

Miika Piiparinen

KOKOONPANOSOLUN KEHITTÄMINEN

Opinnäytetyö
CENTRIA-AMMATTIKORKEAKOULU
Insinööri (AMK), tuotantotalouden koulutus
Kesäkuu 2021



TIIVISTELMÄ OPINNÄYTETYÖSTÄ

Centria-ammattikorkeakoulu	Aika Kesäkuu 2021	Tekijä/tekijät Miika Piiparinen
Koulutus Insinööri (AMK), tuotantotalous		<input checked="" type="checkbox"/> AMK <input type="checkbox"/> YAMK
Työn nimi KOKOONPANOSOLUN KEHITTÄMINEN.		
Työn ohjaaja Sakari Pieskä ja Jari Kaarela		Sivumäärä 35 + 2
Työelämäohjaaja Marko Virtanen		
<p>Opinnäytetyön tavoitteena oli etsiä ratkaisuja vaihdekoonpanosolun tuotannon kehittämiseksi. Kehittämisessä sovellettiin Lean-toimintastrategiaa. Kehittämisen tavoitteena oli parantaa tuotannon virtaustehokkuutta. Koonpanosolun prosessista tunnistettiin arvoa tuottamattomia toimia, jotka Lean-toimintastrategian teoriassa on luokiteltu kahdeksaksi hukkan muodoksi. Tunnistettujen hukkien poistamiseksi tai vähentämiseksi suunniteltiin muutoksia tuotantosolun toimintaan.</p> <p>Koonpanosolun tuotannon kehittämiseksi laadittiin muutosehdotuksia. Koonpanosolusta laadittiin uusi layout. Ehdotetun pohjaratkaisun yhteydessä suositeltiin mukauttamaan eräköko sopivammaksi uuteen pohjaratkaisuun. Keskenkäisten tuotteiden varastointiin ehdotettiin muutosta, johon liittyen ideoitettiin yhden uuden työvälineen käyttöönotto.</p> <p>Muutosehdotusten vaikutuksista virtaustehokkuuteen laadittiin arvovirtakuvaus, josta voitiin havaita erot alkuperäisen ja muutetun tuotantotavan välillä. Alkuperäisen ja ehdotetun pohjaratkaisun eroja havainnollistettiin spagettidiagrammin avulla.</p> <p>Opinnäytetyön liitteet salattiin ja toimitettiin ainoastaan toimeksiantajalle.</p>		
Asiasanat Hukka, Lean, virtaustehokkuus		

ABSTRACT

Centria University of Applied Sciences	Date June 2021	Author Miika Piiparinen
Degree programme Bachelor of Engineering, Industrial Management		
Name of thesis IMPROVEMENT OF AN ASSEMBLY WORK CELL.		
Instructor Sakari Pieskä and Jari Kaarela	Pages 35 + 2	
Supervisor Marko Virtanen		
<p>The goal of this thesis was to find solutions for developing an assembly work cell. Lean strategy was used in this development. The main goal was to improve the flow efficiency of production. Wastes of production process were identified. The wastes were categorized in smaller groups that are known as eight wastes in Lean strategy. Changes were planned to remove identified wastes.</p> <p>Proposals were made to improve production. A new layout was designed and changing batch size to match better to the new layout was recommended. A proposal for smaller inventory was made. An idea of adding one tool to working cell was created.</p> <p>Value stream mapping was made to describe the effects of these proposals to the flow efficiency. The original layout and the recommended layout were compared using Spaghetti Diagram.</p> <p>The attachments of the thesis are not public.</p>		

<p>Key words Flow efficiency, lean, waste</p>
--

KÄSITTEIDEN MÄÄRITTELY

LEAN

Toimintastrategia, jonka avulla tavoitellaan hyvää virtaustehokkuutta tuotannossa.

SPAGETTIDIAGRAMMI

Pohjakuvaan piirretty valmistettavan tuotteen fyysinen liike tuotantosolussa.

VIRTAUSTEHOKKUUS

Arvoa tuottaviin toimiin käytetyn ajan suhde kokonaistuotantoaikaan.

TIIVISTELMÄ
ABSTRACT
KÄSITTEIDEN MÄÄRITTELY
SISÄLLYS

1 JOHDANTO	1
2 KONECRANES	3
3 LEAN KOKOONPANOSOLUN KEHITTÄMISESSÄ	5
3.1 Hukan ilmenemismuodot	6
3.1.1 Tuotteen virheistä johtuva hukka	6
3.1.2 Tarpeettomien kuljetustoimintojen luoma hukka	7
3.1.3 Liian suuresta varastoinnista johtuva hukka	8
3.1.4 Liikatuotannosta johtuva hukka	10
3.1.5 Odotusajasta johtuva hukka	10
3.1.6 Liikkeestä johtuva hukka	11
3.1.7 Liikaprocessoinnista johtuva hukka	12
3.1.8 Henkilöstön ajattelukapasiteetin huomiotta jättäminen	12
3.2 Virtaustehokkuus	13
3.3 Littlen laki	15
3.4 Pullonkaulojen laki	16
3.5 Vaihtelun laki ja ylikuormitus	17
3.6 Prosessilakien vaikutus virtaustehokkuuteen	19
3.7 Jatkuva parantaminen	20
4 KOKOONPANOSOLUN TYÖNTEKIJÄN ERGONOMIA	21
5 TUOTANTOSOLUN LÄHTÖTILANNE	23
5.1 Layout	24
5.2 Työtavat ja -menetelmät	25
5.3 Keskenäinen työ	26
5.4 Työn ergonomia	27
6 MUUTOSEHDOTUKSIA TUOTANTOSOLUN UUDISTAMISEEN	29
6.1 Keskenäisen työn vähentäminen akseliyhdistelmien osalta	29
6.2 Kuumien kappaleiden käsittely ja karuselli	30
6.3 Layout	31
7 POHDINTA	34
LÄHTEET	35
LIITTEET	
KUVIOT	
KUVIO 1. Arvovirtakuvausten peruselementit.....	15
KUVIO 2. Kingmanin kaavaa havainnollistava kuvio	19
KUVAT	
KUVA 1. Konecranesin tuotteita	4

KUVA 2. Vedenkorkeuden vertaaminen varaston suuruuteen.....	9
KUVA 3. Akseliyhdistelmät asetettuna käsivaraisesti lavalle.....	26

1 JOHDANTO

Tässä opinnäytetyössä tutkitaan ratkaisuja Konecranes Hämeenlinnan nostintehtaan GES3-vaihdekoonpanosolun tuotannon virtauksen parantamiseen. Konecranesin tavoite on hyödyntää kasvumahdollisuudet ja laajentaa toimintaa, sekä parantaa kannattavuutta merkittävästi. Kannattavuuden osalta tavoite on olla paras yritys verrokkirytysten joukossa. Kasvutavoitteen tueksi yritys on määrittänyt uudeksi tarkoitukseksi materiaalivirtojen edistämisen, sekä visiokseen olla materiaalivirtojen hallinnan edelläkävijä. Konecranes haluaa tarjota asiakkailleen hyötyä turvallisilla ja kestäväillä tuottavuusratkaisuilla. Voidakseen tarjota asiakkaille edellä mainittuja hyötyjä, on luonnollisesti yrityksen oman tuotannon kannattavuuden oltava huipputasolla. (Konecranes 2019, 7-16.)

Tämä opinnäytetyö rajattiin käsittelemään tuotannon virtaukseen liittyviä tekijöitä ainoastaan työn kohteena olevan tuotantosolun osalta. Käytännön toteutuksesta ja siihen kuuluvista päätöksistä vastasi opinnäytetyön tilaaja. Tässä opinnäytetyössä ei arvioitu itse tuotannonohjausjärjestelmää eikä muiden tuotantosolujen vaikutuksia kohteena olevaan tuotantosoluun. Esitettyjen parannusehdotusten käyttöönottamisesta ja toteuttamisesta vastasi tilaaja.

Tilaajan ehdotuksen mukaisesti opinnäytetyössä tutkittiin, voidaanko virtaustehokkuutta parantaa layout-muutoksella, muuttamalla työtapoja, minimoimalla keskeneräistä työtä tai parantamalla työergonomiaa. Tuotannossa esiintyy myös joitakin häiriöitä, joita tarkastellaan kyseisen solun toiminnan osalta. Jotkut häiriöt saattavat johtua materiaalivirran aiemmista vaiheista ja tuotantosoluista. Koska tutkimuskohteeksi rajattiin vain kyseinen kokoonpanosolu, ei kaikkiin häiriöihin voida tämän opinnäytetyön puitteissa välttämättä vaikuttaa. Opinnäytetyössä sovellettiin Lean-johtamisfilosofiassa käytettäviä periaatteita. Tavoitteena oli tunnistaa tuotannossa esiintyviä hukkia ja etsiä ratkaisuja niiden poistamiseksi tai vähentämiseksi.

Opinnäytetyössä esitetyt päätelmät parannusehdotuksista on tehty tilaajan toimittamien tietojen pohjalta. Tuotantosolusta on tehty työntutkimusta, josta ilmenee eri työvaiheisiin käytetty aika. Tilaaja on laatinut solusta pohjakuvan ja määritellyt mahdollisiin muutoksiin vaikuttavat vaatimukset pohjakuvan suhteen. Opinnäytetyö ei varsinaisesti sisällä nykyisen tuotantosolun toimintaan liittyvää tiedon keräämistä tai suorituskyvyn mittaamista.

Opinnäytetyössä esitellään aiheeseen liittyvää teoriaa. Tähän osuuteen on valikoitu sellaisia teoriatietoja, jotka opinnäytetyön tekijä on katsonut oleellisesti liittyvän aiheeseen. Teoriaosuuden alussa käsitellään Lean-johtamisfilosofiaa lyhyesti yleisellä tasolla. Seuraavaksi esitellään hukan kahdeksan eri muotoa, jotka liittyvät olennaisena osana virtaustehokkuuden parantamiseen. Tämän jälkeen perehdytään virtaustehokkuuteen ja siihen vaikuttaviin prosessilakeihin. Viidennessä luvussa kerrotaan tuotantosolun tilanteesta ennen muutoksia ja tuodaan esille mahdollisia kehityskohteita. Opinnäytetyön lopussa esitellään teoriaosuuteen pohjautuvia muutosehdotuksia.

Käytetyt lähteet koostuvat pääosin Lean-johtamisfilosofiaa käsittelevästä kirjallisuudesta. Osa lähde-oksista on saatavilla ainoastaan englanninkielisenä, mutta suurin osa on julkaistu myös suomeksi.

2 KONECRANES

Konecranes on maailman johtava nostolaittevalmistaja, joka tarjoaa myös huoltopalveluja. Yhtiön historia ulottuu 1910-luvulle, jolloin Kone Oy perustettiin. Vuonna 1994 Konecranes irtaantui Kone Osakeyhtiöstä ja on siitä lähtien toiminut itsenäisenä yrityksenä. Konsernissa työskentelee tällä hetkellä noin 16800 työntekijää 50 maassa. Kunnossapito-liiketoiminta-alue toimittaa asiantuntevia kunnossapitopalveluja ja varaosia kaikentyyppisiin ja -merkkisiin teollisuudessa käytettäviin nostureihin ja nostimiin. Teollisuuslaitteet-liiketoiminta-alue tarjoaa nostimia, nostureita ja materiaalinkäsittelyratkaisuja useille eri teollisuudenaloille. Satamaratkaisut-liiketoiminta-alue tarjoaa täyden valikoiman kontinkäsittelylaitteita ja automaatioteknologiaa, irtotavaran sekä yleisrahdin ja projektirahdin käsittelylaitteita, sekä telakoiden materiaalinkäsittelylaitteita ja raskaan kuorman trukkeja. Yrityksellä on Suomessa valmistavaa tuotantoa Hyvinkäällä ja Hämeenlinnassa.

Konecranes on kasvanut viime vuosina voimakkaasti. Hiljattain toteutettu yhdistyminen Terexin kanssa kasvatti liikevaihtoa noin puolitoistakertaiseksi. Vuoden 2020 liikevaihto oli 3,2 miljardia euroa. Tällä hetkellä suunnitteilla on kahden suuren suomalaisen yrityksen, Konecranesin ja Cargotecin yhdistyminen. Mikäli kilpailuviranomaisten puolesta yhdistymiselle ei tule esteitä, muodostuu tästä yhdistyneestä yrityksestä suorastaan jättimäinen tekijä globaalilla markkinalla. Vaikka molemmat yritykset toimittavat materiaalinkäsittelylaitteita, ei niiden toiminnoissa ole satamalaitteet-liiketoiminta-aluetta lukuun ottamatta merkittävässä määrin päällekkäisiä toimia.

Konecranes on valmistanut toimintansa alusta saakka teollisuudessa käytettäviä nostimia ja nostureita. Tällä hetkellä Konecranes valmistaa esimerkiksi työpistenostureita, siltanostureita, räjähdysvaarallisen ympäristön nostureita, satamalaitteita, trukkeja ja materiaalinhallintajärjestelmiä (KUVA 1). Suomessa Hämeenlinnan nostintehtaalla valmistetaan sarjavalmistettavia nostimia, jotka yleensä liitetään osaksi suurempaa kokonaisuutta eli nosturia. Yhtiön kotipaikka sijaitsee Hyvinkäällä, jossa myös valmistetaan raskaampien nostureiden komponentteja sekä sähkölaitteita.



KUVA 1. Konecranesin tuotteita (Konecranes 2021)

Konecranes kehittää tuotteitaan jatkuvasti turvallisemmaksi ja tehokkaammaksi. Esimerkiksi köysinostimiin on valittavana perinteisen teräsköyden sijaan synteettinen nostoköysi, joka on ominaisuuksiltaan kestävämpi, kevyempi ja huoltovapaampi. Laitteisiin on tarjolla lukuisia käyttöä helpottavia ja turvallisuutta parantavia automaattisia toimintoja. Koukun keskitys poistaa vinovedon noston aikana siirtämällä nosturin automaattisesti nostettavan taakan yläpuolelle. Siltanostureihin on saatavilla toiminto, jossa nosturi voidaan siirtää kuorman yläpuolelle ohjaamalla koukkua kädellä. Nosturin toiminta-alueelle voidaan määritellä suojattuja alueita, joihin nosturi ei saa mennä. Loppupaikoitus vähentää nosturin käyttäjän työtä viemällä kuorman ennalta määriteltyyn kohteeseen yhdellä napin painalluksella.

3 LEAN KOKOONPANOSOLUN KEHITTÄMISESSÄ

Lean on toimintastrategia, jota käyttämällä pyritään saavuttamaan tuotannon hyvä virtaustehokkuus (Modig & Åhlström 2013, 117). Torkkola (2015, 11) puolestaan määrittelee, että Leanissa tavoitteena on lyhentää tehtävään käytettyä aikaa ja tehdä tuo aika ennalta tunnetuksi. Yksi suosittu määritelmä liittyy Toyotan tuotantojärjestelmään, jossa eri tekniikoita yhdistämällä pyritään vähentämään ja lopulta poistamaan tuotannossa ilmeneviä hukkia. Seurauksena tuotanto muuttuu joustavammaksi ja herkemmin reagoivaksi. (Wilson 2015, 133.) Tavoitteena on luoda toimintaa, joka asiakkaan näkökulmasta tuottaa arvoa ostetulle tuotteelle tai palvelulle.

Yleisesti Lean-toimintastrategian mielletään juontavan juurensa Toyotan tuotantotavasta. 1950-luvulla nuori Eiji Toyoda vieraili Fordin tehtailla, koska hän halusi tutkia massatuotannon menetelmiä. Jättimäisessä tehtaassa valmistui valtava määrä autoja, ja tehdas vaikutti modernilta ja tehokkaalta. Tutkituaan asiaa riittävästi Eiji Toyoda tuli siihen tulokseen, ettei vastaava toimintatapa soveltunut Japaniin, joka vielä kamppaili sodan jälkeisessä niukkuudessa. Koska käytössä olevat resurssit olivat heikot, Eiji Toyoda ja tuotantoinsinööri Taiichi Ohno päättivät kehittää tuotantotavan, joka sopisi paremmin Japanin olosuhteisiin. Tuloksena oli Toyotan tuotantotavaksi ja Leanin prototyypiksi kutsuttu menetelmä, joka kykeni joustavasti ja pienemmillä kustannuksilla tuottamaan erityyppisiä autoja samassa tehtaassa. (Nicholas 2011, 8.)

Lean-toimintastrategian avulla tavoitellaan tuottavuuden parantamista. Nykyisin Leania sovelletaan yhä useammin sarjatuotannon lisäksi lähes kaikkeen työskentelyyn, esimerkiksi huoltopalveluiden tuottamiseen sekä asiantuntijatyöhön. Tästäkin syystä sen määrittely lyhyesti ja yleispätevästi on haasteellista. Lean ei myöskään ole joka paikkaan samankaltaisena soveltuva valmis ratkaisu. Koska kaikki yritykset ovat erilaisia, Leanin periaatteita on sovellettava yrityskohtaisesti.

Yksi olennainen piirre Leania soveltavassa toiminnassa on läpinäkyvyys. Toiminnan puutteita ei pyritä piilottamaan, vaan päinvastoin niitä on tarkoitus tuoda esiin ja sen jälkeen kehittää toimintaa paremmaksi. Puutteiden etsimisessä ei ole tavoitteena henkilöiden syyllistäminen vaan kehittämistä vaativien kohteiden löytäminen prosessista. Toiminnan muuttaminen Leanin periaatteiden mukaiseen suuntaan vaatii usein runsaasti ongelmanratkaisua. Etenkin alkuvaiheessa kannattaa tavoitella pieniä muutoksia, ettei henkilöstö koe niitä liian rasittavina. Lean-strategian soveltaminen on kärsivällisyyttä vaativaa toi-

mintaa. Soveltamisen ei tulisi olla projektiluontoista vaan tarkoituksena tulisi olla prosessin jatkuva parantaminen. Tässä opinnäytetyössä käydään läpi niitä Leaniin liittyviä seikkoja, jotka liittyvät työn tilaajalle esitettyihin parannusehdotuksiin.

3.1 Hukan ilmenemismuodot

Hukka on nimensä mukaisesti toimintaa, joka ei edistä asetetun tavoitteen saavuttamista. Asiakkaan näkökulmasta katsottuna tällaisessa toiminnassa tuotteen tai palvelun arvo ei kasva. Prosessin kyvykkyyden parantamiseksi hukasta tulee päästä eroon. Hukan poistamiseksi on prosessissa esiintyvät hukat ensimmäiseksi tunnistettava. Tunnistamista saattaa helpottaa asioiden pilkkominen pienempiin osiin. Kiili (2018, 10) luokittelee virtaukselle haitalliset tekijät kolmeen eri kategoriaan:

1. ylikuormitus (Muri)
2. epätasapaino tai vaihtelu (Mura) ja
3. hukan kahdeksan yleisimmin tunnistettua muotoa (Muda).

Hukan yleisimmin tunnistetut muodot, jotka mainitaan myös standardissa ISO 13053-2, ovat tuotteen virheistä johtuva hukka, tarpeettomien kuljetustoimintojen luoma hukka, liian suuresta varastosta johtuva hukka, liikatuotannosta johtuva hukka, odotusajasta johtuva hukka, liikaprosessointi sekä liikkeestä johtuva hukka (SFS 2014, 74). Nykyisin myös työntekijöiden ajattelukapasiteetin huomiotta jättäminen lasketaan yhdeksi yleisesti tunnistetuksi hukan muodoksi.

3.1.1 Tuotteen virheistä johtuva hukka

Viallisten tuotteiden tuottaminen, niiden korjaaminen tai romuttaminen on merkittävä hukan ilmenemismuoto. Mitä myöhemmässä vaiheessa tuotteessa tai palvelussa oleva vika havaitaan, sitä suuremmat ovat vian korjaamisesta aiheutuvat kustannukset. Mikäli vika havaitaan ennen kuin tuote lähtee asiakkaalle, kustannukset muodostuvat tuotteen korjaamisesta. Jos puolestaan vian havaitsee asiakas, tuotteen korjauskustannukset nousevat olosuhteista ja logistisista syistä. Lisäksi saatetaan menettää olemassa olevien ja potentiaalisten asiakkaiden tilauksia tulevaisuudessa. Vikojen havaitseminen ja korjaaminen aikaisessakin vaiheessa on resurssien hukkaamista, koska se aiheuttaa tuotannon viivästymistä ja kasvattaa tuotteen läpimenoaikaa. Tekemällä kerralla oikein säästetään kustannuksia. Kerralla oikein tekeminen

edellyttää puolestaan prosessin vikoja aiheuttavien juurisyiden löytämisen ja poistamisen. (Nicholas 2011, 60-61.)

Mitä aikaisemmassa vaiheessa prosessia työskennellään, sitä tärkeämpää on virheetön toiminta. Virheiden vaikutukset kumuloituvat tuotteen edetessä prosessissa. Virheen tekemisen ja sen havaitsemisen välillä tuotteeseen kohdistetut resurssit kuormittuvat kahteen kertaan. Viallisten tuotteiden korjauskustannuksiin vaikuttaa kaksi tekijää: virheen aiheutuminen, sen havaitseminen ja näiden sijainti prosessissa. Pahimmillaan vika havaitaan vasta asiakkaalla, kuten edellisessä kappaleessa mainittiin. Keskeytykset ja väärinymmärrykset aiheuttavat myös resurssien uudelleen kuormittumista. (Torkkola 2015, 27.)

3.1.2 Tarpeettomien kuljetustoimintojen luoma hukka

Tarpeeton siirtely ei luo lisäarvoa tuotteelle. Yleensä tuotteita joudutaan siirtämään tuotannossa eri työpisteiltä toisille. Siirtäminen voi tapahtua kuljettimen, haarukkavaunun, trukin, nosturin tai muun vastaavan välityksellä. Siirtämismatkan pituuteen vaikuttaa työpisteiden, koneiden ja varastojen ym. sijoittelu sekä prosessin määräämä reititys. Eri tuotteet voivat kulkea eri reittejä erilaisessa järjestyksessä samassa tehtaassa tai tuotantosolussa. Kuljetuksen kustannukset koostuvat siihen käytetystä ajasta työvoimakustannuksina, investoiduista kuljetuskalustosta sekä toimitilan kustannuksista. Koska tuotteelle ei tapahdu mitään arvoa lisäävää kuljetuksen aikana, on tavoiteltavaa minimoida tätäkin hukan muotoa. (Nicholas 2011, 61.)

Materiaalin liikkumista voidaan tarkastella spagettidiagrammin avulla. Tämä yksinkertainen mutta tehokas työkalu auttaa visualisoimaan materiaalin liikkeen prosessissa. Spagettidiagrammi voidaan yksinkertaisimmillaan muodostaa piirtämällä kynällä paperille tuotteen liike prosessissa. Kun siirtoreitit ovat nähtävillä, voidaan helpommin tunnistaa mahdollisia parannuskohteita tarpeettoman kuljetteluun vähentämiseksi. (Wilson 2015, 231.) Työpisteiden, varastojen ja kulkureittien sijoittelulla tuotantotilaan on merkittävä vaikutus materiaalien liikuttamisen kannalta. Muutokset tuotantotiloissa vaativat aikaa ja resursseja, jotka ovat pois itse tuotannon toiminnasta, ja siksi kannattaakin tavoitella myös muutosten suunnittelussa virheetöntä toimintaa. Jatkuva suurten muutosten tekeminen rasittaa henkilöstöä ja yrityksen taloutta. Hyvin suunniteltu ja toteutettu tuotantotila palkitsee kestävyydellä, toimivuudella, turvallisuudella ja tehokkaalla materiaaliveirillä ja minimoi tarpeettoman kuljetteluun.

3.1.3 Liian suuresta varastoinnista johtuva hukka

Varastointi on hukan ilmenemismuotona erityisen haitallinen, koska se saattaa piilottaa useita muita hukan ilmenemismuotoja sisäänsä. Varastoinnista kumpuava hukka on pahimmassa tapauksessa hyvin monitahoista. Varastoinnin aikana itse tuotteelle ei tapahdu mitään arvoa lisäävää, ellei varastointi itsessään ole osa tuotteen valmistusprosessia. Hukkaan kuluu aikaa, jota voitaisiin käyttää arvoa lisäävään toimintaan. Mitä suurempaa varastoa joudutaan ylläpitämään, sitä suurempia kustannuksia varastoinnista aiheutuu. Varastointikustannukset muodostuvat vaadittavista tiloista, varastonhallinnasta, vakuutuksista, mahdollisesta vartioinnista ja tuotteen sitomasta pääomasta. Koska varastoinnin sitomaa pääomaa ei voida käyttää muihin tarkoituksiin, tulisi huomioida vaihtoehtoiskustannus. Usein liiketoimintaa rahoitetaan velkarahalla, jolloin varastoinnin sitomasta pääomasta aiheutuu myös korkokuluja. (Nicholas 2011, 62.)

Varastointia saatetaan suosia kaiken varalta, jolloin ylläpidettävän varaston ajatellaan suojaavan kaikilta tapahtumilta, jotka voivat vaikuttaa negatiivisesti tuotantoon. Kustannusten tiedostamisesta huolimatta ajatellaan, että suuren varaston ylläpito on välttämätöntä ongelmatilanteista selviämisen kannalta. Esimerkkinä voidaan ajatella tilannetta, jossa varastoa ylläpidetään ennalta-arvaamattomien laitevikojen aiheuttamien tuotantokatkosten vuoksi. Tällöin seisokkiaikana voidaan tuotteita ottaa varastopuskurista, jolloin materiaalivirta ei pysähdy eikä laitevika aiheuta toimitusviiveitä. Lean-ajattelussa tavoitteena on etsiä ongelmien juurisyyt ja tavoitella niiden ratkaisemista pelkkien oireiden hoitamisen sijasta. Tässä esimerkissä keskittyminen ennakoivaan kunnossapitooon voisi ehkäistä yllättävät korjauseisokit, jolloin varastopuskurin tarve pienenesi huomattavasti tai parhaimmillaan poistuisi kokonaan. (Nicholas 2011, 62.)

Suurta varastoa saatetaan perustella myös materiaaleissa ja tuotteissa esiintyvien laatupoikkeamien vuoksi. Poikkeamat aiheuttavat katkoksia tai viivästymisiä tuotannossa. Silloin voidaan jälleen turvautua varastopuskuriin, jotta toimitukset eivät ainakaan kokonaan lakkaa. Tässä tilanteessa vaihtoehtona varastolle voidaan materiaali- ja tuotetoimittajille asettaa korkeampia laatuvaatimuksia. Korkeampi laatu saavutetaan esimerkiksi parantamalla tuotesuunnittelua tai tuotantoprosesseja, jolloin poikkeamat tuotteissa ja materiaaleissa jäävät kokonaan syntymättä. Myös suuret eräkoot saattavat aiheuttaa suuria varastoja. Suuria eräkojoja perustellaan usein resurssitehokkuudella, joka huippuun viritettynä saa tuotannon näyttämään tehokkaalta henkilöstön ja koneiden käyttöastetta tarkastellessa. Mikäli onnistutaan pie-

nentämään vaihtoaikoja ja vähentämään erien välisiä asetuskustannuksia tai mikäli edellä mainitut kustannukset eivät näyttele merkittävää osaa tuotantokustannuksissa, on pienempien eräkokojen tuottaminen taloudellisempaa. Eräkokojen pienentämisestä seuraa myös varastotarpeiden väheneminen. (Nicholas 2011, 62.)

Yhteenvedona varaston roolia tuotannossa voidaan havainnollistaa vertauksella, jossa laiva seilaa vesillä (KUVA 2). Tässä vertauksessa veden korkeus kuvaa varaston määrää. Pohjan karikot puolestaan kuvaavat tuotannossa esiintyviä ongelmia ja puutteita, kuten heikkoa tuotannosuunnittelua, riittämätöntä kunnossapitoa, pitkiä asetusajoja, huonoa tuotesuunnittelua ja laadunseurantaa. Kun vesi on korkealla, laivan on helppo välttää karikot. Toisin sanoen suuret varastot peittävät tuotannon ongelmat, eikä ongelmia aiheuttavia juurisyytä jouduta ratkomaan. Tuotannon johtaminen on vaivatonta, mutta suuret varastot aiheuttavat suuria kustannuksia. Jos taas veden pintaa lasketaan, eli varastoja pienennetään, karikot tulevat esiin ja laivan eteneminen käy haastavammaksi ja hitaammaksi. Tällöin tulisi kiinnittää huomio esiintyvien ongelmien poistamiseen tai vähentämiseen, jolloin karikot tasaantuvat ja madaltuvat, ja laiva pääsee etenemään vaivatta matalikollakin. Ongelmien ratkaisun myötä varastokustannuksia sekä lukuisia eri hukista muodostuvia kustannuksia on saatu pienennettyä merkittävästi. Lean-ajattelussa varaston pienentäminen ei siis itsessään ole ainoa päämäärä, vaan se on keino nostaa esiin ongelmat ja hukkaa aiheuttavat toimintatavat tuotannosta.



KUVA 2. Vedenkorkeuden vertaaminen varaston suuruuteen (Piiparinen 2021)

3.1.4 Liikatuotannosta johtuva hukka

Liikatuotanto hukan lajina saattaa joskus liittyä haluun kasvattaa varastoa edellä mainituista syistä. Toinen syy ylituotannon tekemiselle voi kummuta tavoitteesta pitää resurssitehokkuus korkeana. Olipa kyseessä mikä tahansa syy, sellaisten tuotteiden tekeminen, joille ei ole tarvetta, on hukkaa. Tällaiset tuotteet vain odottavat varastossa joko niiden hävittämistä tai poistamista tappiolliseen hintaan. Myös ylituotannon tunnistaminen saattaa olla vaikeaa, etenkin sellaisissa organisaatioissa, joissa ylituotanto on muodostunut toimintatavaksi. Tällöin kaikilla on jatkuvasti kädet niin täynnä töitä, ettei itse ylituotannon tekemistä ehditä edes havaitsemaan. (Nicholas 2011, 63.)

Liikatuotanto voi olla seuraus jostain toisesta ongelmasta, mutta se voi myös toimia aiheuttavana tekijänä muille hukan muodoille ja ongelmille. Kun tehdään liikaa tai liian aikaisin, johtaa se toimitusaikojen kasvuun ja ylimääräisten asioiden käsittelyyn. Ylituotannon tekeminen saattaa vaikuttaa tekijän mielestä hyveeltä, kun saadaan paljon näkyvää aikaiseksi, vaikka todellisuudessa onkin kyseessä resurssien hukkaamisesta. Asioiden väärä tärkeysjärjestys saattaa aiheuttaa ylituotantoa, jos kiireelliseltä vaikuttavat asiat ajavat ensisijaisesti tärkeämpien, ei niin kiireellisten asioiden edelle. (Torkkola 2015, 25-26.)

3.1.5 Odotusajasta johtuva hukka

Odottaminen hukan muotona on yleensä helppo tunnistaa. Odottamista aiheutuu lukuisista eri syistä. Joudutaan odottamaan tilauksia, osia, materiaaleja, tuotteita tai osia edellisistä prosessivaiheista tai tuotantolaitteiden korjauksia. Automatisoiduissa prosesseissa odottamista ilmenee koneiden lataamisen ja purkamisen välillä. Odottamisen välttämiseksi usein pyritään pitämään henkilökunta liikkeellä ja koneet käynnissä kysynnästä huolimatta, mutta tällöin vaarana on hukan vaihtaminen toiseen, jopa huonompaan vaihtoehtoon, kuten ylituotantoon. Jos satunnaisesti joudutaan sammuttamaan koneita ja sallitaan henkilöstön odottaa tuottavaa työtä, aiheutetaan vähemmän kustannuksia verrattuna ylituotannon tekemiseen ja varastojen kasvattamiseen. Lisäksi henkilöstölle annetaan samalla aikaa ja tilaisuuksia tuotannon kehittämiseen. Parhaat aloitteet tuotannon kehittämiseksi tulevat usein juuri tuotantotyöntekijöiltä. (Nicholas 2011, 63.)

Edellisessä kappaleessa odottamista kuvailtiin resurssiyksikön näkökulmasta. Hukan muotona odottamista voidaan tarkastella myös vastakkaisesta suunnasta. Vaikka työntekijällä tai tuotantolaitteella olisikin täysi käyttöaste, saattaa tuote joutua odottamaan siirtymistä jalostukseen. Esimerkiksi tehtävien siirtäminen työntekijältä toiselle aiheuttaa tuotteelle odottamista siirtovaiheessa. Lisäksi tuote voi joutua odottamaan erinäisiä lisätietoja, päätöksiä tai hyväksyntöjä, ennen kuin seuraavalla työpisteellä on tarvittavat valmiudet työn aloittamiseen. (Torkkola 2015, 26.) Myös muita tuotteeseen lisättäviä komponentteja tai työssä tarvittavia tarvikkeita ja työkaluja, jotka eivät siirtovaiheen jälkeen ole oikeassa paikassa, voidaan joutua odottamaan.

3.1.6 Liikkeestä johtuva hukka

Turha liike on hukkaa. Runsaasta liikkeestä saattaa tulla mielikuva, että tehdään tehokkaasti töitä. Kuitenkin voi ilmetä paljon sellaista liikettä, joka ei vie työtä eteenpäin. Fyysinen työ voidaan luokitella sellaiseksi liikkeeksi, joka lisää arvoa tai on välttämätöntä arvonlisäykselle. Vaikka työntekijä olisi jatkuvassa liikkeessä koko työpäivän, saattaa hän tehdä kuitenkin vain vähän työtä. Liike, joka ei ole välttämätöntä työn edistymisen kannalta, on hukkaa. Tällainen liike voi olla etsimistä, valitsemista, keräilyä, kuljettamista tai siirtelyä, lataamista, uudelleenasettelua tai purkamista. Edellä mainitut vievät aikaa, mutta eivät luo lisää arvoa tuotteelle. (Nicholas 2011, 64.)

Mikäli on tarpeen kasvattaa tuotantoa, saattaisi ensimmäisenä tulla mieleen lisätä henkilöstöä tai työaikaa. Tehokkaampi tapa olisi kuitenkin vähentää turhaa liikettä. Kuvitellaanpa tilannetta, jossa yksittäisen henkilön työajasta puolet kuluu sellaiseen toimintaan, joka ei suoranaisesti luo lisäarvoa tuotteelle. Hän esimerkiksi etsii työkaluja, noutaa tarvitsemiaan komponentteja monista eri paikoista, kysyy työohjeita ja siivoaa edellisen työntekijän jättämiä roskia työpisteeltä. Olisiko kannattavaa tässä tilanteessa palkata lisää henkilöstöä tai teettää ylitöitä tuotantomäärän kasvattamiseksi? Selvästikin olisi järkevämpää ensin karsia turhaa liikettä ja järjestellä tuotanto sellaiseen tilaan, jossa työntekijällä on mahdollista keskittyä arvoa lisäävään toimintaan. Teoriassa tuottavuus voisi tässä esimerkissä jopa kaksinkertaistua. Näiden muutosten jälkeen tässä karkeassa esimerkissä työntekijä edelleen on toimelias yhtä pitkän työajan, mutta varmasti tyytyväisempi, kun aikaa ei tarvitse käyttää epäolennaisuuksiin.

3.1.7 Liikaprocessoinnista johtuva hukka

Ylikäsittely on tuotteen liiallista prosessointia. Tuotteeseen saatetaan sisällyttää sellaisia ominaisuuksia ja toimintoja, joita asiakas ei tarvitse. Tuotannossa voi olla jopa kokonaisia tuotantovaiheita, jotka eivät luo asiakkaan näkökulmasta lisäarvoa. Tuotetta voidaan viimeistellä liikaa. Jos toimittaja tai tuottaja ei tiedosta asiakkaan tai oman prosessin viimeisen vaiheen todellista tarvetta, voidaan ajautua ylikäsittelyyn. Liian suurissa erissä tuotteiden valmistaminen lasketaan myös ylikäsittelyksi. Tarkoitukseen verrattuna liian tehokkailla laitteilla prosessointi on ylikäsittelyä. Jossain tapauksessa väärin valittu tuotannonohjausjärjestelmä voi ohjata ylikäsittelyyn tuotannossa. Tätä hukan muotoa saattaa esiintyä tilauskannan ollessa vajaa. Ylikäsittelyä voidaan ehkäistä määrittelemällä tuotteen laatutaso tarkasti. (Torkkola 2015, 27.)

Esimerkkinä ylikäsittelystä voidaan ajatella tuotetta, jolle suoritetaan kaksi työvaihetta, katkaisu ja viilaus. Ensimmäisenä parannuksena halutaan automatisoida viilaus, jolloin työvaiheesta tulisi tehokkaampi. Toisaalta katkaisukoneen huoltoon panostaminen tai kokonaan paremman katkaisukoneen hankkiminen voisi vähentää tai tehdä tarpeettomaksi koko viilaustyövaiheen. Seuraavaksi voisi esittää kysymyksen, onko tuote mahdollista suunnitella valmistettavaksi siten, ettei edes katkaisutyövaihetta tarvitse suorittaa. Mikäli tässä onnistutaan, on vähennetty huomattavasti tarpeetonta prosessointia. (Nicholas 2011, 64.)

3.1.8 Henkilöstön ajattelukapasiteetin huomiotta jättäminen

Nykyisin myös henkilöstön ajattelukapasiteetin huomiotta jättäminen katsotaan yhdeksi hukan muodoksi. Käytännön tasolla usein tulee esille sellaisia seikkoja, joita suunnittelupöydällä ei voida havaita. Yksitoikkoiset ja rasittavat työasennot tai useita toistoja vaativat työtehtävät ovat esimerkkejä sellaisista seikoista, jotka henkilöstö yleensä havaitsee ensimmäisenä. Myös kehitysideat paremmin soveltuvista työvälineistä tulevat usein juuri kyseistä työtä suorittavilta. Työskentelymenetelmät ja -järjestys saattavat vaikuttaa merkittävästi työn sujuvuuteen. Tuotantoa häiritsevät tekijät havaitaan ensimmäisenä prosessissa työskentelevien työntekijöiden keskuudessa. Siksi viestintä työpaikalla kannattaa pitää mahdollisimman avoimena ja keskustelujen aloittamisen kynnyksen matalana. Esimiesten rooli viestintäyhteyksien ylläpidossa on tärkeä, mutta kaikilla osapuolilla on mahdollisuus edistää hyvää viestintää.

Esimiesten, suunnittelijoiden ja muiden toimihenkilöiden ajattelukapasiteetti oletusarvoisesti on käytössä, mutta siihenkin on mahdollista vaikuttaa työympäristön avulla. Esimerkiksi voidaan pohtia, kannustaako työympäristö tekemään luovia ratkaisuja ja päätöksiä vai jarruttaako epäonnistumisen pelko uusien innovatiivisten asioiden eteenpäin viemistä. Epäkohtiin saatetaan turtua, mikäli kehitysehdotuksia toistuvasti torjutaan tai niitä jätetään toteuttamatta. Sen sijaan, että pohdittaisiin miten alaisia, esimiehiä ja työtovereita kohdellaan, olisi hyvä pyrkiä kohtaamaan kaikki ihmiset tasavertaisina.

3.2 Virtaustehokkuus

Modig & Åhlström (2013, 26) määrittelevät virtaustehokkuuden olevan arvoa tuottavien toimintojen summa suhteutettuna tuotteen läpimenoaikaan. Kun tuote jalostuu sille tehtävien toimenpiteiden seurauksena, sanotaan tähän käytettyä aikaa arvoa tuottavaksi. Läpimenoaika alkaa, kun tuote saapuu jalostettavaksi ja loppuu kun tuote on valmistunut tuotantosolusta tai tehtaasta. Virtaustehokkuutta voidaan tarkastella tuotantosolukohtaisesti tai koko tuotantolinjan osalta. Mikäli tuotannon virtaustehokkuutta halutaan parantaa, on luonnollisesti koko tuotantolinjan virtaustehokkuus otettava tarkastelun kohteeksi. Virtaustehokkuutta voidaan havainnollistaa kuvittelemalla, että itse tuote eli virtausyksikkö katselee koko tuotantoprosessin ajan, mitä sille milloinkin tapahtuu. Onko tuote pitkiä aikoja varastossa odottamassa keskeneräisenä vai eteneekö se keskeytyksettä kohti valmistumista?

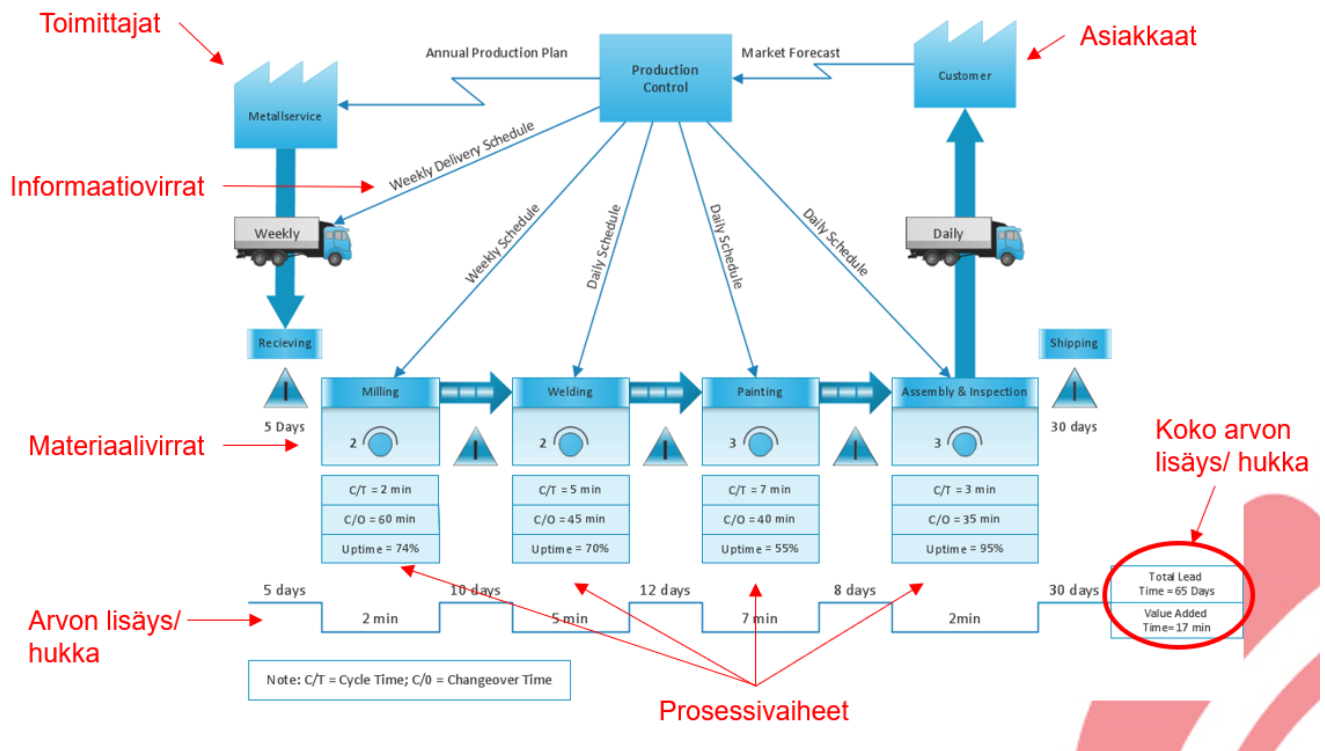
Tavanomaisemmin seurataan resurssitehokkuutta ja sitä tarkasteltaessa puolestaan asiaa katsotaan resurssin, esimerkiksi koneen tai työntekijän, näkökulmasta. Resurssitehokkuudessa tavoitellaan resurssiyksikön korkeaa käyttöastetta, eli tilannetta, jossa työntekijällä on koko ajan tekemistä tai kone käy mahdollisimman suuren osan ajasta. Kun organisaatiossa pyritään resurssien maksimaaliseen käyttöasteeseen, johtaa se usein tilanteeseen, jossa kaikilla on jatkuva kiire ja ihmiset ovat uupuneita (Torkkola 2015, 57). Resurssitehokkaaseen työympäristöön totunut henkilöstö saattaa kokea kiireen turvallisena olotilana, koska silloin töiden jatkuminen konkretisoituu työntekijöiden mielissä. Toisaalta asiakkaan näkökulmasta toimitukset valmistuvat hitaasti, eikä muutoksiin kyetä reagoimaan riittävän nopeasti. Korkea käyttöaste edellyttää sitä, että virtausyksiköitä on jatkuvasti odottamassa resurssiyksikön käsittelyyn pääsemistä. Tämän seurauksena läpimenoaika kasvaa.

Lean-periaatteiden mukaisesti järjestetyssä tuotannossa puolestaan tavoitellaan hyvää virtaustehokkuutta. Tällöin asiakkaan näkökulmasta läpimenoaika tilauksesta toimitukseen on lyhyt. Tuotannossa ei

muodostu suuria jonoja, joten keskeneräisen tuotteen varastointi merkittävänä hukan muotona on minimoitu. Koska jonoja ei muodostu, jalostettava tuote ei joudu odottamaan resurssiyksikköä. Vaikka työntekijä tai kone joutuisikin odottamaan työtä, on virtaustehokkaaksi optimoitu tuotanto kokonaisuutena tehokkaampi, koska samoilla resursseilla saadaan aikaiseksi enemmän valmiita tuotteita. Ennakoitavammat ja nopeammat toimitusajat sekä asiakkaan tarpeiden ja kysynnän huoleellisempi täyttäminen luovat asiakastyytyväisyyttä. Myös henkilöstö kokee virtaustehokkaan prosessin laadukkaana. Leanissa tuotannossa kiireen vähentymiseen tulee opetella suhtautumaan uudella tavalla, eikä ajoittain ilmenevää odotusta tarvitse kokea ahdistavana. (Torkkola 2015, 58-59.)

Arvovirtakuvaus on yksi havainnollistava työkalu virtaustehokkuuden tarkastelussa (KUVIO 1). Arvovirtakuvauksessa havainnollistetaan visuaalisesti prosessin eri vaiheet. Sitä käytetään myös apuna hukkien etsimisessä. Arvovirtakuvausta voidaan käyttää prosessin parantamisessa. Arvovirtakuvauksessa olennaisimpina tietoina prosessin vaiheiden lisäksi esitetään arvoa tuottavat ajat, arvoa tuottamattomat ajat, vaihtoajat, varastointiajat ja vaadittavat henkilöstöresurssit. Tietojen perusteella voidaan laskea suhdeluku, joka kuvastaa virtaustehokkuutta. Arvovirtakuvauksia voidaan käyttää eri tarkoituksiin. Yleisimmin esiintyy kolmen tyyppisiä kuvauksia: nykytilaa kuvaavia, tulevaa tilaa kuvaavia sekä ideaalista tilaa kuvaavia. Kun tavoitteena on löytää hukkia niiden poistamiseksi, tulee käyttää mahdollisimman todenmukaisesti laadittua nykytilaa kuvaavaa arvovirtakuvausta. Kuvaus tulee tehdä ensin valmiiksi ja mahdolliset muutokset vasta sen jälkeen. Mikäli muutoksia tehdään samanaikaisesti kuvauksen laatimisen kanssa, joudutaan helposti tilanteeseen, jossa kuvausta ei saada valmiiksi tai tehdään sellaisia korjaavia toimenpiteitä, jotka eivät vie kokonaisuutta oikeaan suuntaan. (Wilson 2015, 233.)

Arvovirtakuvaus -peruselementit



KUVIO 1. Arvovirtakuvauksen peruselementit (Kinnunen 2019, 4)

3.3 Littlen laki

Littlen lain avulla voidaan määrittellä prosessin läpimenoaika keskeneräisten virtausyksiköiden määrän ja jaksoajan tulolla. Modig & Åhlström (2013, 34) käyttävät havainnollistavaa esimerkkiä lentoaseman turvatarkastuksesta. Tämä yksinkertainen esimerkki on siksi havainnollistava, koska sen alku ja loppu, sekä molemmat tekijät ovat helposti ymmärrettävissä. Koska kukaan ei todennäköisesti halua käyttää aikaansa seisomalla jonossa, valitaan kahdesta vaihtoehdosta yleensä lyhyempi jono. Jonottaessa kuitenkin huomataan, että valittu jono etenee hyvin hitaasti, koska edessä on erinäisistä syistä hitaammin palveltavia asiakkaita. Piakkoin havaitaan pidempään jonoon samaan aikaan saapuneen henkilön pääseen aikaisemmin turvatarkastuksesta läpi. (Modig & Åhlström 2015, 35.) Tarkastellaan tilannetta seuraavaksi Littlen lain näkökulmasta.

Tässä tilanteessa prosessi alkaa sillä hetkellä, kun turvatarkastusjonoon saavutaan. Prosessi päättyy turvatarkastuksesta poistuttaessa. Virtausyksiköt ovat tässä tapauksessa niitä ihmisiä, jotka ovat asettuneet jonoon, mutta eivät vielä ole poistuneet turvatarkastuksesta. Aika, joka keskimäärin kuluu kahden henkilön turvatarkastuksesta poistumisen välillä, on jaksoaika. Mikäli kuvitteellisen esimerkin pidemmässä jonossa virtausyksiköitä on 15 henkilöä ja jaksoaika yksi minuutti, muodostuu läpimenoajaksi 15 minuuttia. Kun lyhyemmässä jonossa vastaavat arvot ovat 10 henkilöä, eli virtausyksikköä kahden minuutin jaksoajalla, saadaankin läpimenoajaksi 20 minuuttia. (Modig & Åhlström 2015, 35.) Virtausyksiköiden lukumäärän kasvu vaikuttaa suoraan verrannollisesti läpimenoaikaan, mutta niin vaikuttaa myös jaksoajan kasvu. Nopeamman jonon valitsemisessa olisi siis hyvä olla etukäteen tieto molemmista tekijöistä.

Littlen lain näkökulmasta tarkasteltu turvatarkastusprosessi havainnollistaa, miksi virtaustehokkuus on tavoiteltavampaa kuin resurssitehokkuus. Kun tavoitellaan korkeaa resurssitehokkuutta, prosessit muotoutuvat väistämättä sellaisiksi, että niissä esiintyy keskeneräisiä virtausyksiköitä sisältäviä jonoja. Korkean resurssitehokkuuden saavuttamiseksi on siis oltava virtausyksikköpuskuri, ettei resurssiyksikkö joudu odottamaan työtä. Seurauksena läpimenoajat kasvavat, eli virtaustehokkuus heikkenee, vaikka resurssiyksiköt ovat korkeasti kuormitettuina. Korkeaa virtaustehokkuutta tavoiteltaessa virtausyksikön ei tulisi joutua odottamaan resurssiyksikön vapautumista. (Modig & Åhlström 2015, 36.)

3.4 Pullonkaulojen laki

Konkreettisesti pullossa oleva suppeampi kaulaosuus rajoittaa merkittävästi sen sisältämän aineen poistumista pullosta. Tasaisemmin muotoiltu astia, kuten esimerkiksi tuoppi, tyhjenee huomattavasti nopeammin. Samoin virtausyksiköiden etenemistä prosessissa rajoittaa jokin kriittinen piste. Aiemmin mainitussa lentoasemaesimerkissä yksi virtausta rajoittava piste on turvatarkastus. Kuten lentoasemalla on muissakin prosesseissa useita pysähdyksiä aiheuttavia pisteitä. Ne voivat olla yksittäisiä toimintoja, osakokonaisuuksia tai resurssiyksiköitä. (Modig & Åhlström 2015, 37.) Vaikkakin jonoja aiheuttavia tekijöitä prosessissa voi olla useita, on tyypillisesti löydettävissä yksi piste, joka rajoittaa virtausta eniten. Tällaista pistettä kutsutaan pullonkaulaksi. Tämä kriittinen piste rajoittaa kokonaisen prosessin jaksoaika, eikä sitä nopeampaan tahtiin tuotteita tuotantoketjusta ole mahdollista valmistua.

Pullonkaulan tunnistaminen prosessista on tärkeää, koska minkään muun osaproessin parantaminen ei paranna kokonaisen prosessin virtausta, jos kaikkein kriittisin piste pysyy ennallaan. Tunnistamisessa

vaaditaan systeemiajattelua ja prosessin kokonaisuuden tuntemista, sillä joskus vaihtelu ja poikkeamat saattavat luoda jonoja muuallekin kuin pullonkaulojen yhteyteen. Ratkaisujen löytäminen pullonkaulan poistamiseksi voi olla oma haasteensa, mutta prosessin parantaminen löydetystä kriittisestä pisteestä on ainut koko systeemiä parantava toimenpide. Muiden osatekijöiden parantaminen ei kyseisellä ajan hetkellä paranna prosessia, toisin sanottuna kaikkien eri osatekijöiden optimointi ei johda koko systeemin optimiin. Kun pullonkaula saadaan eliminoitua, ilmenee se seuraavaksi jossain toisessa prosessin pisteessä, ja siksi Leanin periaatteisiin kuuluukin jatkuvan parantamisen periaate. Jos prosessia kuvitellaan ketjuna, voidaan ajatella pullonkaulan olevan ketjun heikoin lenkki. (Torkkola 2015, 99.)

Pullonkauloja syntyy prosesseissa kahdesta pääasiallisesta syystä. Ensinnäkin prosessien on edettävä yleensä tietyssä järjestyksessä. Lentoasemaesimerkissä koneeseen ei voi nousta ennen turvatarkastusta, eikä turvatarkastukseen voi mennä ennen matkatavaroiden jättämistä. Virtausyksiköitä ei siis voida ohjata vapaisiin resurssiyksiköihin mielivaltaisessa järjestyksessä. Toinen pullonkauloja aiheuttava tekijä on vaihtelu. Virtaus- ja resurssiyksiköt sekä muut prosessin ympärillä olevat tekijät voivat aiheuttaa vaihtelua. Lentoaseman turvatarkastuksessa joillakin asiakkailta voi esimerkiksi olla enemmän riisuttavia asusteita, toisilla saattaa olla nestemäisiä aineita ja joillakin unohtuu taskuihin metallisia esineitä. Pullonkauloja aiheuttaviin tekijöihin voi olla vaikea vaikuttaa, mutta prosessia voi sopeuttaa huomioimaan näitä kriittisiä pisteitä. (Modig & Åhlström 2015, 39.)

3.5 Vaihtelun laki ja ylikuormitus

Vaihtelua esiintyy kaikissa prosesseissa ja sitä voidaan jossain määrin ennustaa. Useissa tapauksissa tarkka ennustaminen on vaikeaa. Vaihtelu vaikuttaa negatiivisesti suorituskyykyyn ja erityisesti virtaus- tehokkuuteen. Kun pyritään yhdistämään prosessin hyvä virtaustehokkuus ja resurssitehokkuus, vaihtelun minimointi on tärkeää. Vaihtelun ja sen vaikutusten ymmärtäminen on olennaista prosessien parantamisen kannalta. Vaihtelua aiheuttavia tekijöitä on lukuisia, mutta ne voidaan jaotella pääpiirteittäin resursseista-, virtausyksiköistä- ja ulkoisista tekijöistä aiheutuviksi. (Modig & Åhlström 2015, 40.) Piirainen (2014, 10) havainnollistaa vaihtelun merkitystä prosesseihin vertaamalla sitä kitkaan, joka hidastaa tavoitteisiin pääsemistä. Vaihtelun lisääntyessä suorituskyyky laskee.

Resurssit ovat yksi vaihtelua aiheuttava tekijä. Koneet saattavat rikkoutua ja aiheuttaa ennakoimattomia seisakkeja. Tiedonkäsittely voi ajoittain hidastua tai jumiutua yhteysongelmien, laiterikkojen, verkko-

hyökkäysten tai muiden syiden vuoksi. Osa henkilökunnasta on kokenutta ja työskentelee tasaisella tahdilla, kun taas kokemattomampien työntekijöiden työskentelyssä saattaa esiintyä enemmän vaihtelua töiden eteenpäin viemisessä. Virtausyksiköissä esiintyy myös vaihtelua aiheuttavia tekijöitä. Materiaalien laatu vaihtelee, ja asiakkaiden tarpeet sekä vaatimukset ovat erilaisia. Kolmanneksi ulkoiset tekijät aiheuttavat vaihtelua. Esimerkiksi pelastuslaitos tai pikaruokaravintola saattaa saada asiakkaita palveltavakseen yllättäviä määriä ennalta-arvaamattomina aikoina. Joidenkin tuotteiden menekki vaihtelee puolestaan sesongin mukaan. (Modig & Åhlström 2015, 40.)

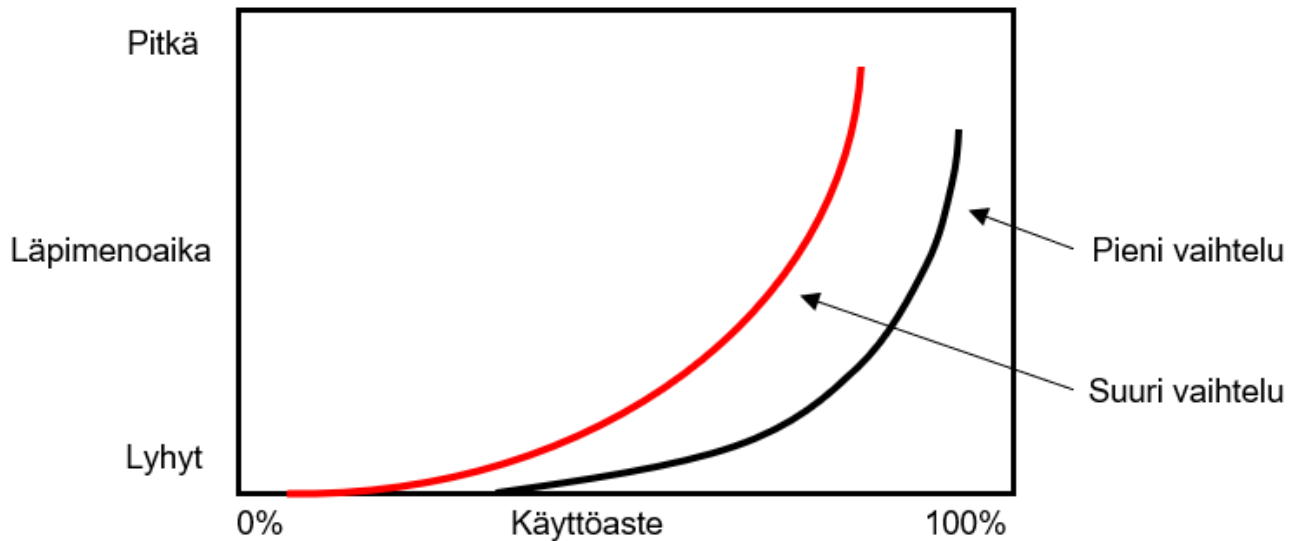
Vaikka vaihtelua aiheutuukin lukuisista eri lähteistä, se joka tapauksessa vaikuttaa prosessin läpimenoaikaan. Vaihtelulta suojautuminen, tapahtuipa se sitten tiedostaen tai tiedostamatta, vie yleensä prosessia tilaan, jossa lisätään joko kapasiteettia, keskeneräisen työn määrää tai pidennetään työn kestoaikaa. Lean-ajattelun avulla pyritään mittaamaan vaihtelua ja löytämään oikeita toimenpiteitä sen pienentämiseksi. Mikäli vaihtelua onnistutaan hallitsemaan, voidaan päättää, miten siitä saatava hyöty ulosmitataan. On mahdollista pienentää kustannuksia pienentämällä kapasiteettia tai vähentämällä keskeneräistä työtä tai parantaa asiakastytyväisyyttä lyhentämällä toimitusaikaa. Kokonaan vaihtelusta ei ole mahdollista päästä eroon, etenkin ihmisten ollessa virtausyksiköitä. (Modig & Åhlström 2015, 41.) Prosessin sisällä vaihtelua voidaan pienentää vähentämällä virheitä ja yksinkertaistamalla systeemiä. Yksi keino on käyttää Six Sigma -menetelmää. Vaihtelun pienentämiseksi voidaan myös tavoitella erityisyyden poistamista. (Torkkola 2015, 195.)

1960-luvulla esitelty Kingmanin kaava liittyy myös käyttöasteen vaihtelun ohella läpimenoaikaan. Läpimenoaika:

$$CT = V * U * t_e \quad (1)$$

missä V on vaihtelu, U on käyttöaste ja t_e on työhön todellisuudessa kuluva aika. Kaavan mukaan käyttöasteen lisääntyminen kasvattaa läpimenoaikaa eksponentiaalisesti. Tämä tarkoittaa sitä, että mitä korkeampi käyttöaste on, sitä enemmän yhden prosenttiyksikön käyttöasteen nostaminen kasvattaa läpimenoaikaa. Mikäli kaavalla tarkastellaan erisuuruisia vaihteluita, havaitaan, että vaihtelun ja käyttöasteen kasvattamisen yhteisvaikutus lisää läpimenoaikaa vielä jyrkemmin. Kingmanin kaavan nojalla voidaan todeta, että suurempi vaihtelu ja käyttöasteen nostaminen johtavat pidempään läpimenoaikaan (KUVIO 2). Vaihtelun merkitystä virtaustehokkuuteen voidaan verrata ihmisten ajotapaan moottoritiellä. Jos kaikki autoilijat kykenisivät välttämään nopeuden vaihtelua, moottoritiellä ei esiintyisi virtausta hidas-

tavia jonoja eikä pysähdyksiä. Tällöin keskinopeus pysyisi korkeana ja ihmiset pääsisivät perille nopeammin. Virtaustehokkuus olisi hyvä, läpimenoaika ja jaksoaika olisivat lyhyitä. (Modig & Åhlström 2015, 41.)



KUVIO 2. Kingmanin kaavaa havainnollistava kuvio (Mukaillen, Modig & Åhlström 2015, 42.)

3.6 Prosessilakien vaikutus virtaustehokkuuteen

Kuten aiemmin mainittiin, virtaustehokkuus on arvoa tuottavien toimintojen summa suhteutettuna tuotteen läpimenoaikaan. Mikäli muut tekijät eivät muutu, läpimenoajan kasvu pienentää virtaustehokkuutta. Edellä tarkasteltujen prosessilakien avulla voidaan havaita läpimenoaikaan ja siten virtaustehokkuuteen vaikuttavia tekijöitä. Littlen lain perusteella läpimenoaika muodostuu prosessissa olevien keskeneräisten virtausyksiköiden lukumäärän ja jaksoajan tulolla. Pullonkaulojen laki havainnollistaa, kuinka virtausyksiköitä hidastavat pisteet kasvattavat läpimenoaika. Laki vaihtelun vaikutuksesta osoittaa suuren vaihtelun ja korkean käyttöasteen merkittävän vaikutuksen läpimenoajan kasvamiseen. Näiden prosessilakien ymmärtäminen auttaa löytämään keinoja virtaustehokkuuden parantamiseksi. (Modig & Åhlström 2015, 44.)

Virtaustehokkuutta voidaan parantaa läpimenoaikaa pienentämällä, ja kaikki edellä mainitut prosessilait liittyvät juuri läpimenoaikaan. Virtaustehokkuus paranee vähentämällä keskeneräistä työtä. Etsimällä ja poistamalla prosessiin jonoja aiheuttavia tekijöitä voidaan vähentää keskeneräisten virtausyksiköiden määrää. Koska myös jaksoaika on vaikuttavana tekijänä, resurssiyksikköä nopeuttamalla päästään parempaan virtaustehokkuuteen. Resurssiyksikköä voidaan nopeuttaa karsimalla turhaa työtä, kuten esimerkiksi turhaa liikettä, vaikuttamalla työpisteisiin ja niiden sijaintiin. Kapasiteetin kasvattaminen oikeaan paikkaan vähentää myös jaksoaikaa. Menetelmiä parantamalla on mahdollista vähentää vaihtelua prosessista. Näiden toimenpiteiden toteuttaminen on luonnollisesti helpommin sanottu kuin tehty. Eri-tyisesti virtaustehokkuuden parantaminen on vaikeaa, mikäli organisaation huomio on kiinnittynyt liikaa resurssitehokkuuden maksimoimiseen. Mikäli läpimenoajan lyhentäminen vaikuttaa haasteelliselta, voidaan virtaustehokkuutta tarkastella toisesta näkökulmasta. Määritellyssä virtaustehokkuuden kaavassa osoittajana on arvoa tuottavien toimintojen summa. Virtaustehokkuus paranee tätä summaa kasvattamalla. (Modig & Åhlström 2015, 45.)

3.7 Jatkuva parantaminen

Lean-toimintastrategiaa soveltavan organisaation yksi tunnuspiirre on, että se pyrkii parantamaan virtausta jatkuvasti. Tyytyminen yksittäiseen projektiluontoiseen ongelmanratkaisuun ei riitä. Jos organisaatiossa ei tapahdu jatkuvaa kehitystä, se ei toteuta Lean-toimintastrategiaa. Ajan kuluessa olosuhteet ja tuotannon haasteet muuttuvat, joten organisaation tulee pyrkiä löytämään uusia tapoja jatkuvan kehityksen takaamiseksi. Tällöin myös itse organisaatio kehittyy ja kartuttaa uutta osaamista. Se oppii ymmärtämään omia prosesseja paremmin ja tyydyttämään asiakkaan tarpeita tehokkaammin. Yksi olennainen pohtimisen aihe on, kuinka voidaan taata jatkuva uuden oppiminen. (Modig & Åhlström 2015, 152.)

Käytännössä tuotannossa esiintyy aina jotain ongelmia. Jatkuvan parantamisen tarvetta voidaan verrata kalastamiseen. Jos tavoitteena on saada pyydystettyä iso kala, päästään tavoitteeseen, kun iso kala on saatu pyydystettyä. Ison kalan pyydystäminen on siis projektiluontoinen toimenpide, jota voidaan verrata jonkun yksittäisen ongelman ratkaisuun tuotannossa. Yhden isonkaan kalan pyydystäminen ei takaa ravintoa pitkäksi aikaa. Suuria ja pieniä kaloja tulee lisää pyydystettäväksi, samoin uusia ongelmia tulee esiin tuotannossa. Siksi koko organisaatio kannattaa opettaa kalastamaan eli asennoitumaan jatkuvaan ongelmanratkaisuun ja uuden oppimiseen positiivisella tavalla. (Modig & Åhlström 2015, 153.)

4 KOKOONPANOSOLUN TYÖNTEKIJÄN ERGONOMIA

Opinnäytetyön yhdeksi tavoitteeksi asetettiin kokoonpanosolun kehittäminen parantamalla työn ergonomiaa. Opinnäytetyön aikana tilaaja päätti käyttää ergonomian parantamiseen ulkopuolista asiantuntijaa. Tästä syystä opinnäytetyössä keskityttiin enemmän muiden asetettujen tavoitteiden täyttämiseen. Ergonomia kuitenkin otetaan huomioon tässä opinnäytetyössä esitettävien parannusehdotusten perusteissa. Ergonomia sopii hyvin tarkasteltavaksi Leanin yhteydessä. Hukkia vähentämällä voidaan myös vähentää ergonomisesti rasittavia tekijöitä prosessista.

Ergonomia käsitteenä juontuu kreikan kielen sanasta *ergo*, joka tarkoittaa työtä sekä luonnonlakeja tarkoittavasta sanasta *nomos*. Ergonomia on ajattelutapa, käytännön toimintaa ja soveltava tutkimusalue. Ergonomia sisältyy usein suunnitteluperiaatteisiin, joiden tarkoituksena on sovittaa tekniikka ja sen käyttäminen ihmisille soveltuvaksi. Työympäristössä ergonomian avulla pyritään sopeuttamaan toimintajärjestelmä sellaiseksi, että se vastaa ihmisen ominaisuuksia. Ergonomian osa-alueita ovat fyysinen ergonomia, kognitiivinen ergonomia sekä organisatorinen ergonomia. Fyysisen ergonomian suunnittelu tarkoittaa työmenetelmien ja -välineiden, työpisteiden sekä koko työympäristön suunnittelua. Kognitiivisen ergonomian suunnittelulla tarkoitetaan tiedon esittämistapojen sekä järjestelmien ja niiden käyttöliittymien suunnittelua. Organisatorisen ergonomian suunnittelussa tarkastellaan työkokonaisuuksia ja -prosesseja, henkilöstöä sekä työaikajärjestelyjä, toiminnan laatua ja yhteistyön kehittämistä. (Launis & Lehtelä 2011, 19-20.)

Ergonomian kannalta työtehtävät tulisi pyrkiä suunnittelemaan siten, ettei työ olisi toistuvaa. Toistuva työ saattaa johtaa fyysisiin vaivoihin, yksitoikkoisuuden tunteeseen, ikävystymiseen tai kyllästymiseen. Työn ei myöskään tulisi olla yli- tai alikuormittavaa, jolloin siitä voisi seurata liiallista rasittumista, väsymystä ja virheiden tekemistä. Ihannetilanteessa työtehtävät muodostavat mielekkään kokonaisuuden, jolla on selkeästi tunnistettava alku ja loppu. Laitteiden käytön tulisi olla helppoa ja niiden vaatima voimankäyttö kohtuullista. Työpiste on suunniteltava sellaiseksi, ettei siinä ole tapaturmia aiheuttavia tekijöitä, ja sen siistinä pitäminen on mahdollisimman helppoa. Ergonomisesti hyvässä työpisteessä voidaan liikkua vapaasti ja työasentoa voidaan tarvittaessa muuttaa. (Launis & Lehtelä 2011, 24-25.)

Ennen koneiden kehittämistä ihminen suoritti raskaita voimaa vaativia tehtäviä. Vaikka koneiden hankimisesta koituukin kustannuksia, on ihmisen tuottama voima ja liike nykyään kaikkein kalleinta. Er-

gonomian yksi tavoite on tunnistaa raskaat työtehtävät ja kehittää niihin työvälineiden sekä työjärjestelyjen avulla vähemmän työntekijää rasittavat menetelmät. Myös keskittynyt paikallaan oleminen ja tarkkuutta vaativat työtehtävät rasittavat fyysisesti. Vaikka joku työtehtävä itsessään olisikin kevyt, saattaa siitä muodostua suuren toistomäärän ansiosta rasittava tehtävä. (Launis & Lehtelä 2011, 28.)

5 TUOTANTOSOLUN LÄHTÖTILANNE

Tilaaajan ehdotuksen mukaisesti tässä opinnäytetyössä tutkittiin, voidaanko tuotantosolun virtausta parantaa:

1. layout-muutoksella
2. muuttamalla työtapoja
3. minimoimalla keskeneräistä työtä tai
4. parantamalla työn ergonomiaa.

Työ aloitettiin tutustumalla paikan päällä koko tuotantolinjaan sekä tarkemmin varsinaiseen työn kohteena olevaan tuotantosoluun. Tuotantosolun toiminnasta pyrittiin muodostamaan mahdollisimman realistinen kuva. Vierailukäynnillä tutustuttiin myös vaihdevalmistuksessa käytettäviin työvälineisiin. Tuotantosolussa olevista työpisteistä ja kalusteista sekä niiden sijainneista otettiin mittoja tulevaa mallinusta varten. Vaihdevalmistuksessa toimivien henkilöiden työtapoja ja toimintaa tarkkailtiin, ja henkilökunnalle esitettiin tarvittaessa tarkentavia kysymyksiä. Tuotantosolun käytössä on automaattivarasto, josta esimerkiksi akselit ja hammaspyörät otetaan tekeillä olevan tuotantoerän tarpeen mukaan. Valittavat akselit ja hammaspyörät riippuvat vaihteen tyypistä. Automaattivarastoa käytetään tämän tuotantosolun kannalta katsoen myös keskeneräisen työn varastointiin. Vierailukäynnillä pyrittiin havainnoimaan työn ergonomiaan liittyviä seikkoja, esimerkiksi kalusteiden ja työvälineiden ominaisuuksia, sekä niiden sijoittelua.

Opinnäytetyötä varten tilaajalta saatiin vaihteiden yleiset kokoonpano-ohjeet, osaluettelot, luettelo erikoistyökaluista, pohjapiirustus ilman mittoja sekä koko tuotantolinjan pääpiirteittäinen arvovirtakuvaus. Saatuihin ohjeisiin ja dokumentteihin tutustuttiin ja niiden sisältöä verrattiin vierailukäynnillä tehtyihin havaintoihin. Tilaaja toimitti myös yhteenvedon yhdestä tuotantoerästä tekemästään työntutkimuksesta. Työntutkimuksen yhteenvedossa esitetään tuotantoerän valmistukseen käytetty kokonaisaika, joka on jaettu viiteen eri kategoriaan, jotka puolestaan on jaettu tarkennukseksi vielä useisiin eri tekijöihin. Viisi kategoriaa, joihin kokonaisaika on jaettu, ovat valmistelu-, teko-, häiriö- ja tauko-aika sekä päiväväkio.

5.1 Layout

Opinnäytetyön lähtötilanteessa tuotantosolun layoutin viisi eri osakokonaisuutta:

1. kaksi eri käyttöpaikkaa automaattivarastolle
2. varastohyllyt vaihteen kuorille, rasvoille ja laakereille
3. akseliyhdistelmien valmistuspiste
4. kaksi kokoonpanopöytää ja
5. asennuspöytä moottoreille.

Kalusteet mallinnettiin SolidWorks-ohjelmistolla kolmiulotteisena, minkä jälkeen ne sijoitettiin oikeille paikoilleen pohjakuvaan vierailuilla tehtyjen mittauksen perusteella. Lähtötilanteen layout mallinnettiin, jotta ehdotuksia uusista kalusteiden sijoitteluista olisi myöhemmin helpompi verrata lähtötilanteeseen. Mallinnuksen kolmiulotteisuudella pyrittiin havainnollistamaan paremmin tuotantosolun rakennetta suunnitteluvaiheessa. SolidWorks-ohjelmistolla katseluperspektiivin muuttaminen käy käden käänteessä tietokoneen hiiren välityksellä. Kun kalusteiden mallinnus on kerran tehty, voidaan mallinnettuja osia hyödyntää myöhemmin suunnitellessa uusia layout-vaihtoehtoja. Kun lähtötilanteen layout sekä uudet layout-vaihtoehdot mallinnettiin samalla ohjelmistolla, oli niiden vertaileminen mahdollisimman sujuvaa.

Tämän tuotantosolun käytössä on kaksi eri automaattivaraston käyttöpaikkaa. Käytännössä akseliyhdistelmien valmistuspiste käyttää vain toista käyttöpaikkaa, sillä toiselle käyttöpaikalle kuljettaessa joudutaan kiertämään lähes koko tuotantosolu. Akseliyhdistelmiä valmistettaessa akselit ja hammaspyörät noudetaan automaattivarastosta ja laakerit otetaan tuotantosolun hyllystä. Kun erä akseliyhdistelmiä on valmistettu, siirretään ne omalla lavallaan automaattivarastoon. GES3-kokoonpanopöydälle otetaan erä vaihteen kuoria ja automaattivarastosta noudetaan erä tilauksen mukaisia akseliyhdistelmiä. Näistä komponenteista kokoonpannaan erä valmiita vaihteita. Valmiit vaihteet kuljetetaan seuraavaksi joko lähettämöön tai moottoriasennukseen ja joissakin tapauksissa automaattivarastoon. Edellä kuvatun mukaisesti lähtötilanteen layout-kuvaan lisättiin spagettidiagrammi akselien ja hammaspyörien liikkeen näkökulmasta (LIITE 2).

Lähtötilanteen layoutissa yhdeksi kehityskohteeksi havaittiin akseliyhdistelmien valmistuspisteen ympäriltä puuttuva vapaa tila sekä kyseisen työpisteen mahdollisuus käyttää vain toista automaattivaraston luukkuja. Valmistettaessa akseliyhdistelmiä niille varattu kuormalava myös esti automaattivaraston ja

GES3-kokoonpanopöydän välisen suorimman kulkureitin. Kun materiaalia joudutaan hakemaan tai vie-
mään kiertämällä tuotantosolussa sijaitsevia hyllystöjä ja työpisteitä, puhutaan hukista nimeltä tarpeeton
kuljettelu ja turha liike. Samat hukan muodot esiintyvät myös akseliyhdistelmien edestakaisessa kuljet-
telussa automaattivarastoon ja takaisin. Vapaan tilan puute liittyy myös työturvallisuuteen. Liian ahtaista
kulkuteistä saattaa seurata kompastumisia tai työvaatteiden takertumisia. Mahdollisessa hätäpoistumis-
tilanteessa tai ensihoidon antamisessa työpisteellä riittävä vapaa tila on ensiarvoisen tärkeää.

5.2 Työtavat ja -menetelmät

Tehdasvierailujen aikana tavatut tuotantosolun työntekijät antoivat kokeneen ja ammattitaitoisen kuvan
itsestään. Työtapojen osalta tuotantosolun työntekijöiden toiminta oli pääosin kokoonpano-ohjeiden mu-
kaista. Prosessissa esiintyi kuitenkin virtaustehokkuuden kannalta yksi merkittävä ero ohjeiden ja käy-
tännön toiminnan välillä. Valmistetut akseliyhdistelmät siirrettiin automaattivarastoon, vaikka ohjeiden
mukaan akseliyhdistelmät oli tarkoitus asettaa kokoonpanopöydälle sijoitettujen vaihteiden kuorien
päälle odottamaan yhdistettävien osien lämpötilaeron pienentymistä. Ohjeiden mukaan tästä olisi luon-
nollisesti jatkettu akseliyhdistelmien asentamiseen ja vaihteen kokoonpanoon. Lukuun 3.1 viitaten, ak-
seliyhdistelmien varastointi saattaa piilottaa sisälleen useita hukan muotoja, joita todennäköisesti olisi-
vat tarpeeton kuljettelu, keskeneräisen työn varastointi, ja mahdollisesti myös ylituotanto sekä turha liike
työntekijöiden kannalta katsottuna. Prosessin muutoksiin liittyviä päätöksiä tehtäessä on hukkien tun-
nistamisen lisäksi tietysti punnittava asiaa myös vastakkaisesta suunnasta, jolloin voidaan punnita akse-
liyhdistelmien varastoinnin positiivisia ja negatiivisia puolia.

Valmistetut akseliyhdistelmät asetettiin käsivaraisesti automaattivarastoon vietävälle lavalle (KUVA 3).
Kuten edellisestä kappaleesta ilmeni, kokoonpano-ohje ei sisältänyt kyseistä vaihetta, vaan se on ilmei-
sesti vain muodostunut käytännön toimintatavaksi ajan saatossa. Tilaaajan toimittaman työntutkimuksen
mukaan eniten korjausaikaa vaativa häiriö johtui hammaspyörän tai akselin hammastuksessa ilmene-
västä pinnan epätasaisuudesta. Yksi mahdollisuus tällaisen poikkeaman aiheutumiseen on käsivaraisesti
lavalle asetettujen akseliyhdistelmien kolhiintuminen toisiinsa lavan liikkuessa automaattivaraston hyl-
lyyn ja sieltä takaisin. Hammastuksiin on mahdollista aiheutua poikkeamia myös aikaisemmassa vai-
heessa tuotantoa, mutta tämä opinnäytetyö rajattiin vain GES3-tuotantosolussa tapahtuvan prosessin tut-
kimiseen, joten muiden tuotantovaiheiden mahdollisia poikkeamia aiheuttavia tekijöitä ei tässä opinnäy-
tetyössä tutkittu.



KUVA 3. Akseliyhdistelmät asetettuna käsivaraisesti lavalle

5.3 Keskeneräinen työ

Yksi Leanin tuotannon tunnusmerkki on virtaustehokas prosessi. Kuten aiemmin luvussa 3.6 todettiin, virtaustehokkuus on tuotteelle arvoa tuottavan ajan suhde tuotteen läpimenoaikaan. Mitä enemmän keskeneräisiä tuotteita prosessissa on, sitä pidemmäksi läpimenoaika muodostuu luvussa 3.3 esitellyn Littlen lain mukaan. Mikäli arvoa tuottava aika pysyy vakiona, läpimenoajan kasvu heikentää virtaustehokkuutta. Riippumatta siitä, siirretäänkö akseliyhdistelmät kokoonpano-ohjeiden mukaisesti suoraan präsiltä kokoonpanopöydälle vai siirretäänkö ne automaattivarastoon, ne ovat keskeneräistä työtä. Virtaustehokkuuden kannalta katsottuna akseliyhdistelmien varastointi heikentää virtaustehokkuutta merkittävästi (LIITE 1).

Akselyhdistelmien varastointi on yksi hukan muoto, joka prosessin nykytilassa esiintyy. Varastoinnista aiheutuu aina kustannuksia. Varastointi saattaa myös peittää alleen useita muita hukan muotoja. Toisaalta valmistettujen akselyhdistelmien jäähtyminen varastoinnin aikana voidaan laskea arvoa tuottavaksi ajaksi, mutta jäähtymiseen kuluva aika on erittäin pieni suhteessa varastointiaikaan. Hukan muodostumisen näkökulmasta voidaankin pohtia seuraavia kysymyksiä:

1. Varastoidaanko akselyhdistelmiä puskurin luomiseksi edellisten tuotantosolujen häiriöiden varalta?
2. Halutaanko luoda puskuria tässä tuotantosolussa mahdollisesti esiintyvien laitevikojen varalta?
3. Ajatellaanko puskurin olevan välttämätön mahdollisten laatuerojen varalta?
4. Tavoitellaanko varastoinnin avulla resurssitehokkuuden parantamista, tekemällä akselyhdistelmiä varastoon odottamaan suuren eräkoon tilauksen täyttymistä?
5. Pyritäänkö varastoinnin kautta tuotantosolun resurssitehokkuuden parantamiseen muiden komponenttien saatavuusongelmien vuoksi?

Keskeneräisten tuotteiden varastointi voi olla tapauskohtaisesti järkevää ja tarkoituksenmukaista, mutta sen perustelemisen on olennaista tuotannon kehittämisen kannalta. Myöskään yhden tuotantosolun toimintaa ei voida muuttaa mielin määrin ottamatta huomioon koko tuotantolinjan vaikutuksia ja riippuvuuksia kyseiseen tuotantosoluun. Prosessin rakennetta harkittaessa on tehtävä myös päätös siitä, kuinka suurta virtaus- ja resurssitehokkuutta tavoitellaan. Kumpakaan näistä tehokkuuksista ei ole järkevää jättää huomioimatta, ja niiden välinen optimaalinen suhde on tapauskohtaisesti pyrittävä löytämään.

5.4 Työn ergonomia

Alkuperäisen suunnitelman mukaan opinnäytetyön tavoitteena oli käsitellä myös työn ergonomiaan liittyviä tekijöitä. Tämä osio ulkoistettiin opinnäytetyön edetessä alan asiantuntijan tehtäväksi. Yleisesti ottaen ihmiskehoa rasittavat usein toistuvat yksinkertaiset liikkeet. Myös sellaiset työskentelyasennot, joissa kehoa ei voida pitää neutraalissa asennossa, aiheuttavat ylimääräistä rasitusta. Kappaleiden nostelu, kumartelu ja kurrottautuminen voivat runsaasti suoritettuna aiheuttaa tuki- ja liikuntaelinten kuormitusta. Liiallisesta fyysisestä kuormituksesta keho ei välttämättä palaudu normaalisti, josta saattaa seurata ylimääräisiä poissaoloja työstä. Työn hyvä ergonomia on siis eduksi sekä työntekijälle että työnantajalle.

Tämän tuotantosolun työvaiheissa fyysisesti kuormittavia työvaiheita voisivat olla vasaralla lyöminen, kappaleiden asettelu varastolavalle ja sieltä niiden pois nostaminen, valmiiden vaihteiden käsin siirtäminen pois kokoonpanopöydältä ja muut näiden kaltaiset työvaiheet. Ergonomiaa heikentäväksi tekijäksi voidaan katsoa myös kuumien kappaleiden käsittely. Uunin äärellä työskentelylämpötila saattaa hetkittäin nousta korkeaksi. Kuumista komponenteista voi nousta hengitysilmaan haitallisia yhdisteitä. Suurissa erissä tehtynä sama liike yleensä suoritetaan useita kertoja peräkkäin.

6 MUUTOSEHDOTUKSIA TUOTANTOSOLUN UUDISTAMISEEN

Opinnäytetyön kohteena olevan tuotantosolun virtaustehokkuuden parantamiseksi tehtiin muutosehdotuksia. Ehdotettujen muutosten laatimisen lähtökohtana oli hukan eri muotojen vähentäminen, joita tämän opinnäytetyön teoriaosuudessa aiemmin esiteltiin. Esitetyt muutosehdotukset ovat kokonaisuus, josta ei välttämättä ole hyödyllistä poimia toteutettavaksi jotakin yksittäistä muutosta. Yksittäisen muutoksen hyöty riippuu todennäköisesti siis siitä, onko jokin toinen muutos toteutettu. Esimerkiksi tässä luvussa esitetty layout-muutos ei välttämättä johda parhaaseen lopputulokseen, mikäli prosessia ei muilta osin muuteta vastaamaan uutta layoutia. Toisaalta taas ehdotettu layout-muutos sallii ja kannustaa pienentämään eräkokoja sekä soveltuu paremmin virtaustehokkaaseen tuotantoprosessiin. Opinnäytetyön tilaaja luonnollisesti tuntee parhaiten omistamansa prosessin ja on vapaa harkintansa mukaan ottamaan käyttöön sellaisia muutoksia, joista katsoo olevan hyötyä.

6.1 Keskeneräisen työn vähentäminen akselyhdistelmien osalta

Kuten aiemmin mainittiin, akselyhdistelmät ovat siihen saakka keskeneräistä työtä, kunnes ne on asennettu vaihteen kuorien sisäpuolelle. Akselyhdistelmille ei asiakkaan näkökulmasta tapahdu mitään arvoa lisäävää niiden jäähtymisen ja loppuasennuksen välissä. Varastoinnin aikana ne siis odottavat sitä, että ne asennetaan vaihteeseen. Tämän keskeneräisen työn osuuden eli akselyhdistelmien varastoinnin poistaminen tai vähentäminen tarjoaisi Leanin näkökulmasta parannuksia sekä kehittymismahdollisuuksia prosessiin. Ensinnäkin virtaustehokkuus paranisi huomattavasti verrattuna tämänhetkiseen tilanteeseen. Liitteessä 1 esitetään yksinkertaistetun arvovirtakuvauksen avulla, mikä vaikutus akselyhdistelmien varastoinnin poistamisella olisi virtaustehokkuuteen. Liitteen arvovirtakuvaus on laadittu tilaajan antaman työntutkimuksen perusteella.

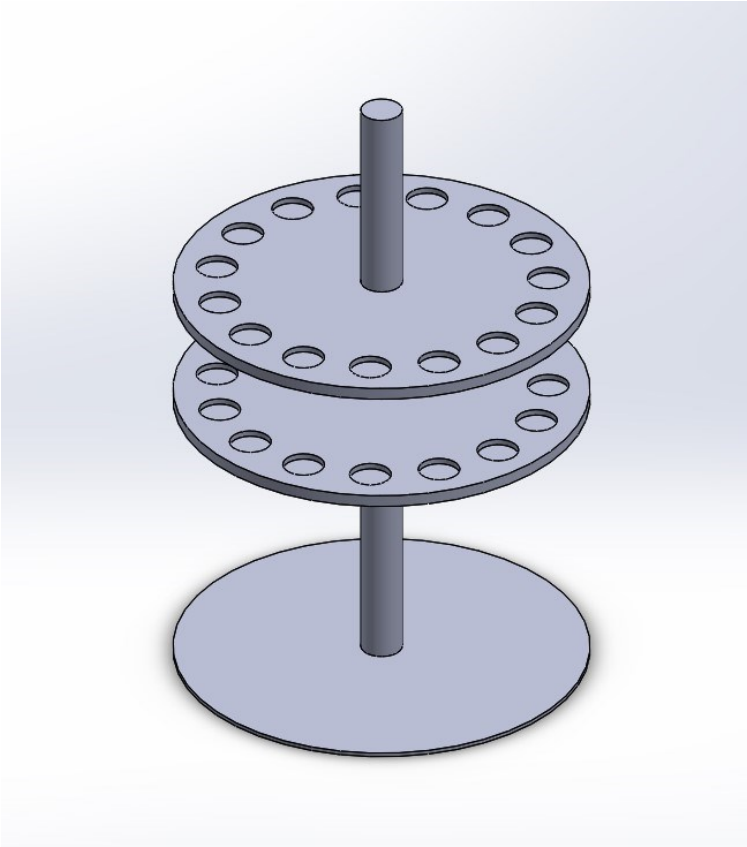
Akselyhdistelmien välivarastoinnin lopettamisen seurauksena voisi myös poistua tai vähentyä tämän tuotantosolun merkittävin häiriötekijä. Hammastuksiin aiheutuvia kolhuja joudutaan koeajovaiheessa korjaamaan, ja siihen kuluva aika on jopa itse koeajovaihetta suurempi. Koska akselyhdistelmät asetetaan varastoitavalle lavalle käsivaraisesti (KUVA 3), on mahdollista, että varastolavan liikkeessa hammastukset kolhiintuvat toisiinsa. Mikäli akselyhdistelmien systemaattinen välivarastointi jätettäisiin pois prosessista, ainakin yksi mahdollinen häiriöitä aiheuttava tekijä poistettaisiin.

Väliavarastoinnin osalta on tunnistettavissa edellisten lisäksi vielä muitakin hukun muotoja. Akseliyhdistelmien viemisestä ja noutamisesta automaattivarastoon seuraa turhaa liikettä, tarpeetonta siirtelyä ja odottamista. Ensin kuumat akseliyhdistelmät pakataan varastolavalle, minkä jälkeen ne siirretään varastoluukulle, tilataan ja odotetaan automaattivarastoa, joka saattaa parhaillaan palvella jotain toista tuotantosolua, ja jätetään tuotteet varastoon. Myöhemmin kokoonpanovaiheessa akseliyhdistelmät noudetaan automaattivarastosta, ja jälleen joudutaan odottamaan, siirtämään ja nostamaan akseliyhdistelmät asennuspöydälle. Turhan liikkeen ja tarpeettoman siirtelyn havainnollistamiseksi laadittiin spagettidiagrammit, jotka esitetään liitteessä 2. Liitteen ensimmäisellä sivulla on kuvattu alkuperäinen tilanne ja toisella sivulla ehdotus uudesta layoutista. Molempiin pohjakuviin on lisätty spagettidiagrammi akselien liikkeiden osalta.

6.2 Kuumien kappaleiden käsittely ja karuselli

Alkuperäisessä GES3-vaihteen yleisessä kokoonpano-ohjeessa kuumat akseliyhdistelmät ohjeistettiin asettamaan vaihteen kuorien päälle jäähtymään. Akseliyhdistelmien ja vaihteen kuorien lämpötilaeron pienennettyä voitiin akseliyhdistelmät asentaa vaihteen kuorien laakeripesiin. Tämä työvaihe on jossain vaiheessa jäänyt pois tavanomaisesta menettelystä, kun tuotannossa on siirrytty akseliyhdistelmien väliavarastointiin. Kuumien akseliyhdistelmien siirtäminen käsin pitkän asennuspöydän päällä olevien vaihdekuorien päälle ei vaikuta ongelmattomalta työvaiheelta. Kuumien komponenttien käsittelyyn liittyy aina myös tapaturmavaara. Tästä näkökulmasta ajatellen akseliyhdistelmien väliavarastointi on tuonut parannuksen myös työturvallisuuteen, koska kuumien komponenttien käsittely on jonkin verran vähentynyt.

Mikäli akseliyhdistelmien väliavarastointi päätetään lopettaa, on kuumien komponenttien käsittely yksi kehityskohde. Tähän ratkaisuna voisi olla prässin ja kokoonpanopöydän väliin sijoitettava pyörivä pöytä eli karuselli (KUVA 4), johon kuumat akseliyhdistelmät asetetaan jäähtymisen ajaksi. Tällainen karuselli vähentäisi kuumien komponenttien käsittelyä, ja sitä pyörittämällä akseliyhdistelmät voitaisiin tarjoilla kokoonpanopöydän työntekijälle. Karusellin avulla myös hukun muodot tarpeeton kuljettelu ja turha liike vähenisivät, koska kokoonpanopöytä ja prässi sijaitsisivat lähempänä toisiaan. Työturvallisuus paranisi kuumien kappaleiden käsittelyn vähennyttyä. Työergonomian kannalta olisi vähemmän rasittavaa siirtää akseliyhdistelmät sopivalla korkeudella sijaitsevaan karuselliin kuin nostella ja kurotella niitä pöydälle tai varastolavalle.



KUVA 4. Karuselli

Karusellin käyttö soveltuisi hyvin virtaustehokkuuden parantamiseen tuotantosolussa. Karusellin suunnittelussa voidaan ottaa huomioon erilaiset eräkoot mitoittamalla sen halkaisija ja akselipaikkojen lukumäärä sopivaksi. Jatkokehitysideana pyöreät levyt voisi vielä suunnitella nosturilla nostettavaksi. Tällöin levyistä muodostuisi akseliyhdistelmiä suojaava muotti, mikäli niiden välivarastointia tahdotaan jatkossa harjoittaa. Toisaalta muotin avulla on mahdollista siirtää akseliyhdistelmiä kokoonpanopöydälle, tai kokoonpanopöydille, mikäli tuotantosolun pohjaratkaisu tulevaisuudessa päätetään muuttaa toisenlaiseksi.

6.3 Layout

Ehdotuksia uusista tuotantosolun pohjaratkaisuista laadittiin neljä kappaletta, joista kukin vaihtoehto painotti hieman erilaista parannusnäkökulmaa. Ehdotukset lähetettiin tilaajalle arvioitavaksi, ja tilaajan valitsema pohjakuva tukee hyvin myös edellä mainittuja muita parannusehdotuksia (LIITE 2). Kyseisen liitteen sivulla kaksi olevan pohjaratkaisun suunnittelun lähtökohtana on työpisteiden sijoittelu siten, että tuotantosolu jää mahdollisimman avaraksi. Väljät tilat mahdollistavat useampien kulkureittien käytön,

jolloin ei muodostu tarvetta kiertää tai väistää muita työntekijöitä tai työvaiheista aiheutuvia esteitä. Kalusteet on sijoitettu siten, että miltä tahansa työpisteeltä on avoinna reitti kummalle tahansa automaattivaraston ovelle. Avara ympäristö tuo lisäksi turvallisuutta mahdollisessa evakuointi- tai ensihoitotilanteessa. Työpisteiden ympärillä oleva vapaa tila on ergonomian kannalta hyvä ratkaisu. Riittävän avara tila on helpompi pitää siistinä, liikkuminen on vapaata, kompastumis- ja takertumisvaara pienenee ja työasentoa voidaan vaihdella. Hyllymetrejä on vähennetty tilaajan ehdotuksen mukainen määrä.

Prässi ja karuselli on sijoitettu mahdollisimman keskeisesti lähelle automaattivaraston molempia luokkuja. Mikäli toinen automaattivaraston luukuista on varattuna, voidaan siinä tapauksessa valita asiointipaikaksi toinen varastoluukku. Tuotaessa akselit ja hammaspyörät varastosta prässille ei varastolava estä kulkua toisille työpisteille. Akselyhdistelmät voidaan siirtää yksi kerrallaan valmistuttuaan karuselliin jäähtymään. Sitä mukaa, kun akselyhdistelmiä valmistuu, pyörähtää karuselli eteenpäin ja tarjoaa kyseisiä komponentteja kokoonpanopöydälle käytettäväksi. Molemmille varastoluukuille on myös jätetty suora reitti tuotantosolun ulkopuoliselta käytävältä.

Uudesta pohjaratkaisuehdotuksesta on tarkoituksella jätetty pois toinen kokoonpanopöytä. Kaikkien vaihteiden kokoonpano yhdellä pöydällä edellyttää siirtymistä pienempään eräkokoon tai oikeastaan se edellyttää toisen tyyppistä ajattelua eräkoon suhteen. Valmistettava erä voi sinänsä olla sama 30 kappaletta, mutta kokoonpanopöydällä voisi olla työn alla esimerkiksi yksi tai muutama saman tyyppinen vaihde kerrallaan. Tällöin voitaisiin pöytätilaa jakaa työvuoron henkilövahvuuden mukaan esimerkiksi siten, että pöydän eri päissä valmistettaisiin erityyppisiä vaihteita. Koska GES4-vaihteen akselyhdistelmät valmistetaan nykyisin robotisoituna toisessa tuotantosolussa, voitaisiin niiden kokoonpano hoitaa käytävän puoleisessa päässä kokoonpanopöytää. Karusellin puoleinen pääty olisi varattu niille vaihteille, joiden akselyhdistelmät valmistetaan tässä tuotantosolussa. Kokoonpanopöydän näkökulmasta eräkoon voitaisiin ajatella olevan yksi, kun taas akselyhdistelmien valmistuksessa käytettävän uunin ja prässin osalta se voi olla vaikka totuttu 30. Tällöin kokoonpanopöydän työntekijä voisi ottaa viereisestä hyllystä vaihteen kuoret ja muut tarvikkeet, karusellista akselyhdistelmät, suorittaa kokoonpanon ja siirtää valmiin vaihteen pois kokoonpanopöydältä. Tämän jälkeen kokoonpanotyöntekijä olisi valmis aloittamaan seuraavan vaihteen kokoonpanon.

Yhden vaihteen erä koko veisi tuotantoa virtaustehokkaampaan suuntaan. Vaihde valmistuisi siirrettäväksi eteenpäin kerralla, jolloin se olisi heti valmis esimerkiksi asennettavaksi yhteen sähkömoottorin kanssa. Työntekijän ergonomian kannalta tilanne parantuisi, koska suurten eräkokojen aiheuttamia pitkiä yksitoikkoisia työliikesarjoja ei olisi tarpeen suorittaa. Tällöin kokoonpanotyöntekijä voisi tehdä

kerralla yhden vaihteen kokoonpanoon liittyvät eri työvaiheet ja fyysinen rasitus olisi vaihtelevaa. Eräkoon pienentämisen mahdollistama yhden kokoonpanopöydän käyttö tarjoaisi myös vaihteen kuorien painamiseen käytetyn prässin kaikkien vaihdetyyppien käyttöön.

Esitelty uusi layout-ratkaisu yhdistettynä pieneen eräkokoon mahdollistaa paremman tuottavuuden tavoittelun vaihtelevissa työvuorokokoonpanoissa. Olipa työvuorossa yksi tai useampi henkilö työskentelemässä kerrallaan, pienet erät valmistuvat tiheämmin. Tällöin ei tarvitse olla huolissan suuren erän kesken jäämisestä työvuoron loppuessa. On huomattavasti selkeämpää työvuoroon tullessaan aloittaa alusta kokonaan uuden vaihteen kokoonpano, kuin jatkaa työtä jostain kohtaa 30 vaihteen kokoonpanon prosessista. Mikäli pyritään saamaan valmiiksi suuri erä vaihteita tai akseliyhdistelmiä ennen työvuoron päättymistä, todennäköisesti arvoa tuottava työaika joko ylittyy tai alittuu. Työtä on helpompi rytmittää valmistettaessa vaihteita pienissä erissä.

Spagettidiagrammeja (LIITE 2) tarkasteltaessa havaitaan suuri ero alkuperäisen ja muutosehdotuksen mukaisen pohjakuvan välillä. Tarpeettomien kuljetustoimintojen ja turhan liikkeen luomat hukat konkretisoituvat spagettidiagrammeja vertaamalla. Merkittävin tekijä akselien liikkeen vähentymisen osalta on akseliyhdistelmien välivarastoinnin lopettaminen, mutta myös työpisteiden sijoittelulla on pyritty vähentämään turhaa liikettä.

Turhan liikkeen ja tarpeettomien kuljetustoimintojen vähentäminen parantaa myös työn ergonomiaa. Kokoonpanopöytien korkeudensäätöominaisuutta kannattaa ehdottomasti hyödyntää. Koska akseliyhdistelmien tekoon käytettävä prässä ja uuni ovat vakiokorkuisia, kannattaa kyseisen työpisteen istuimen ominaisuuksiin kiinnittää riittävää huomiota. GES3-pöydällä olevan prässin käyttö vaihteen kuorien asennuksessa vähentää ihmisen käyttämän voiman tarvetta. Usein toistuvia yksitoikkoisia liikkeitä voidaan vähentää kierrättämällä työtehtäviä. Myös eräkokojen pienentämisellä on mahdollista vähentää yksitoikkoisen liikkeen kerralla tapahtuvaa määrää.

7 POHDINTA

Lean-toimintastrategian sisältämät periaatteet ja menetelmät soveltuvat hyvin tuotannon virtaustehokkuuden parantamiseen. Tuotannossa esiintyviä hukkia voi olla vaikea havaita, koska ne saattavat aiheutua ajan saatossa muodostuneista käytännöistä. Lisäarvoa tuottamattomat toiminnot on helpompi tunnistaa, kun tarkastellaan hukkan eri muotoja yksitellen. Sitten voidaan aloittaa toimenpiteet kunkin hukkan poistamiseksi tai vähentämiseksi. Joskus yksittäinen hukkan muoto saattaa piilottaa muita hukkan muotoja. Hukan vähentäminen tuotannosta vähentää kustannuksia ja parantaa työvoiman tehokkuutta.

Tuotannon tehokkuutta on perinteisesti tarkasteltu resurssitehokkuuden kannalta. Resurssitehokkuuden näkökulma on looginen lähestymistapa esimerkiksi harkittaessa koneinvestointeja tai rekrytointisuunnitelmia tehdessä. Pelkästään resurssitehokkuutta tarkasteltaessa hukat saattavat jäädä havaitsematta. Tuotannon on mahdollista olla resurssitehokas mutta samalla toimia tehottomasti. Lean-toimintastrategiassa kiinnitetään huomiota myös virtaustehokkuuteen. Virtaustehokkaassa tuotannossa tavoitellaan tuotannon tilaa, jossa tehdään mahdollisimman vähän lisäarvoa tuottamatonta työtä. Kun prosessi on virtaustehokas, sen on oltava hyvää laatua tuottava prosessi. Tällöin ei tarvita esimerkiksi suuria varastoja laatu- tai laiterikkojen varalta.

Tuotannon tehokkuutta ei ole kuitenkaan järkevää tarkastella pelkästään virtaustehokkuuden näkökulmasta. On teoriassa mahdollista luoda tuotannolle erittäin virtaustehokkaat puitteet resursseja ylimitoitamalla, mutta samalla ajautua kustannustehottomaan tuotannon muotoon. Resurssi- ja virtaustehokkuuden optimaalinen suhde on prosessikohtaisesti löydettävä.

Tämän opinnäytetyön tavoitteeksi määriteltiin ratkaisujen etsiminen tuotantosolun virtaustehokkuuden parantamiseksi. Muutosehdotukset perusteltiin teoriaosuudessa esiteltyillä periaatteilla. Lean-toimintastrategiassa käytettäviä menetelmiä on lukuisia. Oikean menetelmän valinta ja sen tuloksellinen soveltaminen edellyttää syvällistä Lean-toimintastrategian tuntemista. Myös tarkastelun kohteena oleva prosessi on tunnettava hyvin. Lean-toimintastrategian ehdoton soveltaminen ei välttämättä johda parhaaseen lopputulokseen. Tuotantoprosesseissa voi olla pitkäaikaisten käytäntöjen luomia hyviä toimintatapoja, joita ei kannata muuttaa. Mikäli tällaista alkuperää olevissa käytännöissä havaitaan parannustarpeita, saattaa ilmetä vastarintaa hyvienkin muutosehdotusten kohdalla. Parhaan lopputuloksen savuttamiseksi kannattaa asioita tarkastella objektiivisesti.

LÄHTEET

- ISO 13053-2. Prosessin kehittämisen kvantitatiiviset menetelmät. Six sigma. Osa 2: Työkalut ja tekniikat. 2014. Helsinki: Suomen standardoimisliitto SFS.
- Kiili, K. 2018. Lean Six Sigma Yellow Belt-koulutus. Insinööriliitto IL ry.
- Kinnunen, S. 2019. Lean Six Sigma – kurssimateriaali. Centria tutkimus ja kehitys. Saatavilla pyydettyessä.
- Konecranes. 2019. Uusi strategiamme. Yhtiön sisäinen julkaisu.
- Konecranes. 2021. Saatavissa: www.konecranes.com . Viitattu 8.6.2021.
- Launis, M. & Lehtelä, J. 2011. Ergonomia. Tampere: Tammerprint Oy.
- Modig, N. & Åhlström, P. 2013. Tätä on lean. Tukholma: Rheologica Publishing.
- Nicholas, J. 2011. Lean production for competitive advantage. New York: Taylor and Francis Group.
- Piiparinen L. 2021. Vedenkorkeuden vertaaminen varaston suuruuteen, taiteilijan näkemys.
- Piirainen, A. 2014. Vaihtelu. Lahti: Quality Knowhow Karjalainen Oy.
- Torkkola, S. 2015. Lean asiantuntijatyön johtamisessa. Talentum Media Oy.
- Wilson, L. 2015. How to Implement Lean Manufacturing. United States of America: McGraw-Hill Education.

Liite salainen

Liite salainen

Liite salainen