

# 3D-SIMULAATION HYÖDYNTÄMINEN ROBOTIN HANKINNASSA



Insinööri AMK:n opinnäytetyö

Konetekniikka, insinööri (AMK), Riihimäen kampus

Kevät 2022

Aku Linnero

Koulutuksen nimi

Tiivistelmä

Tekijä Aku Linnero

Vuosi 2022

Työn nimi 3D-Simulaation hyödyntäminen robotin hankinnassa

Ohjaaja Tapio Väisänen

---

Tämä opinnätetyö on tehty Konecranes Oy:n Hyvinkään vaihdetehtalle tarkoituksenaan todentaa, kuinka hyödyllistä on simuloida robotisoitava työvaihe robotin hankintaa ajatellen. Simulaation avulla pyritään tutkimaan robottisolun vaikutusta kapasiteettiin, sarjakokoa, layouttia, työvuoroja ja muita vaikuttavia tekijöitä. Tärkein tehtävä on selvittää onko robotin hankkiminen ylipäätään kannattavaa.

Simulaatioita tehtiin kaksi erillaista, joista toinen oli kevyemmin ohjelmoitu suhteellisen nopeasti tehty kokeilumielinen simulaatio ja toinen oli ammattilaisen tekemä raskaammin ohjelmoitu Excelillä ohjattava alan ammattilaisen tekemä simulaatio. Työssä verrattiin näitä kahta simulaatiota nykyiseen tuotantodataan, joka perustui sorvaustyösoluun ilman robottia.

Ongelmaksi osoittautui se, että osa simulaatiossa käyttämistämme koneistusajoista oli WinCam-sovelluksen työstösimulaatiosta otettuja aikoja, joista osa oli virheellisiä. Tämä väärästi simulaatiossa käytettyä dataa huomattavasti. Myös osa SAP:in työstöajoista joita käytettiin loppuvertailussa paljastui virheellisiksi. Niitä kuitenkin korjattiin tarkemman tuloksen saamiseksi.

Loppuvertailuja tehdessä huomattiin, että kevyesti ja vähemmällä työllä tehty simulaatio pääsi tuloksessaan hyvinkin lähelle tätä raskaampaa simulaatiota. Molemmilla simulaatioilla pystyttiin kuitenkin todentamaan suuntaa antavasti, kuinka paljon tehokkaampi työsolu olisi robotisoituna. Opinnäytetyössä käsiteltävä tapaus on kuitenkin niin yksinkertainen ja siihen oli hyvin aikoja ja muuta dataa saatavilla, koska työstökone oli ollut käytössä jo kolme vuotta ilman robottia. Robotin kannattavuus olisi varmasti pystytty todentamaan yksinkertaisemmin ja vähemmän aikaa vievin keinoin.

Simulaatio kuitenkin sopisi paremmin, jos oltaisiin hankimassa jotakin kokonaan uutta työsolua, joka tekisi jotain uutta tuotetta josta ei ole dataa saatavilla. Tulee kuitenkin huomioida, että simulaatio projekti ei ole vielä valmis tässä vaiheessa, jossa opinnäytetyö sitä käsittelee, joten moni asia voi olla kehittynyt jo paremmaksi.

Avainsanat Simulaatio, robotiikka, koneistus.

Sivut 31 sivua.

Name of Degree Programme

Author Aku Linnero

Subject Using 3D simulation in robot cell design

Supervisors Tapio Väisänen

Abstract

Year 2022

---

This thesis was made for Konecranes gear factory in Hyvinkää to examine benefits of simulation when thinking of buying a robot to a work cell. With simulation I was researching how robot cell, batch size, layout and workshifts affected production capacity. Most important thing is to find out if it were profitable to buy robot.

There was two different simulations made in this thesis project, one was made with simpler way, and it was more experimental and much more inexpensive. The second one was made by a simulation professional, he attached Excel to the simulation. These two simulations and current production data was then compared to one another

We used machine times that were taken from WinCam machining simulation, it turned out that there were some failures in them, which affected the reliability of the simulation. It also turned out that current machining data in the manufacturing system called SAP also had some failures in it, but we solved the problems and by this got little bit more accuracy to simulation.

When doing the comparisons, it was noticed that these two simulations had almost the same results. Both simulations could prove roughly how profitable the workcell would be with the robot. The case studied in this thesis was very simple and there was also much data, machine times and other helpful information available, because the machine itself has already been in the factory for three years. It would be easier, faster, and inexpensive to examine this kind of case with simple methods instead of programming a simulation.

Simulation would work better with some new machine or production line that would manufacture completely new product. When I stopped making this thesis the simulation project was still going on, so it might be much more reliable right now.

Keywords Simulation, robotics, machining.

Pages 31 pages .

## Sisällys

1	Johdanto .....	1
2	Yritysesittely .....	2
3	Simulaatio .....	3
3.1	Robotisoitujen prosessien simulointi.....	3
3.2	Ohjelmistoja.....	4
3.2.1	Visual Components .....	4
3.2.2	ABB Robot Studio .....	5
3.2.3	Factory I/O.....	6
3.2.4	Tecnomatix Plant Simulation .....	7
4	Teollisuusrobottien käyttö tuotannossa .....	7
4.1	Teollisuusrobotin ominaisuuksia .....	7
4.1.1	Nivelrakenteet .....	8
4.1.2	Tarraimet.....	11
5	Simulaation ohjelmointi .....	12
5.1	Works process.....	12
5.2	Excel-ohjaus .....	14
5.2.1	Ohjausjärjestelmä.....	15
5.2.2	Työkappaleiden ja prosessin määrittäminen.....	15
5.2.3	Työjonon luonti .....	18
5.2.4	Muita ominaisuuksia.....	18
6	Työsolu .....	20
6.1	Työstökone .....	21
6.2	Robottisolu .....	21
6.2.1	Robotti .....	22
7	Vaikutus tuotantoon .....	23
7.1	Aikojen vertailut.....	24
7.2	Sarjakoona vaikutus .....	26
7.3	Ongelmakohdat .....	28
8	Yhteenveto ja johtopäätökset .....	29
	Lähteet .....	30

## **Kuvat ja taulukot**

Kuva 1 Visual Components käyttöjärjestelmä ja 3D-näkymä. ....	5
Kuva 2 Factory I/O 3D-maailma ja käyttöjärjestelmä. ....	6
Kuva 3 Robotin liitostyyppit havainnollistettuna. ....	9
Kuva 4 Robotin rakenne varsien ja nivelten osalta.....	10
Kuva 5 Rannemekanismin rakenne.....	11
Kuva 6 Kevyesti ohjelmoitu simulaatio. ....	13
Kuva 7 Works process käskyjä. ....	14
Kuva 8 Työsolu, jota opinnäytetyö käsittelee. ....	20
Kuva 9 Doosan SMX 3100-sorvi .....	21
Kuva 10 Ehdotetun layoutin STEP-malli. ....	22
Kuva 11 R-2000 sarjan Fanuc teollisuusrobotti.....	23
Taulukko 1 Leikkeitä Excel-ohjauksesta.....	17
Taulukko 2 Työjono.....	18
Taulukko 3 Työvuorot määrittävä taulukko. ....	19
Taulukko 4 Simulaation päätyttyä tuleva yhteenveto ja sen grafiikkoja.....	19

Taulukko 5 Vertailussa simulaatiot ja routing-ajat.....	25
Taulukko 6 Yhteenveto simulaation päätyttyä.....	26
Taulukko 7 Raskas simulaatio verrattun routing aikoihin puolet suuremmalla sarjakoolla. .....	27
Taulukko 8 Suurennetun sarjakoona yhteenveto. ....	28

## 1 Johdanto

Konecranesin vaihdetehtas Hyvinkäällä valmistaa hammasvaihteiden välitysosia ja koteloita, sekä kokoonpanee vaihteita. Vaihdelaatikot koostuvat itsevalmistetuista sekä osto osista, karkeasti jaoteltuna akseleista, hammaspyöristä tiivisteistä ja kotelosta. Suuri osa Hyvinkään tehtaalla kasattavien vaihteiden välitysosista valmistetaan itse Hyvinkäällä. Jokaisen välitysosien valmistuksessa on monta tarkkaa työvaihetta. Tavallisimpien hammastuksellisten välitysosien työvaiheet vaihdetehtaalla ovat sorvaus, jysintä ,jäysteenpoisto, karkaisu, reikä- tai pyöröhionta ja hammashionta. Osat ovat todella tarkasti toleroituja, mikä mahdollistaa vaihdelaatikon oikeanlaisen toimivuuden ja pitkän kestävyuden. Osia pitää silti pystyä valmistamaan suuria määriä nopeasti. Tähän yhtenä ratkaisuna on tiettyjen työvaiheiden robotisointi.

Jo ennen robotin hankkimista on robotisoitava työsolu mahdollista simuloida ja simulaation avulla tarkastella mahdollista kannattavuutta ja tehokkuutta. 3D-simulaation avulla on mahdollista saada suuntaa antava tulos robotisoidun työsolun kapasiteetista ja visuaalisesti nähdä kuinka työsolu pääpiirteittäin toimii. On kuitenkin muistettava, että simulaation avulla työsolua suunniteltaessa ei pystytä huomiomaan kaikkia asioita ja muuttujia, joka aiheuttaa simulaation tuottamaan tulokseen vääristymää.

Tässä opinnäytetyössä pyritään havainnollistamaan erään sorvaustyösolun robotisointia ja sen hyötyjä. Sorvin asetuksia ja kappaleen vaihtoja tekee tällä hetkellä ihminen. Simulaatiota tehdessä käytetään aikaisempaa toteutunutta tuotantodataa, josta selviää tiettyyn työkuormaan käytetty aika. Samoja koneistusaikajo käyttäen luodaan Visual Componentsilla simulaatio, josta pitäisi saada tulokseksi robottisolun hyödyt. Mahdolliset ongelmakohdat ja muuttujat yritetään ottaa mahdollisimman hyvin huomioon.

## 2 Yritysesittely

Konecranes kuuluu maailman johtaviin nostolaittevalmistajiin. Yrityksen asiakaskunta koostuu muun muassa konepaja- ja prosessiteollisuudesta, telakoista, satamista ja terminaaleista. Konecranes toimittaa nostolaitteet, niiden huoltopalvelut ja varaosat kaikkiin mahdollisiin nostotarpeisiin ja siten tehosta asiakkaidensa tuotannon tehokkuutta ja kanattavuutta. (Konecranes, 2021-a)

Konecranes oli alunperin osa KONE Oy:tä. Koneella oli nosturidivisioona, jonka alaisuudessa toimi Konecranes. Kone ei panostanut nosturiteknologian kehittämiseen ja oli valmis luopumaan nosturidivisioonastaan. Nosturivalmistus irtisanoutui KONE Oy:stä vuonna 1994 ja nimettiin KCI Konecranes Internationaliksi. Nykyään yritys tunnetaan nimellä Konecranes, jonka logo ja brandi lanseerattiin vuonna 2006. (Konecranes, 2021-b)

Konecranes on edelleenkin kasvava yritys ostettuaan MHE-DEMAGin. Työntekijöitä on noin 16500 henkilöä ja liikevaihto vuonna 2020 oli 1,75 miljardia euroa. Konecranesin pääkonttori sijaitsee Hyvinkäällä. (Konecranes, 2021-c)



### **3 Simulaatio**

Simulointi on edullinen ja turvallinen tapa testata käytännössä mitä tahansa toimenpidettä tai tapahtumaa. Tekniikan ja liikenteen alalla esimerkiksi kallis tai vaarallinen työ voidaan simuloida selvittääkseen ennakkoon, voisiko työ olla kannattavaa tai riittävän turvallista tehdä. Simuloinnin kohteina voi olla esimerkiksi jokin työsolu, järjestelmä, liikennejärjestely tai jopa kokonainen tuotantolinja. Simulaatioita on myös hyödynnetty terveydenhuolto- ja kaunedenhoitoaloilla hyödyntäen ihmisiä simuloivia nukkeja ja tietkoneohjelmia, joilla pystytään turvallisesti harjoittelemaan toimenpiteitä, joita ei harjoitteluvaiheessa vielä uskalla ihmiselle tehdä vaarantamatta hänen terveyttään.

Tuotannon simulaatio on usein digitaalisen malli, joka sisältää tarvittavat koneet ja laitteet, tuotteet, tuotantoprosessit, materiaalivirran, ohjauslogiikan ja tilastotieteen. Simuloinnin avulla voidaan testata myös logistiikkaketjuja. Logistiikka ketju voi sisältää resursseja, kuten varastot, ajoneuvot, alihankinnan, työntekijät sekä tuoteyksiköt materiaalivirtoineen ja ohjauksineen. Simulointi on toteuttavissa millä tahansa skenaariolla ja lähtötilanteella ja sen avulla voidaan analysoida kyseisen prosessin tai tuotantoketjun toimivuutta. (Jetecon, 2021)

#### **3.1 Robotisoitujen prosessien simulointi**

3D-simulaatio on erittäin hyvä työkalu juuri robotisoitujen työsolujen toiminnallisuuden havaioinnollistamisessa esimerkiksi robotisoidussa työstökonesolussa kone käyttää aina saman ajan tietyn tuotteen valmistamiseen ja robotti saman ajan tuotteen siirtelyihin. Oikein ja realistisilla ajoilla kaikki mahdolliset muuttujat huomioiden voidaan simulaation avulla analysoida mahdollisen robotisoinnin kannattavuus melko tarkasti.

Simulaatiolla voidaan myös helposti kokeilla layout muutosten vaikutusta robotisoitujen työsolujen toimintaan.

## 3.2 Ohjelmistoja

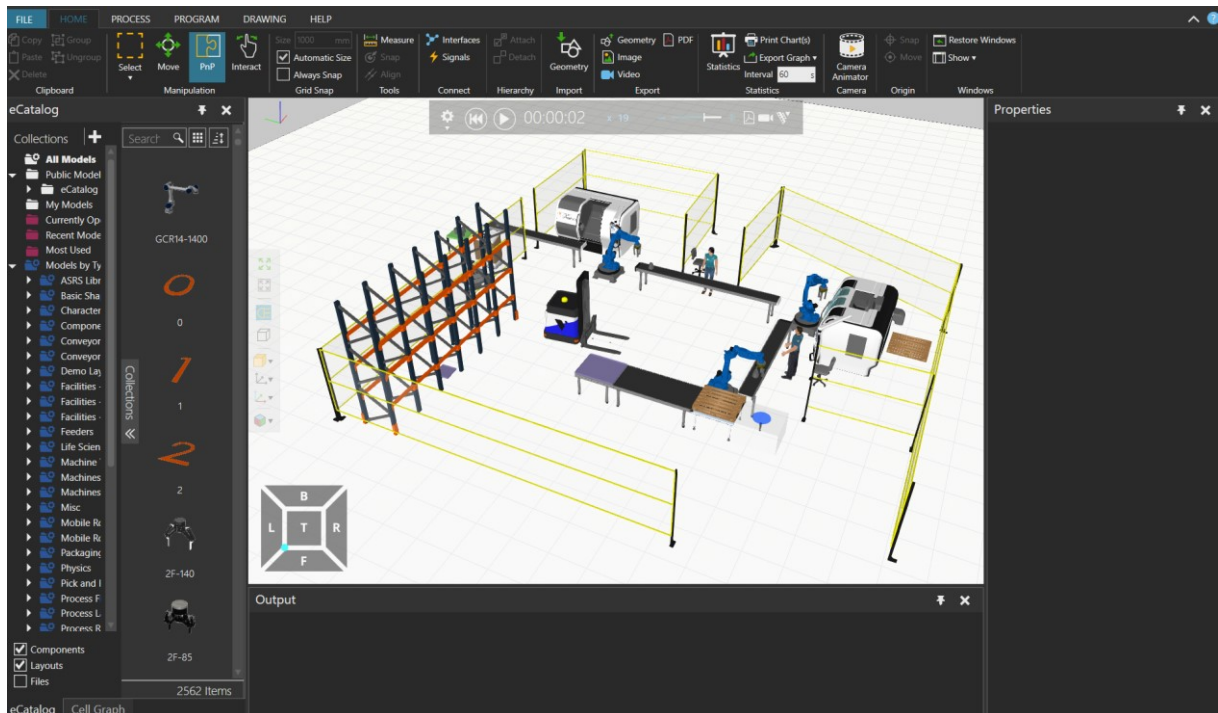
Tässä opinnäytetyössä käytetään Visual componentsia, mutta on olemassa myös useita muita simulaatioiden tekemiseen tarkoitettuja ohjelmistoja. Ohjelmistot soveltuvat eri käyttötarkoituksiin, joillain saatetaan simuloida helposti, vaikka materiaalin virtausta ja logistiikkaa, kun jollain toisella taas esimerkiksi työstökoneen huoltotarpeita tai kustannuksia. Kaikkilla näiden ohjelmistoilla tavoitellaan kuitenkin samaa asiaa eli jonkun teityn prosessin tai tapahtuman mahdollisimman realistista jäljentämistä.

### 3.2.1 Visual Components

Visual Components on Visual Components nimisen yrityksen sovellus, jolla tehdään 3D-simulaatioita valmistus- tai muista työprosesseista. Visual componentsin avulla voidaan simuloida layoutteja, työvaiheen robotisointeja ja työjärjestyksen optimointeja. Sen avulla voidaan tehdä layouteista yksinkertaisempia ja nopeampia. Visual Componentsilla tehty 3D-simulaatio on hyvä tapa näyttää vaikka asiasta vähemmän tietävälle millä tavalla jokin tietty muutos vaikuttaisi tuotannon tehokkuuteen esimerkiksi robotin hankinnassa (Kuva1).

Visual components sisältää eCatalogin, joka on tuhansien valmiiden komponenttien kirjasto. Se sisältää erilaisia robotteja, työstökoneita, työkaluja ja kalusteita. Kirjaston komponentteja hyödyntäen pystytään simuloimaan lähes, mikä tahansa tuotanto prosessi. Mikäli kirjaston komponenteista ei löydy kaikkea tarpeellista on mahdollista lisätä simulaatioon myös omia CAD-ohjelmalla mallinnettuja kappaleita ja niihin ohjelmoituja liikkeitä esimerkiksi itse suunniteltu robotin tarrain. (Visual Components, n.d)

Kuva 1 Visual Components käyttöjärjestelmä ja 3D-näkymä.



### 3.2.2 ABB Robot Studio

ABB robot studio on maailman eniten käytetty robottien ohjelmointi- ja simulointi ohjelmisto. ABB robot studiolla voidaan myös ohjelmoida ABB-robotteja offlinessa, jolloin robotti ohjelmaa tehdessä ei tarvitse pysäyttää tuotantoa. Ohjelmisto sisältää kattavan paketin toimintoja, joilla voidaan suunnitella robottisolua, testata sitä täysin virtuaalisesti ja järjestää palaveria suunnitteluun liittyen VR-laseja hyödyntäen etänä.

Tavoitteena on tehdä suunnitellusta robottisolusta täydellinen virtuaalinen kopio ja testata sen toimivuutta ja turvallisuuutta. ABB robot studiolla pystytään myös ohjelmoimaan oikeita robotteja toisin kuin useimmilla muilla ohjelmistoilla. Robottien tulee kuitenkin olla ABB:n valmistamia. (ABB, n.d)

### 3.2.3 Factory I/O

Factory I/O on Real Games nimisen yhtiön kehittämä tehdasympäristön simulointiin tarkoitettu ohjelmisto (Kuva 2.). Sen tarkoitus on helposti ja nopeasti luoda simulaatio tuotantolinjasta tai työsolusta. Factory I/O sisältää kirjaston yleisimmistä robotisoiduista tuotanto tapahtumista, joista on helppo muokata omat tarpeet ja vaatimukset täyttävä simulaatio. (Real Games, n.d-a)

Kuva 2 Factory I/O 3D-maailma ja käyttöjärjestelmä. (Real Games, n.d-b)



Real Gamesilla on myös älykotien simulointiin tarkoitettu Home I/O versio ohjelmasta. Ohjelmistolla luodaan talo tai asunto ja sillä pystytään simuloimaan valojen käyttäytymistä eri tilanteissa, energian kulutusta ja automaattisten varusteiden esimerkiksi verhojen toimintaa. Ohjelmalla voidaan myös simuloida vuorokauden ajan ja sään vaikutusta asunnon toimintoihin. (Real Games, n.d-c)

### 3.2.4 Tecnomatix Plant Simulation

Siemensin tuottama Tecnomatix Plant Simulation on automatisoitujen tuotantojärjestelmien simulointia varten kehitetty sovellus. Ohjelmistolla on mahdollista simuloida robottityösoluja tai vaikka kokonaisia tuotantolinjoja. Simuloinnin kohteena voi olla esimerkiksi hitsaus-, koneistus-, maalaus- tai poraus-solu. Sillä voidaan myös offline-ohjelmoida robotteja, joka on tuotannon kannalta turvallinen ja edullinen tapa toteuttaa robotin ohjelmointi.

Ohjelmaan on myös mahdollista ladata jo olemassa olevan työsolun ohjelma, jota voidaan simulaation avulla tutkia ja parantaa. Sovelluksen sisältämät RSC (realistic controller simulation), VRC (virtual robot controller) ja XML-pohjainen ohjelma mahdollistavat ohjainkohtaisten liikkeiden suunnittelun, simuloinnin ja toteutuksen. Nämä mahdollistavat tiedon kuten liikkeiden nopeuksien, ja tarkkojen reittien ohjelmoimisen simulaatioon. Ohjelman pystyy tämän jälkeen ladata oikean robotin ohjaimeen, joka tekee sovelluksesta tehokkaan offline-ohjelmointi sovelluksen. (Siemens, n.d)

## 4 Teollisuusrobottien käyttö tuotannossa

Teollisuusrobotteja käytetään automatisoiduissa teollisuusprosesseissa, joissa se pystyy tehostamaan tuottavuutta ja sellaisissa prosesseissa, jotka ovat ihmisen toteuttamana joko vaarallisia, todella kuormittavia tai epämiellyttäviä. Robotit pystyvät toistamaan tehtävänsä tasalaatuisesti ja nopeasti pitkiä ajanjaksoja putkeen ilman taukoja, johon ihminen ei ole kykeneväinen. Robotteja voidaan ohjelmoida ja varustella moniin eri tehtäviin hyödyntäen erilaisia robottiin kiinnitettäviä työkaluja ja tarraimia. Tyypillisimpiä teollisuusrobotin tehtäviä ovat pistehitsaus, materiaalin siirtäminen, työskoneen palveleminen, spraymaalaukset ja yksinkertaiset ja toistuvat asennustehtävät. (Groover, 2016, ss. 221-222)

### 4.1 Teollisuusrobotin ominaisuuksia

Tässä osiossa käsitellään nivelrobotin ominaisuuksia, koska opinnäytetyössä käsitellään tälle robottityypille sopivaa prosessia ja tämä on teollisuusrobottityypeistä parhaiten useimpiin tehtäviin soveltuva. Käsivarsi- ja rannerakenteidensa ansiosta nivelrobotti taipuu lähes

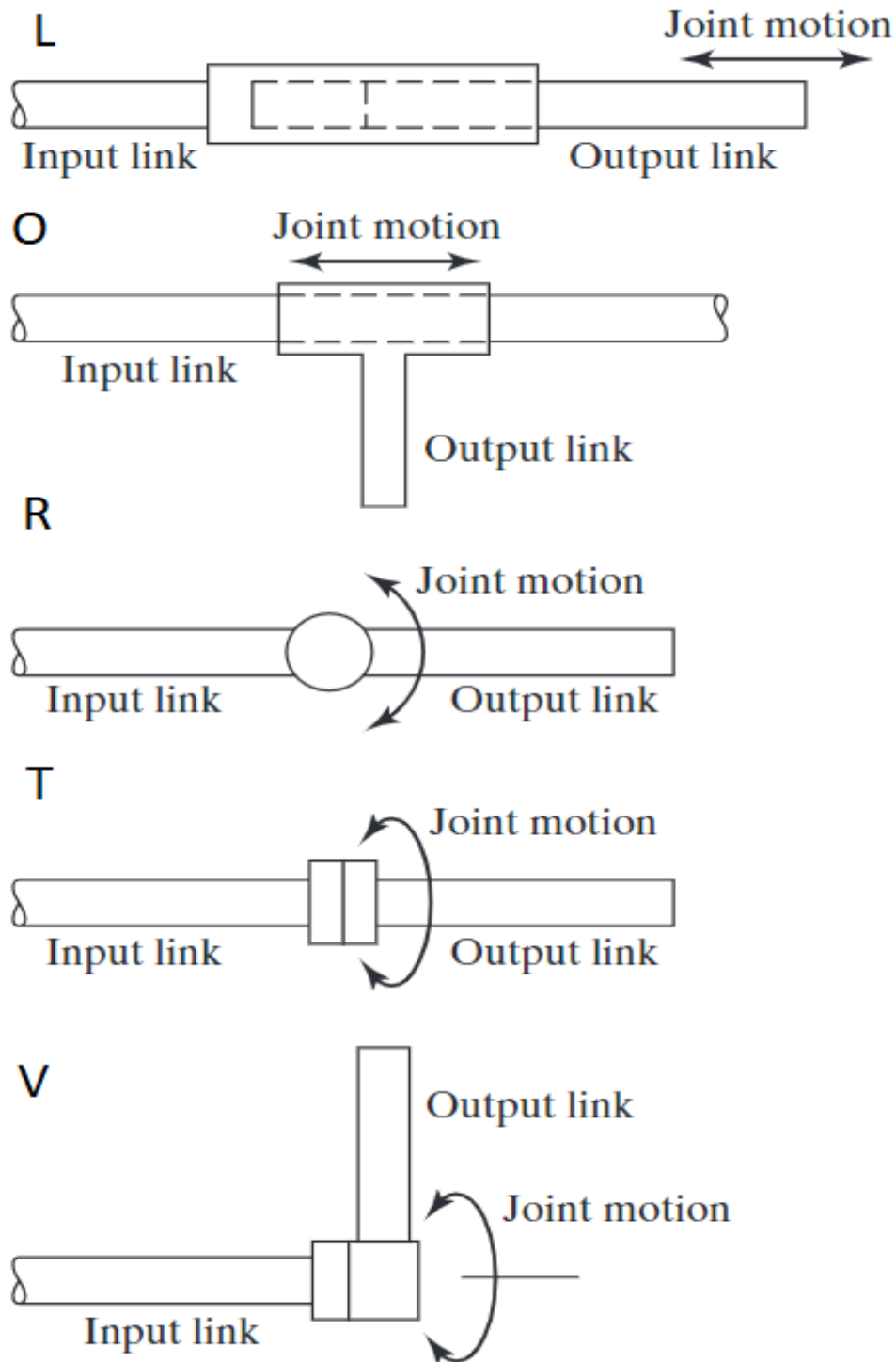
minkätahansa mallisen kappaleen kanssa lähes mihintahansa asentoon ajatellen haastavampia koneistus- ja asennustöitä.

#### 4.1.1 Nivelrakenteet

Robotin nivelrakenne tyyppinä on viisi erilaista. Niissä kaikissa on liukuvuuden kannalta omat ominaisuutensa.

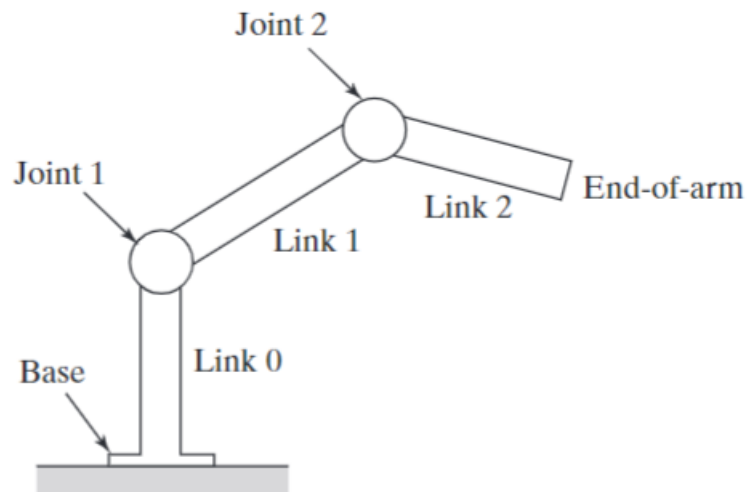
1. L-liitos on Lineaarinen, jossa kaksi robotin rakenteen osaa ovat yhdensuuntaiset ja toimivat hyödyntäen teleskooppimaista liikettä.
2. O-liitoksessa on myös saman tyyppinen liukuva liike kuin L-liitoksessa, mutta tässä liitostyyppissä liitoksen molemmin puolin olevat robotin osat ovat toisiinsa nähden kohti suorassa, toisinsanoen 90-asteen kulmassa verraten L-liitoskeen.
3. R-liitos on kohti suora liitos samaan tapaan, kun O-liitos. R-liitoksessa ei ole teleskooppimaista tai liukuvaa liikettä, vaan R-liitoksessa liike on pyörivää.
4. T-liitos on myös pyörivä liitos, mutta siinä liitokseen liittyvät osat ovat myös yhdensuuntaiset.
5. V-liitoksessa robotin varret ovat kohtisuorassa toisiinsa nähden, mutta pyörivä liike tapahtuu silti lähempänä robotin jalustaa olevan varren kanssa kohti suorassa, jolloin liitos pyörittää koko seuraavaa vartta (Kuva 3.). (Groover, 2016, ss. 222-224)

Kuva 3 Robotin liitostyyppit havainnollistettuna. (Groover, 2016, s. 224)



Tavallisessa nivelrobotissa niveliä on kolme. Robotin jalustassa on T-nivel, joka pyörittää koko robottia, Jalustasta seuraavan on R-nivel, välivarsi ja toinen R-nivel, ikään kuin olkanivel ja kyynärnivel (Kuva 4.).

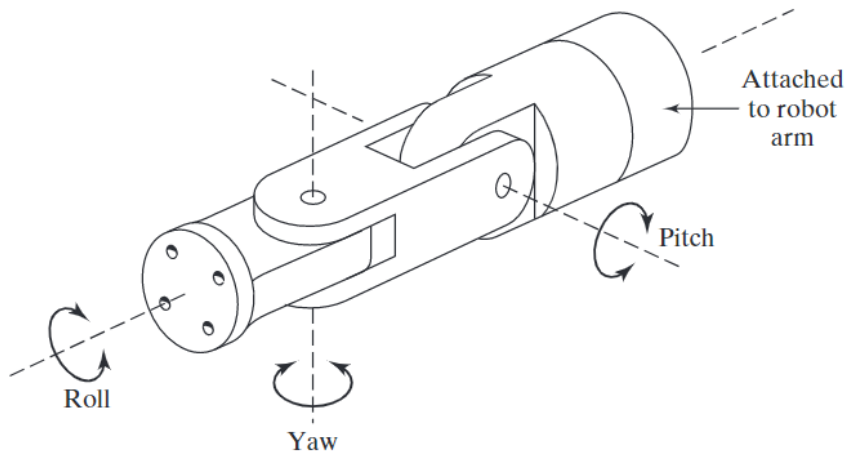
Kuva 4 Robotin rakenne varsien ja nivelten osalta. (Groover, 2016, s. 223)



Rannemekanismi kiinnitetään käsivarren päähän. Se koostuu kolmesta nivelestä. Siinä on T-nivel, joka mahdollistaa kiertävän liikkeen ja kaksi R-niveltä, joista toinen on koukistus ja toinen ranteen sivuttais liike (Kuva 5.). Käsivarsi- ja rannemekanismien yhdistelmällä robotti pystyy liikehtimään käytännössä ihmisen käden tavoin, suurimmassa osassa tapauksista tietenkin suuremmissa mittakaavassa. (Groover, 2016, ss. 224-227)



Kuva 5 Rannemekanismin rakenne. (Groover, s. 227)



#### 4.1.2 Tarraimet

Tarrain on rannemekanismin päähän tuleva osa, jonka tehtävä on tarttua kappaleeseen, jota robotti liikuttaa tai työstää. Tarraimia on monia erityyppisiä ja eri tavoin toimivia, jotta pystyttäisiin käsittelemään eri painoisia, kovuisia ja kokoisia kappaleita mahdollisimman hyvin. Jotkin pienempien robottien tarraimet voivat näyttää jopa samalta, kun ihmisen käsi, mutta suurilata osin tarraimet ovat kaksi tai kolme sormisia tarraimia, jotka toimivat hydraulikalla tai pneumatiikalla.

Tarrain voi myös koostua rungosta, johon on kiinnitetty useita imukuppeja, jotka pneumatiikan avulla tarraavat levymäiseen kappaleeseen. Metalliteollisuudessa yksi suosituimpia tarrain tyyppisiä on magneetilla toimiva tarrain. Magneetti tarrain sopii käyttöön, kun käsitellään metallikappaleita, joissa on tarpeeksi suoraa pinta-alaa magneetin turvalliseen tarraamiseen. Magneetti on tällaisessa tilanteessa varmasti kätevin tapa tarttua kappaleeseen. (Universal robots, 2019)

Tarraimen sijaan rannemekanismin päähän on mahdollista kiinnittää lähes mikä vaan muukin työkalu, jolloin robotin on mahdollista esimerkiksi hitsata tai hioa.

## 5 Simulaation ohjelmointi

Visual Componentsia voidaan ohjata monella eri tavalla käyttäjän taitotasosta riippuen. Osa tavoista ei vaadi laajempaa koodaus tai ohjelmisto osaamista, kun taas osa toiminnoista, joilla tehdään yksinkertaisempia simulaatioita ovat hyvinkin helppokäyttöisiä. Sovelluksen omasta eCatalog kirjastosta olevia komponentteja pystyy yhdistämään toisiinsa yksinkertaisella signaali toiminnolla, tämä toimii robotteihin työstökoneisiin ja liukuhihnoihin.

Toinen yksinkertainen tapa on Works Process alustat, joita voidaan sijoittaa eri koordinaatteihin ja liittää eri tasoihin ja työstökoneisiin. Works process alustaa määritetään tehtävät, jotka kyseisessä pisteessä tapahtuu ja useiden Works Process alustojen avulla voidaan simuloida kokonaisia tuotantoketjuja.

Haastavammat ohjelmointitavat vaativat jo koodaus osaamista, niiden avulla pystytään tarkemmin määrittelemään työsolujen toiminnot ja liittää simulaatioon Excel-tilukko, johon tarvittava tuotantodata pystytään syöttämään. Excelin avulla pystytään simulaatiosta ajamaan ulos myös loppuraportti, joka kertoo tarkat ajat työvaiheiden valmistumiselle.

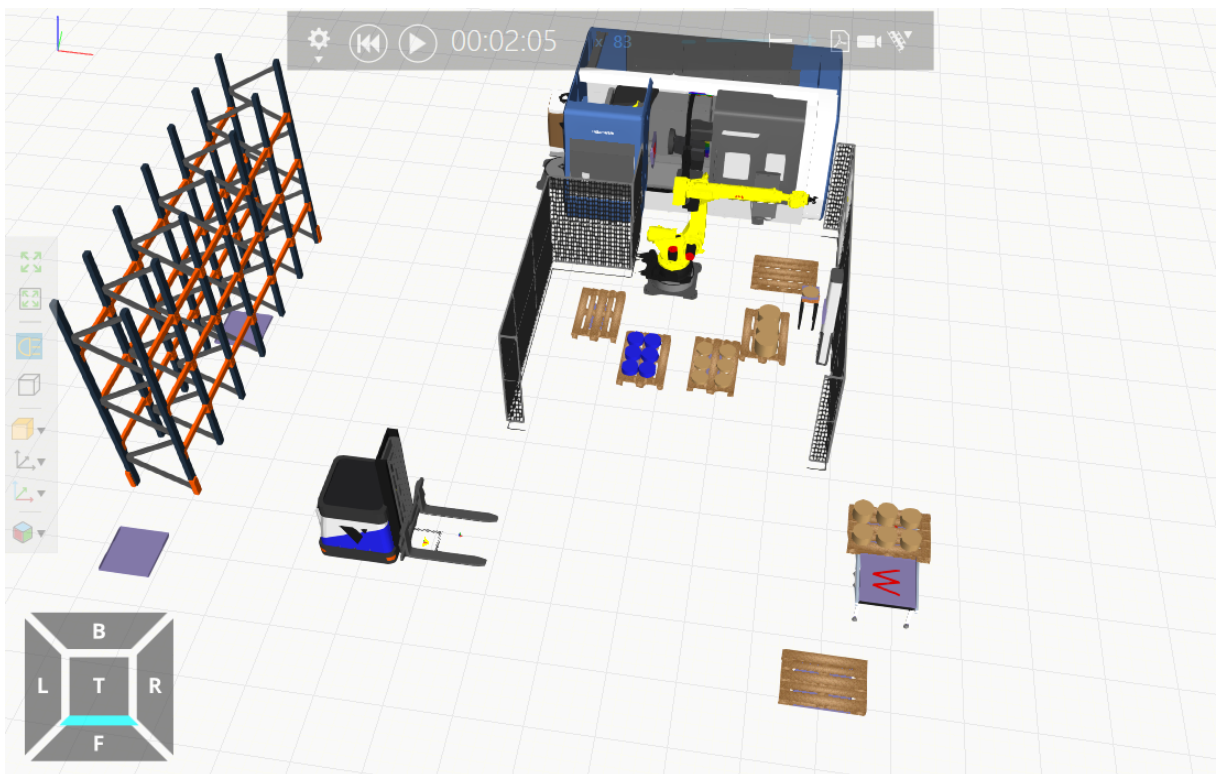
### 5.1 Works process

Tein työsolusta simulaation käyttäen Works process alustoja. Kyseisen simulaation ideana on havainnollistaa ja optimoida robotisoitua hammaspyörän sorvausprosessia. Hammaspyörän sorvauksessa on kaksi sorvaus vaihetta, koska kappaletta ei saada sorvauksen osalta valmiiksi yhdellä kiinnityksellä. Simulaatioissa on kaksitoista Works Process paikkaa, joilla jokaisella on omat käskynsä (Kuva 6.).

Toteuttamiseen on käytetty create, create pattern, merge, feed, need, loop ja erilaisia change käskyjä. Works process alustoja on jokaisessa paikassa, jonka kautta tavara kulkee tai jossa tehdään kappaleelle jokin toimenpide esimerkiksi sorvin pakassa, kääntöpöydällä ja

lavapaikoilla. Simulaatiossa oleva pöytä kuvastaa keskitys- ja kääntöpöytää ja pylväs sarjanumeron merkklaus laitetta. Simulaation työjärjestys on optimoitu mahdollisimman tehokkaaksi siten, että kun robotti asettaa kappaleen sorvauksen kakkosvaiheeseen, asettaa se seuraavan kappaleen kääntöpöydän päälle keskitettäväksi, keskittäminen tarvitaan, koska hammaspyörä prosessi tehdään magneettitarraimen ja konenäön avulla. Tällä tavalla saadaan hammaspyörän aihio mahdollisimman keskelle robotin tarrainta.

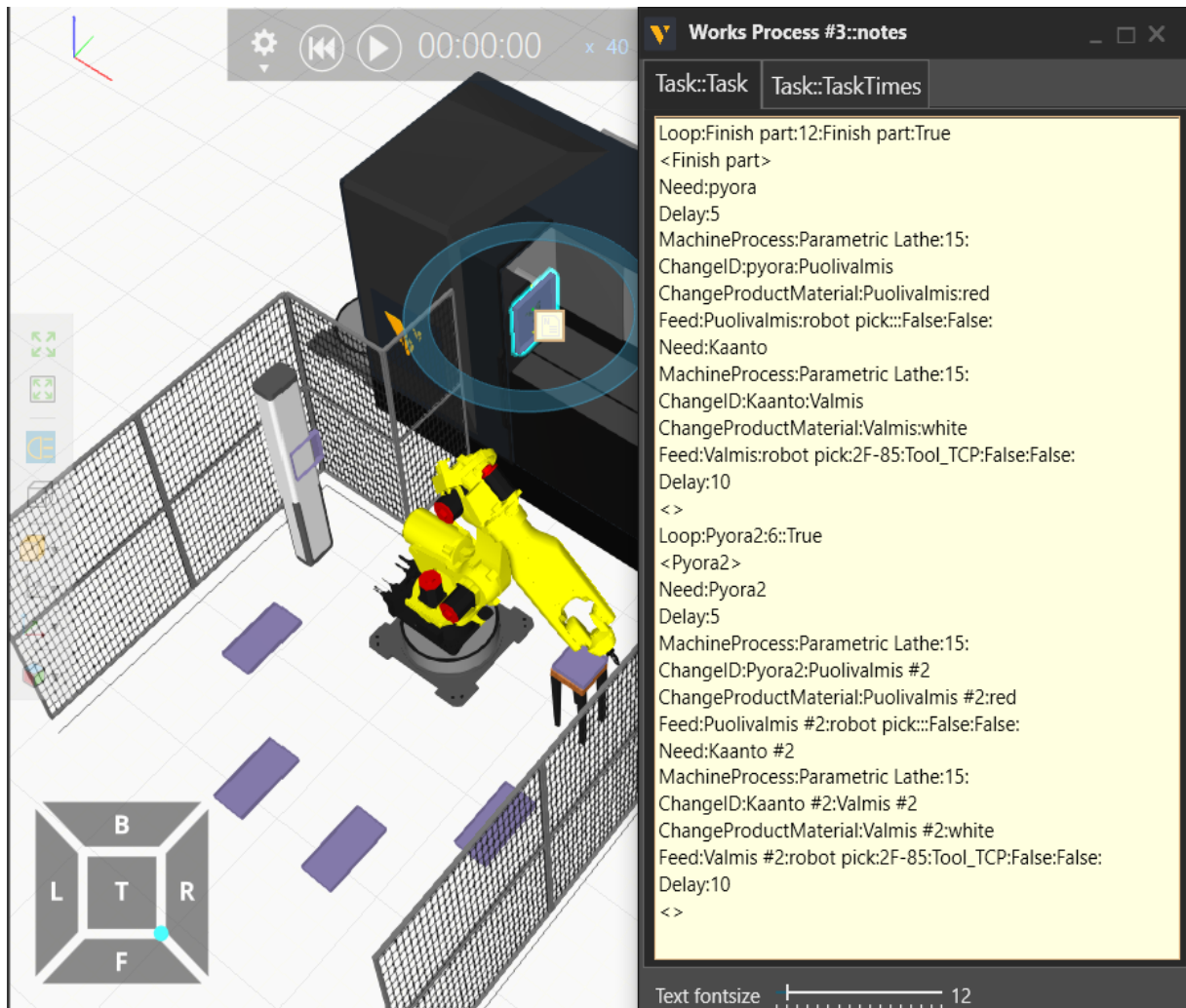
Kuva 6 Kevyesti ohjelmoitu simulaatio.



Create ja create pattern käskyillä luodaan simulaatiossa kiertävä tavara, tässä tapauksessa creatella luodaan kuormalavat ja create patternilla tietty muoto hammaspyöriä lavan päälle. Merge käskyllä liitetään aihiot kuormalavaan siten, että kun trukki hakee lavan tulevat myös aihiot mukana. Feed käskyllä tavara laitetaan liikkumaan works processista toiseen, feediin määritetään kappaleen nimi ja mikä työkalu tavaran hakee, tässä simulaatioissa vaihtoehtoina trukki ja robotin tarrain. Kohde works processissa on vastaavasti need-käsky samalle tavaralle, käsky tarvitsee tiedoksi tavaran nimen eli ID:n. ChangeID käskyllä voidaan

muuttaa nimikettä jolloin feed ja need käskyt eivät mene sekaisin, sillä jos monessa paikassa on need käskyä samalle nimikkeelle ei simulaatio toimi halutulla tavalla. ChangeMaterial käskyllä voi muuttaa kappaleen väriä, tässä simulaatiossa värit kuvastavat missä työvaiheessa kappale on menossa. Loop käskyllä voidaan toistaa tietyt koodirivit niin monta kertaa, kun on loop käskyyn määritetty (Kuva 7.).

Kuva 7 Works process käskyjä.



## 5.2 Excel-ohjaus

Toinen työ on Jetecon nimisen yrityksen ohjelmoima simulaatio. Se on toteutettu siten, että simulaation ohien on liitetty excel-tilukko, johon syötetään kappaleen ID, spesifikaatti, halkaisija, leveys ja paino. Lisäämällä nimikkeet ja sen tiedot taulukkoon ja tallentamalla

Visual Components luo kappaleet simulaatioon. Samassa taulukossa on eritelty kaikki tarvittavat työvaiheet ja kyseiseen taulukkoon syötetään myös kuhunkin työvaiheeseen kuluva aika. Kun simulaatio on ajettu loppuun, pystyy Visual Componentsista ajamaan Exceliin loppuraportin, joka erittelee tarkasti kuhunkin sarjaan käytetyn ajan.

### **5.2.1 Ohjausjärjestelmä**

Järjestelmä toimii siten, että Visual Componentsin sisään- ja ulostulo ohjaus komponenteille syötetään tiedostosijainnit, joista se lukee dataa ja myös kirjoittaa sitä loppuraportiksi simulaation päätyttyä. Ohjaus on todella kattava, sen avulla voidaan tarkkailla työsolun tehokkutta tarkasti. Ohjaukseen syötetään jokaisella hammaspyörän valmistuksen operaatiolle oma aika ja sen työvuoro toiminnolla voidaan, jopa tarkkailla operaattorin taukoajkojen vaikutusta solun toimintaan. Ohjauksen avulla voidaan myös määrittää mitä leukoja sorvissa käytetään ja mitä tarrainta robotti käyttää missäkin nimikkeessä.

### **5.2.2 Työkappaleiden ja prosessin määrittäminen**

Työjonon luominen tapahtuu Excel-ohjauks PPO nimisellä välilehdellä. Code-sarakkeeseen syötetään kappaleen ID numero ja Name-sarakkeeseen nimi. Tässä työssä nimet ja ID:t on tietosuoja syistä nimetty yksinkertaistetusti. Dimensions ja weight-osioihin syötetään kappaleen ulkomitat ja mahdollinen aihion reiän koko sekä paino. Tallennuksen jälkeen Visual Components luo aihiot 3D-ympäristöön.

Process osiossa on kohta Type jolla määritetään onko kappale hammaspyörä, akseli vai kansi eli HP, A vai K. Code kohta määrittää prosessin järjestyksen. Järjestyksiä on kolme A, B ja C. A-prosessi sorvaa ensimmäisen vaiheen, kääntää kappaleen kääntöpöydällä, tekee sarjanumeron merkkauksen ja vie valmiin kappaleen lavalle. B-prosessi sorvaa ensimmäisen vaiheen koko sarjasta ja vie ne lavalle, jonka jälkeen se sorvaa niistä toisen vaiheen ja tekee sarjanumero merkkauksen, tässä tavassa siis välilavaus. C-Prosessissa käytetään kaksi päistä tarrainta, tällä tavalla kappaleen vaihto on nopeaa, koska toinen kappale on jo tarraimessa valmiina, kun kappale irroitetaan koneesta, tällöin robotin ei tarvitse siirtyä hakemaan uutta

kappaletta, vaan se voi vaan tarrainpäätä kääntämällä asettaa uuden kappaleen leukoihin (Taulukko 1.).

Robot Grippers osion alla on OP-lukuja jotka ovat työvaiheita, OP-numeron alle syötetään tarraimen numero, jota työvaiheessa käytetään. Tässä tapauksessa kaikkiin nimikkeisiin kelpaa numero yksi eli magneettitarrain. Operation times kohta toimii samalla tavalla kuin edellä mainittu, mutta OP-numeron alle asetaankin operaatioon kuluva aika.

Taulukko 1 Leikkeitä Excel-ohjauksesta

Code	Active	PRODUCTS	DIMENSIONS			WEIGHT	PROCESS		LATHE FIXTURES	
			Name	length (mm)	ø (mm)		holes (mm)	blank (kg)	Type	Code
1	1	PIENI HAMMASPYÖRÄ	43	220	0	13	HP	A1	3	1
2	1	KESKIKOKOINEN HAMMASPYÖRÄ	55	285	0	28	HP	A1	3	1
3	1	KESKIKOKO HAMMASPYÖRÄ2	66	300	0	37	HP	A1	3	1
4	1	KESKIKOKO TAEPYÖRÄ	70	360	130	49	HP	A1	3	1
5	1	ISO HAMMASPYÖRÄ	85	450	0	110	HP	A1	3	1
6	1	ISO TAEPYÖRÄ	87	440	150	68	HP	A1	3	1
7	1	LAAKERIKANSI	40	340	230	15	HP	A1	3	1
8	0	AKSELI	401	110	0	30	A			

ROBOT Grippers										MAX PARTS PALLETS		OPERATION TIMES (s)																				
OP10	OP11	OP12	OP20	OP30	OP35	OP36	OP40	OP50	OP60	OP70	OP80	OP90	Blanks	Machined	OP0	OP1	OP2	OP3	OP10	OP11	OP12	OP20	OP30	OP35	OP36	OP40	OP50	OP60	OP70	OP80	OP90	OP100
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		3	3		300	300	300	10	15	5	210	5	15	5	147	5	15	10	10		120
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		3	3		300	300	3	10	15	5	250	5	15	5	220	5	15	10	10		120
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		10	10		300	300	300	10	15	5	420	5	15	5	272	5	15	10	10		120
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		20	20		300	300	300	10	15	5	300	5	15	5	205	5	15	10	10		10
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		20	20		300	300	300	10	15	5	906	5	15	5	508	5	15	10	10		120
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		20	20		300	300	300	10	15	5	420	5	15	5	341	5	15	10	10		120
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		3	3		300	300	300	10	15	5	354	5	15	5	276	5	15	10	10		120

Description	Operation	Phase	Description	Duration	Where	OP0	OP1
Washing	0	0	N/A				
Blanks & prepare	1	1	Operator	Fixed time, one	Beside cell's computer		
Jaws & tools	2	1	Operator	If needed, one	Inside lathe		
Robot setup	3	1	Operator	Fixed time, one	Beside cell's computer		
Identify & catch	10	1	Robot	Fixed time	On top of pallet		
Adjustment	11	1	Robot	Fixed time	Adjustment rack		
Clamping	12	1	Robot & lathe	Fixed time	Lathe's chuck		
Machining I	20	1	Lathe	Fixed time	Lathe's chuck		
Unloading	30	1	Robot	Fixed time	Lathe's chuck		
Repositioning (turn)	35	1	Robot	Fixed time	Adjustment rack		
Clamping	36	1	Robot & lathe	Fixed time	Lathe's chuck		
Machining II	40	2	Pms	Fixed time	Lathe's chuck		
Measuring	REMOVED						
Marking	REMOVED						
Deburring	REMOVED						
Unloading	50	1	Robot	Fixed time	Lathe's chuck	80	50
Repositioning (turn)	60	1	Robot	Fixed time	Adjustment rack	85	60
Marking	70	1	Robot	Fixed time	Marking unit	90	70
Positioning & release	80	1	Robot	Fixed time	On top of pallet	95	80
Finishing	90	1	Robot	Fixed time	Pallet	100	90
Inspection	100	1	Operator	Fixed time, one	Pallet	110	100

Hammaspyörän vaiheet	
Vaihe	Resurssi
Aihoiden haku + työn valmistelu	Operaattori
Leukojen vaihto + työkaluhuollot	Operaattori
Robotin ohjelmointi (soluohjain)	Operaattori
Aihion tunnistus & tarttuminen	Robotti
Siirto kohdistukseen	Robotti
Kohdistus	Robotti
Siirto leukoihin	Robotti
Koneistus 1	Sorvi
Siirto kääntöön	Robotti
Kääntö	Robotti
Siirto leukoihin	Robotti
Koneistus 2	Sorvi
Siirto lavalle	Robotti
Merkkäus (robotin toimesta)	Robotti
Valmiiden siirto varastoon	Operaattori

Process	Description
A	Gear wheel, turn between phases, lathe waits
B	Gear wheel, semfinished batch after 1. phase
C	Gear wheel, two pieces in gripper

### 5.2.3 Työjonon luonti

Excel-ohjauksessa on Lineup välilehti, johon syötetään Order kohtaan työkappaleen ID, Batch Size kohtaan erä koko, Loading station kohtaan numero 1 tai 2, joka määrittää mitä lava paikkaa käytetään. Lineupissa määritetään myös tarvitaanko sarjojen välissä leukojen vaihtoa tai robotin tarraimen vaihtoa. Tiedosto tallennetaan ja simulaatio ajaa Lineuppiin määritetyn työjonon (Taulukko 2.)

Taulukko 2 Työjono.

Nro	Order	Batch size	Loading station	OP1	OP3
[]	[id]	[pcs]	[1 2]	[Y N]	[Y N]
1	4	20	1	Y	N
2	3	10	2	Y	N
3	6	20	1	Y	N
4					

### 5.2.4 Muita ominaisuuksia

Excel ohjauksen Shifts-nimisellä välilehdellä on mahdollista luoda erilaisia työvuoroja. Siihen voidaan määrittää kaikkia ajat, jolloin koneen operaattori ei ole käytävissä. Tämä mahdollistaa sen, että pystytään huomiomaan se, jos operaattori on pois työsolun läheisyydestä silloin, kun työsolu vaatisi jotakin ihmisen tekemää toimenpidettä (Taulukko 3.). Tällaisissa tilanteissa työsolu jää odottamaan operaattorin paluuta, vaikka lounaalta. Tämän työn tutkimuksia ei ole käytetty tätä ominaisuutta. Olettaen että operaattori on paikalla tarvittavien toimenpiteiden aikaan.

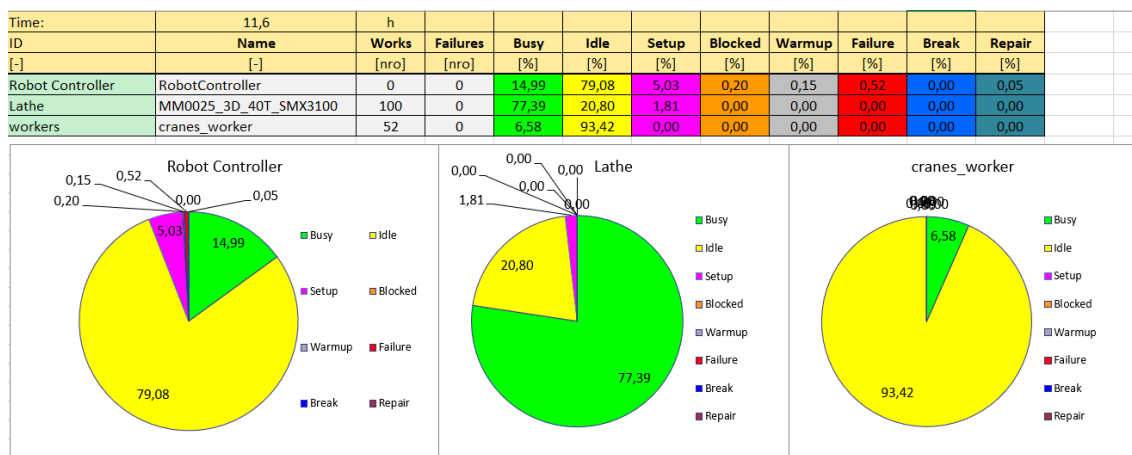


Taulukko 3 Työvuorot määrittävä taulukko.

Shifts				ID:	Break	Start - End
Date	Puma			[nro]	[name]	[h.m]
[day.month.year]	[ID]					
8.10.2021	1			0	Outside working hours	0:00-24:00
9.10.2021	2					
10.10.2021	2			1	Outside working hours	0:00-0:00
11.10.2021	2			1	Coffee	16:00-16:15
12.10.2021	2			1	Lunch	16:50-17:00
13.10.2021	2			1	Coffee	18:00-18:15
14.10.2021	2			1	End of shift	20:30-24:00
15.10.2021	2					
16.10.2021	2			2	Outside working hours	0:00-0:00
17.10.2021	2			2	Coffee	02:00-02:15
18.10.2021	2			2	Lunch	04:00-04:30
19.10.2021	2			2	Coffee	06:00-06:15
20.10.2021	2			2	Coffee	10:00-10:15
21.10.2021	2			2	Dinner	12:00-12:30
22.10.2021	2			2	Coffee	14:00-14:15
23.10.2021	2			2	End of shift	16:00-24:00
24.10.2021	2					

Loppu raportin lisäksi Excel-ohjauksen Utils-välilehdeltä simulaatiosta saadaan ulos ympyrädiagrammit, joissa ilmenee selkeästi kuinka paljon aikaa mihinkin vaiheisiin on käytetty prosentuaalisesti. Se erittelee esimerkiksi taukojen, vikojen ja korjaustöiden vaikutusta tuottavuuteen (Taulukko 4)

Taulukko 4 Simulaation päätyttyä tuleva yhteenveto ja sen grafiikkoja.



## 6 Työsolu

Työsolu johon robottia ollaan hankkimassa on sorvaussolu (Kuva 8.), joka on ihmisen käyttämänä toiminut yhdessä ja joskus kahdessa vuorossa. Sarjakoot ovat melko pieniä 1-25 kappaletta, mutta suurin osa työkuormasta koostuu muutamasta yleisimmästä hammaspyöränimikkeestä jolloin robottia käyttäessä samanlaisia tai samankaltaisia hammaspyöriä voitaisiin työjärjestystä optimoimalla ajaa isompia määriä putkeen. Työsolun robotisointi toisi työsoluun lisää kapasiteettia, joten voidaan miettiä voisiko robotin lisäämän kapasiteetin ajalla sorvata vaikka laakerikansia.

Kuva 8 Työsolu, jota opinnäytetyö käsittelee.



## 6.1 Työstökone

Työstökone on 2018 vaihdetehtaalle toimitettu Doosan SMX 3100-sorvi (Kuva 9.), jossa on Fanuc 31i-T NC-ohjaus. Koneessa on yksi sorvauskara, jonka lisäksi siinä on Capto C6 B-akseli sorvaus/jyrsintä kara sekä kärkipylkkä. Kone on ostettu robottivalmiudella. Koneen suurin sorvauspituus on 1540 mm ja suurin halkaisija 660 mm. Pääkaran istukka on 315 mm ja sen maksimi pyörimis nopeus on 3000 1/min. (Doosan Machine Tools, n.d-a)

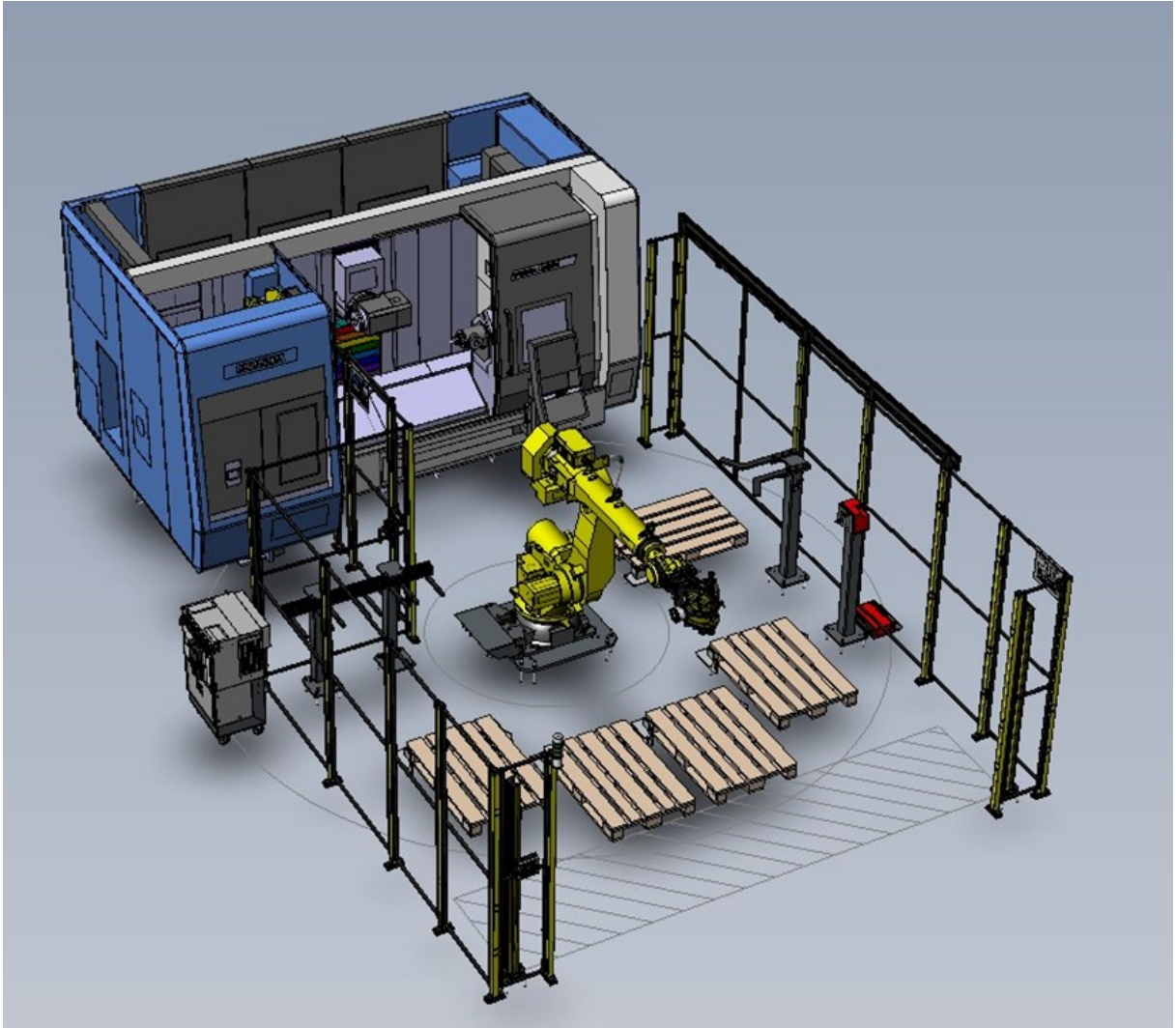
Kuva 9 Doosan SMX 3100-sorvi (Doosan Machine Tools n.d-b)



## 6.2 Robottisolu

Robottisolun simulaatioissa on käytetty MTC Flextekin suunnittelemaa esimerkki layouattia. Se sisältää sorvin varusteineen, robotin, kappaleenkäntöpöydän, sarjanumeron merkkauklaitteen, robotin tarrain telineen ja viisi lavapaikkaa, joista yksi on liukuoven takana mahdollistaen robotin manuaalikäytön, kun ovi on auki (Kuva 10.).

Kuva 10 Ehdotetun layoutin STEP-malli.



### 6.2.1 Robotti

Robotiksi ehdotettiin Fanucin R-2000iC/210L teollisuusrobotia (Kuva 11.). Robotti pystyy nostamaan 210 kg 3100 mm säteellä sen keskipisteestä. Robotissa on kuusi liikkuvaa akselia ja on kykeneväinen asennus, hitsaus, koneistus ja pakkaus prosesseihin. (Fanuc, 2021-a)

Kuva 11 R-2000 sarjan Fanuc teollisuusrobotti (Fancu, 2021-b)



R-2000 sarjan robotit ovat Fanucin menestyneimpiä robotteja. Niitä on 100-270 kg nostavia malleja ja ne kykenevät käyttämään lähes mitä tahansa tarraimia ja robottihitsausvälineitä hyvällä nopeudella ja tehokkuudella. Robottiin on saatavilla konenäkö ja tarraimia kaikkiin tarpeisiin. Pienen tilan käytön ja helppojen asetusten vuoksi R-2000 robotteja pidetään erinomaisina etenkin pistehitsausrobotteina. Ne ovat myös suojattavissa nesteiltä ja pölyltä erillisillä suojilla.

## 7 Vaikutus tuotantoon

Robottisolun vaikutusta tuotantoon tutkittiin kahdella eri simulaatiolla, taulukossa nimellä "Simulaatio1(raskas)" on excel ohjattu isompaa työtä vaatinut simulaatio ja "Simulaatio2(kevyt)" nimellä on itse Visual componentsin works processien avulla noin viikossa tehty simulaatio. Tutkimuksessa käytettiin kolmea yleisimpiin

hammaspyöränimikkeisiin kuuluvia kappaleita. Siinä verrataan routing aikaa eli tuotannonohjausjärjestelmästä haettua tavoite aikaa ilman robottia näihin kahteen robotilla varustettuun simulaatioon.

Työjono sisältää 20 kpl keskikokoisia tae-pyöriä 10 kpl keskikokoisia umpiaihio-pyöriä ja 20kpl isoja taepyöriä. Tae-pyörässä on muotoon taottu aihio, joka tarkoittaa että siitä ei tarvitse sorvata päälipintoja koko matkalta ja siinä on valmiiksi lähes oikeankokoinen reikä, jota ei tarvitse sorvata umpiaineeseen, vaan se tarvitsee sorvata vähemmällä lastulla oikeaan mittaan. Täten Tae-pyörän lastuamis aika on lähes puolet pienempi kuin vastaavan kokoisen umpiaihio-pyörän.

### **7.1 Aikojen vertailut**

Routing ajoista yhteen laskettuna tämän työjonon valmistamiseen menisi nykytilanteessa ilman robottia 26,82 tuntia, kun taas raskas simulaation antaa ajaksi 11,56 tuntia ja kevyt simulaatio 10,09 tuntia. Raskaan simulaation mukaan työsolu olisi robotisoituna 232% tehokkaampi, kun taas kevyen simulaation mukaan 266% tehokkaampi. Simulaatioiden välinen ero johtuu siitä, kun raskaassa simulaatiossa on huomioitu ja eritelty asetus-, mittaus- ja sarjanumeron merkkkaus ajat ja muut solun tehokkuuteen vaikuttavat ajat tarkasti. Kevyeen simulaatioon on ohjelmoitu ainoastaan koneajat ja vakio 10 minuutin asetus aika jokaisen sarjan alkuun. Myös raskaassa simulaatiossa on käytetty tässä tapauksessa samaa 10 minuutin asetus aikaa (Taulukko 5.).

Taulukko 5 vertailussa simulaatiot ja routing-ajat.

Date	Clock	SimTime	Product	ID	Process	Order	BatchSize	Event
[d:m:y]	[h:m:s]	[h]	[-]	[code]	[A,B,C]	[nro]	[pcs]	[-]
8.10.2021	0.13.50	0,23	KESKIKOK TAEPYORA	4	A1	1	20	BEGIN
8.10.2021	1.13.50	3,96	KESKIKOK TAEPYORA	4	A1	1	20	END
8.10.2021	2.13.50	4,06	KESKIKOK HAMMASPYORA2	3	A1	2	10	BEGIN
8.10.2021	3.13.50	6,43	KESKIKOK HAMMASPYORA2	3	A1	2	10	END
8.10.2021	4.13.50	6,54	ISO TAEPYORA	6	A1	3	20	BEGIN
8.10.2021	5.13.50	11,56	ISO TAEPYORA	6	A1	3	20	END
Nimike		Asetus Routing (sarjan alussa)		Valmistus Routing (per kpl)		Kpl Maara		Yhteensa
KESKIKOKOINEN TAEPYORA		0.2	0.3				20	6.2h
KESKIKOKOINEN HAMMASPYORA		0.18	0.331				10	3.49h
ISO TAEPYORA		0.33	0.84				20	17,13h
								26,82h
Valmistusajan mittaustapa.		Koko Työjonoon käytetty aika(h)		Tuottavuus verraten routing aikaan(%)				
Routing tunnit (tämän hetkinen tavoite ilman robottia)		26.82		100 %				
Simulaatio1(raskas)		11,56		232 %				
Simulaatio2(kevyt)		10,09		266 %				

Visual componentsista raskaassa simulaatiossa tulee myös Exceliin Summary välilehdelle yksinkertaistettu yhteenveto. Siitä selviää simulaatio aika joka on 11,56 tunita, koneen käyttöaste, joka on tällä työjonolla 77,39% ja robotin käyttöaste joka on 14,99%. Siitä selviää myös se, kuinka pitkä matka ja aika operaattorin täytyy kulkea suorittaakseen kaikki tehtävänsä. Tässä tapauksessa operaattori kulkee 540metriä ja käyttää siihen 11,32min. Yhteenvedossa selviää myös eritellysti, kuinka monta minkäkin tyyppistä osaa on valmistunut ja kuinka monella eri lavalla aihiot on tuotu (Taulukko 6.).

Taulukko 6 Yhteenveto simulaation päätyttyä.

<b>SIMULATION RUN SUMMARY</b>		
Simulation Time	11,57	h
Simulation Start Time	Fri Oct 29 08:25:24 2021	
Simulation End Time	Fri Oct 29 08:25:40 2021	
Simulation Factor	2 508,88	
Simulator Software Name	Visual Components Essentials 4.2	
Simulator Software Version	4.2.2	
Author	[REDACTED], Jetecon Oy	
Customer	Konecranes Oy	
Study	Maching Tending	
Model Name	Malli26.10.2021.vcmx	
<b>IN PRODUCTION</b>		
Gear Weels	50	[pcs]
Covers	0	[pcs]
Interm Shafts	0	[pcs]
Pallets	3	[pcs]
<b>RESOURCES</b>		
Robot Utilization:	14,99	%
CNC Utilization:	77,39	%
WORKER Moving Dist:	540,19	m
WORKER Moving Time:	11,32	min

## 7.2 Sarjakoona vaikutus

Tuottiin myös miten sarjakoona tuplaaminen vaikuttaa tuottavuuteen. Tässä verrataan raskaampaa simulaatiota taas routing-aikoihin. Simulaation perusteella sarjakoona nostamisella ei ole suoraan isoa vaikutusta tuottavuuteen. Tässä on kuitenkin mahdollisuus jättää robottisolu hoitamaan lähes kokonainen työvuoro miehittämättömälle ajolle.

Simulaation mukaan tuplatuun sadan hammaspyörän työjonoon kuluu aikaa 22,77 tuntia ja tuotannonohjausjärjestelmästä haettu routing aika on 52,93 tuntia. Tuottavuus verraten routing aikaan on tällöin 232,5% (Taulukko 7). Mikäli työsolu pyörisi normaalissa tilanteessa



kahdessa vuorossa eli yhteensä 16 tuntia vuorokaudessa, menisi routing aikojen mukaan töiden tekemiseen 3,3 työpäivää. Robotisoidulla työsolulla samalla vuorojärjestelyllä kyseinen työjono voitaisiin ajaa jopa yhdessä työpäivässä. Tämä edellyttää sen, että koneeseen tehdään iltavuoron päätteeksi sellaiset asetukset, että se pystyy jäädä ajamaan yksi miehittämättömänä loput isoista tae pyöristä. Tämä vaatii esimerkiksi sen, että revolverissa on riittävästi ehjiä teräpaloja.

Taulukko 7 Raskas simulaatio verrattuna routing aikoihin puolet suuremmalla sarjakoolla.

Date	Clock	SimTime	Product	ID	Process	Order	BatchSize	Event																																								
[d:m:y]	[h:m:s]	[h]	[-]	[code]	[A,B,C]	[nro]	[pcs]	[-]																																								
8.10.2021	0.13.50	0,23	KESKIKOK TAEPYORA	4	A1	1	20	BEGIN																																								
8.10.2021	3.57.19	3,96	KESKIKOK TAEPYORA	4	A1	1	20	END																																								
8.10.2021	3.58.57	3,98	KESKIKOK TAEPYORA	4	A1	2	20	BEGIN																																								
8.10.2021	7.42.36	7,71	KESKIKOK TAEPYORA	4	A1	2	20	END																																								
8.10.2021	7.49.10	7,82	KESKIKOK HAMMASPYORA2	3	A1	3	10	BEGIN																																								
8.10.2021	10.10.46	10,18	KESKIKOK HAMMASPYORA2	3	A1	3	10	END																																								
8.10.2021	10.12.24	10,21	KESKIKOK HAMMASPYORA2	3	A1	4	10	BEGIN																																								
8.10.2021	12:34:04	12,57	KESKIKOK HAMMASPYORA2	3	A1	4	10	END																																								
8.10.2021	12:40:39	12,68	ISO TAEPYORA	6	A1	5	20	BEGIN																																								
8.10.2021	17:41:51	17,7	ISO TAEPYORA	6	A1	5	20	END																																								
8.10.2021	17:44:01	17,73	ISO TAEPYORA	6	A1	6	20	BEGIN																																								
8.10.2021	22:45:22	22,76	ISO TAEPYORA	6	A1	6	20	END																																								
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Nimike</th> <th>Asetus Routing (sarjan alussa)</th> <th>Valmistus Routing (per kpl)</th> <th>Kpl Määrä</th> <th>Yhteensä</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>KESKIKOKOINEN TAEPYORA</td> <td>0.2</td> <td>0.3</td> <td>40</td> <td>12.2h</td> </tr> <tr> <td>KESKIKOKOINEN HAMMASPYORA</td> <td>0.18</td> <td>0.331</td> <td>20</td> <td>6.8h</td> </tr> <tr> <td>ISO TAEPYORA</td> <td>0.33</td> <td>0.84</td> <td>40</td> <td>33.93h</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>52.93h</td> </tr> <tr> <td colspan="5">Valmistusajan mittaustapa. Koko Työjonoon käytetty aika(h) Tuottavuus verraten routing aikaan(%)</td> </tr> <tr> <td>Routing tunnit (tämän hetkinen tavoite ilman robottia)</td> <td>52.93</td> <td></td> <td>100 %</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Simulaatio1(raskas)</td> <td>22.76</td> <td></td> <td>232.5%</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>									Nimike	Asetus Routing (sarjan alussa)	Valmistus Routing (per kpl)	Kpl Määrä	Yhteensä	KESKIKOKOINEN TAEPYORA	0.2	0.3	40	12.2h	KESKIKOKOINEN HAMMASPYORA	0.18	0.331	20	6.8h	ISO TAEPYORA	0.33	0.84	40	33.93h					52.93h	Valmistusajan mittaustapa. Koko Työjonoon käytetty aika(h) Tuottavuus verraten routing aikaan(%)					Routing tunnit (tämän hetkinen tavoite ilman robottia)	52.93		100 %		Simulaatio1(raskas)	22.76		232.5%	
Nimike	Asetus Routing (sarjan alussa)	Valmistus Routing (per kpl)	Kpl Määrä	Yhteensä																																												
KESKIKOKOINEN TAEPYORA	0.2	0.3	40	12.2h																																												
KESKIKOKOINEN HAMMASPYORA	0.18	0.331	20	6.8h																																												
ISO TAEPYORA	0.33	0.84	40	33.93h																																												
				52.93h																																												
Valmistusajan mittaustapa. Koko Työjonoon käytetty aika(h) Tuottavuus verraten routing aikaan(%)																																																
Routing tunnit (tämän hetkinen tavoite ilman robottia)	52.93		100 %																																													
Simulaatio1(raskas)	22.76		232.5%																																													

Summary välilehdelle tulleessa raportissa on sorvin käyttöasteena 78,65% ja robotin 15,25%. Puolet pienempään sarjakokoon verraten sorvin käyttöaste nousee vain yhden prosentin ja robotin 0,25%. Operaattoreiden täytyy nämä tehtävät suorittaakseen liikkua 1072 metriä ja käyttää siihen aikaa 22,46 minuuttia (Taulukko 8.). Aika ja matka voisivat olla lyhyemmätkin,

koska lavoille voisi pienempiä hammaspyöriä tehdessä laittaa enemmän aihioita, jolloin lavaa ei tarvitsisi vaihtaa niin usein.

Taulukko 8 Suurennetun sarjakoona yhteenveto.

<b>SIMULATION RUN SUMMARY</b>		
Simulation Time	22,77	h
Simulation Start Time	Tue Nov 2 08:56:22 2021	
Simulation End Time	Tue Nov 2 08:57:14 2021	
Simulation Factor	1 576,95	
Simulator Software Name	Visual Components Essentials 4.2	
Simulator Software Version	4.2.2	
Author	[REDACTED], Jetecon Oy	
Customer	Konecranes Oy	
Study	Maching Tending	
Model Name	Malli26.10.2021.vcmx	
<b>IN PRODUCTION</b>		
Gear Weels	100	[pcs]
Covers	0	[pcs]
Interm Shafts	0	[pcs]
Pallets	6	[pcs]
<b>RESOURCES</b>		
Robot Utilization:	15,25	%
CNC Utilization:	78,65	%
WORKER Moving Dist:	1 072,11	m
WORKER Moving Time:	22,46	min

### 7.3 Ongelmakohtat

Ongelmakohtaksi osoittautui käytössä oleva data kokonaisuudessaan. Lastuamisajat ovat peräisin WinCam ohjelmiston työstöratojen simuloinnista. WinCam ei simuloi realistisia aikoja ihan kaikista sorvin tekemistä työvaiheista vaan oikoo aikoja lyhyemmiksi esimerkiksi

poraamisen osalta. Tämä aiheuttaa sen, että simulaatioon ajatut koneajat ovat tehokkaampia kun todellisuudessa ja simulaatiosta tulee todellista tehokkaampi.

Osa routing-ajoista ovat myös virheellisiä suuntaan tai toiseen, se ei suoranaisesti vaikuta simulaatioon, koska routing-aikaan sisältyy lastuamis aika ja kappaleen vaihto, mutta se tekee Simulaatio ja routing aikojen vertailusta eli koko lopputuloksesta epäluotettavamman.

Kaikkia mahdollisia työsolun tehokkuuteen vaikuttavia tekijöitä esimerkiksi työstökoneeseen tuleva häiriö tai vaikka teräpalan rikkoutuminen ei myöskään pystytä ennakoimaan simulaation avulla.

## **8 Yhteenveto ja johtopäätökset**

Työn lopputuloksena syntyi suuntaa antavia vertailuita simulaation ja todellisuuden välillä, mutta samassa paljastui myös tuotannon ohjausjärjestelmässä olevia virheellisiä aikoja. Simulaatiolla pystyttiin hyvin havainnollistamaan sarjakoon vaikutusta robotisoidussa työsolussa. Suuremman sarjakoon kanssa vaaditaan paljon vähemmän operaattorin välitöntä läsnäoloa ja tehokkuuskin nousee huomattavasti.

Simulaatioiden tekeminen oli kuitenkin todella työlästä, verraten siihen kuinka yksinkertaista prosessia sillä tutkittiin. Kyseessä on kuitenkin sorvi, jossa sorvataan pyöreitä hammaspyörä aihioita. Lähes sama lopputulos oltaisiin voitu saada vain tutkimalla sorvin koneaikoja ja kappaleenvaihto aikoja, selvittää suuntaa antava robotin kappaleenvaihto aika ja kappaleenvaihto aikojen erotuksella selvittää robottisolun tehokkuus verrattuna ihmisen käyttämään sorviin.

Simulaatio voisi olla enemmän hyödyksi, jos oltaisiin hankkimassa uutta kokonaista robotisoitua työsolua tai tuotantolinjaa, josta ei olisi valmiiksi mitään dataa esim kone- ja asetusajoja ja siinä tehtäisiin mahdollisesti jotain uutta tuotetta, jota ei ole tehtaalla ennen tehty. Tällaisessa tilanteessa simulaatiolla pystyttäisiin etukäteen havainnollistamaan miten jokin tietty solu tai linja toimisi ja pystyisi jo vähän päättelemään olisiko se kannattava.

## Lähteet

ABB. (n.d). *Robot studio*. <https://new.abb.com/products/robotics/robotstudio>

.

Doosan Machine Tools. (n.d-a). <https://www.doosanmachinetools.us/turning-centers/multifunction-mill-turn-center/puma-smx#!>

Doosan Machine Tools. (n.d-b). (kuva) <https://www.doosanmachinetools.us/turning-centers/multifunction-mill-turn-center/puma-smx#!>

Fanuc. (2021-a). *R-2000*. <https://www.fanucamerica.com/products/robots/series/r-2000/r-2000ic-210l>

Fanuc. (2021-b). *R-2000*.(kuva) <https://www.fanucamerica.com/products/robots/series/r-2000/r-2000ic-210l>

Groover, M. (2016). *Automation, production systems, and computer-integrated manufacturing*. Harlow: Pearson.

Groover, M. (2016). Rannemekanismien rakenne. [kuva]. *Automation, production systems, and computer-integrated manufacturing*. Harlow: Pearson.

Groover, M. (2016). Robotin rakenne varsien ja nivelten osalta. [kuva]. *Automation, production systems, and computer-integrated manufacturing*. Harlow: Pearson.

Groover, M. (2016). 12 Robotin liitostyyppit havainnollistettuna. [kuva]. *Automation, production systems, and computer-integrated manufacturing*. Harlow: Pearson.

Jetecon. (2021). *Simulaatio*. a <https://jetecon.fi/ratkaisut/simulointi/>

Konecranes. (2021-b). *History*. <https://www.konecranes.com/about/history>

Konecranes. (2021-c). *Investor presentation*. <https://konecranes.prod-mid-euw3.investis.com/sites/default/files/IR%20presentation/Konecranes%20Investor%20presentation%20-%20Q2%202021.pdf>

Konecranes. (2021-a). *Tietoa*. [konecranes.com/fi/tietoa](https://www.konecranes.com/fi/tietoa)

Real Games. (n.d-a). *Factory I/O*. <https://docs.factoryio.com/>

Real Games. (n.d-b). *Factory (kuva) I/O*. <https://docs.factoryio.com/>

Real Games. (n.d-c). *Home I/O*. <https://realgames.co/home-io/>

Siemens. (n.d). *Simulation*.

<https://www.plm.automation.siemens.com/global/en/products/manufacturing-planning/robotics-automation-simulation.html>

Universal robots. (06. 09 2019). *Robot grippers explained*. Noudettu osoitteesta

<https://www.universal-robots.com/blog/robot-grippers-explained/>

Visual Components. (n.d). *Products*. <https://www.visualcomponents.com/products/>



