiin kuitenkin hyvin, ja joitain vikatiloja alkoi tunnistamaan jo, ennen kuin toimilaitte itse niistä ilmoitti. Esimerkiksi pussitusrobotti pudottaa pussin, kun se on tarttunut siihen vinosti tai levittäminen on epäonnistunut. Vikatila-aikojen kellottaminen kuitenkin aloitettiin vasta, kun vikatila tuli päälle, vaikka sen pystyikin ennustamaan etukäteen. Vikatila-ajan kellottaminen lopetettiin, kun toimilaitte palasi alkutilaan tai jatkoi toimintaansa vian aikaisessa sekvenssissä. Esimerkiksi kun lavausrobotti palaa kotitalaan ja aloittaa tehtävän uudelleen, tai hitsauslaitteen vika kuitataan, jolloin se jatkaa sekvenssistä, jossa vika ilmeni.

Itse pakkausajoja mitattiin pakkauksen aloittamisesta aina pakkauksen lopettamiseen. Kello laitettiin käyntiin pakkauspaikalle saapuessa ja se pysäytettiin, kun viimeinen valmis lava tuli ulos linjastosta. Näiden välisestä ajasta vähennettiin pois pidetyt tauot.

Käytettävyyden määrittämiseksi mitattiin sekuntikellolla eri laitteiden seisonta-aikoja pakkauksen aikana. Suunniteltuna käyttöaikana käytettiin pakkaukseen kulunutta aikaa, joka tarkoittaa aloituksen ja lopetuksen välistä aikaa, josta vähennettiin tauot.

5.5.1 Nopeus

Mittaristoa varten jaettiin linjasto neljään vaiheeseen pussitusrobotti, täyttölaite, hitsaus ja lavausrobotti. Näiden lisäksi lisäksi vielä muut osion, johon kuuluivat valoverhoista ja tulostimesta johtuvat viat. Mittaukset suoritin itse paikan päällä, ja kellotin aluksi erivaiheiden aikoja, joista saatiin optimaaliset toiminta-ajat kullekin toimilaitteelle, ja näiden tietojen perusteella luotiin linjastosta simulaatiomalli (LIITE 12), jolla määritettiin linjaston teoreettinen nopeus (N) lavaa/vuoro. Simuloinnin tuloksista saatuja keskiarvoja sitten verrattiin vuoron aikana pakattuihin lavamääriin. Kokonaispakkausajoissa on huomioitu vain pakkauspaikalla tehdyt työajat eli pakkauksen aloittamisesta siihen, että viimeinen lava lähtee varastolle. Myös tauot on vähennetty tästä ajasta, jolloin pakkausnopeuteen vaikuttavat vain tehdyt työtunnit. Samoin kuin simulointi on toteutettu olettamuksella, että pakkausta tapahtuu koko vuoron ajan (8h), ilman taukoja. Tämähän ei olisi mahdollista koska pakattavaa materiaalia ei riittäisi niin pitkäksi urakaksi.

5.5.2 Käytettävyys

Kun vaiheiden nopeudet oli mitattu, keskityin vikatilojen kellottamiseen. Tässä oli haasteena huomata kaikki vikatilat heti niiden sattuessa, varsinkin jos kahdelle toimilaitteelle tuli samanaikaisesti vika. Jokaisen toimilaitteen vika-ajat kirjattiin vihkoon toimilaitteen omalle sarakkeelle, josta myöhemmin ne siirrettiin Exceeliin, jossa lopulliset laskelmat suoritettiin. Vika-aikojen lisäksi pidettiin kirjaa pakkauksen aikaisista tapahtumista ja siitä, millaisia vikoja pakkauksen aikana ilmeni. Vikatila-ajoissa on huomioitu tauot siten, että jos ison vian takia on pidetty pakotettu tauko, vikatila-ajasta on vähennetty 15 minuuttia, jonka jälkeen ajonottoa on jatkettu siihen asti, että vika on saatu korjattua (asentaja ilmoittaa, kun vika on korjattu).

Käytettävyyden yhteydessä saatiin selville myös vikatila-ajat, joiden vertaileminen lopuksi oli tärkeä osa projektin arvioimista. Nämä ajat suhteutettiin pakattua lavaa kohden, koska dataa pakkauksista saatiin kerättyä eri määriä.

5.5.3 Laatu

Laatua mitattiin hylkyyn menevän tuotteen suhdetta pakattuun määrään. Tässä olivat olleet välillä ongelmana alipainoiset tynnyrit, joita ei voida asiakkaalle toimittaa. Myös täyttölaiteella tulevien ylitäytöjen tasaukset vaikuttavat laatu tekijää. Pakkauksen alussa punnittiin aina tyhjä tasaustynnyri, ja pakkauksen lopussa tynnyri punnittiin uudestaan ja tyhjennettiin. Tämä määrä lisättiin hylkyyn menneiden tynnyrien painoon ja tästä saatua määrää verrattiin pakattuun kilomäärään.

5.6 Simulointi

Simuloinnissa käytettiin Enterprise Dynamics-simulointiohjelmaa (InControl 2022). Simulointimallia varten kelloitettiin jokaisen työvaiheen työaikoja ja niiden perusteella luotiin kullekin toimilaitteelle (server) ideaali toiminta-aika. Rullaratojen pituus määritettiin mittaamalla, kuinka monta sekuntia tynnyrillä kuluu kulkea rullarata päästä päähän, ja tätä sekuntimäärää käytettiin rullaradan pituutena ja rullaradan nopeudeksi asetettiin 1 m/s. Tämän jälkeen rullaradoille määritettiin kuinka monta tynnyriä voi olla samanaikaisesti radalla.

Simuloinnin layoutissa kierto kulkee seuraavasti. Tyhjä tynnyri tuote menee Source-atomiin odottamaan, että Robotti-atomi (Emma) poimii sen ja vie rullaradalle. Rullaradalta tuote jatkaa PussiRobo-atomille, jossa siihen laitetaan kuvitteellinen pussi. PussiRobo-atomilta rullarata kuljettaa tuotteen Pakkauslaite-atomiin, jossa siihen laitetaan tuote. Pakkauslaite-atomi luovuttaa tuotteen Hitsi-atomille, joka sulkee pussin ja luovuttaa sen rullaradalle. Rullarata kuljettaa tuotteen Kansitarrat-atomiin. Kansitarrat-atomin jälkeen tynnyri käy transform-solussa, jossa sen arvo muutetaan niin, että robotti (Emma) osaa viedä sen ValmisLava-atomiin. ValmisLava-atomia on muokattu siten, että se luovuttaa ”valmiin lavan” Sink13-atomiin vasta, kun se on saanut 18 valmista tuotetta eli ”valmista tynnyriä”. Sink13-atomin In-määrä kuvastaa valmiita lavoja.

Robotti-atomin (Emma) toiminto on tehty siten, että se ottaa source-atomista aina tynnyrin (product), ja vie sen source-atomin yläpuolella olevalle rullaradalle, mikäli radalla ei ole viitä tynnyriä. Tämän jälkeen robotti (Emma) tarkistaa, onko Jono-atomissa valmista tynnyriä odottamassa, jonka se vie ValmisLava-atomiin, jos ei vie se tyhjän tynnyrin rullaradalle, jos se ei ole täynnä. Jos rullarata on täynnä ja Jonossa ei ole tynnyriä, jää robotti odottamaan, että joku ehto sen tekemiselle täyttyy.

Simuloinnissa ajettiin 20 erillistä kahdeksan tunnin ajojaksoa. Tällä tarkoitetaan sitä, että jokainen ajojakso alkoi nolatilanteesta eikä jatkettu siitä, mihin edellinen ajojakso päättyi. Tulokset olivat hyvin samankaltaisia jokaisella ajojaksolla. Jaksojen välillä oli vain muutamien valmiiden tynnyrien eroja (LIITE 12). Jokaisessa erillisessä ajojaksossa kuitenkin valmiiden lavojen määrä oli sama (LIITE 12).

5.7 Lähtötilanteen tulokset

Lähtötilanteessa HOM5:n ja HOM4:n yhteisissä tilastoissa 27 % seisona-ajoista johtui suoraan lavausrobotista, ja 39 % muista vioista. Näistä vioista iso osa johtui epäsuorasti lavausrobotista, sen vanhan ohjausjärjestelmän ja muiden päivitettyjen ohjausjärjestelmien huonosta keskinäisestä kommunikoinnista (LIITE 3). Kun HOM5- ja HOM4-linjastoja tarkastellaan erikseen, pystytään huomaamaan, että HOM5:n vikatila-ajoista peräti 68 % johtui robotista kun taas HOM4:n vikatila-ajoista vain 13 % johtui robotista (LIITE 3). HOM4-linjastolla 50 % vioista johtui muista syistä ja näistä 66 % johtui ohjausjärjestelmien kommunikointivioista, jotka ovat epäsuorasti yhteydessä lavausrobottiin (LIITE 2). Jos nämä epäsuorat viat huomioitaisiin myös lavausrobotin vikoina eikä muina vikoina, nousisi HOM4-linjastolla lavasrobotin prosentuaalinen vikamäärä suurimmaksi 47 %:n osuudella. Myös yhteisessä tilastoissa peräti 52 % vioista johtuisi lavausrobotista. Mutta ohjausjärjestelmän viat päätettiin kuitenkin pitää erillään lavasrobotista. Muita vikoja, jotka määriteltiin muut viat- osioon, olivat valoverhoista johtuvat viat. Nämä johtuivat pääsääntöisesti valoverhojen kiinnikkeiden huonosta kunnosta, jolloin valoverhot pääsivät liikkumaan tärinän tai joka nosto-ovesta tulevan tuulen takia. Muut-osio luotiin pitämään mittaristo yksinkertaisena ja välttämään suurta määrää hyvin erilaisia vikoja. Yksityiskohtaisesti viat tulivat kuitenkin esille pakkauksien raporteissa (LIITE 8).

Jos lavausrobotin vikoja saataisiin vähennettyä huomattavasti uudella robotilla, ja ohjausjärjestelmien viat poistettua, kun uusi robotti tukee samaa järjestelmää kuin muu linjasta. Näin vikatila-aikoja karsiutuisi pois huomattava määrä. Tätä johtopäätöstä tukee myös pakkausten Pareto-analyysi, josta voidaan todeta, että huomattava osa vioista voidaan poistaa keskittymällä lavausrobotin ja muiden vikojen

eliminoimiseen (LIITE 3). Myös valoverhojen kiinnittäminen tukevammin vähentäisi paljon seisonta-aikaa.

Yllättäen kuitenkin suurimmaksi tehokkuutta vähentäviksi tekijöiksi osoittautui nopeustekijä (N), ja pakkauslaitteiden ”junnaaminen” sekä pakkauslaitteen väliputken täyttöongelmat. Kesällä pakkauslaitteen ”junnaamiseen” saattoi vaikuttaa lämmin ilma ja suuri ilmankosteus, joka sai pakattavan pulverin nihkeäksi, jolloin se saattoi pakkaantua väliputkeen ja täyttölaitteelle. Tämä ongelma kuitenkin toistui myös syksyllä toisen mittauksen aikana. Nopeustekijä oli selvästi heikoin, kun laskettiin pakkauksien OEE-arvoa, joka jäi tämän takia usein jopa heikoksi (LIITE 1, LIITE 2).

6 JOHTOPÄÄTÖKSET

Kehittämisen tavoitteena oli vähentää pakkauslinjastojen vikatila-aikoja, sekä parantaa linjaston tehokkuutta. Jotta kehittämisprojektia voitaisiin pitää onnistuneena, tulisi näiden arvojen parantua.

6.1 Vikatila-ajat kehittämisen jälkeen

Kun lähtötilanteen kartoittamisen jälkeen vanha lavausrobotti purettiin pois ja uusi lavausrobotti asennettiin paikalleen, suoritettiin mittaukset uudestaan. Uuden lavausrobotin myötä saatiin myös päivettyä vanhat ohjausjärjestelmät uuteen, minkä seurauksena pakkauslinjastoilla on vain yksi versio ohjausjärjestelmästä. Tämän pitäisi poistaa ohjausjärjestelmien väliset kommunikointiongelmat.

Seisonta-ajat vikatilojen takia suhteutettiin pakattuihin lavoihin, jolloin vertailu oli tasapuolisempaa, kun dataa saatiin kerättyä erilaisia määriä eri vaiheissa ja eri linjastoilta (LIITE 7). Taulukoista voidaan huomata, että HOM5-linjaston vikatila-ajat lavaa kohden vähenivät 54 %, ja HOM4-linjaston vikatila-ajat lavaa kohden vähenivät peräti 64 % ja yhdistetyssä mittauksessa vikatila-ajat lavaa kohden vähenivät 63 %. Kun tutkitaan lavausrobotista johtuvia vikatila-aikoja lavaa kohden huomataan, että vikatila-ajat ovat vähentyneet huomattavasti vanhan robotin uusimisen jälkeen (LIITE 7). Lavausrobotista johtuvat vikatila-ajat vähenevät HOM5-linjastolla 66 %, HOM4-linjastolla 67 % ja yhdistetyssä vertailussa 64 %. Tältä osin lavausrobotin päivittämistä uuteen voidaan pitää onnistuneena.

Myös lavausrobotin osuus vikatila-ajoissa pieneni HOM5-linjastolla 19 prosenttiyksikköä ja HOM4-linjastolla sekä linjastojen yhdistetyssä tilastossa 1 prosenttiyksikön (LIITE 3, LIITE 6). Myös lavausrobotin ohjausjärjestelmän ja linjaston muun ohjausjärjestelmän väliset ongelmat loppuivat kokonaan. Toisen vaiheen mittauksissa ei havaittu yhtäkään vikatilaa, joka olisi johtunut tämänkaltaisesta ongelmasta. Myös valoverhot tuettiin paremmin robotin vaihdon yhteydessä ja tälläkin oli suuri vaikutus vikatila-aikojen määrän vähenemiseen. Ohjausjärjestelmien kommunikointiongelmiin ja valoverhojen ongelmien pois jääminen näkyy myös, kun vertaillaan vikatila-aikojen muut osiota (LIITE 3, LIITE 6). Pakattua lavaa kohden muut virheet vähenivät seuraavasti: HOM5 66 %, HOM4 96 % ja yhdistetyssä vertailussa 95 % (LIITE 7).

Ainut osa-alue, jossa vikatila-ajat lavaa kohden kasvoivat, oli pussitusrobotti, jossa kasvua tapahtui peräti 50 % (LIITE7). Tämä johtui toisen kampanjan loppuvaiheilla ilmenneestä uudesta ongelmasta,

jossa pussitusrobotti kadotti tartuntaimukuppien paineen ja ei onnistunut ottamaan pussista kunnolla kiinni, minkä seurauksena se pudotti pussin.

6.2 OEE kehittämisen jälkeen

Toisena mittaristona kehittämisen onnistumiselle tarkastellaan, miten se on vaikuttanut tuotannon tehokkuuteen. Tätä tarkastelua varten laskettiin jokaiselle pakatulle erälle OEE-arvo ennen kehittämistä (LIITE 1, LIITE 2) ja uudestaan kehittämisen jälkeen (LIITE 4, LIITE 5). Kun kaikki mittaukset olivat suoritettu, laskettiin keskiarvot HOM5- ja HOM4-linjastoille sekä näille yhteinen OEE-keskiarvo (LIITE 8). Kun tarkastellaan HOM5 linjaston OEE keskiarvoa (LIITE 8) voidaan todeta sen parantuneen 15 prosenttiyksikköä. Käytettävyyden ja laadun osalta kehittymistä on tapahtunut hyvin marginaalisesti 1 prosenttiyksikön verran molemmissa, mutta nopeus kehittyi peräti 20 prosenttiyksikön verran. HOM4 linjaston OEE keskiarvo parani 7 prosenttiyksikköä. Käytettävyys parani 10 prosenttiyksikköä, nopeus parani 7 prosenttiyksikköä ja laatu 6 prosenttiyksikköä (LIITE 8). Kun HOM5 ja HOM4 linjaston tulokset yhdistetään ja niitä vertaillaan, OEE parani keskimäärin 11 prosenttiyksikköä. Käytettävyys parani 7 prosenttiyksikköä, nopeus 13 prosenttiyksikköä ja laatu 4 prosenttiyksikköä (LIITE 8).

6.3 Kehittämisen onnistumisen arviointi

Kehittämisprojektia voidaan pitää onnistuneena. Kaikki tarkasteltavat mittarit paranivat kehittämisen myötä ja vikatila-ajat lyhenivät huomattavasti. Uusi lavausrobotti teki tuotannosta tehokkaampaa, kun lavausrobotista johtuvat viat vähenivät sekä niistä aiheutuvat seisonta-ajat pienenevät huomattavasti. Myös uuden robotin käyttäminen on paljon helpompaa kuin vanhan, eikä sitä tarvitse ohjata käsin missään tilanteessa. Uusi lavausrobotti myös tunnistaa itse vikoja, kuten jos se nostaa useamman tynnyrin kerralla se vie ne lattialle eikä koita rutistaa niitä rullaradalle pakolla kuten vanha robotti. Näin uutta robottia ei tarvitse valvoa samalla tavalla kuin vanhaa. Uusi robotti ei ainakaan mittauksien aikana myöskään rutistanut yhtään tynnyriä.

Myöhempinä kehittämiskohteina pitäisin HOM5-väliputken täytön ongelman selvittämistä ja korjaamista sekä täyttölaitteiden junnaamisen syyn selvittämistä. Myös parempien pussien saaminen paran-

taisi pakkauksien tehokkuutta sillä nyt kun pussit eivät pidä muotoaan, sitoo se toisen pakkaajan täyttölaitteelle korjaamaan pussien asentoa. Tästä syntyy nopeushäviöitä, kun täyttölaitteella oleva pakkaaja joutuu keskeyttämään pakkauksen, kun paikkaa toista pakkaajaa kansien laiton yhteydessä sillä välin, kun tämä on viemässä täyttä lavaa varastolle.

LÄHTEET

ABB. 2001. Product Specification IRB 640. Saatavissa: https://library.e.abb.com/public/457526c27951deaec1257b4400528520/IRB_640_M2000_Rev1.pdf. Viitattu 29.1.2022.

ABB. 2021. Product specification IRB 660. Saatavissa: <https://search.abb.com/library/Download.aspx?DocumentID=3HAC023932-001&LanguageCode=en&DocumentPartId=&Action=Launch>. Viitattu 29.1.2022.

DIY Robotics. 2021. The top six types of industrial robots in 2020. Saatavissa: <https://diy-robotics.com/blog/top-six-types-industrial-robots-2020/>. Viitattu 29.1.2022.

Fanuc. 2021. How to know when a SCARA Robot is the right choice for your application. Saatavissa: <https://www.fanuc.eu/de/en/robots/robot-filter-page/scara-series/selection-support>. Viitattu 29.1.2022.

InControl 2022. Support. Saatavissa: <https://www.incontrolsim.com/support/#downloads>

Jervois Finland Oy. 2021a. RMI Recongnition Certificate. Saatavissa: <https://jervoisfinland.com/sustainability/>. Viitattu 11.12.2021.

Jervois Finland Oy. 2021b. Jervois to acquire Freeport Cobalt for US\$160 million. Saatavissa: <https://jervoisfinland.com/wp-content/uploads/2021/10/210727-Jervois-Mining-Freeport-Cobalt-Acquisition.pdf>. Viitattu 11.12.2021.

Jervois Global Inc. 2021. Assets. Saatavissa: <https://jervoisglobal.com/>. Viitattu 11.12.2021.

Keinänen, T., Kärkkäinen P., Lähetkangas M. & Sumujärvi M. 2009 Automaatiojärjestelmien logiikat ja ohjaustekniikat.1. painos. Helsinki: WSOY.

Kokkola Industrial Park 2021. Alueen historia. Saatavissa: <https://www.kip.fi/fi/alue/historia.html>. Viitattu 11.12.2021.

Laine, H. 2010. Tehokas kunnossapito, tuottavuutta käynnissäpidolla.1. painos. Helsinki: K-P Media Oy.

MWES engineered systems. 2021. Polar/Spherical Robots. Saatavissa: <https://www.mwes.com/polar-spherical-robots/>. Viitattu 29.1.2022.

Pinja Oy. 2021. Mittaroi OEE- tunnuslukua oikein. Saatavissa: <https://blog.pinja.com/mita-on-oe-knl>. Viitattu 23.11.2021.

Roboai Simulointi. 2022. Saatavissa: <https://www.roboai.fi/simulointi/>. Viitattu 30.1.2022.

Robots Done Right. 2022. What is delta robot? Saatavissa: <https://robotsdoneright.com/Articles/what-is-a-delta-robot.html>. Viitattu 29.1.2022.

STT info. 2020. Kokkolan suurteollisuusalue – KIP: 75 vuotta teollista tuotantoa. Saatavissa: <https://www.sttinfo.fi/tiedote/kokkolan-suurteollisuusalue---kip-75-vuotta-teollista-tuotantoa?publisherId=65860778&releaseId=69877529>. Viitattu 11.12.2021.

Syrjälä T. 2017. Jakeluterminaalien pakettikuljettimen simulointimallinnus. Opinnäytetyö Metropolia. Saatavissa: https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/124640/Syrjala_Teuvo.pdf?sequence=1&isAllowed=y. Viitattu 30.1.2022.

Wikipedia. 2021. OM Group. Saatavissa: https://en.wikipedia.org/wiki/OM_Group. Viitattu 11.12.2021.

Liite salattu

Liite salattu

Liite salattu

Liite salattu

Liite salattu

Liite salattu

Liite salattu

Liite salattu

Liite salattu

Liite salattu

Liite salattu

Liite salattu

Liite salattu

