

Ari-Pekka Hyttinen

Kokoonpanon kehittäminen simuloinnin avulla

Opinnäytetyö

Tekniikan ammattikorkeakoulututkinto

Prosessi- ja materiaalitekniikan koulutus

2021



**Kaakkois-Suomen
ammattikorkeakoulu**

Tutkintonimike	Insinööri (AMK)
Tekijä/Tekijät	Ari-Pekka Hyttinen
Työn nimi	Kokoonpanon kehittäminen simuloinnin avulla
Toimeksiantaja	Plastep oy
Vuosi	2021
Sivut	42 sivua, liitteitä 0 sivua
Työn ohjaaja(t)	Mikko Hokkanen

TIIVISTELMÄ

Tämän opinnäytetyön aiheena oli kokoonpanopisteen kehittäminen simuloinnin avulla. Työn tilaaja, Plastep Oy, halusi selvittää tehokkaampia tapoja kokoonpanotyölle sekä kustannuksiin, että aikaan. Tässä työssä tehostamisen mahdollisuutta selvitettiin simuloimalla uusia layoutteja työpisteelle. Tehokkuutta tavoiteltiin soveltamalla Lean-ajattelua.

Opinnäytetyön toteutukseen käytettiin Visual Components ohjelmaa, saman ohjelman virtuaaliodellisuustoimintoa Experienceä ja Solidworks 3d ohjelmaa. Ainoastaan Solidworks oli entuudestaan tuttu ohjelma. Työn tekeminen alkoi siis käytettävän ohjelman opettelulla. Opettelun osana mallinnettiin lähtötilanne vertailupohjaksi esitettävälle parannusehdotuksille. Omia esityksiä valmistui kypsäksi asti 5 mallia. Simuloimalla saadut tiedot kerättiin vertailutaulukkoon.

Saatua taulukkoa tutkittaessa käy ilmi eri versioiden tehokkuus alkuperäiseen verrattaessa. Kaksi suunnitelluista malleista tehtiin kahdelle työntekijälle ja kolme yhdelle työntekijälle. Kahden työntekijän mallit olivat alkutilannetta hie- man nopeampia ja kustannustehokkaampia. Yhden työntekijän mallit olivat al- kutilannetta hitaampia, mutta kustannuksiltaan huomattavasti edullisempia vaihtoehtoja.

Suunnittelu tehtiin analysoimalla lähtötilannetta ja pyrkimällä mahdollisimman tiiviiseen työpisteeseen. Eri variaatiot simuloitiin ja niistä kerättiin kokoonpa- noajan ja kustannusten suhteelliset tehokkuusluvut. Yksi yhden työntekijän malleista monistettuna kahteen tai useampaan työpisteeseen on selkeästi pa- ras esitetyistä malleista. Asiakkaan päätettäväksi jää esitettyjen tulosten mu- kaisten työpisteiden käyttöönotto ja jatkokehitys.

Asiasanat: Simulointi, kokoonpano, opinnäytetyö, suunnittelu

Degree	Bachelor of Engineering
Author (authors)	Ari-Pekka Hyttinen
Thesis title	simulation approach to the development of an assembly system
Commissioned by	Plastep Oy
Time	2021
Pages	42 pages, 0 pages of appendices
Supervisor	Mikko Hokkanen

ABSTRACT

The objective of this thesis was to improve an assembly point using simulation. The commissioner Plastep Oy wanted to find out if the current assembly could be made more efficient both in terms of time and operating cost. This increase in effectiveness was sought by utilizing Lean thinking.

The work was done using the Visual components program, its virtual reality component Experience and Solidworks 3d software. I was only familiar with solidworks so the work was started by learning to use the Visual Components software. As part of the learning process the current assembly was simulated for use as a comparison point. 5 different layouts were designed.

The different versions were simulated, and the acquired data compiled to a table. Two of the new designs were for two people and three were for one person. The two person designs were slightly faster and more cost-effective than the original. The one person designs were a bit slower but much more cost-effective when compared to the original layout

The designs were produced by analyzing the original layout and striving for a more compact design. One of the one person designs copied to two or more workbenches is clearly the most effective system. It is left up to the commissioner to perform the implementation and improvement of the presented designs.

Keywords: simulation, assembly, thesis, design

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	5
2	TEORIA JA MENETELMÄT.....	6
2.1	Lean-ajattelu ja sen soveltaminen	6
2.2	5s.....	7
2.2.1	Seiri – sorteeraus.....	7
2.2.2	Seiton – systematisointi	7
2.2.3	Seiso – siivous.....	7
2.2.4	Seiketsu – standardoi	8
2.2.5	Shitsuke - seuranta.....	8
2.3	Plan–Do–Check–Act-metodi.....	8
2.4	Spagetti-kaavio.....	9
2.5	Kokoonpanon/tuotannon simulointia ja Teoriaa	11
2.5.1	Simuloinnin perusteet	11
2.5.2	Simulointi prosessina	11
2.5.3	Visual Components.....	14
3	TULOKSET = RESULTS	15
3.1	Lähtötilanteen kartoitus ja simulointi	15
3.2	Ensimmäiset esitykset	20
3.3	Valitun esityksen simulointi ja päivitys	33
3.4	Visual components experience	36
4	JOHTOPÄÄTÖKSET JA POHDINTA	40
	LÄHTEET	42

1 JOHDANTO

Opinnäytetyön aiheena ja tarkoituksena on simuloinnin avulla selvittää, onko toimeksiantajan erään tuotteen kokoonpanopistettä mahdollista kehittää tehokkaammaksi. Parempaa tehokkuutta tavoiteltiin soveltamalla Lean-ajattelua kokoonpanopisteen suunnittelussa. Simulointi tehtiin Visual Components ohjelmalla hyödyntäen Solidworks 3d -ohjelmalla tehtyjä CAD-tiedostoja.

Opinnäytetyö tehtiin osana Etelä-Savon maakuntaliiton Euroopan aluekehitysrahosta rahoittamaa ja Mikkelin kehitysyritys Miksei Oy:n sekä Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulun toteuttamaa hanketta ”Kiertotalous ja kehittyvien yritysten uudet liiketoimintamallit 2020-luvun alustataloudessa”. Yhtenä hankkeen tavoitteista on tuoda simulointityökaluja yritysten käyttöön ja osoittaa niillä saavutettavia hyötyjä yritysten kilpailukykyyn kehittämiseksi.

Toimeksiantajana työlle on Kuortissa sijaitseva Plastep Oy. 2001 perustettu yritys on erikoistunut muovituotantoon, niin alihankintana yhteistyökumppaneille kuin oman Palaset-sarjan tuotantoon. Asiakasyritys katsoi aiheelliseksi tutkia, onko organisaatiosta muodostunut nykyinen työpiste paras toimintamalli kyseisen tuotteen kokoonpanossa.

Toisessa luvussa tarkastellaan työn kannalta oleellista teoriaa Lean-ajattelusta ja jatkuvan kehittämisen metodista sekä kokoonpanon ja simuloinnin teoriaa. Samassa luvussa tutustutaan myös ohjelmaan, jolla simulointi tehtiin. Kolmannessa luvussa käydään läpi kokoonpanon alkutilanne, simuloitavat mallit ja ajatukset mallien taustalla sekä tutustutaan käytetyn simulointiohjelman virtuaaliodellisuusominaisuuteen. Neljännessä luvussa kerrotaan saadut tulokset ja pohditaan saadun tiedon järkevää käyttöä tulevaisuudessa

2 TEORIA JA MENETELMÄT

2.1 Lean-ajattelu ja sen soveltaminen

Lean käsitteenä tuli länsimaihin 80-luvun lopulla MIT:n (Massachusetts Institute of Technology) tekemän maailmanlaajuisen, autoteollisuuden tehokkuuteen ja tuottavuuteen keskittyvän tutkimuksen kautta. Tutkimuksessa havaittiin japanilaisten autotehtaiden toimivan tehokkaammin kuin länsimaisten kilpailijoiden. Lean-ajattelu on sittemmin levinnyt autoteollisuudesta lähes kaikkialle, myös teollisuuden ulkopuolelle. (Kouri 2010a.)

Ajattelumallissa tuottavuuden parannus pohjautuu erilaisten hukkien havaitsemiseen ja poistamiseen. Hukkia on lähteistä riippuen seitsemän (Earley 2015) tai kahdeksan (Skhmot 2017), erona onko työtätekevien ihmisten hyödyntämätön mahdollinen potentiaali laskettu omaksi kohdakseen.

Hukat ovat:

1. Ylituotanto, kun tuotetta tehdään enemmän kuin on tarpeellista. Johtaa tarpeettomiin varastointeihin, jotka sitovat tilaa ja raaka-ainetta.
2. Odottelu ja joutoaika, pitää sisällään materiaalien tai työntekijöiden odottamisen sekä ajan, jolloin koneet eivät käy.
3. Tarpeeton materiaalien, työkalujen tai tuotteiden kuljettelu. Turha siirtäminen ei tuota arvoa tuotteelle ja kuluttaa turhaa aikaa
4. Tuotteen tai osan ylikäsittely. Työ, joka ei asiakkaan näkökulmasta ole tarpeellista tai tuotteen arvoa lisäävää
5. Turhat varastot. Ylituotannon seuraus, sitoo resursseja ja peittää helposti mahdolliset parannuskohteet aiemmin prosessissa esimerkiksi siirtämällä havaitsemattoman pullonkaulan ongelmakohtasta varastoon
6. Tarpeeton liike tai liikkuminen. Esimerkiksi liian levällään oleva työpiste, jossa työntekijä joutuu ottamaan ylimääräisiä askeleita saadakseen työnsä valmiiksi.
7. Vialliset tuotteet. tuotteet, jotka on tehtävä kokonaan uudelleen, korjattava tai erikseen tarkastettava. Voi johtaa myös turhaan materiaalihävikkiin, mikäli kierrätys ei ole mahdollista.
8. Inhimillisen potentiaalin tuhlaus. Työpisteellä työtä tekevälle ihmiselle muodostuu hyvin nopeasti kuva parannusideoista, jotka tulevat esille vasta käytännössä

2.2 5s

Olellaisena osana Lean-ajatusmaailmaa on 5s-toimintamalli. 5s pyrkii vähentämään työpisteessä tapahtuvaa hukkaa. Viisikohtaisen toimintamallin mukaan järjestellyn työpisteen ongelmien ja hukkien havaitseminen on huomattavasti helpompaa, koska mahdolliset kehityskohteet erottuvat selkeässä ja siistissä työympäristössä. Seuraavissa alaluvuissa tarkastellaan lähemmin ajattelumallin viisi oleellista kulmakiveä. (Kouri 2010b.)

2.2.1 Seiri – sorteeraus

Käytössä olevalle työpisteelle kertyy ajan mittaan kaikenlaista sinne kuulumatonta, mutta työntekijöiltä kysyttäessä ehdottoman tärkeää tavaraa: ylimääräisiä työkaluja, vaihto-osia työkoneisiin ja kahvikuppeja. Työn selkeyttämiseksi työpisteeltä poistetaan kaikki työn kannalta turha pois. Hamstratut työkalut, joita tarvitaan vain ajoittain, on syytä järjestellä lähelle työpistettä, mutta kuitenkin selkeästi omaan paikkaansa. (Kouri 2010b.)

2.2.2 Seiton – systematisointi

Sorteerauksesta selvinneet, työn kannalta tarpeelliset työkalut järjestellään helposti saataville. Jokaiselle käytettävälle työkalulle merkitään oma paikka, nimi ja mahdollisesti lukumäärä työpisteessä. Järjestelyn jälkeen voi myös ottaa valokuvan malliksi miltä työpisteen tulee näyttää vastaisuudessa. Selkeä järjestys vähentää työkalujen etsintään kuluva aiaa. Uuden järjestyksen merkintä kannattaa toteuttaa selkein visuaalisin merkinnöin maalilla tai teipeillä. Kulkuväylät ovat myös turvallisuuden kannalta hyvä merkitä, eritoten jos työpaikassa on trukki- tai muuta ajoneuvoliikennettä. (Kouri 2010b.)

2.2.3 Seiso – siivous

Systematisoinnin jälkeen työpiste ja koneet siivotaan tasolle, josta tulee uusi standardi. Puhtaasta työpisteestä esille tulevat kehitysmahdollisuudet ja poikkeamat on myös helpompi havaita. Puhtaudella on huomattu olevan positiivinen vaikutus työn laatuun ja työntekijöiden motivaatioon, motivoitunut työntekijä on tuottelias työntekijä. (Kouri 2010b.)

2.2.4 Seiketsu – standardoi

Luodaan säännöt ja ohjeet, joilla ylläpidetään uutta järjestystä, merkintää ja siisteyttä. Erityisesti siivous on saatava rutiiniksi jokaiseen työpäivään. Ilman selkeitä ohjeita, joiden seurausta työjohto vahtii haukan tavoin, työpiste palaa hyvin helposti sekavaan alkutilaansa. (Kouri 2010b.)

2.2.5 Shitsuke - seuranta

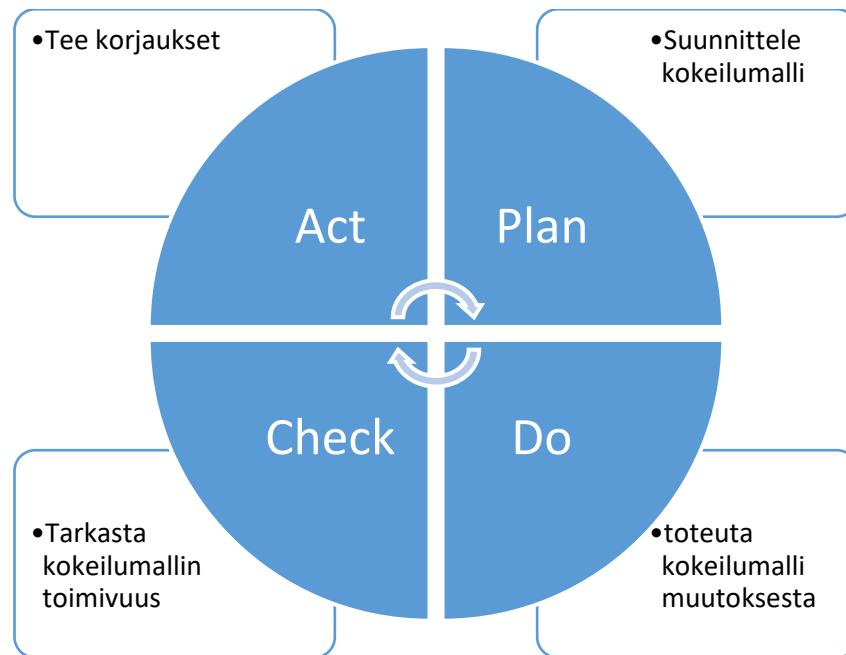
Seurannalla työjohto pyrkii varmistamaan, että aiempien kohtien noudattamisesta tulee rutiininomainen osa työntekoa. Seurannalla on tarkoitus saada juuri toteutettu 5s-järjestelmä pysymään käytössä. Tämä on erityisen tärkeää heti alkuvaiheessa, koska vanhoista tavoista pois oppiminen vie oman aikansa. (Kouri 2010b.)

2.3 Plan–Do–Check–Act-metodi

PDCA-metodi on jatkuvan parantamisen kehittämismenetelmä, joka rakentuu neljästä vaiheesta

- Plan – suunnittele.
- Do – toteuta
- Check – varmista/tarkasta
- Act – toteuta mahdolliset korjaukset.

Aluksi on selvitettävä ongelma, jota lähdetään ratkaisemaan. Kun ongelma on tunnistettu ja analysoitu, voidaan saadun tiedon pohjalta suunnitella ensimmäinen ratkaisuesitys. Ratkaisumalli on järkevää toteuttaa ensin pienemässä mittakaavassa, koska ensimmäinen koeajo yleensä paljastaa jotain parannettavaa tehdyissä muutoksissa. Koeajon jälkeen tutkitaan tuloksia, ja analyysin pohjalta päätetään, tarvitaanko muutoksia tehdä seuraavaan koeajoon (MCS 2020). Vaikka kaiken voi aina tehdä paremmin, on syytä yrittää tunnistaa, milloin mallin hiominen ei ole enää kustannustehokasta. Kuvassa 1 on useasti nähty kiekko käsitelystä metodista. (Kouri 2010a.)



Kuva 1. PCDA-kiekkon mukainen (Kouri 2010a.)

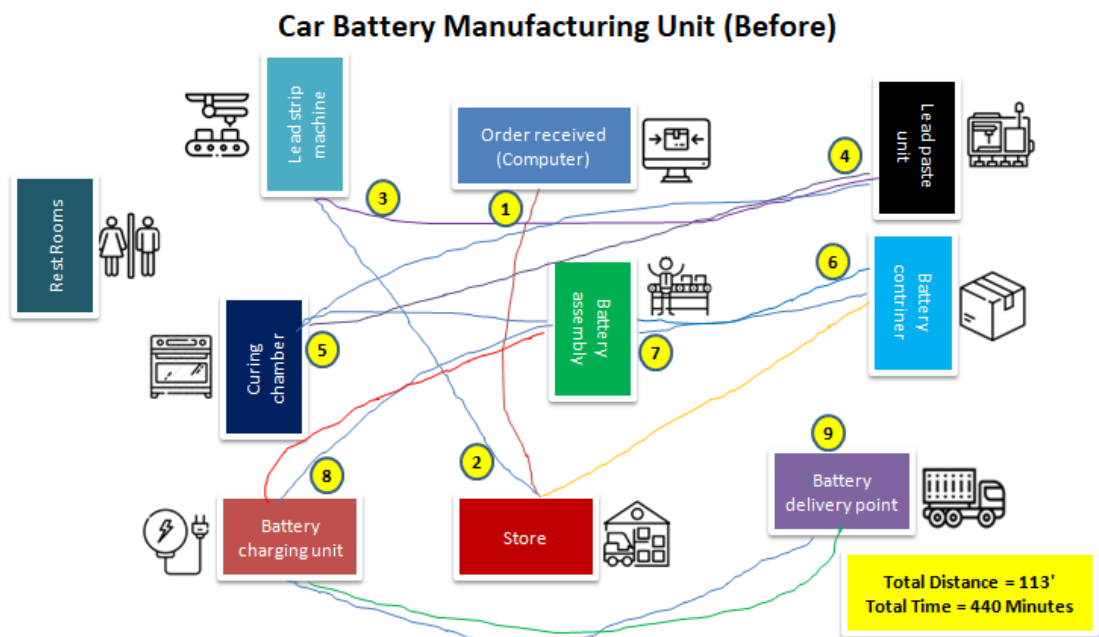
2.4 Spagetti-kaavio

Spagetti-kaavio on graafinen tapa esittää kuinka työntekijät, materiaalit ja informaatio liikkuvat prosessissa. Kaavion perusideana on löytää tutkitun prosessin solmukohdat ja parantaa tehokkuutta poistamalla tai vähentämällä turhaa liikettä. Nimensä kaavio saa lopputuloksen pastaa muistuttavasta ulko- näöstä. (Allen 2010, 128.)

Ensimmäisenä kohtana lähdettäessä tekemään spagettikaaviota mistä tahansa prosessista on hankkia pohjakuva tutkittavasta prosessista siihen kuuluvine koneineen ja työpisteineen. Pohjan voi joutua tekemään itse, mikäli prosessista ei vielä löydy moista. Pohjakuvan kanssa onkin sitten jalkauduttava seuraamaan prosessia toiminnassa. Tässä vaiheessa kaavion tekoa on hyvä viettää hetki seuraamalla prosessin toimintaa, jotta oma kuva toiminnasta on selkeämpi kuin paperilta katsottuna ja koska kaavion tekoa varten on tiedettävä kaikki prosessissa tapahtuva liike. Työntekijöiden, informaation ja materiaalin liike työpisteeltä toiselle on piirrettävä pohjalle mahdollisimman totuuden mukaisesti. Mikäli mahdollista, on myös mitattava aika, joka kuluu jokaiseen liikkeeseen. Jokaista liikkuvaa osaa tai työntekijää on kaaviossa kuvattava omalla värillä, joten tässä on myös oiva tekosyy värikynäkoelman kartuttamiselle. Layoutin viivojen perusteella lasketaan matka, jonka kukin yksittäinen merkitty työntekijä tai materiaali kulkee prosessin aikana. Kun spagettikaavio

on saatu valmiiksi, on etsittävä kohdat, joissa on toistuvaa pitkää liikettä, sekä kohdat, joissa on hyvin vähän liikettä. Toistuva pitkä liike on merkki siitä, että perättäiset työpisteet ovat turhan kaukana toisistaan. Analyysin perusteella on järjesteltävä tai siirreltävä työpisteitä prosessissa kuljetun matkan minimoimiseksi. (Allen 2010, 128.)

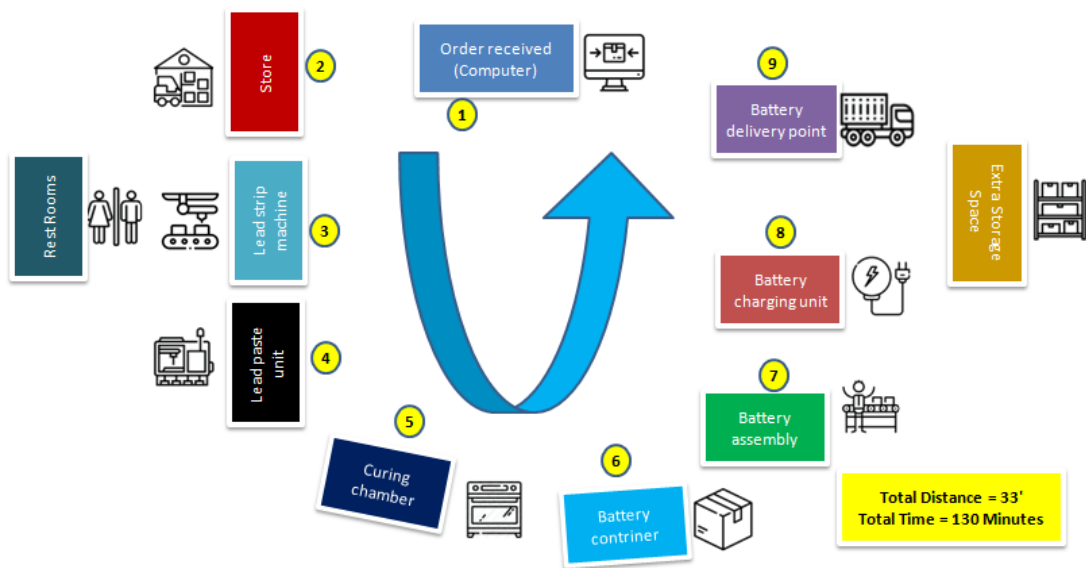
Kuvassa 2 on esimerkki kaaviosta prosessin kirjaamisen jälkeen. Kuvasta on luettavissa suuri määrä turhaa liikettä eri työpisteeltä toiselle.



Kuva 2. Esimerkki spagettikaaviosta (Hessing 2013)

Kaavion tutkimisen jälkeen on toteutettu tarvittava uudelleenjärjestely ja tehty uusi, kuvassa 3 esitetty, kaavio.

Car Battery Manufacturing Unit U shaped layout (After)



Kuva 3. Esimerkkikaavio optimoituina (Hessing 2013)

Kuvassa 3 esitettyä sama prosessi optimoinnin jälkeen. Uusi malli on paljon selkeämpi ja materiaalinvirtaus työpisteeltä toiselle on sujuvampi. Parannus ajassa ja kuljetussa matkassa on myös varsin huomattava. Tämänkin kaavioinnin voi tehdä useasti aina uudistetulle prosessille turhan liikkeen vähentämiseksi, mutta, kuten PDCA-metodinkin kanssa, on muistettava raja, jossa liiähiominen ei enää ole järkevää.

2.5 Kokoonpanon/tuotannon simulointia ja Teoriaa

2.5.1 Simuloinnin perusteet

Simulaatio on jonkin tosi maailmassa tapahtuvan tai kuvitteellisen prosessin tai systeemin jäljittelyä, tässä tapauksessa digitaalisesti. Simuloinnilla luodaan tutkitulle prosessille keinotekoinen historia, jota tutkimalla pystytään tekemään perusteltuja arvioita oikean prosessin käytöksestä tulevaisuudessa. Simuloinnilla on myös helppoa ja halpaa tutkia "mitä jos?" -tilanteita häiritsemättä oikeaa prosessia. Mahdolliset muutokset kannattaa ensin simuloida, jotta saadaan arvio muutoksen vaikutuksista prosessiin. (Banks ym. 2010).

2.5.2 Simulointi prosessina

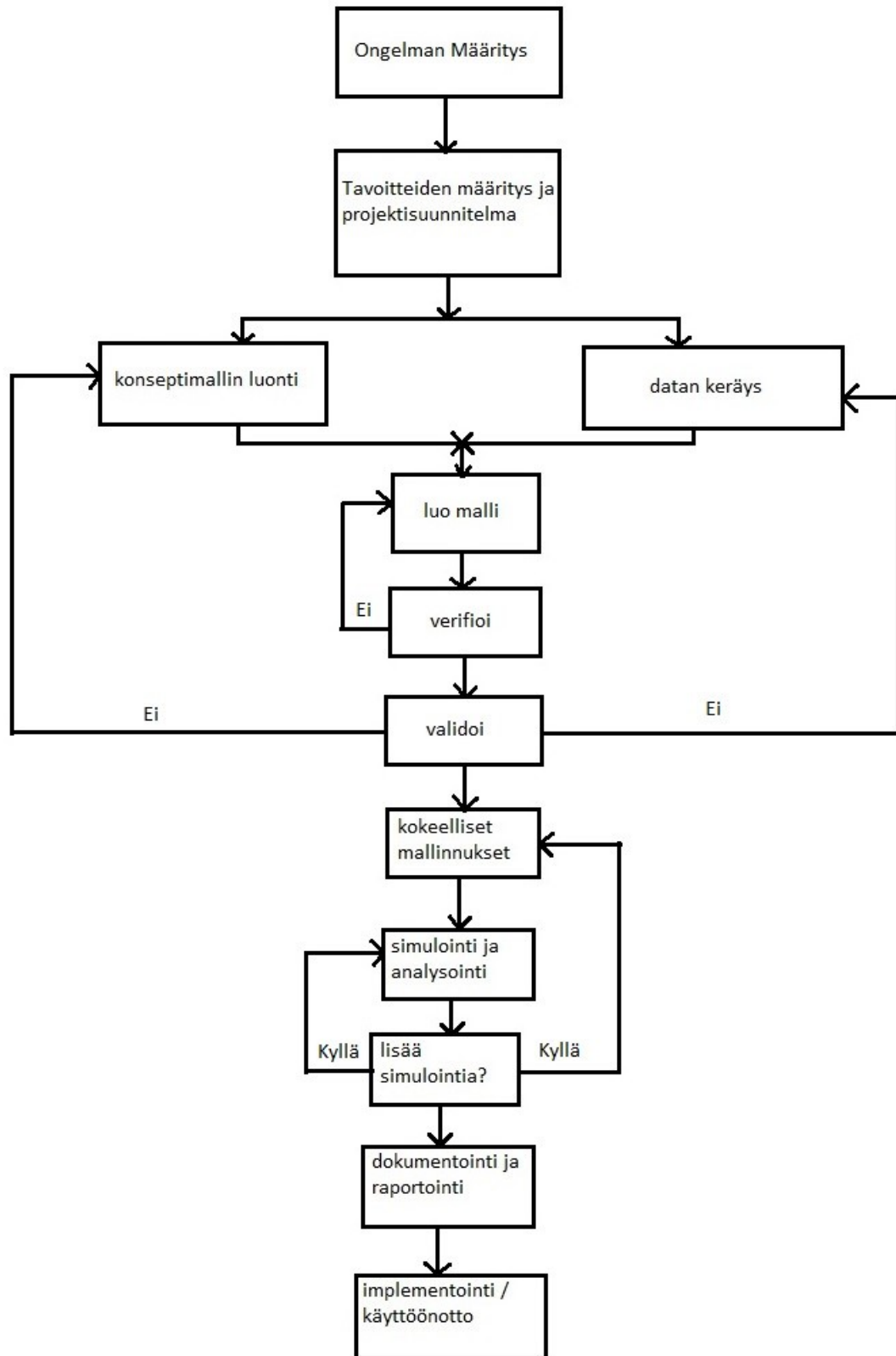
Simulointiprosessi on syytä aloittaa määrittämällä ongelma, jota lähdetään ratkaisemaan. Asiakkaan määrittäessä ongelman on simuloinnin tekijän tärkeää

varmistaa, että ongelma on ymmärretty oikein. Mikäli simuloinnin tekijä määrittää ongelman, on asiakkaan hyväksyttävä esitetty määritelmä. Kun molemmat osapuolet ovat samalla kartalla ongelmasta, on määritettävä tavoitteet ja projektisuunnitelma. Tavoitteet määrittävät kysymykset, joihin haetaan ratkaisuja simuloinnilla, ja projektisuunnitelma pyrkii määrittämään projektin kulkua. (Banks ym. 2010.)

Ongelman määrittämisen ja projektisuunnitelman hyväksynnän jälkeen simuloinnin tekijä aloittaa datan keräyksen prosessista ja konseptimallin luomisen. Mallin tarkoituksena tässä vaiheessa simulointia on syventää simuloinnin tekijän ymmärrystä tutkittavasta prosessista. Kerätyn, ja varmennetun, tiedon ja konseptimallin pohjalta luodaan tarkempi malli simuloitavasta prosessista. Tämä tarkempi malli verifioidaan ja validoidaan, eli varmistetaan mallin toimivan odotetulla tavalla käytetyssä simulointiohjelmassa ja vastaavan todellista prosessia hyväksyttävällä tarkkuudella. (Banks ym. 2010.)

Käyttäen validoitua mallia pohjana tai vertailukohtana, mikäli esitetyt vaihtoehdot poikkeavat suuresti lähtötilanteesta, luodaan uusia ratkaisumalleja tavoitteissa määritettyihin kysymyksiin. Ideointivaiheessa ei kannata arkailla hyvin erikoistenkaan mallien kanssa, hulluimmat ideat karsiutuvat seuraavissa vaiheissa pois. Kun vaihtoehtoja on kertynyt sopiva määrä, on niiden simulointi aloitettava ja saatu data analysoitava. Analyysin pohjalta on päätettävä, onko lisäsimulointi aiheellista ja mitä muutoksia malliin tai malleihin on tehtävä. Ensimmäiset esitykset ovat harvoin loppuun asti optimoituja, joten useampi kierros simulointia ja analysointia on yleensä aiheellista (Banks ym. 2010.)

Riittävän hyvän tuloksen saamisen jälkeen on dokumentoitava tulokset ja raportoitava ne asiakkaalle. Asiakasta on toki pyritty pitämään ajan tasalla projektin kulusta pitkin prosessia, koska tulosten lopullinen käyttöönotto jää asiakkaalle itselleen. Mikäli asiakas on sitoutettu projektiin onnistuneesti, on onnistunut implementointi huomattavasti todennäköisempää (Banks ym. 2010.)



Kuva 4. Simuloinnin kulku (Banks ym. 2010).

Kuvassa 4 esitetty simuloinnin kulku voidaan karkeasti jakaa neljään eri vaiheeseen. Ensimmäinen vaihe koostuu osista 1 ja 2. Alkuperäinen ongelma voi olla epäselvä tai osittain arvauksen varassa, alkuperäiset tavoitteet voivat

muuttua matkan varrella ja projektisuunnitelman voi joutua hiomaan uusiksi. (Banks ym. 2010.)

Toinen vaihe koostuu kohdista 3 - 7. Prosessin hahmotus tarkentuu tiedon karttuessa ja käytettyyn simulointiohjelmaan rakennettu konseptimalli hioutuu simuloitavaksi malliksi todellisen mukaiseksi verifioinnin ja validoinnin kautta. (Banks ym. 2010.)

Kolmas vaihe on simulaation ohjelmallista ajamista ja koostuu kohdista 8 - 10. Mallinnetuista vaihtoehtoista on syytä tehdä monta simulaatiota mallin hajonnan ja tulosten vertailukelpoisuuden selvittämiseksi. Dokumentointi ja raportointi sekä käyttöönotto muodostavat neljännen vaiheen kohdista 11 ja 12. (Banks ym. 2010.)

Koko prosessin tärkeimmäksi kohdaksi on katsottava kohta 7 validointi. Epävalidi malli tuottaa virheelliset vastaukset, joiden käyttöönotto voi olla vaarallista, kallista tai molempia. (Banks ym. 2010.)

2.5.3 Visual Components

Mallinnusohjelma, jota työssä käytettiin, on 1999 Helsingissä perustetun Visual Componentsin samaa nimeä kantavaa simulointiohjelmaa. Ohjelmaa käytetään kaiken muun muassa layout-suunnitteluun ja tuotannon simulointiin useilla eri teollisuuden toimialoilla ympäri maailman. (Visual Components 2020a.)

Ohjelmasta on markkinoilla kolme versiota, Essential, Pro ja Premium. Essential-mallilla voi suunnitella, rakentaa ja simuloida oman unelmien tehtaansa valmiilla komponenteilla ja robotiikan peruskomennoilla. Pro-versiolla voi lisäksi tehdä omia komponentteja tai tuoda CAD-tiedostoja simulointiin. Premium, jonka 4.3-versiota tähän työhön käytettiin, versioon kuuluu kaikki yllä mainittu sekä kattavammat komennot robotiikan ohjaukseen sekä helpompi liitettävyyys kolmannen osapuolen konekohtaisiin ohjelmiin. (Visual Components 2020b.)

Työn loppupuolella kokeiltiin myös samaan ohjelmistoperheeseen kuuluvan experienceen käyttöä. Experience on melko uusi ohjelma, jossa suunnittelua voi tarkastella virtuaalitodellisuudessa. (Visual Components 2020c.)

3 TULOKSET = RESULTS

3.1 Lähtötilanteen kartoitus ja simulointi

Työn tekeminen alkoi vierailulla asiakasyritykseen, jonka aikana selvitettiin lähtötilanne. Tuote, jonka kokoonpanoa kehitetään, ei vierailuhetkellä ollut tuotannossa, joten alkutilanteen toiminnan seuraaminen ja kellottaminen ei onnistunut. Yritys järjesti myöhemmin videon, josta työvaiheet saatiin selvitettyä. Työvaiheiden kellotus tapahtui yrityksestä saatujen tietojen ja videon pohjalta. Vierailun, kuvien, joista esimerkkeinä kuvat 5 - 7 ja videon pohjalta mallinnettiin käytettyyn simulointiohjelmaan työpiste.



Kuva 5. lähtötilanne



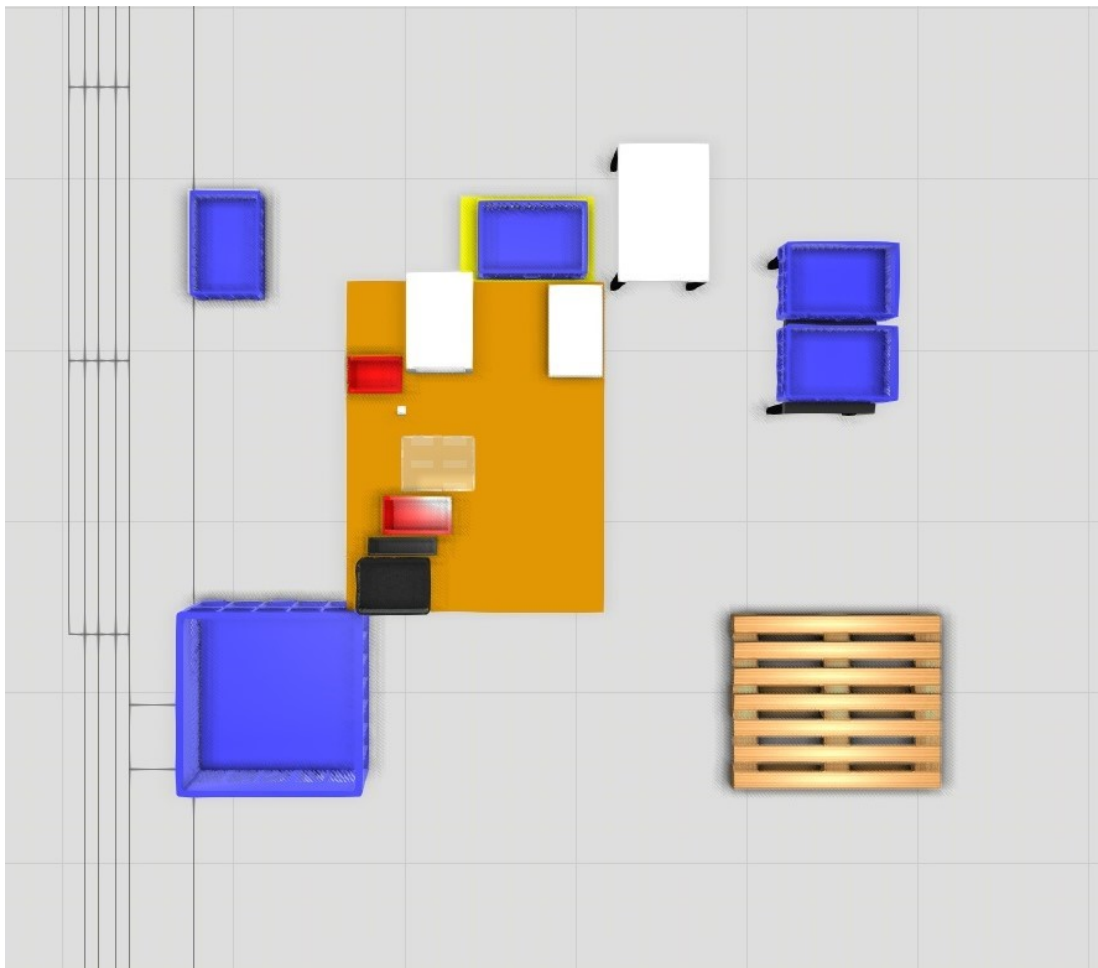
Kuva 6. Tuotteen pienempiä osia



Kuva 7. Laatikon kasausta varten tehty jigi

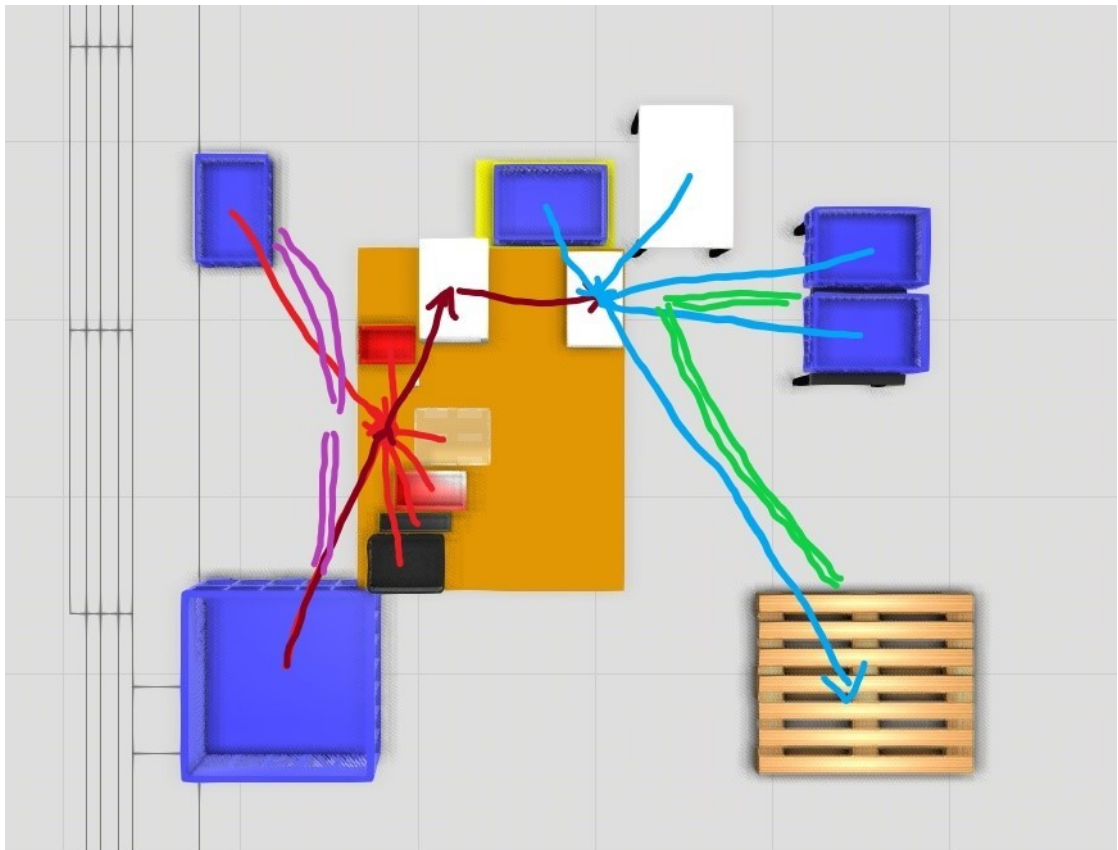
Kuvassa 7 on tuotteen pakkauslaatikon nopeaan kokoon taitteluun tehty yksinkertainen jigi.

Lähtötilanteessa työpisteellä työskenteli kaksi ihmistä, eri puolilla pöytää. Kuvassa 8 ylhäältä katsoen vasemmalla puolella työntekijä kokosi tuotteen rungon sisään useasta pienemmästä kappaleesta koostuvan paketin ja koaomisohjeet. Rungon täytyttyä työntekijä laittoi kappaleen pöydän reunalla olevaan telineeseen ja alkoi kasata seuraavaa pakettia. Pöydän oikealla puolella työskentelevä henkilö taittelee kokoon laatikon, johon tuotteen kaikki osat pakataan, laittaa toisen työntekijän täyttämän rungon ja, tuotemallista riippuen, kaksi tai kolme muuta isompaa osaa laatikkoon, sulkee laatikon ja vie valmiin paketin trukkilavalle.



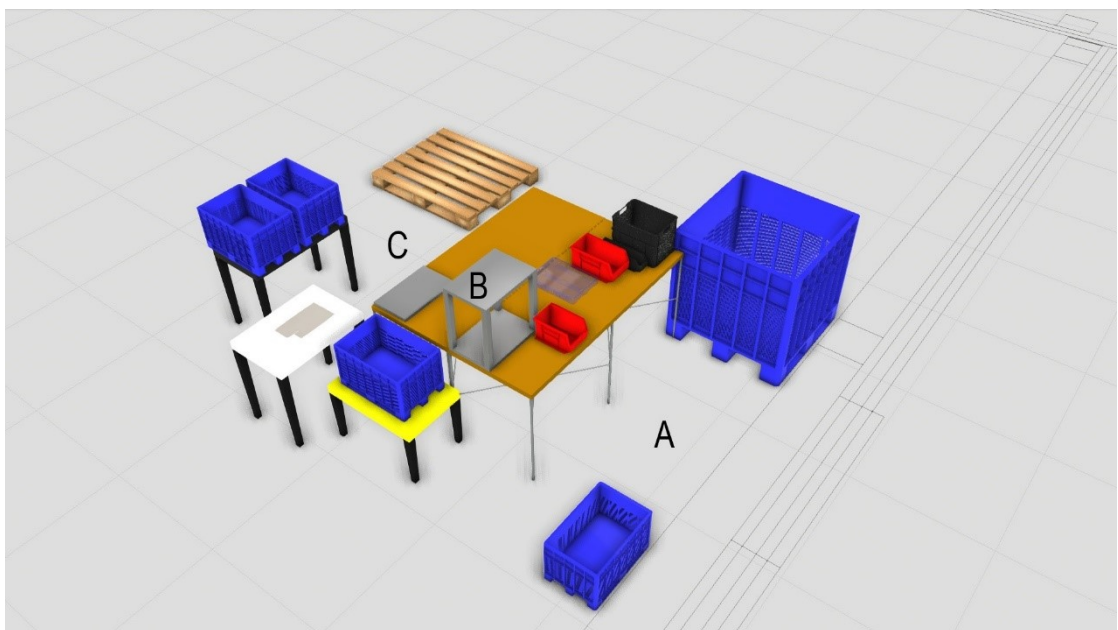
Kuva 8. Lähtötilanne ylhäältä

Lähtötilanteessa vasemmalla puolella pöytää tapahtuva kokoaminen vei huomattavasti enemmän aikaa johtuen useammasta työvaiheesta sekä pienemmistä osista. Seurauksena oikealla puolella pöytää työskentelevälle tuli turhaa odottelua.



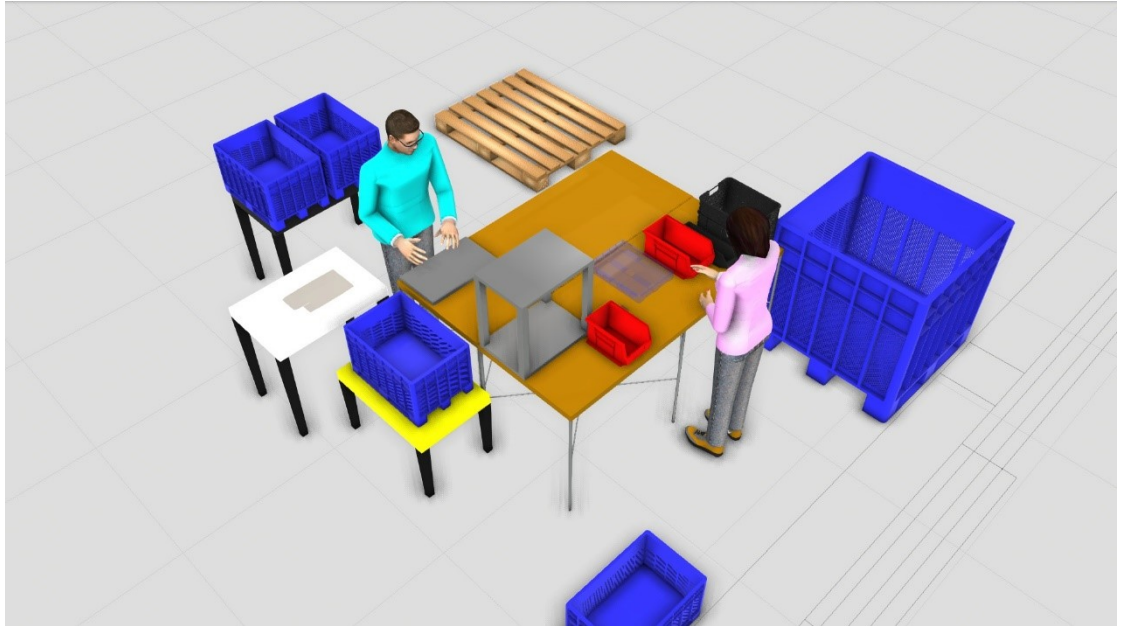
Kuva 9. Spagetti-kaavio lähtötilanteesta

Kuvassa 9 tulkinta spagettikaaviosta lähtötilanteessa. Molempien puolien työntekijöille tulee ylimääräistä liikettä levällään olevien säilytyslaatikoiden takia.



Kuva 10. Lähtötilanteen layout

Kuvassa 10 alkupuoli, jossa pienemmistä osista tapahtuva kokoonpano tehdään, on merkitty kirjaimella A, pöydällä oleva välivarasto kirjaimella B ja loppupuoli, jossa laatikon kasaus ja pakkaaminen tapahtuu, on merkitty kirjaimella C. Kuvissa 11 ja 12 simuloitujen työntekijät ahertavat simuloitun leipänsä eteen.



Kuva 11. Simuloitua työskentelyä lähtötilanteessa

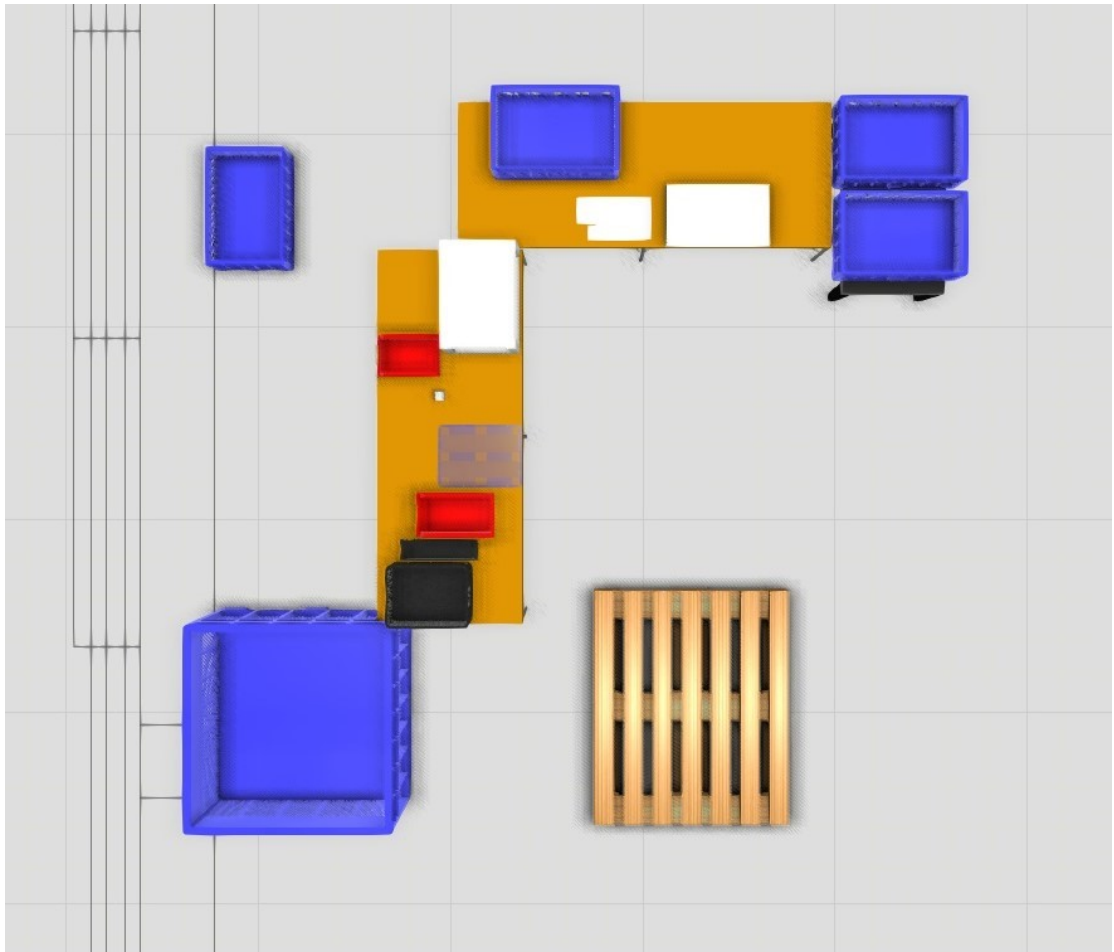


Kuva 12. Kasattu tuote siirtymässä lavalle

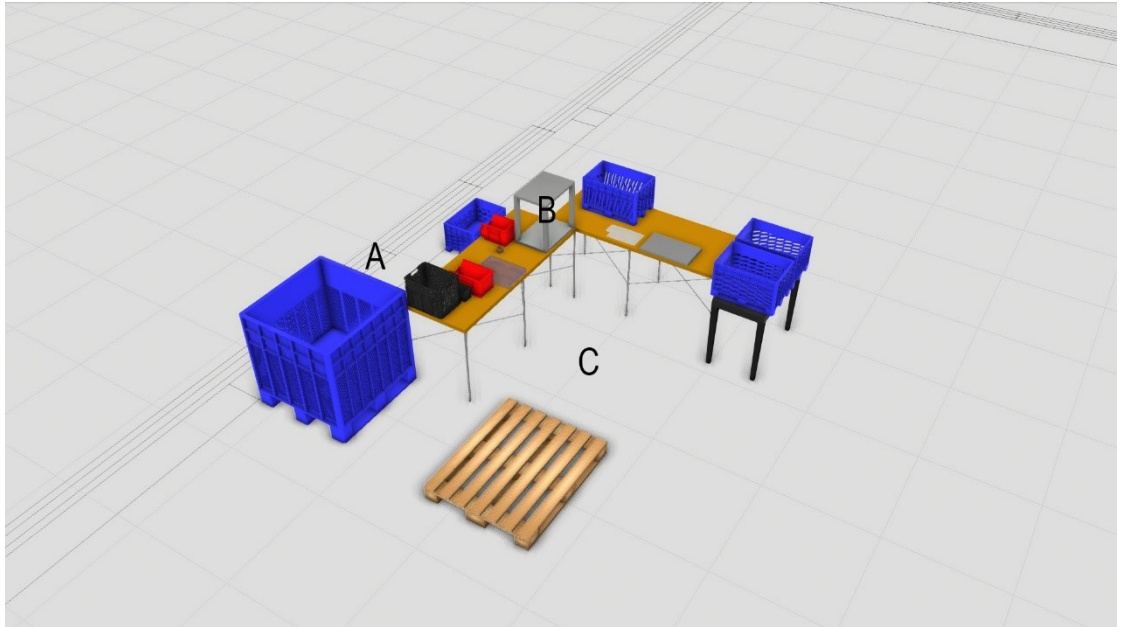
3.2 Ensimmäiset esitykset

Alkutilanteen mallintamisen jälkeen alkoi konseptimallien teko. Tavoitteista pääällimmäisenä oli kaikissa konsepteissa lähtötilannetta nopeampi läpimeno-aika sekä kustannustehokkuuden tavoittelu.

Ensimmäinen malli, esitetty kuvissa 13–16, oli hyvin lähellä alkutilannetta, vain työpisteiden oikeaa puolta muokattiin. Ajatuksena oli siirtää kaikki loppupuolen työntekijän tarvitsemat säilytyslaatikot yhdelle pöydälle turhan liikkumisen vähentämiseksi

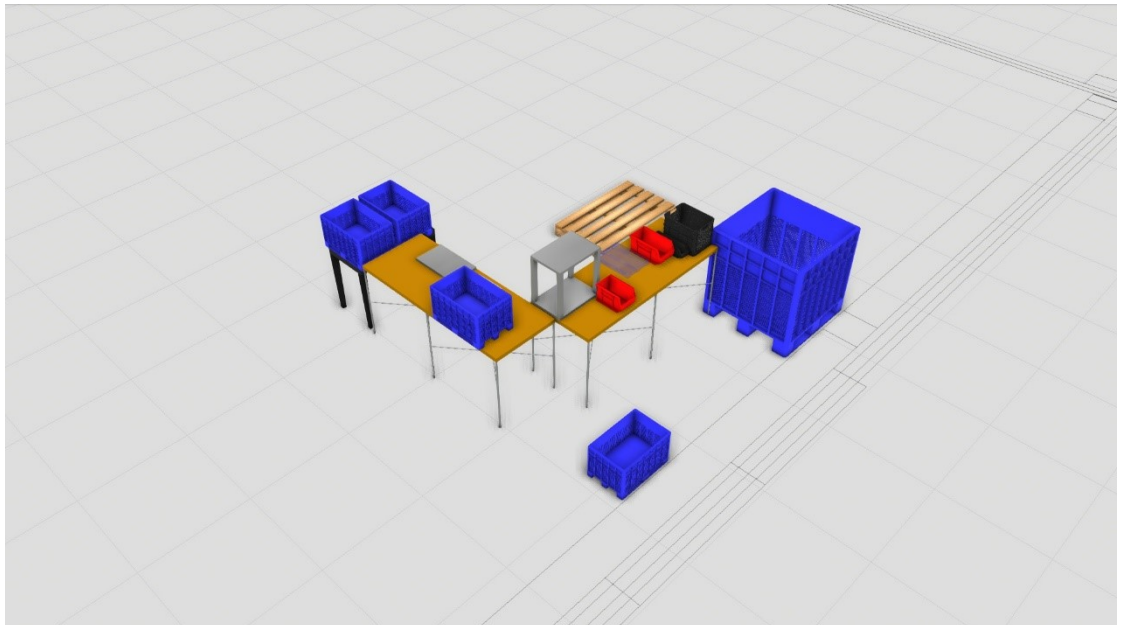


Kuva 13. Mallin 1 layout ylhäältä



Kuva 14. Malli 1 eri kulmasta

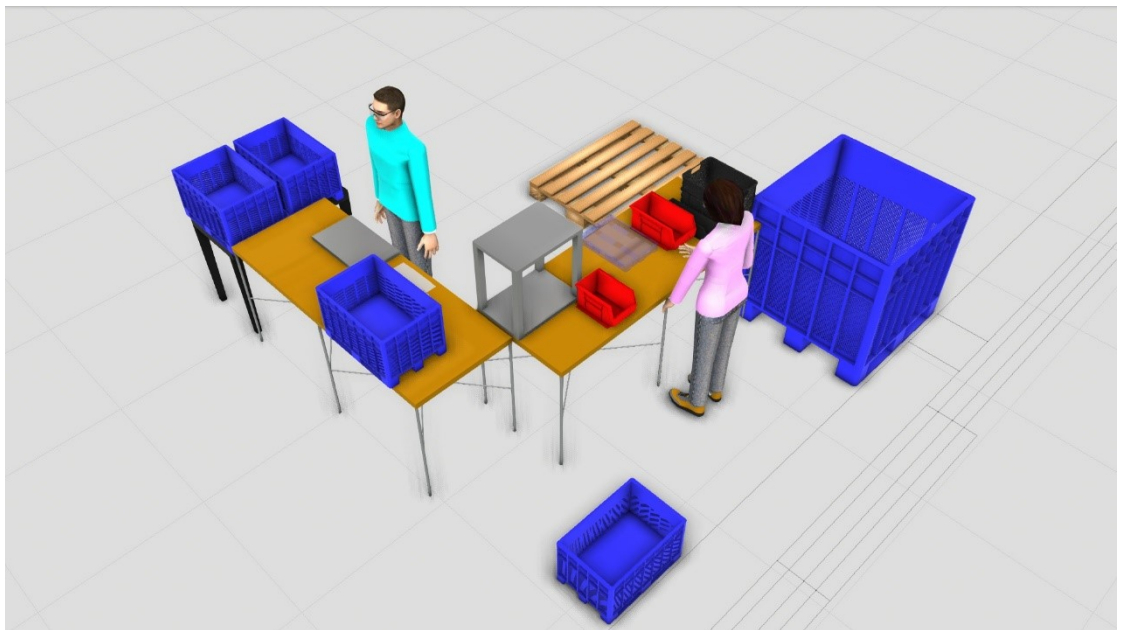
Kuvassa 14 on merkitty alkupuoli, välivarasto ja loppupuoli, kuten kuvassa 9.



Kuva 15. Malli 1 alkupuoli säilyi muuttumattomana



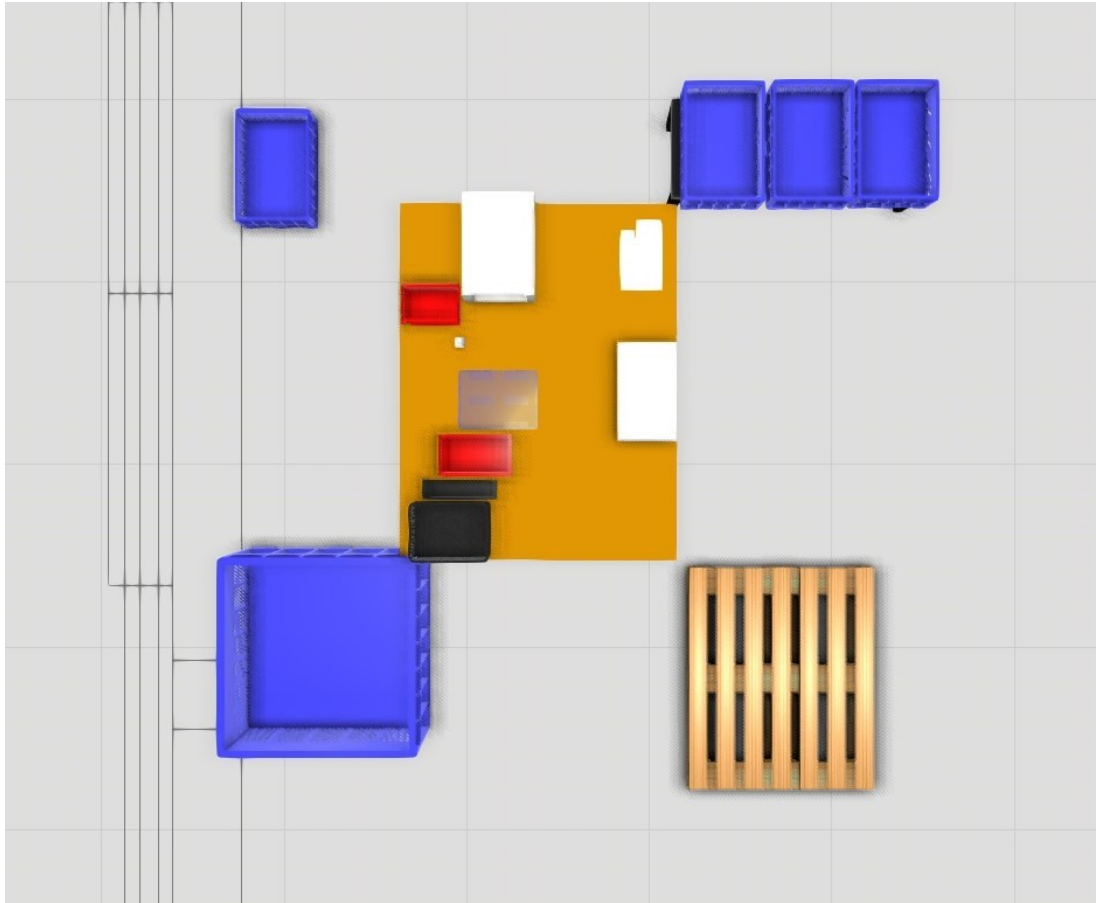
Kuva 16. Malli 1 toiminnassa



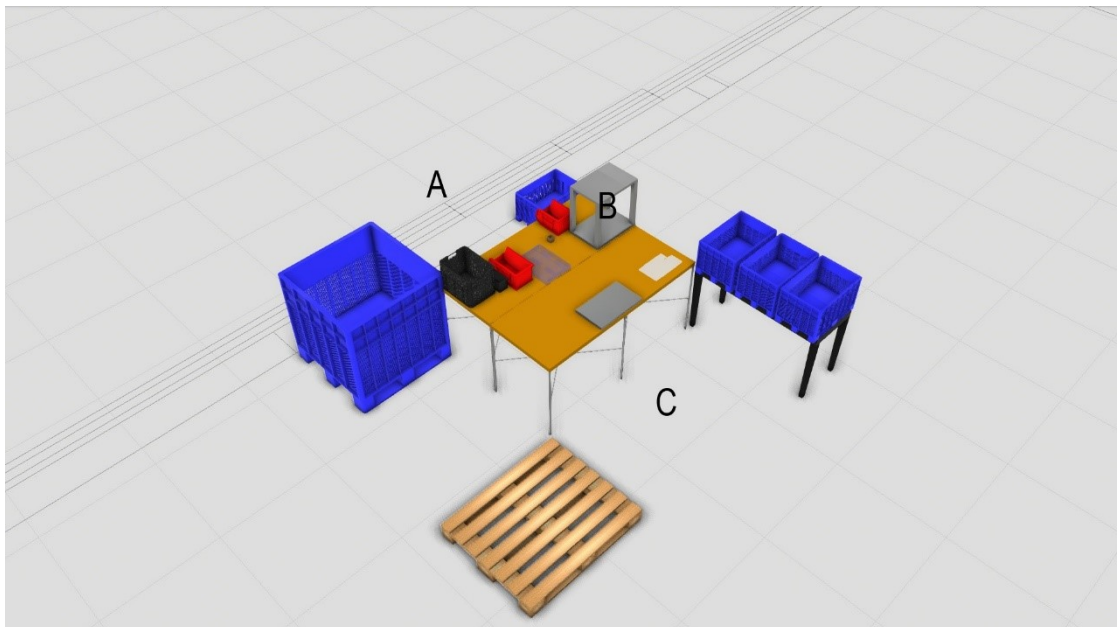
Kuva 17. Malli 1 epätasapaino havaittavissa

Koska muutoksia tehtiin vain nopeammalle puolelle kokoonpanoa, kuvassa 17 on nähtävissä tämän mallin heikkoudeksi jääneestä epätasapainosta johtuvaa puolivalmiin tuotteen odottelua loppupuolen työntekijälle.

Kuvissa 18–22 esitetty malli 2 ei myöskään suuresti eronnut alkuperäisestä. Tässäkään mallissa ei vielä kajottu alkupuoleen. Kuten mallissa 1, ajatuksena oli poistaa turhaa liikettä siirtämällä osien säilytyslaatikoita tiiviimpää kokonaisuuteen pöydän oikealla puolella

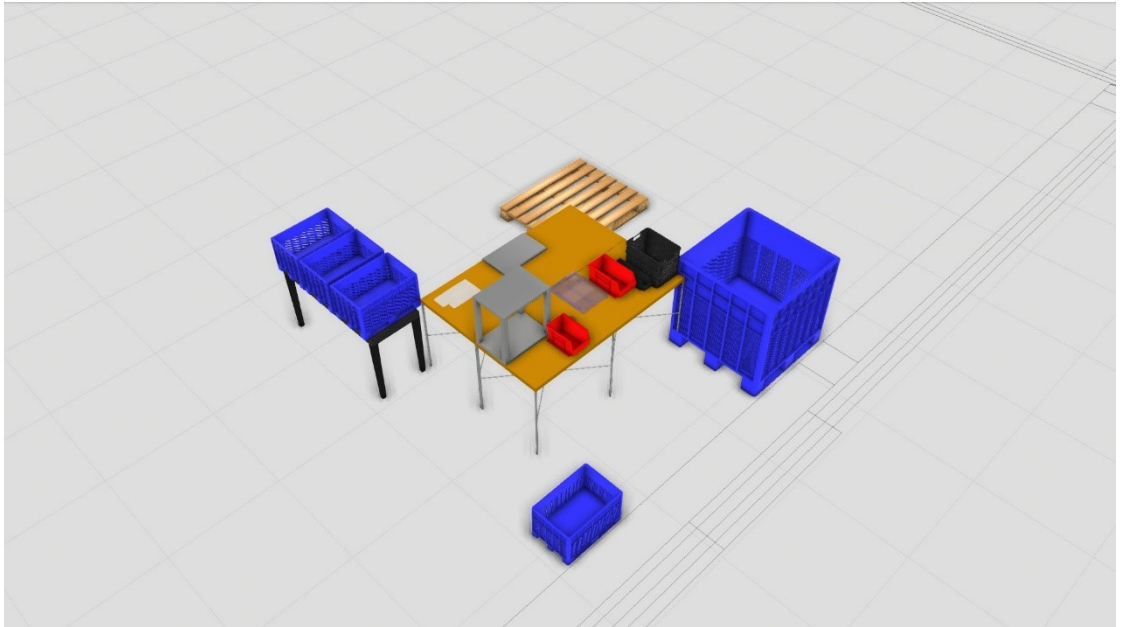


Kuva 18. Malli 2 ylhäältä



Kuva 19. Malli 2 puolien selvitys

Kuvassa 19 on esitetty aakkosten ensimmäisten kirjainten avulla järjestyksessään alkupuoli, välivarasto ja loppupuoli.



Kuva 20. Malli 2 alkupuoli säilyi edelleen muuttumattomana



Kuva 21. Malli 2 toiminnassa

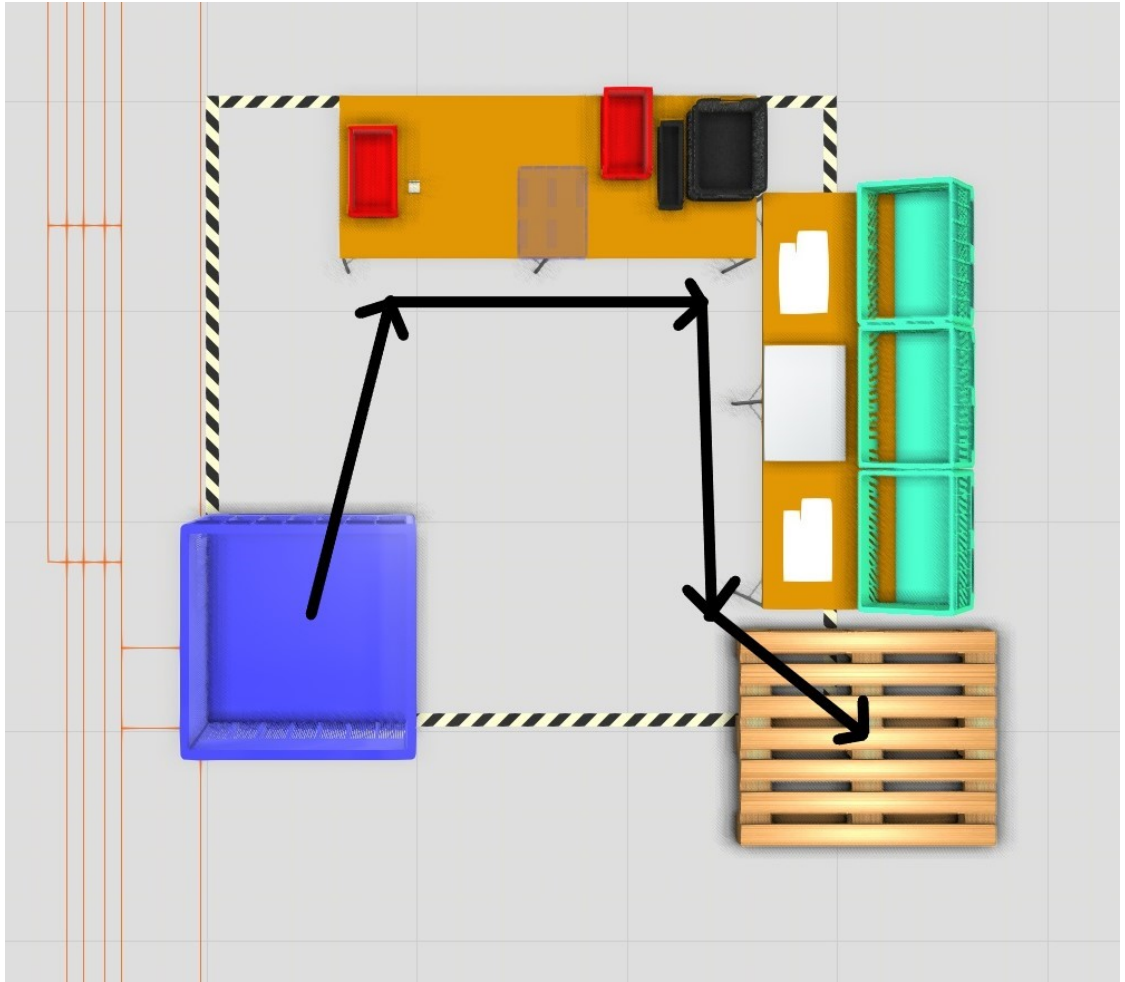


Kuva 22. Malli 2 täydessä vauhdissa

Koska alkupuoleen ei muutoksia tehty, epätasapaino eri puolilla pöytää säilyi. Kuvissa 20 – 22 esitetty malli 2 jäi viimeiseksi esitykseksi kahden työntekijän työpisteestä.

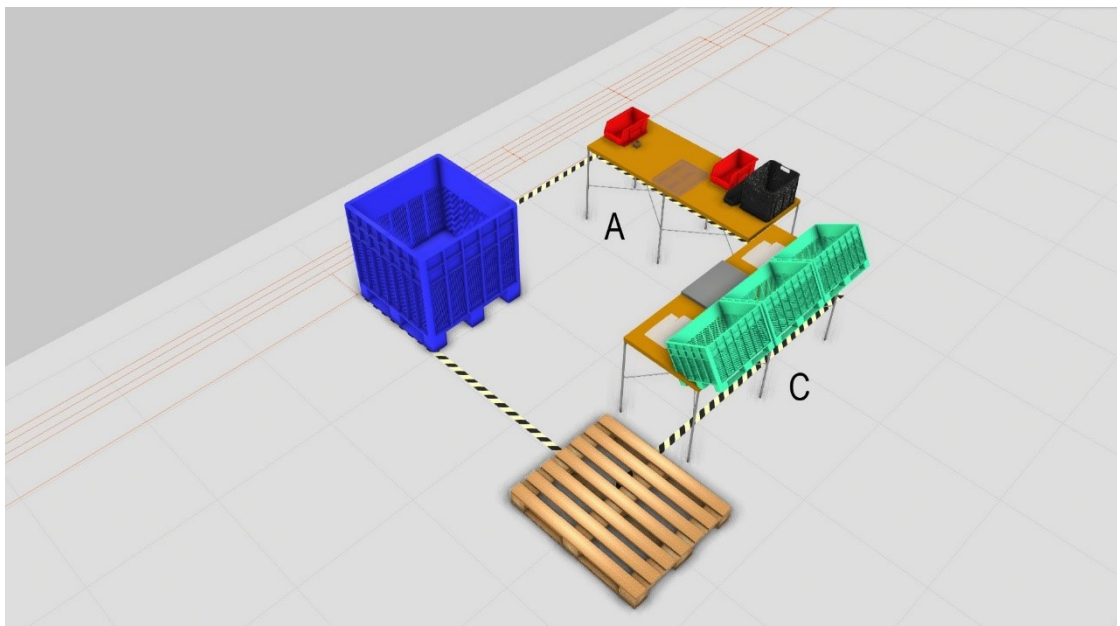
Näiden esitysten valmistumisen aikoihin tilanpäivityspalaverissa varmistui, ettei työpisteellä välttämättä tarvitse kahta työntekijää. Näinpä myös yhdelle henkilölle suunniteltiin työpisteitä.

Ensimmäinen yhden hengen malli on esitettyinä kuvissa 23 - 27. Ajatuksena oli tehdä työpisteeseen selkeä virtaus vasemmalta oikealle mukailleen mallia 1.



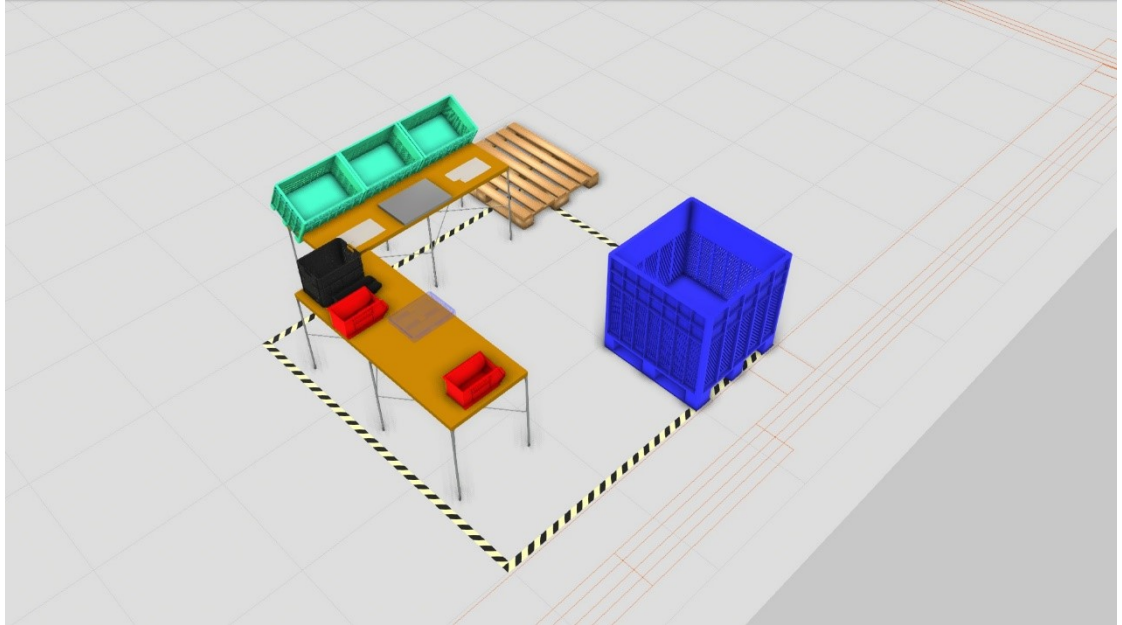
Kuva 23. Malli 3 kulkusuunta ylhäältä

Kuvassa 23 on esitetty työn virtaus alkaen rungon suuresta säilytyslaatikosta päättyen pöytien kautta kuormalavalle.

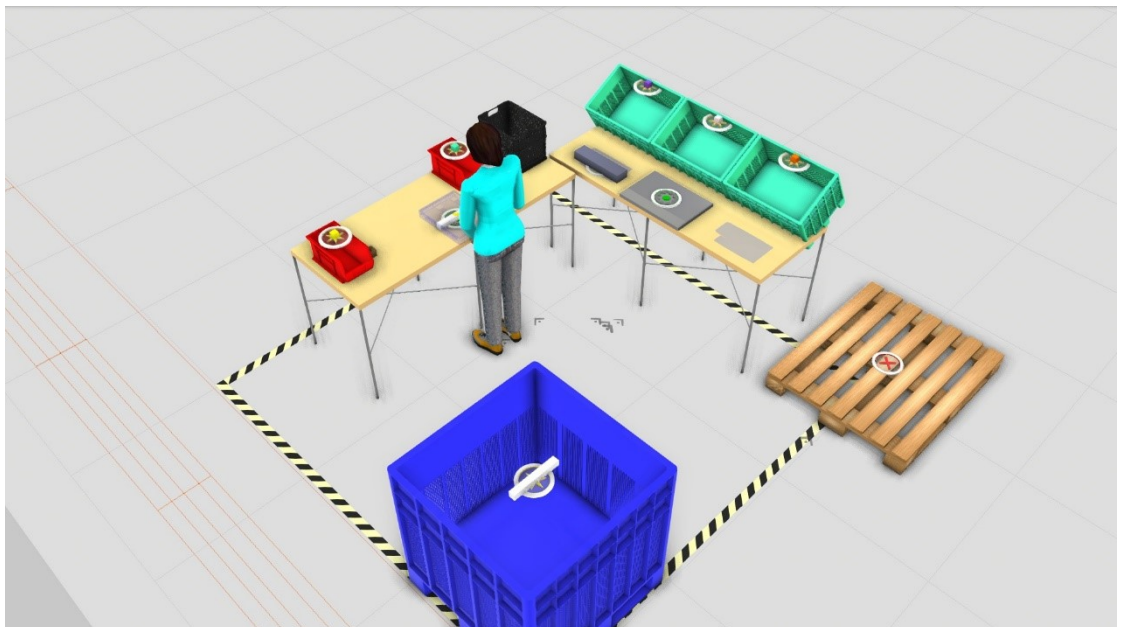


Kuva 24. Malli 3 selvennetynä

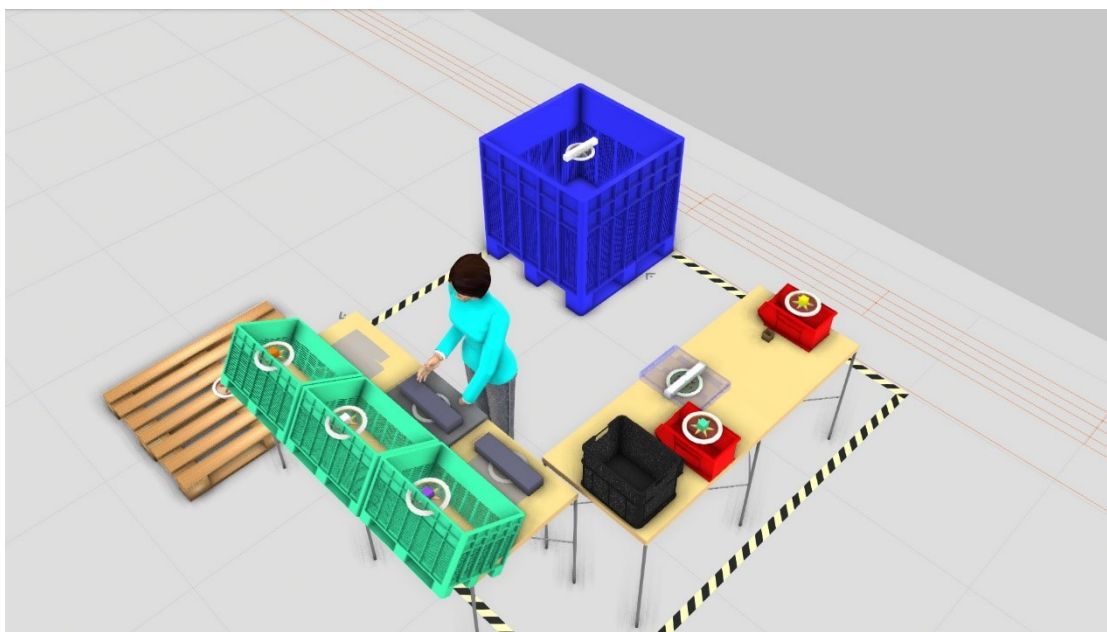
Kuvassa 24 on merkitty alkupuolen työalue kirjaimella A ja loppupuolen alue kirjaimella C. Välivarastoa ei yhdelle työntekijälle suunnitelluissa työpisteissä enää ole.



Kuva 25. Malli 3 loppupuoli ylhäällä



Kuva 26. Malli 3 alkupuolen simulointi

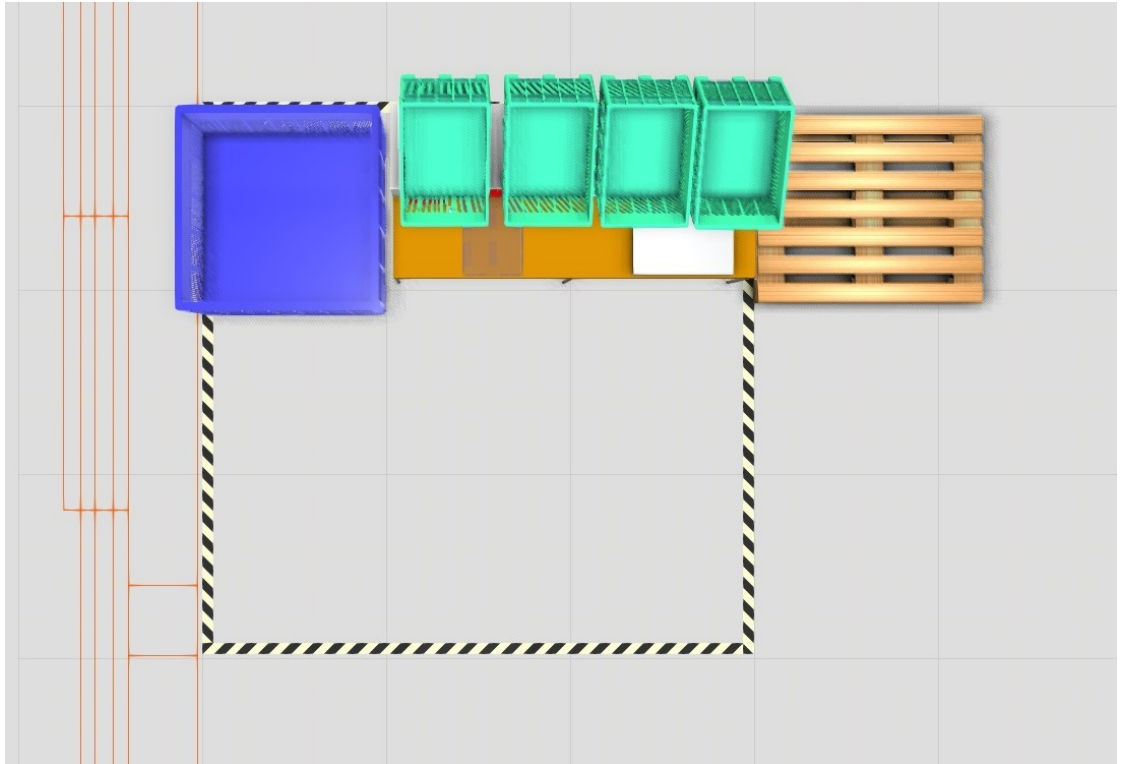


Kuva 27. Malli 3 loppupuolen simulointi

Kuvissa 25 – 27 on kolmas simulointimalli eri kulmilta katsottuna eri vaiheissa kokoonpanoa.

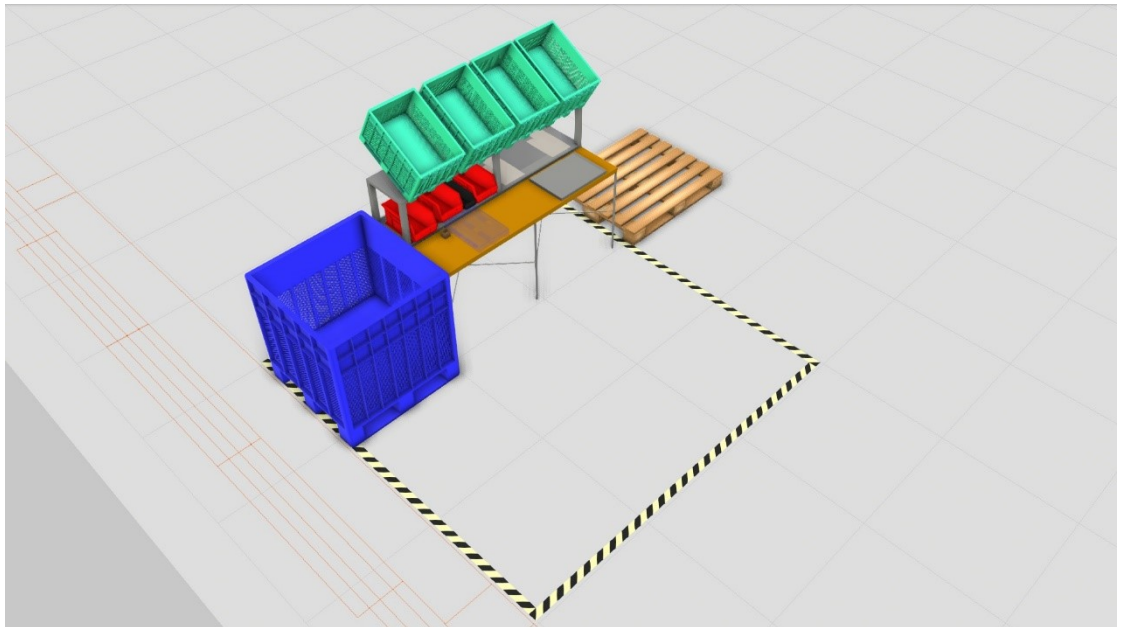
Koko työn siirtyessä yhdelle hengelle hävisi myös eri puolien epätasapainosta johtuva turha odottelu. Tämä malli oli vielä liian levällään ja tästä aiheutui ylimääräistä kävelyä työntekijälle prosessin aikana. Rajattu neliö lattialla on 3 x 3 metriä, jota käytettiin rajaamaan käytössä oleva tila.

Kuvissa 28 – 32 on esitettyä jatkojalostettu ja yksinkertaistettu, pienempään tilaan pakattu malli 4. Mallia 3 kehitettiin pakkaamalla koko työpiste yhdelle pöydälle. Ajatuksena oli, että työntekijällä on kaikki tarvittavat osat käden ulottuvilla yksiltä jalansijoilta rungon ottamisesta isosta, sinisestä laatikosta aina kasatun tuotteen lastaamiseen lavalle.

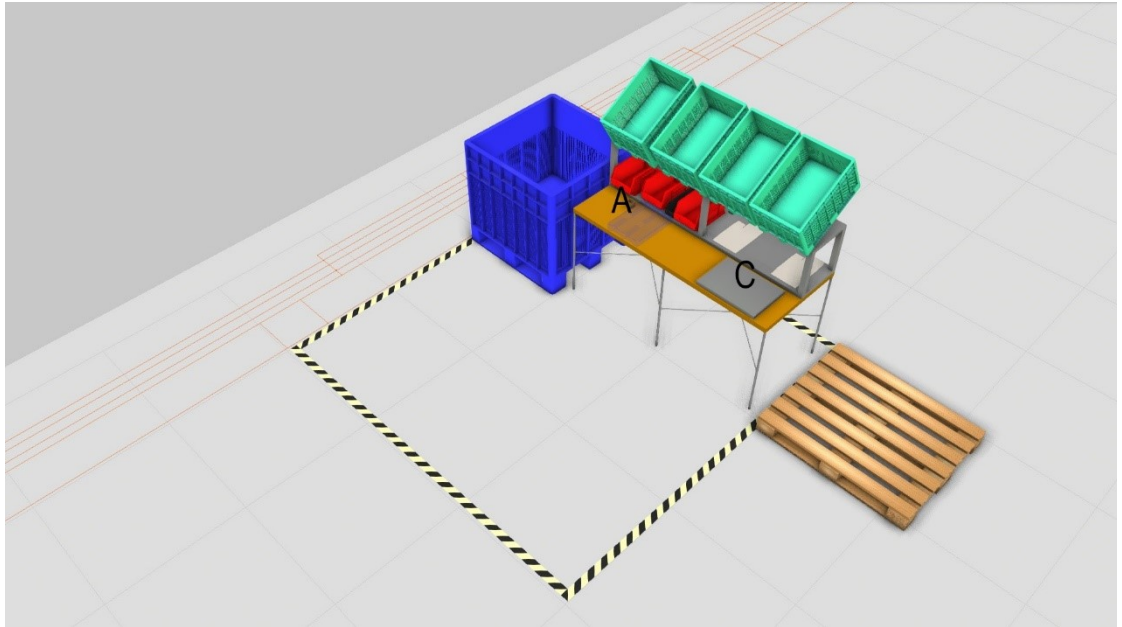


Kuva 28. Malli 4 ylhäältä.

Mallissa 4 työn kulkusuunta on vasemmalta oikealle.

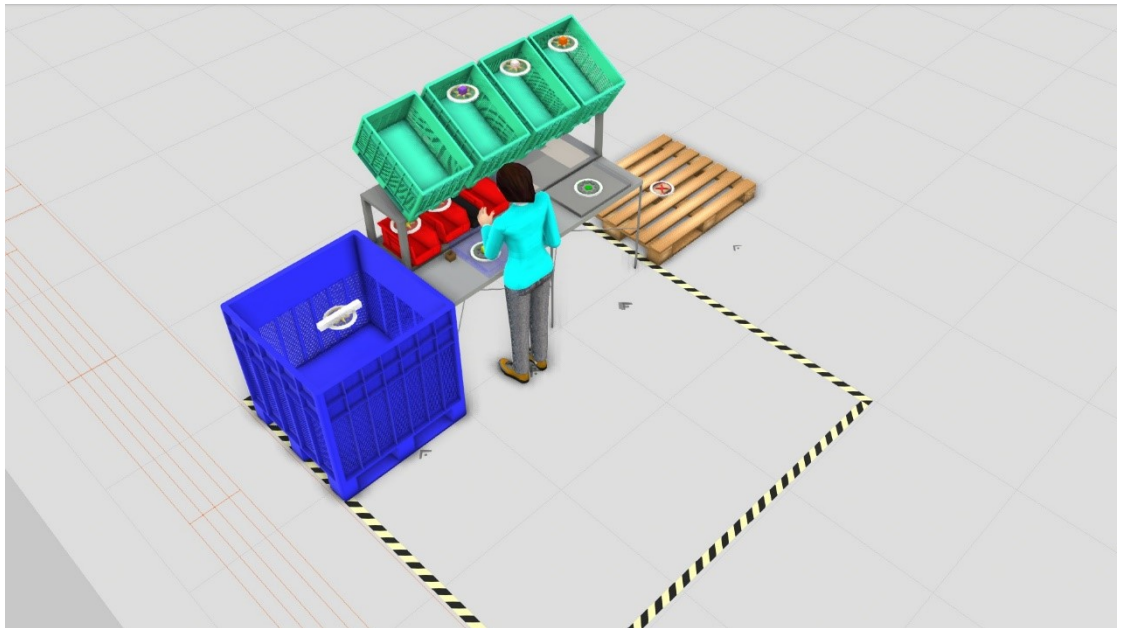


Kuva 29. Malli 4 isometrisestä kulmasta nähtynä

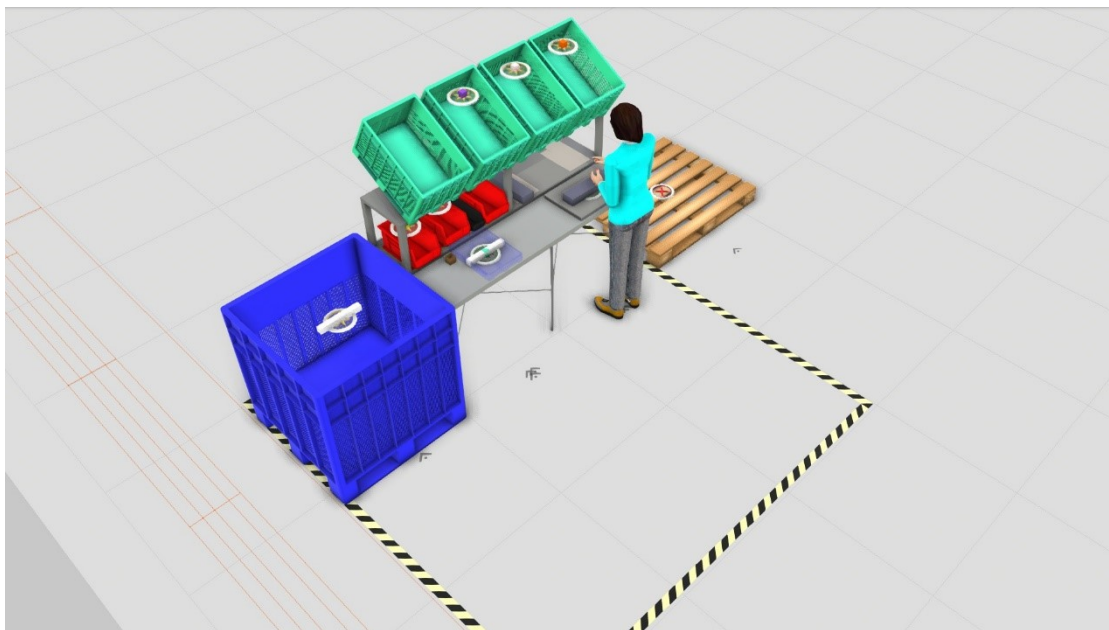


Kuva 30. Malli 4 alueet merkittynä

Kuvassa 30 on kuvattu vastaavat alueet aiemmista malleista tutuilla kirjaimilla.



Kuva 31. Malli 4 käytössä



Kuva 32. Malli 4 melkein valmis.

Neljännessä mallissa katsottiin ajettujen simulointien tuoman tiedon valossa asiakasyrityksen taholta olevan kehittämiskelpoisuutta riittävästi.

Mallinnettujen esitysten kanssa vierailtiin asiakasyrityksessä ja kuultiin sekä nähtiin työtä tekevien mielipiteet ja palautteet. Työntekijöiden kokemuksen tuoman näkemyksen pohjalta tarkennettiin mallin 4 esitystä paremmin todellisuuteen ja yrityksen tiloihin sopivaksi. Kuvat 33 ja 34 ovat yrityksen tiloista.



Kuva 33. Tulkinta mallista 4.

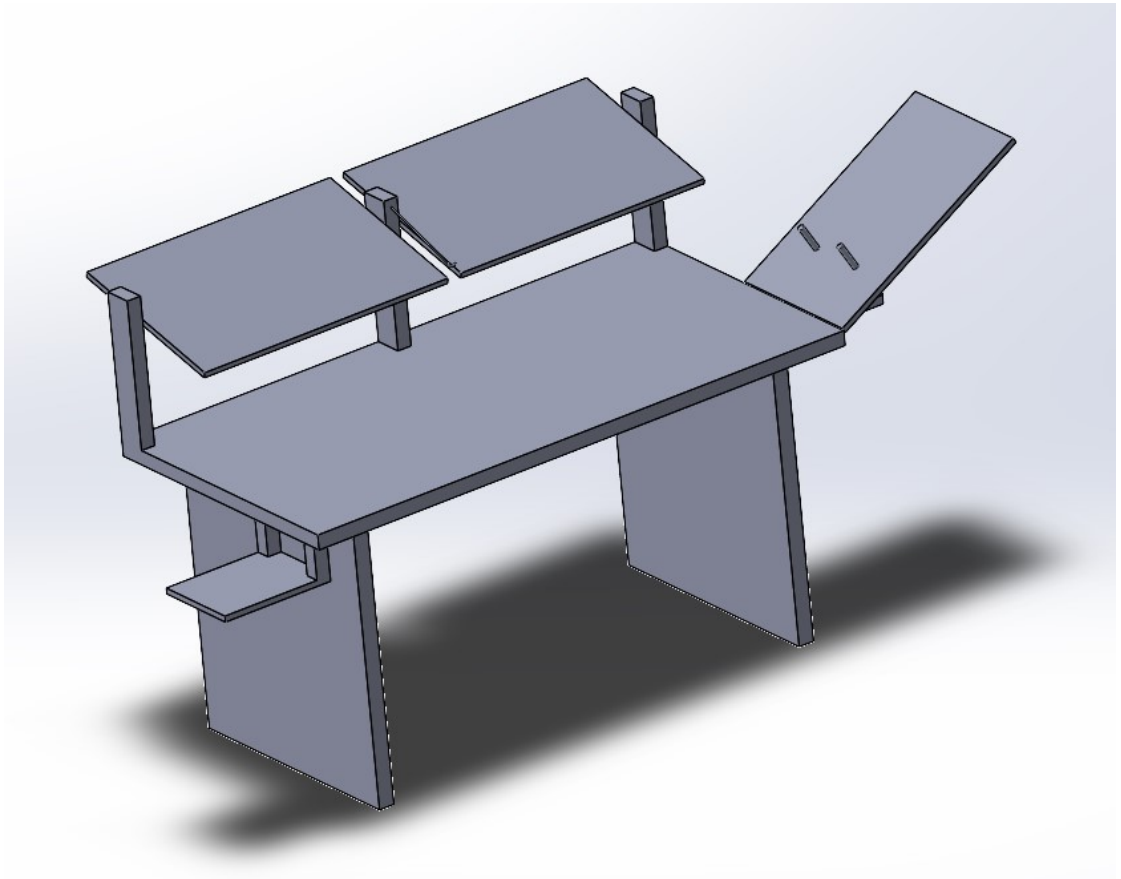


Kuva 34. Tutkielma luovuudesta.

Tässä yhteydessä oli myös tilaisuus itse päästä testaamaan mallia käytännössä ja kartuttamaan omaa käytännön kokemusta tuotteen kokoonpanosta.

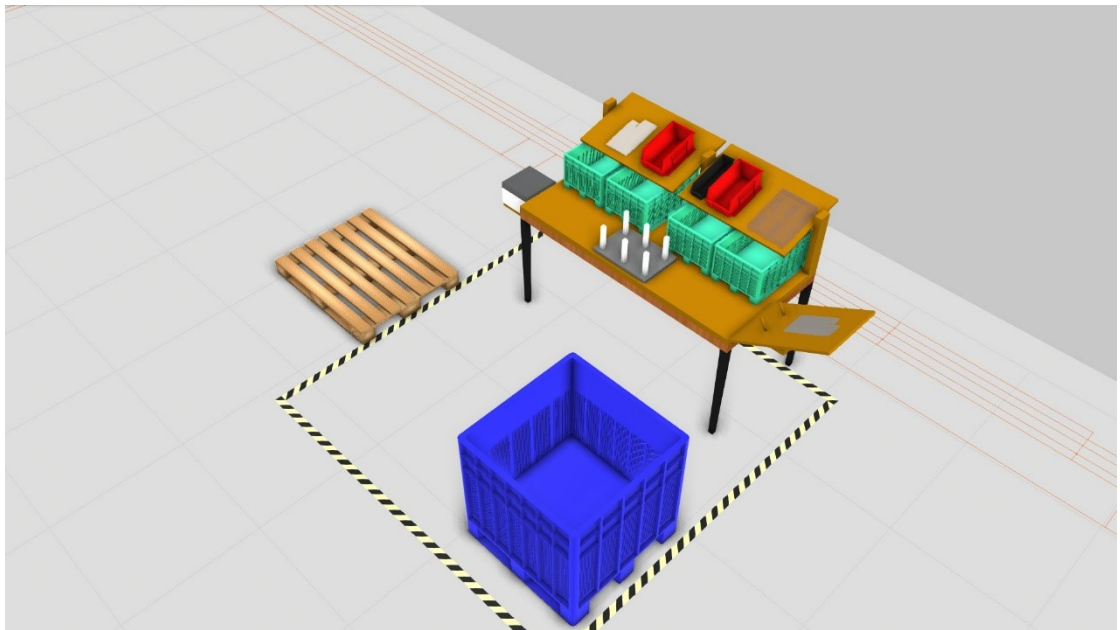
3.3 Valitun esityksen simulointi ja päivitys

Vierailulla saatujen ideoiden pohjalta muokattiin mallia 4 vielä eteenpäin. Päivitetyn mallin 5 työpiste on pakattu niin tiiviisti kuin järkevästi mahdollista. Kuvassa 35 esitetty tähän työpisteeseen SolidWorks CAD (computer aided design) -ohjelmalla mallinnettu konsepti työpisteestä saadun palautteen ja vierailulla tehtyjen havaintojen pohjalta. Mallia 5 varten olisi tehtävä pöytälevyyn pieniä muutoksia itse, mutta muutokset ovat niin yksinkertaisia, että ammattitaitoinen koneistaja pystyy ne tekemään iltapäivässä.

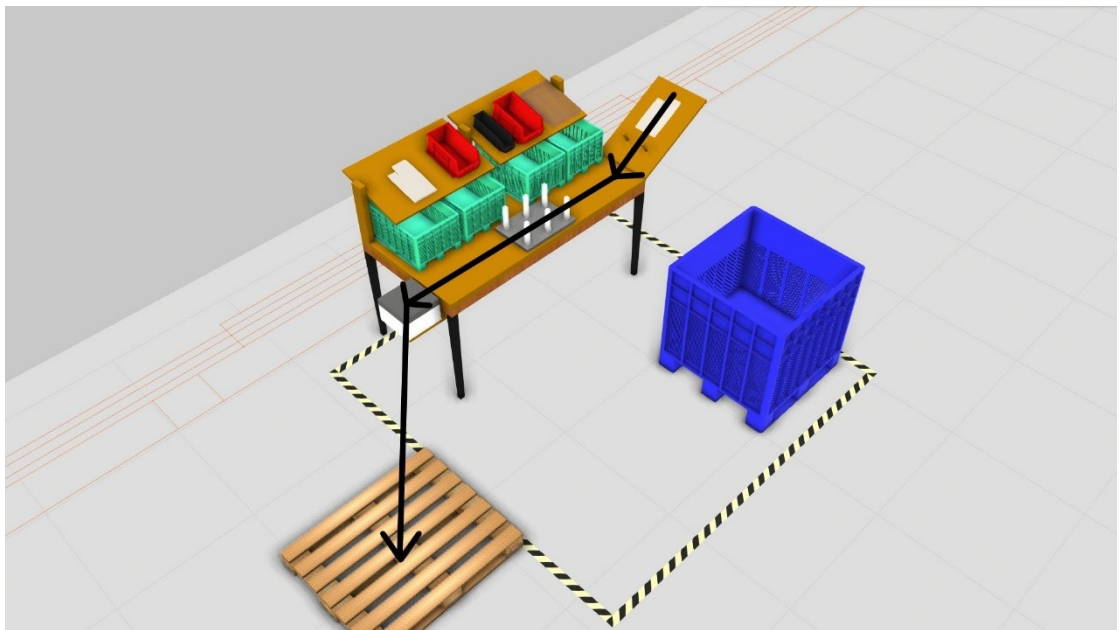


Kuva 35. CAD-malli pöytälevystä.

Pieni taso pöytälevyn alapuolella on tarkoitettu vaa'alle, jollaista pohdittiin laadunvarmennustyökaluksi kokoonpanoon. Kuvassa 36 esitetty malli 5.

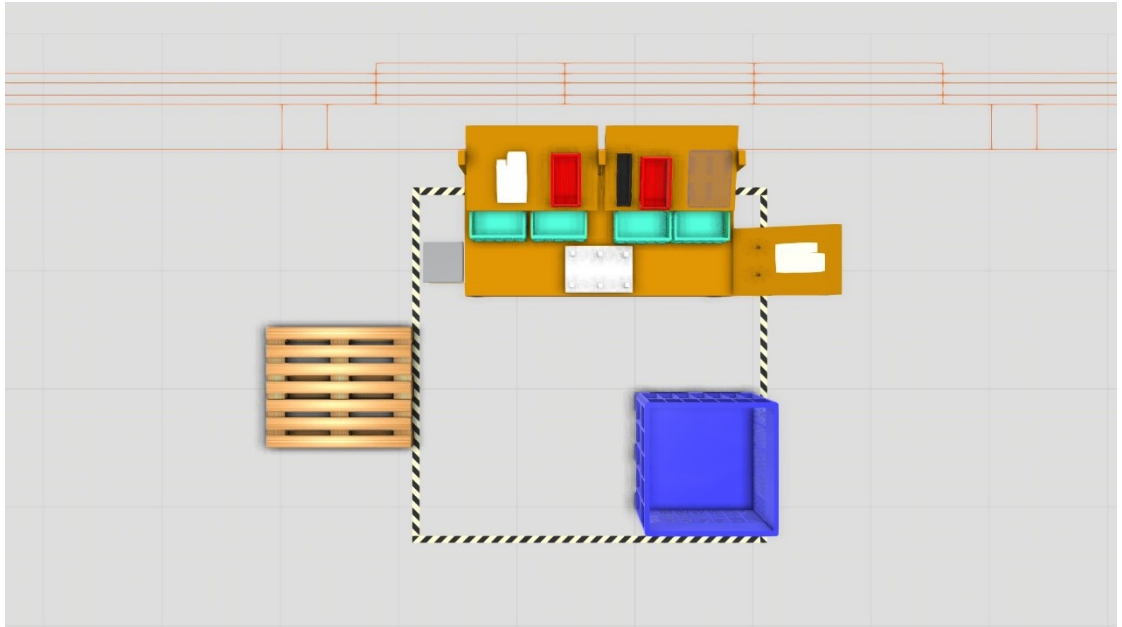


Kuva 36. Malli 5 koko komeudessaan

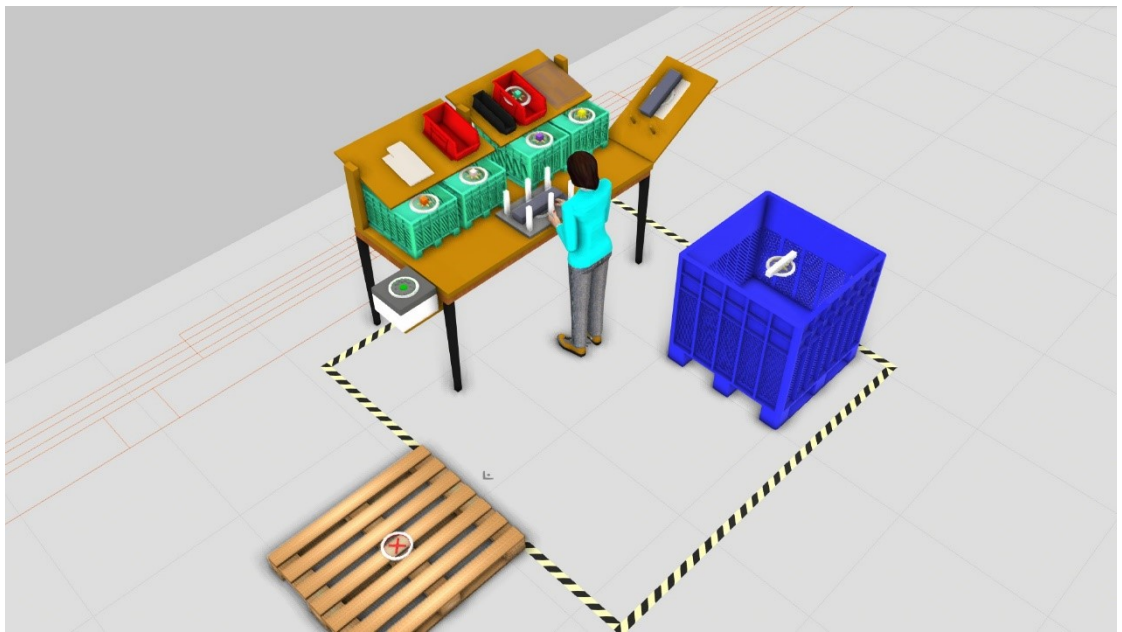


Kuva 37. Työn kulkusuunta

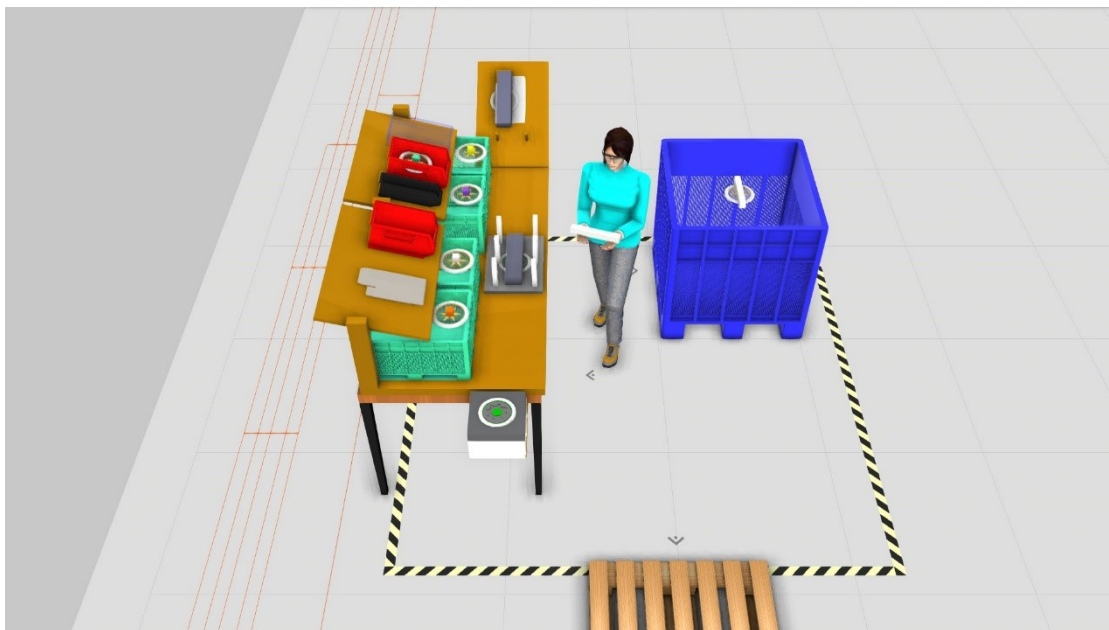
Kuvassa 37 esitetty työn kulkusuunta on perinteiden vastaisesti oikealta vasemmalle. Kuvissa näkyvä iso sininen laatikko on tuotteeseen pakattavan rungon varastolaatikko. Runko on isoin yksittäinen osa tuotetta ja siksi tuodaan työpisteelle omassa laatikossaan.



Kuva 38. Malli 5 ylhäältä.



Kuva 39. Malli 5 työn touhussa.



Kuva 40 malli 5 tuotetta pakataan

Kuvat 38 – 40 ovat mallista 5, eri kulmista pitkin työprosessia.

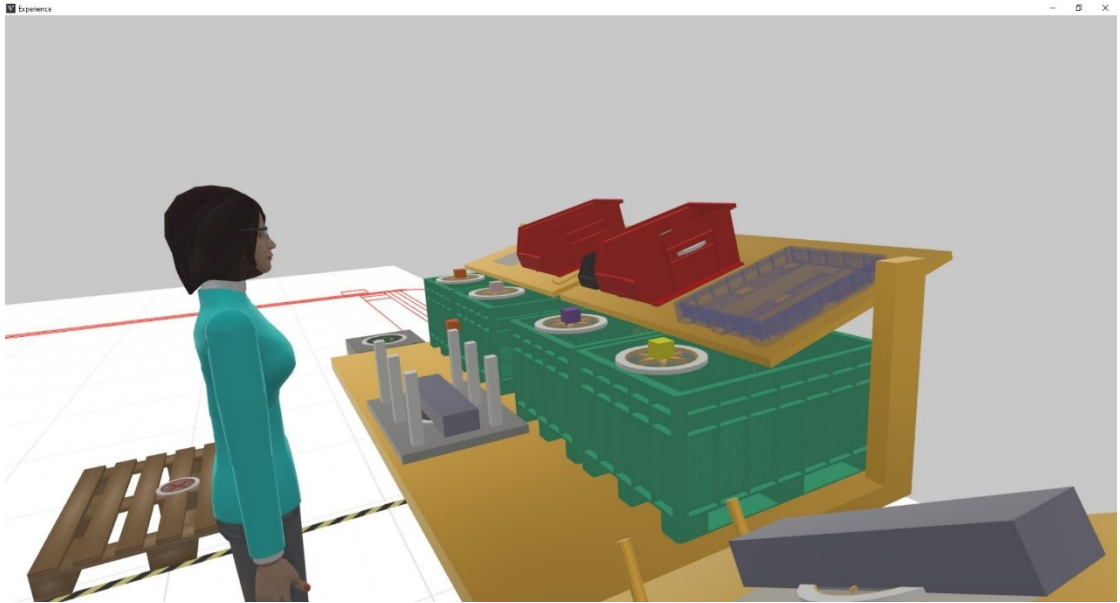
Taulukko 1. Vaihtoehtojen vertailua lähtötilanteeseen

malli	työntekijät	ajan suhteellinen muutos
alkutilanne	2	100
malli 1	2	75
malli 2	2	95,83
malli 3	1	125
malli 4	1	133,33
malli 5	1	116,66
malli 5 kahdella työpisteellä	2	58,33

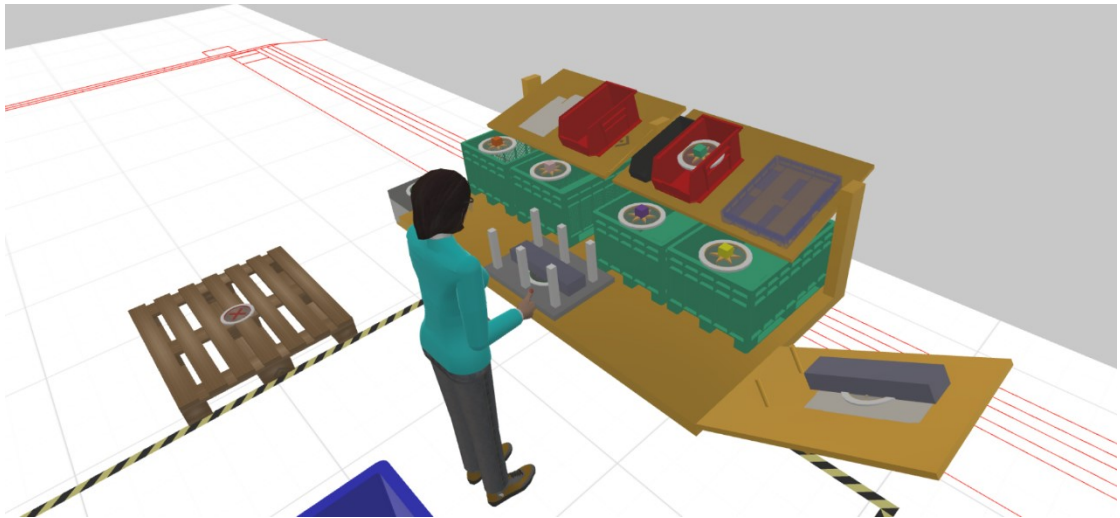
Taulukossa 1 on esitetty vertailu eri mallien läpimenoajasta suhteessa lähtötilanteeseen.

3.4 Visual components experience

Käytössä olleeseen Visual components -ohjelmaan on myös tehty experience-nimellä kulkeva virtuaalitodellisuusohjelmisto, ja koska oppilaitoksen käytössä on ohjelman tukemat virtuaalilasit, HTC VIVE, oli mahdollisuus tutkia tehtyä mallia myös uudesta näkökulmasta.

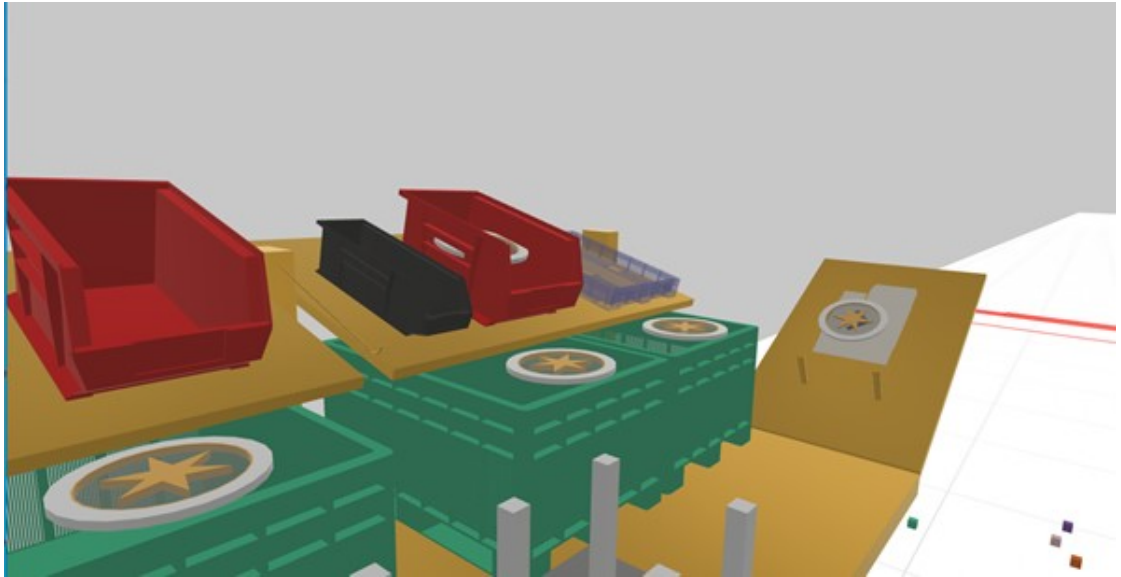


Kuva 41. Malli 5 experience-ohjelmassa.



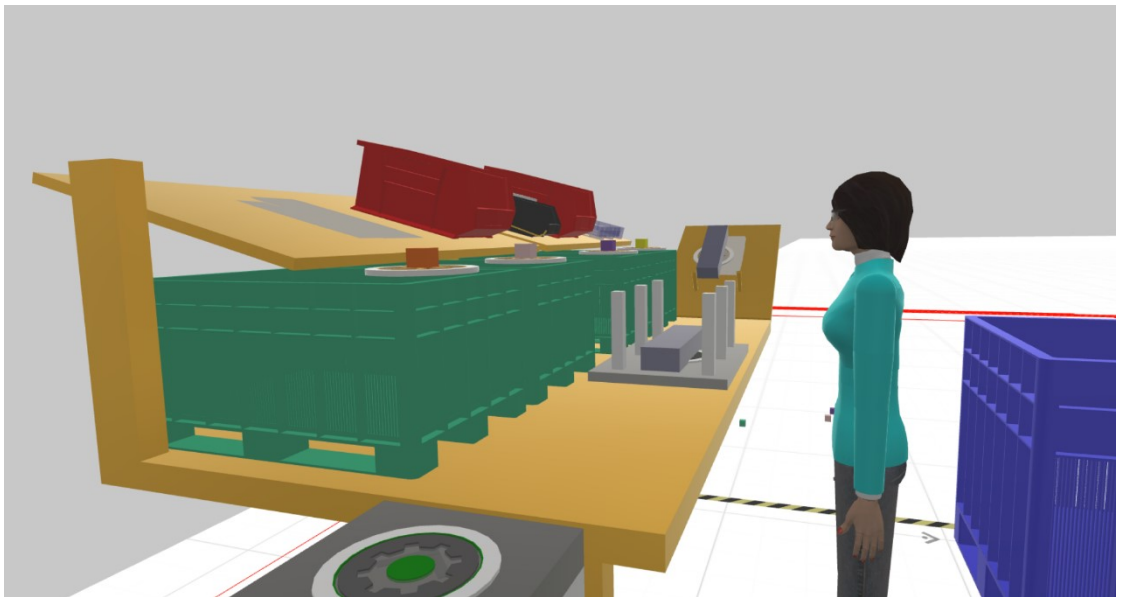
Kuva 42. Lisää experienceä.

Lasien kanssa oli myös mahdollista tehdä ergonomiatarkastelua eripituisten työntekijöiden kohdalla. Kuvissa 41 ja 42 on 170 senttimetriä pitkä työntekijä ja kuvassa 44 työntekijän pituus asetettiin 152 senttimetriin.

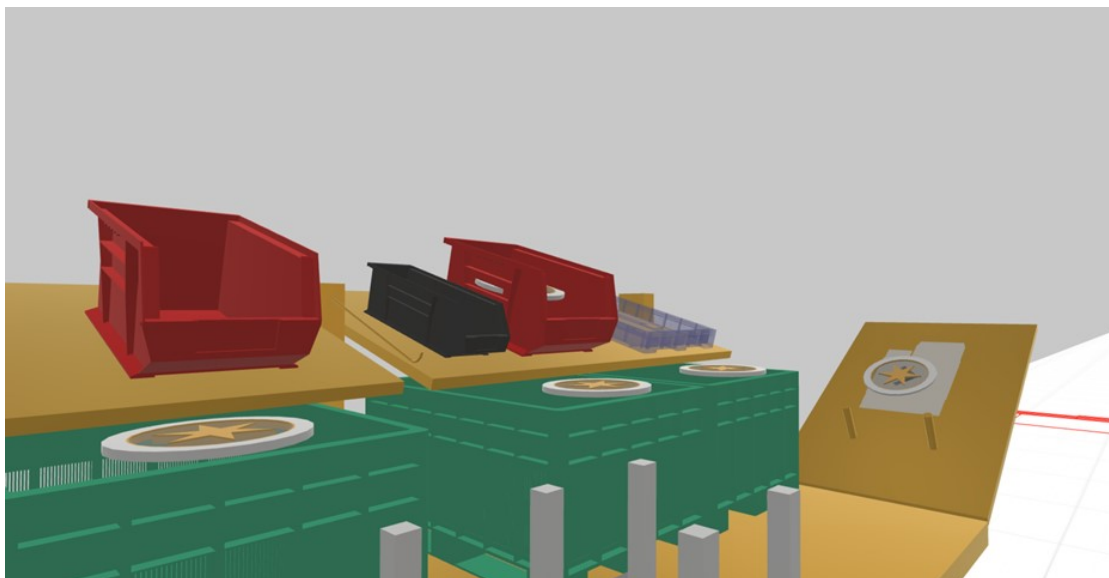


Kuva 43. 170 cm työntekijän silmin

Kuvassa 43 on näkymä työpisteestä 170 senttiä pitkän työntekijän silmin.



Kuva 44. 152 cm hahmo



Kuva 45. 152 cm työntekijän silmin

Kuvassa 44 esitettynä 152 cm pitkä työntekijä ja kuvassa 45 näkymä työpisteestä hänen silmin nähtynä.

Virtuaalilasien kanssa tehty tarkastelu toi selkeästi esille, kuinka haastavaa on suunnitella toimiva työpiste huomattavan eripituisille ihmisille. Kuvassa 46 on menossa ergonomiatarkastelu mallista 5.



Kuva 46. Opinnäytetyöntekijä virtuaalitodellisuudessa

4 JOHTOPÄÄTÖKSET JA POHDINTA

Opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää simuloinnin keinoin, onko asiakasyrityksen valmistaman tuotteen kokoonpanopistettä mahdollista järjestää tehokkaammaksi. Taulukkoon 2 on kerätty vertailu alkutilanteen ja esitettyjen mallien eroavuudet työntekijöiden määrän, työhön kuluvan ajan suhteellisen muutoksen ja kustannusten suhteellisten muutosten kesken.

Taulukko 2. Vertailu lähtötilanteen ja mallien kesken.

malli	työntekijät	ajan suht. muutos	suhteellinen kustannus
alkutilanne	2	100	100
malli 1	2	75	75
malli 2	2	95,83	85,83
malli 3	1	125	62,5
malli 4	1	133,33	66,7
malli 5	1	116,66	58,25
malli 5 kahdella työpisteellä	2	58,33	58,33

Taulukossa 2 on verrattu eri mallien täyteen tuotelavaan kuluvaan aikaan ja suhteellista kustannusta lähtötilanteeseen. Kustannukseen on huomioitu vain työntekijän palkkakustannus, joka on oletettu samaksi jokaisessa vertailussa. Täyteen lavaan pakataan 77 kappaletta tuotetta. Taulukosta 2 on luettavissa, että mallien 1 ja 2 pienilläkin muutoksilla on saavutettavissa säästöä ajan ja kustannusten suhteen. Mallit 3 ja 4 häviävät ajassa lähtötilanteelle, mutta tuovat selkeää säästöä kustannuksissa. Malli 5 ei vie kovin paljoa enemmän aikaa, mutta miltei puolittaa kustannukset. Pisimmälle jalostetuin malli 5 on myös helppo monistaa tarvittaessa, esimerkiksi tilausten määrän kasvaessa suuresti. Kahdella mallin 5 layoutilla tehdyllä työpisteellä täysi lava valmistuu hieman pyöristettynä 60 % ajasta ja kustannuksessa alkutilanteeseen verraten.

Jokainen malli on suunniteltu käyttäen mahdollisimman paljon yrityksestä jo löytyviä osia, jotta investoinnit jäisivät mahdollisimman vähäisiksi. Ergonomian kannalta hyödyllinen sähköisesti säädettävä työpöytä olisi suurin, mutta perusteltu, hankinta. Simuloidut mallit voidaan myös soveltaa muihin vastaaviin kokoonpanoihin pienillä muutoksilla. Malli 5 on esimerkkinä simuloitu kahdella työpisteellä, mutta mikään ei estä asiakasyritystä monistamasta mallia tilanteen niin vaatiessa.

Opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää simuloinnin avulla tehokkaampi layout asiakasyrityksen kokoonpanopisteelle. Simuloimalla saatiin suunniteltua malleja, joista kaikki olivat joko nopeampia, kustannustehokkaampia tai molempia kuin lähtötilanne. Saadun tiedon valossa malli 5 kahdella työpisteellä olisi selkeästi paras suunnitelluista malleista.

Simuloituja malleja olisi voinut testata käytännössä enemmän. Oman käytännökokemuksen rajallisuudesta johtuen käytössä olisi voinut tulla esille lisää kannattavia muutoksia suunniteltuihin layoutteihin. Jatkokehityksenä malleihin olisikin PDCA-kierron mukaisesti tehtävä riittävä määrä tarkistus- ja muokauskierroksia.

LÄHTEET

About us. 2020a. Visualcomponents. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.visualcomponents.com/about-us/> [viitattu 10.10.2021]

Allen, T. 2010. Introduction to Engineering Statistics and Lean Sigma: Statistical Quality Control and Design of Experiments and Systems. 2. painos. New York. Springer Science & Business Media.

Banks, J., Carson, J II., Nelson, B., Nicol, D. 2010. Discrete-event System Simulation. 5. Painos. New Jersey. Pearson Education Inc.

Earley, T. 2015. The seven wastes. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://leanmanufacturingtools.org/77/the-seven-wastes-7-mudas/> [viitattu 10.09.2021].

Hessing, T. 2013. Spaghetti Diagram. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://sixsigmastudyguide.com/spaghetti-diagram/> [viitattu 20.09.2021]

Kouri, I. 2010a. Lean management – miten vähemmän voi olla enemmän? Luentomateriaali. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://docplayer.fi/3225385-Lean-management-miten-vahemman-voi-olla-enemman-ilkka-kouri-lean-management-1.html> [viitattu 04.09.2021].

Kouri, I. 2010b. Lean taskukirja. Teknologiainfo Teknova Oy. Helsinki: Teknologiaellisuus ry.

Products. 2020b. Visualcomponents. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.visualcomponents.com/products/> [viitattu 10.10.2021]

Skhmot, N. 2017. The 8 wastes of Lean. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://theleanway.net/The-8-Wastes-of-Lean> [viitattu 10.09.2021]

Visual Components Experience. 2020c. Visualcomponents. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.visualcomponents.com/visual-components-experience/> [viitattu 10.10.2021]