

Janne Juntunen

**5S-MENETELMÄN KÄYTTÖÖNOTTO HITSAAVALLA
KONEPAJALLA**

5S-MENETELMÄN KÄYTTÖÖNOTTO HITSAAVALLA KONEPAJALLA

Janne Juntunen
Opinnäytetyö
Kevät 2019
Konetekniikan tutkinto-ohjelma
Oulun ammattikorkeakoulu

TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu
Konetekniikan koulutusohjelma, auto- ja kuljetustekniikka

Tekijä: Janne Juntunen
Opinnäytetyön nimi: 5S-menetelmän käyttöönotto hitsaavalla konepajalla
Työn ohjaajat: Miikka Varhelahti, Perttu Niskanen
Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: kevät 2019
Sivumäärä: 35 + 3 liitettä

Opinnäytetyössä käyttöönotettiin lean-ajattelutavan mukainen 5S-menetelmä Normek Oy:n Oulun tuotantohallissa. Työn tavoitteena oli, että projektin jälkeen Normek Oy:llä on käytössä 5S-menetelmä, joka parantaa konepajan työturvallisuutta ja tuottavuutta.

5S-menetelmä on työkalu, jonka avulla voidaan poistaa tuotannossa tapahtuvaa arvoa tuottamatonta työtä. Kyseessä on yrityksen pilottihanke. 5S-käyttöönotto tehtiin tuotantohallin ja sen yhteydessä toimivan varaston tiloihin. Työ painottui varaston optimointiin ja työkalujen hallintaan.

Työn tuloksiksi saatiin muun muassa aiempaa siistimmät tuotantotilat poistamalla vanhaa ja tarpeetonta tavaraa yrityksen tiloista. Työn aikana myös vähennettiin arvoa tuottamatonta työtä. Tuotannon tehokkuutta ja työturvallisuutta kehitettiin työkalujen järjestyllä ja tilojen siistimisellä.

Asiasanat: 5S, lean, hukka, konepaja

ALKULAUSE

Kiitos Normek Oy:lle mahdollisuudesta opinnäytetyön tekemiseen. Kiitos yrityksen laatu-
päällikkö Miikka Varhelahdelle ja Oulun tuotantopäällikkö Ville Sirviölle. Koko toimihenki-
löstö otti projektin vastaan avoimesti, ja kaikki yrityksen työntekijät auttoivat projekti-ide-
oiden kehittämisessä. Kiitos työtä oppilaitoksen puolelta ohjanneelle lehtori Perttu Niska-
selle, joka antoi tarvittavan tuen ja vapauden työn suorittamiseen.

Kiitos vaimolleni Susannalle tuesta, motivaatiosta ja innostamisesta koko opiskelujeni ai-
kana ja erityisesti tätä opinnäytetyötä tehdessäni. Kiitos myös pojilleni Akselille ja Väinölle
aktiivisen elämäntavan ylläpitämisestä myös kotona ollessani.

Oulussa 15.5.2019

Janne Juntunen

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ	3
ALKULAUSE	4
SISÄLLYS	5
1 JOHDANTO	7
2 LEAN-AJATTELU	8
2.1 Toyota Production System	8
2.2 Seitsemän alkuperäistä hukkaa	9
2.3 Uudet hukat	10
2.3.1 Käyttämättä jätetty työntekijöiden luovuus	10
2.3.2 Liiallinen tiedon ja kommunikaation määrä	10
2.3.3 Ajankäytön hukka	10
2.3.4 Työhön sopimattomien järjestelmien hukka	11
2.3.5 Energian ja veden käytön hukka	12
2.3.6 Tiedon käyttämättä jättämisen hukka	12
2.3.7 Tyhjän työn hukka	12
2.3.8 Kaikkien hukkien poistaminen tuotannosta	13
2.4 Kaizen	13
2.5 PDCA-kehä	14
2.6 5S-menetelmä	14
2.7 5S-menetelmän vaiheet	15
3 LÄHTÖTILANNE	17
4 5S-MENETELMÄN ALOITUS JA SUUNNITTELU	18
4.1 Odotukset projektia kohtaan	18
4.2 Hankinnat	18
4.2.1 Letkukelojen hankinta	19
4.2.2 Työkalujen säilytys	26
5 5S-MENETELMÄN VAIHEET	28
5.1 Sortteeraus ja siivous	28
5.2 Systematisointi ja standardointi	29
5.3 Seuranta	30
6 5S-MENETELMÄLLÄ SAADUT TULOKSET	31

7 LOPPUSANAT	32
LÄHTEET	35
Liite 1 Paineilmajärjestelmän vuotohäviöiden laskenta	
Liite 2 Nestekaasujärjestelmän vuotohäviöiden laskenta	
Liite 3 Happijärjestelmän vuotohäviöiden laskenta	

1 JOHDANTO

Opinnäytetyössä perehdytään 5S-menetelmän käyttöönottoon hitsattuja teräsrakenteita valmistavan yrityksen konepajan tiloissa. Tavoitteena on, että opinnäytetyön jälkeen toimitiloissa on käytössä 5S-menetelmä, joka parantaa konepajan tuottavuutta ja työturvallisuutta.

Työn tilaaja on toiminut tiloissa pitkään. Vuosien aikana valmistettavien kappaleiden koot ja valmistusmäärät ovat muuttuneet. Kappaleiden kokojen kasvaminen on aiheuttanut layoutongelmia tuotantotiloissa. Yritykseen on tehty aikaisempi opinnäytetyö, jossa käsitellään Oulun konepajan tuotannon kehittämistä ja layoutsuunnittelua (1). Topi Kyllönen kirjoittaa opinnäytetyönsä yhteenvedossa seuraavasti: ”Ottamalla käyttöön 5S-metodit ja käyttämällä perinteisiä lean-tuotantotapoja parannettaisiin todennäköisesti tuotannon tehokkuutta ja tuotantotilan siisteyttä ilman suuria investointeja.” (1, s. 46.)

Yrityksen tuotanto tapahtuu useassa erillisessä rakennuksessa. Tässä opinnäytetyössä perehdytään yrityksen tuotantohallin ja samoissa tiloissa olevan varaston kehittämiseen 5S-menetelmän avulla.

Työn tilaaja Normek Oy valmistaa Oulun toimitiloissa suuria teräsrakenteita. Normekin Oulun toimitiloissa on valmistettu teräsrakenteita muun muassa keskustakirjasto Oodiin Helsinkiin, Metsä Fibren biotuotetehtaalle Äänekoskelle ja Kauppakeskus Rediin Helsinkiin (2). Yrityksellä on tuotantolaitoksia Oulussa, Naarajärvellä, Alavudella ja Alkkiassa (3).

2 LEAN-AJATTELU

Toyotan pääinsinööri Taiichi Ohno sai työtehtäväkseen tehostaa yrityksen tuotantokapasiteettia 1940-luvun lopulla. Ohno vertasi Toyotaa Fordin liukuhihnatuotantoon, joka oli todella tehokas. Fordin menestys perustui kuitenkin vain yhteen automalliin, jota sai vain mustan värisenä. Markkinoilla alkoi ilmaantua kysyntää erilaisille malleille, varusteille ja väreille. Fordin kilpailijat pystyivät tuottamaan erilaisia vaihtoehtoja, mutta yrityksiensä tehokkuus kärsi läpimenoaikojen hidastuessa ja varastojen kasvaessa. (4, s. 52.)

Ohno halusi, että asiakkaat saavat juuri sitä, mitä he haluavat, ja juuri silloin kun he haluavat. Ohnon tavoitteena oli yhdistää liukuhihnatuotanto ja autojen erilaiset malli-, varustelu- ja väri vaihtoehtot. Tästä syntyi myöhemmin Toyota Production System. Tämän pohjalta kehittyi lean-johtamisoppi, jota käytetään nykyään maailmanlaajuisesti useilla eri toimialoilla. (4, s. 52.)

Lean on filosofia, jonka avulla kootaan yhteen useita näkemyksiä yhdeksi yhtenäiseksi johtamisjärjestelmäksi. Lean pyrkii tuottamaan asiakkaalle lisäarvoa mahdollisimman kustannustehokkaasti. Lisäarvoa pyritään tuottamaan vähentämällä tuotteen elinkaaren aikana syntyviä hukkia ja virheitä. Hukkaa on kaikki se mikä ei tuota asiakkaan näkökulmasta lisäarvoa tuotteelle tai palvelulle. Kaikki hukka näkyy kohonneina kustannuksina, minkä asiakas joutuu viime kädessä maksamaan. (4, s. 52.)

2.1 Toyota Production System

Toyota Production System eli TPS kehitettiin kahden periaatteen avulla. Ne ovat Just-In-Time-tuotanto ja Jidoka. (5.)

Just-In-Time-tuotannossa materiaaleja siirretään ja tuotetaan vain tarpeen mukaan. Esimerkiksi tuotteen erinäiset osat tuodaan asennuslinjastolle vasta silloin kun niitä tarvitaan ja vain niin monta kuin niitä tarvitaan. Näin saadaan minimoitua varastomäärät. Just-In-Time-tuotannon ideaalitilaa on kuitenkin vaativa toteuttaa, jos tuote tai valmistusprosessi on monimutkainen. (5.)

Jidokan voidaan määritellä olevan ”automaatiota ihmiskosketuksella”. Jidoka-sana tulee Sakichi Toyodan, Toyota Groupin perustajan, keksinnöstä. Toyodan kehittämät auto-

maattiset kangaspuut havaitsivat itse, kun koneesta loppui lanka tai se katkesi. Kone pysähtyi ongelman ilmetessä. Virheen sattuessa tuotanto keskeytyi ja automaation ansiosta työntekijä pystyi välittömästi puuttumaan ongelmaan, eikä virheellinen tuote päässyt eteenmään seuraavaan työvaiheeseen. Menetelmä minimoi virhekappaleiden syntymisiä. (5.)

2.2 Seitsemän alkuperäistä hukkaa

Toyota Production System -mallin alkuperäiset hukat ovat seuraavat seitsemän kohdetta. Seuraavia hukkia poistamalla organisaatio pystyy tuottamaan asiakkaalle lisäarvoa pienemmillä resursseilla (4, s. 52):

1. Ylituotanto

Ylituotannolla tarkoitetaan tuotteiden valmistamista ilman tarvetta. Ylimääräisiin tuotteisiin käytetään pääomaa ja ne joudutaan varastoimaan, mikä vie yrityksen resursseja, jolloin syntyy hukkaa.

2. Odottelu

Odottelu ei tuo lisäarvoa tuotteelle. Esimerkiksi tuotannon pullonkaulat tai työkalujen puute voivat aiheuttaa tuotannossa odottelua, mikä on pois tuottavasta työnteosta.

3. Tarpeeton kuljettaminen

Turha liike aiheuttaa hukkaa, koska tavaroiden tai ihmisten ylimääräinen liike ei tuota arvoa tuotteelle. Minimoimalla materiaalien ja ihmisten liike voidaan käyttää enemmän aikaa tuottavan työn tekemiseen.

4. Turha käsittely

Turhalla käsittelyllä tarkoitetaan asiakkaan kannalta turhien asioiden tekoa. Esimerkiksi ylilaadun tekeminen on turhaa, koska se ei tuota lisäarvoa tuotteelle. Myös huonoilla työkaluilla ja menetelmillä tehty työ on turhaa käsittelyä, kun tuotteen pystyisi valmistamaan tehokkaammillakin tavoilla.

5. Ylimääräiset varastot

Varastointi aiheuttaa aina kustannuksia. Varastoinnilta on kuitenkin vaativaa kokonaan välttyä. Tuotannon pullonkaulojen ja tavarantoimituksien aikataulutuksen vuoksi voi olla mahdotonta saavuttaa tilaa, ettei mitään tarvitsisi varastoida.

6. Tarpeeton liikkuminen

Tarpeeton liikkuminen on samankaltainen hukka kuin tarpeeton kuljettaminen. Liikkumisen hukkaa on esimerkiksi työntekijän työvaiheiden aikana tekemä tarpeeton liike. Esimerkiksi osien ja työkalujen etsiminen ei tuota arvoa tuotteelle.

7. Virheet

Virheet aiheuttavat turhaa työskentelyä, työvaiheiden suorittamista uudelleen ja kulluttavat resursseja. Vialliset tuotteet aiheuttavat myös reklamaatioita, ja niiden korjaaminen on hukkaa.

2.3 Uudet hukat

Ajan saatossa on keksitty myös uusia hukkia, joita voi lisätä Ohnon alkuperäisen seitsemän hukan lisäksi. Luvussa 2.3 esitetyt uudet hukat ovat sovellettavissa muun muassa huoltopalveluihin ja tuotantoon. (6, s. 21.)

2.3.1 Käyttämättä jätetty työntekijöiden luovuus

Käyttämättä jätetty työntekijöiden luovuus on uusi hukka, joka voidaan yhdistää suoraan Taiichi Ohnoon, sillä hän on sanonut, että alkuperäinen tarkoitus TPS-järjestelmällä oli ”luoda ajattelevia ihmisiä”. Tämä hukka liitetään yleisesti seitsemän alkuperäisen hukan yhteyteen niin sanotuksi kahdeksanneksi hukaksi. (6, s. 21.)

2.3.2 Liiallinen tiedon ja kommunikaation määrä

Ylimääräistä tietoa on vähennettävä. Esimerkiksi sähköpostiviestien määrä voi olla niin valtava, ettei kaikkia viestejä ehdi käsitellä kunnolla. Tulisikin harkita, tarvitseeko jokaista sähköpostia välttämättä lähettää kaikille henkilöille. Sama pätee muun muassa palaveriin eli on mietittävä, tarvitaanko kaikkien henkilöiden osallistumista ja järjestetäänkö palavereita pelkästään palavereiden järjestämisen takia. Esimerkiksi viikkopalaverin voi jättää pitämättä, jos viikon aikana ei ole tapahtunut mitään merkittävää. (6, s. 21.)

2.3.3 Ajankäytön hukka

Kaikki kärsivät ajankäytön hukasta. Stephen Covey on kehittänyt 2x2-matriisin ajankäytönhallinnasta, jonka akselit ovat Tärkeä ja Kiireellinen (taulukko 1). Yleensä suuri osa ihmisistä viettää aikaa Kiireinen ja Ei tärkeä -kategoriassa (taulukko 1). Jos työntekijästä

tuntuu, että valtavasta työpanoksesta huolimatta hän ei saa mitään aikaiseksi, hän todennäköisesti viettää aikaa Kiireinen ja Ei tärkeä -kategoriassa. Ei kiireinen ja Ei tärkeä -kategoria on hyvä rentoutumista varten, mutta muuten kaikki siinä kategoriassa tapahtuva on ajanhukkaa. Näitä tehtäviä voi tehdä silloin, kun kalenterissa on tyhjää tai tehtävät voi eliminoida kokonaan. Kiireinen ja Tärkeä -kategoria on vielä hyväksyttävissä oleva tapahtuma, mutta se voi viestiä ajankäytön hallinnan ongelmista. Tällöin tekemisestä tulee niin sanottua tulipalojen sammuttelua, joka ei ole tuottavaa eikä tehokasta. Valitettavasti näiltä tehtäviltä ei voi kokonaan välttyä, joten kannattaa varata jokaisesta päivästä vähän aikaa äkillisten tehtävien suorittamiseen. Ideaali kategoria on Ei kiireellinen mutta Tärkeä -kategoria. Silloin pystytään keskittymään ydinasioihin huolellisesti ja voidaan ennakoiden ehkäistä kiirettä. (6, s. 21.)

TAULUKKO 1. 2x2-matriisi ajankäytöstä (vrt. 6, s. 21)

	Tärkeä	Ei tärkeä
Kiireellinen	Tulipalo, kriisit, ongelmat	Keskeytys, häiriötekijät
Ei kiireellinen	Strateginen suunnittelu, kehittäminen, normaali työnteko	Rentoutuminen

2.3.4 Työhön sopimattomien järjestelmien hukka

Työssä käytettävien järjestelmien käytössä on mietittävä, kuinka paljon eri ohjelmistoja tarvitaan itse tuotteen valmistamiseen. Kuinka paljon tietoa pitää olla tuotteista, tekotavoista ja standardeista, että työ voidaan tehdä vaatimusten mukaisesti. Keskittämällä ohjelmistoja ja tietoja voidaan vähentää ohjelmistoista aiheutuvia hukkia ja turhaa työtä. Yhdistämällä tai ulkoistamalla pakollisia laatuaineistoja ja muita pöytäkirjoja yritys pystyy keskittymään enemmän itse tuotteen valmistamiseen. Yksinkertaistamalla ja poistamalla erinäisiä turhia tapoja voidaan vähentää ylimääräistä ohjelmistojen käyttöä. (6, s. 21.)

2.3.5 Energian ja veden käytön hukka

Sähkö, vesi, kaasu ja öljy ovat energiamuotoja. Osa niistä ovat uusiutuvia, osa uusiutumattomia. Maailman rajallisten energioresurssien käyttöjä tulisi tarkastella niin ympäristön kuin taloudenkin kannalta. Energian tehokas käyttäminen tuottaa suuria säästöjä yritykselle. Esimerkiksi paineilman tuottaminen sähköllä ja polttoleikkaus- ja hitsauskaasujen menekki ovat osa yrityksen muuttuvia kuluja. Energiatehokkaiden laitteiden avulla voidaan säästää merkittäviä summia yrityksen työkustannuksista. Toisena kustannusesimerkkinä voidaan käyttää tilojen valaistusta. Vaihtamalla vanha 400 W:n valaisin nykyaiseen 100 W:n valaisimeen saadaan pienennettyä sähkönkulutus neljäsosaan menettämättä lainkaan valovirtaa. Energiahukkaan vaikuttavat pienetkin asiat, kuten tietokoneen ja valojen sammuttaminen työn päätyttyä, vuotavan hanan korjaus ja lämpöeristäminen. (6, s. 21.)

2.3.6 Tiedon käyttämättä jättämisen hukka

Tiedon käyttämättä jättämisen hukalla käsitellään tiedon unohtamista. Kertaalleen suunnitellut asiat unohdetaan eikä niitä esimerkiksi dokumentoida mitenkään työn aikana. Työtä tehdessä törmätään ongelmaan ja ongelma ratkaistaan, mutta ratkaisutapaa ei enää muisteta seuraavalla kerralla, kun samanlainen ongelma tulee vastaan toisessa työssä. Ratkaisutapa pitää taas keksiä uudestaan. Jos ratkaisutapa on vain yhden työntekijän pään sisällä, on riskinä, että tämä työntekijä ei ole enää paikalla ongelman ilmaantuessa uudelleen. Ongelma voidaan ehkäistä dokumentoimalla ongelma ja siihen kehitetty ratkaisu. Pelkästään muistivihko voi olla ratkaiseva tekijä. (6, s. 22.)

2.3.7 Tyhjän työn hukka

Roland Paulsen on määritellyt, että tyhjää työtä on "kaikki mitä teet töissä, mikä ei ole työtäsi". Tämä sisältää muun muassa tauot, henkilökohtaiset puhelut, Suomen jääkiekkomaajoukkueen kokoonpanosta keskustelun ja internetselaamisen. Tutkimusten mukaan tyhjää työtä tehdään keskimäärin jopa 1,5 - 3 tuntia päivässä toimistotyöntekijää kohden. Tyhjän työn hukan estämiseksi ei ole oikeaa vastausta. Ratkaisua voi lähestyä monista eri näkökulmista esimerkiksi lisäämällä työntekijöiden valvontaa. Aihe voi olla herkkä ja saattaa aiheuttaa henkilöstön keskuudessa suurta ärtymystä. (6, s. 22.)

Tärkeää olisi ymmärtää, kuinka paljon potentiaalia työajoissa on olemassa ja kuinka paljon työssä on kehittämismahdollisuuksia, jos työntekijöitä onnistutaan innostamaan ja motivoimaan oikein. Tulisi pohtia, voidaanko esimerkiksi palkkausmenetelmällä, työajoilla tai yrityksen virkistystoiminnalla vaikuttaa tyhjän työn määrään tai työntekijöiden jaksamiseen.

2.3.8 Kaikkien hukkien poistaminen tuotannosta

Kaikkien hukkien poistaminen on lean-ajattelutavan mukaan mahdollista, mutta se ei aina ole kannattavaa (6, s. 22). Henry Ford on mielestäni malliesimerkki tuotannon tehostamisesta. Kokoonpanolinjan avulla Ford onnistui valmistamaan autojaan todella tehokkaasti muihin kilpailijoihinsa verraten. Loppujen lopuksi asiakas ei kuitenkaan ollut tyytyväinen, koska Ford ei kyennyt tarjoamaan riittävästi vaihtoehtoja auton ominaisuuksiin. Muut vähemmän tehokkaat autovalmistajat palvelivat asiakkaiden tarpeita paremmin.

Hukkien vähentämisen voidaan katsoa olevan innovaation vastakohta. Jos innovoidessa ei saa tulla virheitä eikä turhaa työtä, ei todennäköisesti voida keksiä mitään uuttakaan. Innovoinnissa ja kehittämisessä voi tulla virheitä ja niiden kautta voidaan oppia.

2.4 Kaizen

Kaizen on japania ja tarkoittaa jatkuvaa kehitystä. Tämä on erittäin tärkeä kulmakivi lean-ajattelutavassa. Sana Kaizen yleistyi lännessä Maasaki Imain kirjoitettua Kaizen-nimisen kirjan. Sana on nykyään yleisesti tunnettu. Kaizen-filosofia noudattaa seuraavia pääperiaatteita. (6, s. 63):

- **Kyseenalaista säännöt**

Standardit ovat tarpeellisia, mutta työsääntöjä voi muuttaa ja niitä pitääkin muuttaa ajan kuluessa. Sanonta ”me olemme aina tehneet näin” ei edistä jatkuvaa kehitystä.

- **Kehitä kekseliäisyyttä**

Yrityksen johdon vastuulla on kehittää yrityksen toimintaan lisää kekseliäisyyttä ja saada mahdollisimman moni osallistumaan kehitykseen.

- **Selvitä juurisyy**

Ongelmia ei saa ratkaista pinnallisesti vaan selvittämällä asian juurisyy. Selvittämiseen voidaan käyttää esimerkiksi 5 Whys -metodia, jossa kysytään viisi kertaa kysymys miksi. Näin saadaan selville perimmäinen ongelma.

- **Tehtävien poistaminen**

Kyseenalaista tehtävien kohdalla onko niitä tarpeen tehdä ollenkaan. Jos se ei ole tarpeellista, poista koko työtehtävä.

- **Vähennä tai muuta työvaiheita**

Poistamalla tai yhdistämällä erilaisia työvaiheita voidaan yksinkertaistaa tuotantoprosessia.

2.5 PDCA-kehä

William Edwards Demingin kehittämä jatkuvan parantamisen kehä eli PDCA-kehä tulee sanoista Plan, Do, Check, Act. PDCA-sykli on yleisesti käytetty kehittämismenetelmä, jonka avulla voidaan jatkuvasti parantaa toimintaa. Useasti menetelmää ei ymmärretä ja keskitytään vain syklin Do-vaiheeseen. Deming on sanonut, että kaikki neljä vaihetta pitäisi olla tasapainossa keskenään. Plan-vaiheen pitäisi olla ensimmäinen vaihe, mutta suunnittelu on vaikeaa, jos ei tiedä lähtötietoja. Ensimmäisenä vaiheena tulee käyttää Check-vaihetta. Näin saadaan selville lähtötilanne ja ongelmakohdat, joiden ratkaisemista voidaan alkaa suunnittelemaan. (6, s. 51.)

2.6 5S-menetelmä

Lean-ajattelun kulmakivinä on, että työtä pystytään tekemään ainoastaan siistissä, järjestyksessä olevassa ympäristössä. 5S on todennäköisesti kaikista käytetyin lean-työkalu. Menetelmän avulla pystytään huolehtimaan siisteyden ja järjestyksen kehittämisestä ja ylläpidosta. 5S-menetelmän avulla pyritään kehittämään systemaattisuutta ja kurinalaisuutta. (7, s. 26.)

5S ei aina toimi halutulla tavalla. Jos yrityksen toimitilat ovat sekaisin ja vaativat siivousta, silloin ne täytyy yksinkertaisesti siivota. Siivoamiseen ei kannata sekoittaa 5S-menetelmää, silloin 5S-menetelmästä tulee helposti pelkkä siivoustyökalu. Jos 5S-menetelmää

käytetään vain siivoustyökaluna, työntekijät saattavat ajatella, että 5S on yhtä kuin siivous. Tällöin koko lean-ajattelu saattaa saada negatiivisia mielikuvia ja olla vain ”sarja erilaisia turhia toimenpiteitä”. (6, s. 136.)

5S on kannattava ja hyvä työkalu, kun sitä tarvitaan oikeasti asioiden kehittämiseen. 5S-menetelmän avulla muun muassa työkaluille järjestetään sovittu säilytyspaikka, työpisteillä oleva tavaramäärä pidetään minimissä työtilan takaamiseksi sekä järjestyksen ja siisteyden ylläpito saadaan osaksi työntekoa. 5S-menetelmän pitäisi vähentää hukkia ja muuttujia sekä parantaa tuotettavuutta. (6, s. 137.)

2.7 5S-menetelmän vaiheet

5S on viisivaiheinen lean-työkalu. Viisi s-kirjainta tulevat japanin kielen sanoista Seiri (lajittelu), Seiton (järjestä), Seiso (puhdistusta ja huolla), Seiketsu (vakiinnuta toimenpiteet) ja Shitsuke (ylläpidä) (6, s. 26). Viisi s-kirjainta voidaan kääntää myös s-kirjaimella alkaviksi suomen kielen sanoiksi. Esimerkiksi sortteeraus, systematisointi, siivous, standardointi ja seuranta.

Sortteeraus

Englanninkielisessä tekstissä käytetään sanaa sort eli lajittelu. Voidaan myös puhua sanasta luopuminen. Vaiheen tavoitteena on poistaa kaikki asiat ja esineet, joita ei tarvita päivittäiseen työhön. Tämä on erittäin tärkeä osa prosessia. Turhien tavaroiden erottaminen tarpeellisista on vaativaa. Työntekijöillä voi olla tunnesiteitä esineitä kohtaan, kun taas esimiehet usein näkevät valtaosan tavaroista turhana, vaikka ne voivat olla tarpeellisia. (8.)

Lajittelemalla tavarat esimerkiksi kyllä-, ei- ja ehkä-kategorioihin saadaan helpommin tuloksia kuin vain suorilla kyllä- tai ei-vaihtoehdoilla. Ehkä-kategorian esineet voidaan viedä niitä varten tehdylle karanteenialueelle mistä tuotteita voi vielä käydä hakemassa takaisin tarvittaessa. Tämä luo turvallisuuden tuntea lajittelua tehdessä, joten työpisteiltä karsitaan huomattavasti rohkeammin kyseenalaisia esineitä, kun tiedetään, ettei niitä vielä hävitetä. Ehkä-kategorian tavarat voidaan säilöä määrääjäksi karanteenialueelle, minkä jälkeen ne hävitetään. Karanteenissa olevat esineet voidaan myös yrittää lajitella uudestaan kyllä-, ei- ja ehkä-kategorioihin. Menetelmää varten on myös kehitetty metodi nimeltä Red

Tagging, jossa merkitään punaisilla lapuilla esineet, joiden käyttötärpeesta ei ole varmaa tietoa. (8.)

Systematisointi

Seiton-vaihetta käytetään englanninkielessä sanalla Store. Suomennos voisi olla esimerkiksi järjestä, systematisoi tai varastoi. Vaiheen tavoitteena saada kaikki merkitysti paikalleen ja pidettyä ne helposti saatavilla. Esineitä on voitava helposti käyttää ja ne on saatava helposti omalle paikalleen. Saannin on oltava esteetön ja nopea huolehtien samalla turvallisuudesta, tehokkuudesta ja työergonomiasta. Ensimmäinen järjestys ei todennäköisesti ole paras vaan asiaa pitää seurata ja muuttaa tarvittaessa. Tässä voidaan käyttää esimerkiksi PDCA-kehää. (8.)

Siivous

Seiso-vaiheesta käytetään englanninkielistä sanaa Shine. Vaiheen tehtävänä on pitää työalue siistinä. Alueet ja siellä olevien laitteiden täytyy olla siistejä ja hyvässä kunnossa. Tämä tarkoittaa työkalujen puhdistusta ja huoltoa, lian ja pölyn poistamista ja myös puhaita työvaatteita. Puhdistusta varten luodaan järjestelmä, jonka avulla siisteys säilyy. (8.)

Standardointi

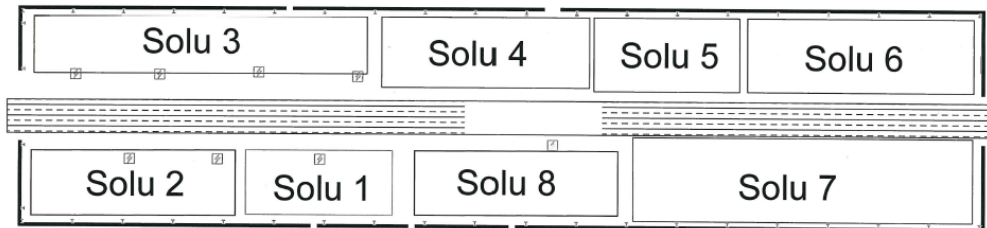
Standardointi liittyy vahvasti edellisiin vaiheisiin, mutta mahdollisesti eniten siivousvaiheeseen ja järjestyksen ylläpitoon. Standardoinnin avulla luodaan siisteystaso työpisteelle. Missä mitäkin säilytetään, miltä työpisteen pitää näyttää ja mitä esineitä työpisteillä saa vain ja ainoastaan olla. Työpisteestä saadaan visuaalisesti miellyttävä käyttämällä visuaalista ohjeistusta, kuten värejä, kylttejä ja infotauluja. (8.)

Seuranta

Shitsuke-sanasta englanninkielellä puhuttaessa käytetään useasti sanaa sustain eli ylläpidä. Sana voidaan kääntää esimerkiksi suomenkieliseksi sanaksi seuranta tai sitoutuminen. Vaiheen avulla otetaan tavaksi noudattaa ja ylläpitää sovittuja, standardoituja toimintatapoja ja sitoudutaan 5S-menetelmän noudattamiseen. Vaikka kaikki edelliset vaiheet tehtäisiin hyvin, kaikki muutkin 5S-toiminnot kaatuvat, jos seurantaa ei ole eikä henkilöstö sitoudu menetelmien noudattamiseen. Tämä tekee seurantavaiheesta kaikkein tärkeimmän. (8.)

3 LÄHTÖTILANNE

Työskenneltävät tilat ovat olleet konepajakäytössä useita vuosikymmeniä. Tiloissa on nähtävissä vanhoja tuotantoratkaisuja, jotka haittaavat nykyistä toimintaa. Tuotantojärjestelmän layout on sovellus solulayoutista (kuva 1). Kuvassa on numeroituna erilaiset työpisteet, joiden koot vaihtelevat projektien mukaan.



KUVA 1. Yrityksen konepajan pohjapiirustus

Tarve tuotantotilojen siistimiselle on ilmeinen, koska useiden työpisteiden yleisilme on todella sekava. Työpisteillä on muuan muassa vanhojen urakoiden piirustuksia, vanhentuneita ohjeita, romurautaa ja yhteisiä työkaluja, joita kuuluisi säilyttää varastotiloissa yhteisesti sovituihin paikkoihin. Työntekijät ovat tottuneet säilyttämään yhteisiä työkaluja eri paikoissa varastoa, joten työkaluja joutuu etsimään useasta mahdollisesta eri säilytyskohteesta. Työkaluille ei ole määritetty tarkkoja säilytyspaikkoja. Usein työkaluja ei ole edes palautettu varastoon, vaan niitä löytyy työpisteiden nurkista tai muualta tuotantotiloista.

Varaston hyllyt ovat täynnä ja sekavat. Merkinnät tavaroiden hyllypaikoista puuttuvat. Hyllyissä on rikkiäisiä tai vanhentuneita laitteita, joiden toimivuutta tai jopa käyttötarkoitusta ei tiedetä. Tavarointa ei ole uskallettu hävittää, kun ”niitä voidaan vielä joskus tarvita”.

4 5S-MENETELMÄN ALOITUS JA SUUNNITTELU

4.1 Odotukset projektia kohtaan

5S-menetelmän käyttöönotto aloitettiin toukokuussa 2018. Tavoitteena oli suorittaa käyttöönotto kyseisen kesän aikana. Toukokuussa työtä aloitettaessa määriteltiin ensiksi nykytilanne. Yrityksen työntekijöitä, työnjohtoa ja tuotantopäällikköä haastateltiin ja kysyttiin heidän havaitsemiaan ongelmakohtia tuotannossa ja päivittäisessä tekemisessä. Haastatteluissa myös kysyttiin henkilöstön odotuksia tätä projektia kohtaan.

Haastatteluissa työntekijät kertoivat työkalujen olevan useasti hukassa. Työkalut liikkuvat eri työvuorojen välillä eri työpisteille, mikä aiheuttaa työntekijöiden kävelemistä ympäri hallia työkaluja etsien. Toimihenkilöt toivoivat, että tuotantotilat saataisiin tyhjäksi ylimääräisestä tavarasta kompastumisriskin ja työtilojen selkeyttämisen vuoksi. Lattioilla lojuvat sähkökaapelit, paineilma- ja kaasuletkut siirrettäisiin kompastumisien välttämiseksi sekä työkaluille tulisi selvät säilytyspaikat. Yleisenä toiveena oli myös, että yrityksen tilat näyttäisivät visuaalisesti paljon selkeämmiltä ja siistimmiltä.

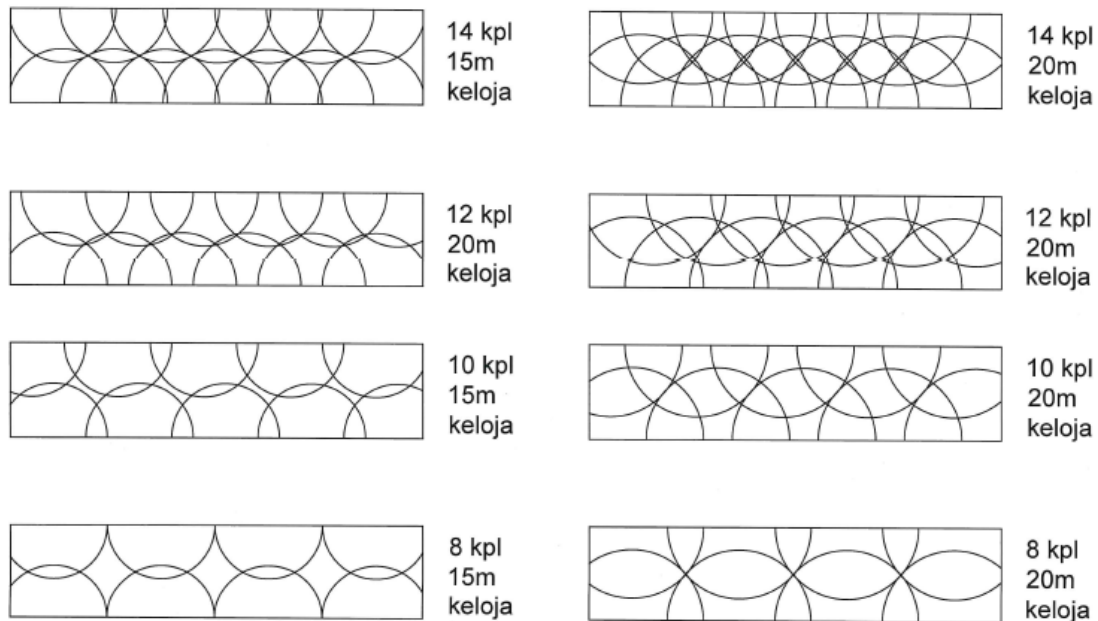
4.2 Hankinnat

Heti haastatteluissa oli nähtävissä, että yritys tarvitsee joitain hankintoja 5S-menetelmän mahdollistamiseksi. Projektin tavoitteiksi oli asetettu tuotannon tehostaminen ja työturvallisuuden parantaminen. Nämä molemmat tavoitteet edistyisivät poistamalla vuotavat kaasuletkut lattioilta. Letkujen ollessa lattialla niihin hankautuu reikiä ja ne aiheuttavat suuren kompastumisriskin. Letkut myös useasti jäävät metallilevyjen alle puristuksiin. Kehitys-ideana oli hankkia letkukelat seinille, jolloin lattiatilat vapautuvat ja letkut säilyvät ehjänä.

Työkalujen säilytys oli toinen hankintakohde. Lähtötilanteessa työntekijät säilyttivät henkilökohtaisia varusteitaan lukituissa pakeissa varaston puolella. Yhteiset työkalut säilytettiin milloin missäkin. Jokaisella työntekijällä oli oma tapansa säilyttää työkaluja ja sovittu säilytyspaikka puuttui. Työkaluja varten tarvittaisiin jonkinlainen työkalupiste tai työkalukaappi joka työpisteelle ja erikoistyökalujen säilytysratkaisu varastoon.

4.2.1 Letkukelojen hankinta

Letkukeloja tarvittaisiin ainakin kaksi työsolua kohden eli yhteensä 16. Toinen vaihtoehto on lisätä keloja tasaisella välityksellä seinille kattavan verkoston muodostamiseksi. Esimerkiksi letkukelojen asentaminen rakennuksen pilarijaotuksen mukaisesti merkitsisi 12 metrin asennusvälejä hallin pituussuuntaisesti. Tämä tekisi letkukelojen kokonaismääräksi noin 18, kun keloja asennettaisiin molemmille pitkille sivuille tuotantotiloja. Kuvaan 2 on hahmoteltu erilaisia paineilmakelaverkostoja.



KUVA 2. Paineilmaverkoston hahmottelua tuotantotilan pohjapiirustuksen päälle

Päätettiin hankkia 14 kappaletta 15 metrin mittaisilla letkuilla olevia letkukeloja. 10 kappaletta 20 metrin mittaisilla letkuilla olevia letkukeloja olisi ollut muuten hyvä vaihtoehto, mutta kaasuletkuja ei olisi ollut riittävästi vuoron kaikille työntekijöille. Jos letkukelat loppuvat tai ulottuvuus ei riitä, löytyy varastosta kuitenkin erikoistapauksia varten jatkoletkua ja hallista useita vapaita liitospisteitä.

Letkukeloista kyseltiin tarjouksia, joissa paineilmakelojen hinnaksi muodostui noin 300 € kappaletta ja polttokaasukeloille noin 600 € kappaletta. Hintoihin ei ole lisätty arvonlisäveroä. Arvonlisävero mukaan laskettuna, yhteishinnaksi keloille tuli noin 15 000 €.

Vuotavat letkut ovat luvun 2.3.5 mukaista energian hukkaamista. Paineilmajärjestelmien vuodot aiheuttavat yrityksissä ja tuotantolaitoksissa keskimäärin 26 %-yksikön käyttömenojen kasvun (8). Letkukelojen hankintaa varten tehtiin kaasujärjestelmien vuotokartoitus, minkä avulla laskettiin letkukelainvestointien takaisinmaksuaika. Vuotojen etsintä suoritettiin perjantaina 11.5.2018. Työvuoron loppuessa tyhjä ja hiljainen konepaja oli ihanteellinen vuotojen etsimiseksi. Paineilmavuotojen löytämistä varten käytettiin perinteistä saippuavesisuihketta, jota suihkutettiin letkuihin vuodon havaitsemiseksi. Suurimmat vuodot pystyttiin paikantamaan kuulon avulla.

Paineilmajärjestelmän vuodot

Paineilmajärjestelmästä löytyneistä vuotokohdista vain kaksi vuotoa löytyi kiinteästä järjestelmästä. Loput vuodoista johtuivat letkujen jatkoliitännöissä olevista vuodoista tai letkuihin hankautuneista jäljistä. Taulukossa 2 on etsinnässä havaittujen vuotojen lukumäärä ja vuodon halkaisijan koko millimetreinä.

TAULUKKO 2. Paineilmavuotojen lukumäärä ja vuotojen koko.

Vuotojen lukumäärä	Vuotojen koko [mm]
10	1
3	2
1	4

Kuvassa 3 on nähtävissä ND testaus Oy:n tekemä esimerkkikaavio, kuinka paljon vuosikustannuksia paineilmavuoto aiheuttaa paineilmakompressorin käyttämän sähkönkulutuksen suhteen.

Alla olevassa taulukossa on havainnollistettu erisuuruisten reikien aiheuttamia paineilmavuotojen käyttökustannuksia yritykselle:

Paineilmaverkostossa tai käyttölaitteessa olevan reiän läpi menevän ilman määrä: käyttöpaine 7 bar, ominaisteho 6,5 kW/m³/min, käyttötunnit 8000 h/a, sähkönhinta 60€/MWh.

Reiän läpimitta (mm)	Ilmamäärä (m ³ /min)	Kustannus (€/a)	Kompressorin teho (kW)
1	0,064	200,00	0,4
2	0,257	802,00	1,7
3	0,578	1 803,00	3,8
4	1,028	3 207,00	6,7
5	1,606	5 011,00	10,4
6	2,313	7 217,00	15,0
8	4,112	12 829,00	26,7
10	6,425	20 046,00	41,8
12	9,252	28 866,00	60,1

KUVA 3. ND Testaus Oy:n havainnollistava taulukko paineilmavuodoista (9)

Kuvassa 3 olevan taulukon avulla voidaan laskea Oulun konepajan tiloissa olevien paineilmavuotojen kustannusarviot. ND Testaus Oy:n tekemän kaavion toimintaa kokeiltiin PTC Mathcad -ohjelman avulla (kuva 4).

ND Testaus Oy:n kaavion toiminta	
Reiän halkaisija	$d := 1 \text{ mm}$
Reiän pinta-ala	$A := \pi \cdot \left(\frac{d}{2}\right)^2 = 0.785 \text{ mm}^2$
Järjestelmäpaine (ylipaine)	$p := 7 \text{ bar}$
Ilman tiheys, vuotokertoimella	$\rho := 0.58 \cdot 1.293 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} = 0.75 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$
Vuodon läpi kulkeva tilavuusvirta	$Q := A \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot p}{\rho}} = 0.064 \frac{\text{m}^3}{\text{min}}$
Kompressorin ominaisteho	Hukattu teho vuodon takia
$P := 6.5 \frac{\text{kW}}{\frac{\text{m}^3}{\text{min}}}$	$P_{\text{häviö}} := P \cdot Q = 0.419 \text{ kW}$
Kompressorin käyttötunnit vuodessa	Sähkönhinta
$t := 8000 \text{ hr}$	$\text{€} := 60 \frac{\text{€}}{\text{MW} \cdot \text{hr}}$
Kustannus €/vuosi	
$\text{vuoto} := \text{€} \cdot P_{\text{häviö}} \cdot t = 200.885 \text{ €}$	
Lukemat täsmäävät ND Testauksen kaavioon.	

KUVA 4. ND Testaus Oy:n kaavion toiminnan tarkastus

Syöttämällä PTC Mathcad -ohjelmaan Oulun konepajan paineilmajärjestelmän tiedot saadaan laskettua yksittäisen vuodon kustannukset Oulun toimitiloissa. Liitteen 1 laskenta on suoritettu kuvan 4 mukaisesti käyttäen Oulun toimipisteen lähtöarvoja. Oulun paineilmajärjestelmän ominaisuudet ovat seuraavat:

- järjestelmäpaine 9 bar
- käyttötunnit vuodessa 6120 tuntia
- ominaisteho $4,878 \frac{kW}{\frac{m^3}{min}}$
- sähkönhinta 71,76 €/MWh.

Yhdistämällä liitteen 1 laskelmat konepajalla havaittujen vuotojen määrään voidaan laskea paineilmajärjestelmän sähkönkulutuksesta syntyvät taloudelliset häviöt. Taulukossa 3 on ilmoitettu havaitut paineilmavuodot, niiden koko ja niistä aiheutuvat kustannukset Oulun toimipisteelle.

TAULUKKO 3. Paineilmajärjestelmän vuotojen määrä, koko ja häviöt

Vuotojen lukumäärä	Vuotojen koko [mm]	Vuotojen häviöt [€]
10	1	1564
3	2	1877
1	4	2502
	<i>Häviöt yhteensä</i>	<i>5943</i>

Paineilmajärjestelmän vuodoista kaksi kappaletta yhden millimetrin kokoisia reikiä havaittiin olevan paineilmajärjestelmän kiinteissä rakenteissa. Loput vuodoista löytyivät letkuista tai niihin tehdyistä jatkoliitoksista. Vähentämällä nämä kaksi reikää häviöiden kokonaissummasta saadaan letkuvuotojen aiheuttama vuosittainen häviö eli 5943 € – 312,8 € = 5630,2 €.

Paineilmaletkut ovat kuluneita ja niitä on jatkettu useista pienistä pätkistä pidemmiksi kokonaisuuksiksi. Paineilmaletkujen liikuttelu pitkin konepajan lattiaa on aiheuttanut letkuihin vuotoja. Vuotoja on korjattu poistamalla viallinen osa letkusta ja liitetty ehjä pätkä takaisin pidempään kokonaisuuteen. Lattioilla paineilmaletkut muodostavat alituisen kompastumisriskin. Letkuja kiskottaessa on myös mahdollista kaataa muita konepajalla olevia esineitä kuten hitsauskoneita ja magneettiporia. Siirtämällä paineilmaletkut pois

lattioilta saadaan vähennettyä kompastumisriskiä ja muiden esineiden rikkoutumisia. Myös paineilmaletkujen liittoksin määrä vähenee minimiin kelojen hankinnan avulla.

Nestekaasujärjestelmän vuodot

Nestekaasu- ja happijärjestelmissä voidaan soveltaa aiemmin esitettyjen laskelmien kaavoja. Liitteenä 2 on nestekaasuvuotojen laskenta. Laskemalla vuotavan kaasun määrä kuutiometreinä ja muuttamalla nestekaasun kilohinta kuutiooniksi, voidaan arvioida nestekaasuvuodoista aiheutuvia kustannuksia. Vuotojenkartoituksessa havaittiin taulukon 4 mukaiset vuodot nestekaasu- ja happijärjestelmistä.

Taulukon 4 mukaiset häviöt eivät kuitenkaan käytännön tasolla toteudu Oulun toimipisteessä. Osa vuotavista letkulinjoista on suljettuna, kun niitä ei käytetä, jolloin vuotoja ei ilmaannu. Keskimäärin letkulinjoja on auki kaksi kerrallaan, joten liitteen 2 mukaisia häviöitä aiheuttavia vuotoja voisi olla esimerkiksi kaksi kappaletta per työvuoro.

TAULUKKO 4. Polttokaasujen vuodot

Nestekaasu		Happi	
Lukumäärä	Vuodon koko	Lukumäärä	Vuodon koko
8	1	8	1
1	2	1	2

Nestekaasun kuutioonhinnan ollessa noin 2 €/m^3 ja vuodon ollessa yli $1000 \text{ m}^3/\text{vuosi}$ päästään yli 2 000 euron vuosikulutukseen pelkällä yhden millimetrin kokoisella jatkuvalla vuodolla. Laskemalla taulukon 4 mukaiset vuotomäärät liitteen 2 kaavoilla saadaan alla olevan taulukon 5 mukaisia vuosihäviöitä.

TAULUKKO 5. Havaittujen vuotojen häviöt vuositasona

Vuotojen lukumäärä	Vuotojen koko [mm]	Vuotojen häviöt [€/vuosi]
8	1	17 160
1	2	8581
	Yhteensä	25 741

Happijärjestelmän vuodot

Happijärjestelmän vuotolaskennassa voidaan käyttää samaa kaavaa kuin nestekaasun laskelmissa. Käytetyn hapen määrä selvitettiin yrityksen kaasuseurantalistaista ja happea ei käytetä muuhun tarkoitukseen kuin polttokaasuna, joten määrät ovat todellisia. Koska hapen järjestelmäpaine on 5 baaria, vuotavaa happea menee hukkaan enemmän kuin nestekaasua, jonka järjestelmäpaine on 2 baaria. Toisaalta happi on kilohinnaltaan paljon halvempaa, joten vuotohäviötkin ovat halvemmat. Taulukossa 6 on listattuna vuotokartoituksessa havaittujen vuotojen vuosikustannukset. Hapen vuotohäviölaskenta on esitetty liitteessä 3.

TAULUKKO 6. Hapen vuotomäärät ja niistä aiheutuvat vuosikustannukset

Vuotojen lukumäärä	Vuotojen koko [mm]	Vuotojen häviöt [€]
8	1	2890,3
1	2	1445
	Yhteensä	4335,3

Hapen vuotomäärät eivät aiheuta jatkuvasti vuosikustannuksen mukaisia vuotohäviöitä. Osan linjoista ollessa suljettuja, voidaan arvioida, että kaksi vuotoa per työvuoro olisi realistisempi häviömäärä.

Letkuvuotojen yhteenveto

Nestekaasusta aiheutuvan yhden vuodon keskiarvohinta saadaan jakamalla nestekaasuhäviöiden kokonaissumma vuotojen määrällä. Hapesta aiheutuvan yhden vuodon keskiarvohinta voidaan laskea samalla tavalla kuin nestekaasun:

- nestekaasu $\frac{25741 \text{ €}}{9\text{vuotoa}} = 2860,1 \text{ €/vuoto}$
- happi $\frac{4335,3 \text{ €}}{9\text{vuotoa}} = 481,7 \text{ €/vuoto.}$

Polttokaasuvuotojen määrän ollessa kaksi vuotoa per työvuoro kokonaisvuotohäviöksi saadaan 6 683,6 €. $2860,1 \text{ €} * 2 + 481,7 \text{ €} * 2 = 6683,6 \text{ €}$

Taulukkoon 7 on lueteltu laskelmien mukaiset vuotohäviöiden kustannusarviot. Laskelmiin vaikuttavia muuttujia on paljon ja letkujen kuormitus vaihtelee Oulun toimipisteessä työpistekohtaisesti. Laskelmia varten on konsultoitu työnjohtoa ja tehty erilaisia käytännön havaintoja konepajalla. Toukokuussa tehtyjen havaintojen perusteella on määritetty laskelmiin vaikuttavat arvot mahdollisimman analyttisesti.

TAULUKKO 7. Letkuvuotojen vuosihäviöiden yhteenveto

Paineilmaletkujen vuodot	5630,2 €
Nestekaasuletkujen vuodot	5720,2 €
Happiletkujen vuodot	963,4 €
Vuotojen häviöt yhteensä	12 313,8 €

Taulukon 7 yhteenvedon ja luvussa 4.2.1 mainitun letkukelan 15 000 euron hankintakulun avulla voidaan laskea, että letkukelat maksaisivat itsensä takaisin 445 päivän kuluttua hankinnasta. Kuukausina tämä tekisi noin 14 - 15 kuukautta olettaen, että letkukelat estäisivät lasketut vuodot. Takaisinmaksu voidaan laskea seuraavan yhtälöparin avulla.

$$\frac{12313,8 \text{ €}}{365 \text{ päivää}} = \frac{15000 \text{ €}}{x} \text{ eli } x = \frac{365 \text{ päivää}}{12313,8 \text{ €}} * 15000 \text{ €} \approx 444,6 \text{ päivää}$$

Vertailupohjaa vuotokartoituksesta saatuihin tuloksiin saadaan yrityksen massalistoista, joista voidaan selvittää vuoden aikana käytetty polttokaasujen määrä. Massalistojen mukaan polttokaasujen vuosittaiset käyttökustannukset ovat vuonna 2017 noin 28 253,19 €. Jos polttokaasujärjestelmän vuotohäviö on luvussa 4.2.1 mainittu 26 prosenttia, häviöitä tulee vuositasolla noin 7 346 €. Taulukosta 6 polttokaasuletkujen vuotohäviöiksi saadaan 6 683,6 €. Tulokset eroavat toisistaan noin 10 prosenttia.

Saamalla häviöt aiemmin mainitusta 26 %-yksiköstä esimerkiksi 5 %-yksikköön polttokaasujen häviöt olisivat enää noin 1 413 € vuodessa. Tällöin häviöiden erotus on noin 5 933 € vuodessa. 7346 € – 1413 € = 5933 €. Jos polttokaasujen ja paineilman häviöt saadaan laskettua 26 %-yksiköstä 5 %-yksikköön, yritys säästää vuositasolla noin 10 000 €.

4.2.2 Työkalujen säilytys

Työntekijät säilyttävät henkilökohtaisia varusteitaan varastossa kuvan 5 mukaisissa lukituissa pakeissa. Varaston puolella työntekijöiden henkilökohtaiset hengityssuojaimet ovat puhtaammassa tiloissa kuin tuotantohallissa. Pakeissa säilytetään myös henkilökohtaisia metallintyöstövälineitä kuten kulmahiomakoneita.



KUVA 5. Työntekijöiden henkilökohtaiset työkalupakit

Yleiset käyttötarvikkeet ovat varaston puolella hyllytystavarana. Myös yhteiset työkalut kuten hitsauskuljettimet säilötään varaston hyllyissä. Päivittäin tarvittavat käyttötarvikkeet kuten suorakulmat, mittanauhat ja lista-avaimet säilytetään lukitussa varastossa. Työntekijät saavat pyytämällä uuden työkalun varastosta, jos edellinen rikkoutuu tai katoaa.

Päivittäisille käyttötarvikkeille ei ole määritelty säilytyspaikkaa missä työntekijät voisivat itse niitä säilyttää. Työkalut joko kuljetetaan vuoron päätyttyä varastoon henkilökohtaiseen pakkiin tai jätetään tuotantotiloihin työpisteille. Käytännössä ainoastaan kalliimmat henkilökohtaiset työkalut päätyvät pakkeihin, muut työkalut jäävät tuotantotiloihin.

Yleisiä työkaluja varten tarvitaan työkalupiste tai -kaappi joka työpisteelle. Myös työkaluvaunujen tai -pakkien hankintaa on harkittu. Ongelmaa alettiin ratkaisemaan yksinkertaisella työkalutaululla. Sen avulla työkalut ovat visuaalisesti esillä ja taulusta on heti nähtävissä mahdolliset puutteet. Työkalutaulut ovat erittäin muuntelukelpoisia verraten esimerkiksi työkalupakkeihin. Lisäksi ne ovat työkalukaappeja tai -vaunuja edullisempi ratkaisu. Tauluun saadaan monia erikokoisia työkaluja asennettua.

Laatupäällikkö Varhelahti on teettänyt tuotantotyöntekijöillä kyselyn heidän päivittäisestä työkalujen käytöstään. Kyselyssä oli listattuna kaikki yrityksessä käytettävät työkalut. Työntekijät kirjasivat, että käyttävätkö he kyseistä työkalua päivittäin, viikoittain, kuukausittain, vuosittain vai ei koskaan. Tämän kyselyn avulla valittiin työkalutauluun laitettavat työkalut. Tauluun valikoituivat tuotteet, joita työntekijät ilmoittivat käyttävänsä joko päivittäin tai viikoittain.

Työkalutauluja varten tehtiin tarjouspyynnöt useista eri yrityksistä. Tarjouspyyntöjä ja tilausta tehdessä mietittiin, että kannattaako kaikkien työpisteiden tauluja tilata yhdellä kerralla. Työkalutaulun asentamisen jälkeen voi ilmetä esimerkiksi tarvetta uusille työkaluille ja niiden taulukiinnikkeille. Päätettiin hankkia yksi työkalutaulu pilottikohteeksi ja katsoa mitä muutoksia taululle ja työkaluille on tehtävä. Mahdollisten muutosten jälkeen tilataan työkalutaulut lopuille työpisteille.

5 5S-MENETELMÄN VAIHEET

Projekti toteutettiin useissa pienemmissä osa-alueissa, ikään kuin miniprojekteina. Näin voitiin arvioida suunnittelua ja toteutusta projektin aikana ja tehdä mahdollisia muutoksia alkuperäiseen suunnitelmaan. 5S-vaiheet tehtiin yksittäisinä osa-alueina yksittäisiin kohteisiin. Miniprojektijaon ansiosta projektilla ei ollut kriittistä polkua ja se mahdollisti aikataulun joustamisen tuotannon kiireiden takia. Projekti jaettiin alla oleviin osa-alueisiin ja vaiheisiin kokonaisuuksien helpottamiseksi. Projekti aloitettiin takavarastosta, josta edettiin työpisteitä kohti. Tuotantotilojen ja työpisteiden siistiminen täytyi suunnitella hyvissä ajoin vuorokauden ympäri jatkuvan tuotannon takia. Kuvassa 6 on miniprojektien tekojärjestys, joiden merkinnät tarkoittavat seuraavaa:

- A. Sortteeraus ja siivous
- B. Systematisointi
- C. Standardointi
- 1. Takavarasto
- 2. Varasto
- 3. Tuotantotilat
- 4. Työpisteet

Tekojärjestys vaiheittain							
A1	A2	A3	A4	B1	C1	B3	C3
				B2	C2	B4	C4

KUVA 6. 5S-menetelmän jakaminen eri työvaiheisiin

5.1 Sortteeraus ja siivous

Siivous ja lajitteluvaiheeseen kului eniten aikaa koko projektissa. Työ aloitettiin varastotiloista, joissa oli suuret määrät hyllyjä täynnä tavaraa. Suurimmalla osalla tavaroista ei ollut käyttöä. Hyllyissä oli muun muassa rikkiäisiä hitsausmaskeja, toimimattomia laitteita ja varaosia koneista, jotka eivät olleet enää käytössä.

Yrityksen takavarastossa ei mahtunut aluksi kävelemään. Kukaan ei tarvinnut takavarastossa olevaa tavaraa päivittäisessä työssään. Tavaroiden käyttöaste oli henkilökunnan mukaan vuosittaistasoa ja jotkut jopa kerran kymmeneen vuoteen tarvittavia. Yrityksen

tehdessä niin laaja-alaisesti erilaisia projekteja mitään ei ole uskallettu hävittää ja esineet ovat unohtuneet varastoon.

Siivoustyö tehtiin kahden henkilön toimesta. Lajittelua varten lattialle laitettiin kolme eri kuormalavaa, joihin tavarat lajiteltiin kyllä-, ehkä- ja ei-kategorioihin. Kyllä-lavalle laitettiin päivittäisessä toiminnassa olevat tuotteet ja ei-lavalle hävitettävät tavarat. Ehkä-lavalle lajitellut tavarat käytiin lopuksi läpi yrityksen varastomiehen kanssa, jolla oli paras tietämys varastosta ja sen tavaroista.

Tavaroiden lajittelun jälkeen varastossa oleva tavaramäärä pienentyi huomattavasti. Kaikkia varastossa olevia hyllyjä ei enää tarvittu, joten osa hyllyistä purettiin ja varastoitiin takavaraston perälle. Lajittelun ja siivouksen jälkeen varastossa pystyy kävelemään, kuljettamaan kuormalavoja pumppukärryillä ja paikoittain ajamaan trukilla.

Lajittelua tehdessä mukana on hyvä olla henkilöitä, joilla on päätäntävaltaa hävittää irtaimistoa ja tietoa tavaroiden käyttötarkoituksista sekä yrityksen historiasta. Siivousvaihe olisi hyvä tehdä jokaisella yrityksellä, vaikkei 5S-menetelmä olisikaan käytössä. Järjestely ja siivoaminen tietyin aikaväleihin pitää tilat toimintakunnossa.

Tuotantotiloissa ja työpisteillä käytettiin samaa toimintatapaa. Tuotteet lajiteltiin kolmelle eri lavalle ja kuljetettiin joko hävitykseen tai varaston puolelle jatkotoimenpiteitä varten. Näin välttyttiin haittaamasta tuotantoa ja työpisteillä työskenteleviä työntekijöitä.

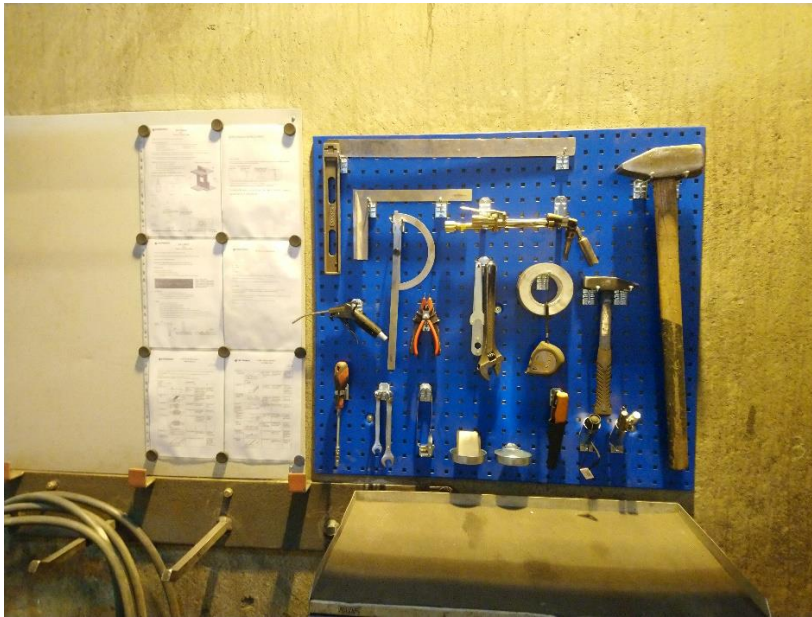
5.2 Systematisointi ja standardointi

Systematisointivaiheessa järjestettiin varastoon hyllytettävät tuotteet. Hyllytystavarana ovat esimerkiksi yrityksen käyttötarvikkeet ja hitsauskoneiden tarvikkeet, kuten virta- ja kaasusuuttimet. Hyllytettävistä tuotteista löytyi käytöstä poistettujen hitsauskoneiden tarvikkeita mitä ei ole tarvittu vuosiin. Poistamalla käyttämättömät tuotteet hyllyistä saatiin lisätilaa nykyisille käyttötarvikkeille.

Hyllyjä merkittiin käyttötarvikkeiden säilytystä varten. Esimerkiksi hiomatarvikkeet hyllytetään määritellyille paikoille tietyssä järjestyksessä ja hitsaustarvikkeet omille hyllyilleen. Ennen projektia hiomatarvikkeet pinottiin kuormalavahyllylle, josta työntekijät joutuivat etsimään sopivan kokoisia hiomalaikkoja.

Systematisoinnista jäi puuttumaan riittävän selkeä visuaalisuus, värikoodaus ja riittävät paikkojen merkinnät. Varaston järjestyksen muuttaminen hämmensi työntekijöitä. Riskinä on, etteivät työntekijät löydä tarvitsemiaan käyttötarvikkeita ja etsiessään sotkevat varastoa.

Standardointivaiheessa asennettiin tilattu työkalutaulu työpisteen seinälle. Työpisteelle tehtiin ohjeistus, missä mikäkin työkalu tulee säilyttää ja tulostettiin mallikuva miltä työkalutaulun pitää näyttää vuoron päätyttyä. Kuvassa 7 on työkalutaulun ensimmäinen versio.



KUVA 7. Työkalutaulu ja yrityksen sisäisiä työohjeita

5.3 Seuranta

Seurantavaiheessa on ylläpidetty työkalutaulun ja varaston järjestystä. Varaston visuaalisuuden ja merkintöjen puute on aiheuttanut ongelmia siisteydessä. Työntekijät eivät vielä tiedä missä mitään tavaraa säilytetään ja mihin mikäkin roska laitetaan. Asenteet muuttuvat hitaasti ja määrittävät koko 5S-projektin onnistumisen. Jatkamalla aktiivista seuranta ja epäkohtiin puuttumista saadaan muutettua toimintatapoja. Seurantavaihetta helpottaisi laajempi standardointi ja systematisointi.

6 5S-MENETELMÄLLÄ SAADUT TULOKSET

Työn tavoitteena oli ottaa käyttöön tuotantoa tehostava ja työturvallisuutta parantava 5S-menetelmä. Kyseessä oli yrityksen pilottikohde.

Työn lähtökohtia kartoitettaessa tuli selväksi työn tarpeellisuus ja tuotantotiloissa olevat puutteet. Kaikkia havaittuja ongelmia ei voitu poistaa, mutta jatkuvan parantamisen avulla tilannetta voidaan jatkossa kehittää. Kyseessä on 5S-menetelmän käyttöönotto, ei lopullinen versio. Työn toteuttaminen osoittautui erittäin haasteelliseksi yrityksen todella kiireisen työtilanteen takia. Tuotantotiloja ei voinut sulkea tai rajata esimerkiksi lattiamerkintöjen tekemistä varten. Lisäksi projektia tehtiin muiden töiden ohella, mikä on yksi suurimmista projektityön sudenkuopista. (10, s. 36).

Tuotanto tehostui varaston selkeyttämisellä ja työkalujen paikkojen määrittämisellä. Työntekijöiltä kysyttäessä työkalujen etsimiseen kuluva aika on vähentynyt varaston selkeyden ansiosta. Myös työkalutaulu on saanut positiivista palautetta. Henkilökunnan sitoutuminen on projektin suurimpia haasteita ja muutos vaatii aikansa. Seurantavaiheen on toimittava tehokkaasti, jos nykyinen siisteyden taso halutaan säilyttää.

Työturvallisuuden kannalta työpisteiden siisteys on edistynyt. Näin kompastumisriskiä on saatu madallettua. Siirtämällä erinäiset sähköjohdot ja kaasuletkut pois lattioilta saadaan pienennettyä kompastumisriskiä merkittävästi lisää ja parannettua työturvallisuutta.

Vaikka edistystä on nähtävissä, mielestäni tavoitteisiin päästiin vain osittain. Projekti olisi vaatinut enemmän aikaa, työvoimaa ja myös lisää investointeja. Työturvallisuuden paranisesta ei ole näyttöä, vaikka tilat ovatkin siistimmät kuin työtä aloittaessa. Tehokkuuden lisääntyminen on havaittavissa työkalujen osalta, mutta kaikki saavutettu lisäaika ei mene tuottavaan työhön vaan osa ajasta valuu muihin arvoa tuottamattomiin töihin.

7 LOPPUSANAT

Työn tavoitteena oli ottaa käyttöön lean-ajattelutavan mukainen 5S-menetelmä Normek Oy:n Oulun tuotantohallissa. 5S-menetelmän käyttöönottoon jäi parantamisen varaa. Projektien muuttuminen, tuotantotyöntekijöiden urakkapalkka ja tuotantotilojen layout eivät ole optimaalisia 5S-menetelmän näkökulmasta. Kappaleiden koot muuttuvat jatkuvasti, joten myös solukokojen täytyy muuttua jatkuvasti. Tämän hetkiselällä kuormituksella ja kappaleiden koolla tuotantohalliin ei saada toimivaa materiaaliveirtoa. Materiaalin tuominen yksittäisiin soluihin ei ole mahdollista, koska tuotantohallin keskikäytävä on täynnä valmistettavia palkkeja. Tuotantohallissa olevien tuotteiden määrää ei voida vähentää, jos halutaan pysyä sovitussa aikatauluissa.

Työturvallisuutta ja -tehokkuutta saataisiin myös parannettua investoimalla yrityksessä käytettäviin laitteisiin ja tuotantotilan layoutiin tai uusiin toimintatiloihin. Tuotantotilat ovat pienet yrityksen projektien kokoon nähden, eikä nostimien tai rakennuksen rakenteellinen kestävyys riitä kannattamaan riittävän suuria kappalemassoja.

Tuotantotilojen siisteystaso vaihtelee suuresti kiireen mukaan. On suuri riski palata takaisin vanhoihin tapoihin, jos yrityksen johto ei johda esimerkillään ja vaadi enemmän henkilöstöltä ja itseltään. Yrityksen täytyy panostaa 5S-menetelmien jatkokehitykseen ja osoittaa henkilöstölle, että tuotantoa todella halutaan kehittää.

5S-menetelmän käyttöönottoa voidaan jatkaa esimerkiksi opinnäytetyössä pilotoidun mallin mukaisesti, eli varaston optimoinnilla ja työkaluihin keskittymisellä. Kuitenkin termi 5S voitaisiin korvata jonkinlaisella omalla siisteysmenetelmällä, joka voitaisiin myös sisällyttää tuotantotyöntekijöiden palkkaukseen. Palkkatekijä voisi olla riittävä sitoutumiskanuste järjestyksen ja siisteyden ylläpitämiseen. Työntekijöiltä kysyttäessä yleisin syy epäjärjestykseen on kiire ja urakkapalkkaus.

Yrityksellä on käytössä Elmeri-niminen työturvallisuuskierros, missä arvioidaan myös siisteyttä. Elmeri ja 5S voitaisiin yhdistää toimivaksi, yrityksen omaksi menetelmäksi, jolla olisi vastaavat työn tehostamisen ja työturvallisuuden parantamisen tavoitteet. Elmeri ei ole tällä hetkellä henkilöstön mielestä toimiva järjestelmä, koska sen mittaustapaa tai -kohteita täytyisi muuttaa.

Palkkaukseen voisi lisätä siisteyslisan, jonka toimintaa mitattaisiin uudella Elmerin tilalle tulevalla mittarilla. Esimerkiksi, jos siivouslisa olisi 100 €/kk ja siisteysmittari osoittaisi työpisteen olevan kunnossa, työntekijä saisi siivouslisan täysimääräisenä eli 100 €. Pari siisteyspuutosta sallittaisiin, mutta jos prosenttilukema laskisi liian alhaiseksi, silloin siisteyslisiä ei maksettaisi ollenkaan kyseiseltä kuukaudelta.

Siisteyslisa vaatisi työntekijöiden vakiinnuttamista tietyille työpisteelle, josta he huolehtisivat. Työntekijöistä voitaisiin tehdä esimerkiksi kahden hengen työpärejä, jotka tekisivät töitä omalla työpisteellään omassa työvuorossaan. Aamu-, ilta- ja yövuorot muodostaisivat työpäreistä ryhmän, jonka vastuulla kyseinen työpiste on. Seuranta voitaisiin tehdä viikoittain ja seurannan kuukauden aikainen tulos määrittäisi kuukausittaisen siivouslisan määrän.

Tarkastelemalla Oulun tuotantopuolen työnjohdon työskentelyä, luvussa 2.3.3 mainitun Stephen Coveyn 2x2 matriisin mukaisesti, tuotannossa tehdään liian paljon töitä Kiireinen ja Tärkeä -kategoriassa. Tuotantopuolen johto ei pysty suunnittelemaan ja ennakoimaan projekteja vaan yrittää selviytyä päivittäisistä tehtävistään. 5S:n näkökulmasta katsottuna lisäaikaa voitaisiin luoda helpottamalla työkalujen ja käyttötarvikkeiden hankintoja. Kaikki käyttötarvikkeet ja työkalut voitaisiin keskittää yhdelle tavarantoimittajalle, joka toisi varastoon riittävän, selkeän ja helposti hallittavissa olevan reservin tuotannossa tarvittavia työkaluja. Varastotyöntekijöille voisi antaa valtuudet tilata tavaraa yrityksen hankintaosaston kautta, jotta he voisivat huolehtia käyttötarvikkeista ja työkaluista paremmin. Työnjohtajat eivät ehdi näistä riittävästi huolehtia.

5S-vaiheiden jatkokehittämistä jäi runsaasti. Varaston systematisointia täytyy parantaa, lisätä kylttejä ja esimerkiksi värimerkintöjä. Hyllytystavarat pitää käydä uudestaan läpi tai uudistaa koko järjestelmä sillä hyllytyksestä ei tullut toimiva yhdellä läpikäynnillä. Työpisteisiin täytyy investoida. Työpisteitä täytyy yksittäin ja hetkellisesti sulkea työpisteiden uudelleen rakentamista varten. Tuotantotiloihin on tehtävä lattiamerkintöjä, joita ei pysty tekemään tuotannon ollessa täydessä toiminnassa.

5S:n ja lean-menetelmien toteuttaminen täydessä mittakaavassa vaatii PDCA-ympyrän mukaista toimintoa. Koko tuotantotilojen ongelmakohtat täytyy selvittää check-vaiheen avulla. Seuraavaksi suunnitellaan tuotannon hetkellinen sulkeminen esimerkiksi kol-

messa osassa tai työpisteittäin. Suunnitteluvaiheessa tehdään ohjeistukset ja standardoinnit, tilataan tarvittavat investoinnit tuotantotiloihin ja työpisteille, kuten työkalutaulut ja kyltit. Do-vaiheessa toteutetaan suunnitelma, asennetaan tilatut investoinnit, siivotaan paikat, asetetaan kyltit ja ohjeistukset. Viimeisessä act-vaiheessa aloitetaan seuranta, tehdään siisteys- ja turvallisuustarkistuksia säännöllisin väliajoin, vaaditaan siisteyttä ja 5S-menetelmän mukaista itseuria. Työ vaatii koko henkilökunnan sitoutumisen yhtäaikaaisesti ja määrärahaa. Yhden henkilön projektina 5S:n toteuttaminen ei ole mahdollista.

LÄHTEET

1. Kyllönen, Topi 2015. Konepajan tuotannon kehittäminen ja layoutsuunnittelu. Opin-
näytetyö. Oulu: Oulun ammattikorkeakoulu, kone- ja tuotantotekniikan koulutusoh-
jelma. Saatavissa: [http://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/91468/Kyllo-
nen_Topi.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/91468/Kyllo-
nen_Topi.pdf?sequence=1&isAllowed=y). Hakupäivä 8.1.2019.
2. Etusivu. 2019. Normek Oy. Saatavissa: www.normek.fi. Hakupäivä 8.1.2019.
3. Yritys. 2019. Normek Oy. Saatavissa: <http://www.normek.fi/yritys/>. Hakupäivä
17.4.2019.
4. Vuorinen, Tero 2013. Strategiakirja 20 työkalua. Helsinki: Talentum Media.
5. Jidoka — Manufacturing high-quality products. 1995 – 2019. Toyota Motor Corpora-
tion. Saatavissa: [https://www.toyota-global.com/company/vision_philosophy/to-
yota_production_system/jidoka.html](https://www.toyota-global.com/company/vision_philosophy/to-
yota_production_system/jidoka.html). Hakupäivä 21.1.2019.
6. Bicheno, John – Holweg, Matthias 2016. The Lean toolbox: a handbook for lean trans-
formation. Fifth edition. Buckingham: PICSIE Books.
7. Kouri, Ilkka 2010. Lean-taskukirja. Helsinki: Teknologiainfo Teknova Oy.
8. Väisänen, Jouni 2013. Viiden ässän kehitystyökalu. Six Sigma. Saatavissa:
<http://www.sixsigma.fi/fi/artikkelit/viiden-aessaen-kehitystyoekalu/>. Hakupäivä
8.4.2019.
9. Heinonen, Mikko – Ryöppönen, Esko. Paineilmajärjestelmän vuotokartoitus. Saata-
vissa: https://www.ndtestaus.fi/downloads/ND_paineilma.pdf. Hakupäivä 3.6.2018.
10. Pelin, Risto 2011. Projektihallinnan käsikirja. 7. painos. Keuruu. Projektijohtaminen
Oy Risto Pelin.

Reiän halkaisija	$d := 1 \text{ mm}$
Reiän pinta-ala	$A := \pi \cdot \left(\frac{d}{2}\right)^2 = 0.785 \text{ mm}^2$
Järjestelmäpaine (ylipaine)	$p := 9 \text{ bar}$
Ilman tiheys, vuotokertoimella	$\rho := 0.58 \cdot 1.293 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} = 0.75 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$
Vuodon läpi kulkeva tilavuusvirta	$Q := A \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot p}{\rho}} = 0.073 \frac{\text{m}^3}{\text{min}}$
Oulun konepajan paineilmalaitteiston tietoja	
$p_{max} := 12.75 \text{ bar}$	$Q_{max} := 4.51 \frac{\text{m}^3}{\text{min}}$
$P_{max} := 22 \text{ kW}$	
Kompressorin ominaisteho	
$\frac{P_{max}}{Q_{max}}$	$P_{ominais} := \frac{P_{max}}{4.51} = 4.878 \text{ kW}$
	$P := 4.878 \frac{\text{kW}}{\frac{\text{m}^3}{\text{min}}}$
Hukattu teho vuodon takia	Kompressorin käyttötunnit vuodessa
$P_{häviö} := P \cdot Q = 356.128 \text{ W}$	$t := 5 \text{ day} \cdot 51 = (6.12 \cdot 10^3) \text{ hr}$
Sähköhinta	Kustannus €/vuosi/vuoto
$\text{€} := 71.76 \frac{\text{€}}{\text{MW} \cdot \text{hr}}$	$\text{vuoto} := \text{€} \cdot P_{häviö} \cdot t = 156.401 \text{ €}$

Reiän halkaisija	$d := 1 \text{ mm}$
Reiän pinta-ala	$A := \pi \cdot \left(\frac{d}{2}\right)^2 = 0.785 \text{ mm}^2$
Järjestelmäpaine (ylipaine)	$p := 2 \text{ bar}$
Nestekaasun tiheys, vuotokertoimella	$\rho := 058 \cdot 1.88 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$
Vuodon läpi kulkeva tilavuusvirta	$Q := A \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot p}{\rho}} = 0.003 \frac{\text{m}^3}{\text{min}}$
Normekin tiloissa käytetyn hapen määrä kiloina. Tiedot AGA:n lähettämistä tilastoista vuodelta 2017.	
$vol := 54027 \text{ kg}$	
Arvio nestekaasun käyttömäärästä suhteuttamalla määrä käytetyn hapen määrän kanssa. Suhde 2/5 tulee kaasujen järjestelmäpaineista.	
$vol_{kaasu} := vol \cdot \frac{2}{5} = (2.161 \cdot 10^4) \text{ kg}$	
Nestekaasun käyttömäärän arvio kerrottuna nestekaasun kilohinnalla.	
$\square := vol_{kaasu} \cdot 1.08877 \frac{\square}{\text{kg}} = (2.353 \cdot 10^4) \square$	
Nestekaasun tiheys (AGA)	$\rho := 1.88 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$
Kaasuhitsaus käytössä käytetyn nestekaasu määrän arvio kuutioina	$V := \frac{vol_{kaasu}}{\rho} = (1.15 \cdot 10^4) \text{ m}^3$
Nestekaasun hinta yksikössä €/m ³	$e := \frac{\square}{V} = 2.047 \square \cdot \frac{1}{\text{m}^3}$
Käyttötunnit vuodessa	$t := 5 \text{ day} \cdot 51 = (6.12 \cdot 10^3) \text{ hr}$
Vuoden aikana virranneen kaasun kokonaistilavuus vuodon kautta	$V_a := Q \cdot t = (1.048 \cdot 10^3) \text{ m}^3$
Vuodon kautta virranneen kaasun hinta vuodessa, euroina	$V_a \cdot e = (2.145 \cdot 10^3) \square$
Hävikin osuus kokonaismäärästä	$\frac{V_a}{V} = 0.091$

Reiän halkaisija

$$d := 1 \text{ mm}$$

Reiän pinta-ala

$$A := \pi \cdot \left(\frac{d}{2} \right)^2 = 0.785 \text{ mm}^2$$

Järjestelmäpaine (ylipaine)

$$p := 5 \text{ bar}$$

Hapen tiheys, vuotokerroin

$$\rho := 0.58 \cdot 1.29 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

Vuodon läpi kulkeva tilavuusvirta

$$Q := A \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot p}{\rho}} = 0.005 \frac{\text{m}^3}{\text{min}}$$

Normekin tiloissa käytetyn hapen määrä kiloina. Tiedot AGA:n tilastoista vuodelta 2017.

$$\square := 7563.78 \text{ €} \quad \text{vol} := 54027 \text{ kg}$$

Hapen tiheys

$$\rho := 1.29 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

Normekin tiloissa käytetyn hapen määrä kuutioina

$$V := \frac{\text{vol}}{\rho} = 4.188 \cdot 10^4 \text{ m}^3$$

Hapen hinta yksikössä €/m³

$$e := \frac{\square}{V} = 0.181 \frac{1}{\text{m}^3}$$

Käyttötunnit vuodessa

$$t := 5 \text{ day} \cdot 51 = 6.12 \cdot 10^3 \text{ hr}$$

Vuoden aikana virranneen kaasun kokonaistilavuus vuodon kautta

$$V_a := Q \cdot t = 2 \cdot 10^3 \text{ m}^3$$

Vuodon kautta virranneen kaasun hinta vuodessa, euroina

$$V_e := V_a \cdot e = 361.287$$

Hävikin osuus kokonaismäärästä

$$\frac{V_a}{V} = 0.048$$