



Tuotannon tehostaminen vesi- leikkausdataa hyödyntämällä

Sanni Anttikoski

OPINNÄYTETYÖ
Huhtikuu 2024

Biotuotetekniikan tutkinto-ohjelma

TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Biotuotetekniikan tutkinto-ohjelma

ANTTIKOSKI, SANNI:

Tuotannon tehostaminen vesileikkausdataa hyödyntämällä

Opinnäytetyö 47 sivua, joista liitteitä 9 sivua
Huhtikuu 2024

Työn tilaajalla, TT Gasketsilla, on havaittu vesileikkaukskoneilla suhteellisen matalia käyttöasteita. Opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää, onko tieto- ja automaatiojärjestelmä CML Automationin keräämä data vesileikkaukskoneiden käyntiajasta luotettavaa. Käyntiaikoja analysoimalla haluttiin löytää keinoja tuotannon tehostamiseen puhdasvesileikkauksosastolla.

Tutkimusongelmaa käyttöasteiden luotettavuudesta lähdettiin selvittämään kuuden viikon seuranta-ajalla, jonka aikana vesileikkaajat merkitsivät koneen odotusajat järjestelmään. Seuranta-ajalta saatiin neljän eri vesileikkurin käyttöasteet, joita vertailtiin edellisvuoden vastaavan ajanjakson tietoihin. Jakson aikana osaston vesileikkaajat kirjasivat havaintoja tuotannon poikkeavuuksista seurantalomakkeelle. Sen lisäksi työntekijöitä haastateltiin ongelmien löytämiseksi ja kehitysideoiden esille tuomiseksi. Prosessin kehittämiseksi perehdyttiin vesileikkauksen prosessiin sekä tutkittiin Lean-ajattelumallin tarjoamia mahdollisuuksia tuotannon tehostamisessa.

Seuranta-ajalta mitatut vuorokausikohtaiset käyttöasteet olivat keskimäärin 20–30 %. Käyttömäärissä havaittiin jonkin verran vaihtelua eri koneiden ja työviikkojen välillä. Edellisvuoden automaattisiin kirjauksiin nähden käyttöasteet olivat kuitenkin hyvin samansuuruisia, ja ohjelman antamaa dataa voidaan käyttää ainakin tuotantomäärien vertailuun eri ajanjaksoilla. Seurannassa havaittiin, että järjestelmä ei aina kirjaa vesileikkurin käyntiaikaa, jos leikkausnopeus lasketaan liian alhaiseksi. Järjestelmän näyttämän käyttöasteen voitiin siis todeta olevan hieman todellista matalampi. Tulosten luotettavuutta olisi voinut parantaa entisestään pidentämällä seurantajakson pituutta.

Vesileikkauksprosessin tehostamiseksi löydettiin monia keinoja. Työntekijöitä lisäämällä olisi mahdollista parantaa koneiden käyttöastetta. Myös työntekijöiden allokointi vastakkaisille ja erimittaisia ajoja tekeville vesileikkureille tehostaisi työskentelyä. Muita mahdollisia tehostuskeinoja olisivat esimerkiksi jonkin vesileikkurin työn standardisointi ja laitteiden tekniset päivitykset, kuten useampi leikkuupöytä tai keräilykärryjen lisäys.

Asiasanat: vesileikkuri, tuotannon tehostaminen, Lean, data

ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tampere University of Applied Sciences
Degree Programme in Bioproduct Engineering

ANTTIKOSKI, SANNI:
Improving Production by Utilizing Water Cutting Data

Bachelor's thesis 47 pages, appendices 9 pages
April 2024

Company TT Gaskets has observed relatively low utilisation rates on their water cutting machines. This thesis aimed to evaluate the reliability of machine runtime data collected by the automation system. By analysing the data, development ideas were proposed to increase the production efficiency.

During a monitoring period, the workers manually recorded the machine idle time data to investigate the reliability of the utilisation rates. Utilisation rates of water cutters were compared to the previous year's data. The employees documented production deviations and were interviewed for improvement ideas. To enhance the production efficiency, the water cutting process and the possibilities of Lean thinking model were studied in the theoretical section.

The daily utilisation rates averaged 20–30%, with some variation between machines and weeks. Compared to the previous year's automatic entries, the utilisation rates were very similar. The data provided by the programme allowed for the comparison of production volumes over different periods. However, the system occasionally failed to record runtime at low cutting speeds, slightly underestimating utilisation.

Suggestions for production efficiency improvements included increasing the number of employees, optimising worker allocation, and implementing technical upgrades like additional cutting tables and collection carts. Extending the monitoring period would have enhanced reliability of the results.

Keywords: water cutting, production efficiency, Lean, data

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	6
2	TT GASKETS	7
3	VESISUIHKULEIKKAUS.....	8
	3.1 Vesileikkausprosessi TT Gasketsilla	8
	3.2 Toimintaperiaate ja rakenne	10
	3.2.1 Vesileikkausjärjestelmät	12
	3.2.2 Vesileikkurin pumput	14
	3.3 Vesileikkauksen hyödyt.....	15
4	LEAN-MENETELMÄT TUOTANNON TEHOSTAMISESSA	17
	4.1 Heijunka	17
	4.2 SMED.....	18
5	HAVAINNOINNIN TOTEUTUS	20
6	TULOSTEN KÄSITTELY	22
	6.1 Koneiden käyttöasteet seuranta-ajalta ja havainnot.....	22
	6.2 Käyttöaikojen vertailu ja datan luotettavuuden arviointi.....	26
7	RATKAISUJEN ESITTÄMINEN TUOTANNON TEHOSTAMISEKSI ..	31
	7.1 Havaitut kehityskohteet	31
	7.2 Tuotannonsuunnittelu.....	31
	7.3 Henkilöstö vesileikkausosastolla	33
	7.4 Muita ehdotukset tuotannon tehostamiseksi	33
8	JOHTOPÄÄTÖKSET JA POHDINTA.....	35
	LÄHTEET	37
	LIITTEET	39
	Liite 1. Koneseurannan havaintolomake	39
	Liite 2. Mittauspöytäkirja VL10 2024	40
	Liite 3. Mittauspöytäkirja VL9 2024	41
	Liite 4. Mittauspöytäkirja VL8 2024	42
	Liite 5. Mittauspöytäkirja VL6 2024	43
	Liite 6. Mittauspöytäkirja VL10 2023	44
	Liite 7. Mittauspöytäkirja VL8 2023	45
	Liite 8. Mittauspöytäkirja VL7 2023	46
	Liite 9. Mittauspöytäkirja VL6 2023	47

ERITYISSANASTO

Nestaus	Leikattavien tai lävistettävien palojen sijoittelu raaka- aineeseen tietokoneavusteisesti
CML Automation	Tieto- ja automaatiojärjestelmä

1 JOHDANTO

Vesileikkaus on valmistusmenetelmä, jossa vesi paineistetaan korkeapainepumpun avulla ja johdetaan leikkaussuuttimen läpi terävän ja tarkan suihkun saavuttamiseksi. Tämä suihku pystyy leikkaamaan lähes kaikkia materiaaleja sen massan ja nopeuden yhdistelmän ansiosta. Vesileikkausta voidaan toteuttaa joko puhtasvesileikkauksena tai abrasiivileikkauksena, jolloin veteen on sekoitettuna hienoa hiekkaa liike-energian kasvattamiseksi.

Työn tilaajalla, TT Gasketsilla, on Tampereen tehtaallaan käytössä kuusi eri puhtasvesileikkuria, joita käytetään pehmeimpien tiivistemateriaalien leikkaamiseen. Tämä vaihe on hyvin oleellinen osa tiivisteiden valmistuksessa, joten koneiden käyttöastetta on viime vuosina seurattu CML Automation -ohjelman avulla. Mitattujen käyttöasteiden on kuitenkin havaittu olevan suhteellisen matalia, minkä vuoksi vesileikkausprosessia ja sen datan keruuta on haluttu tutkia tarkemmin.

Tämän opinnäytetyön tavoitteena on selvittää, onko tieto- ja automaatiojärjestelmä CML Automationin keräämä data vesileikkureiden käyttöasteesta luotettavaa. Datan keruun tarkoituksena on selvittää, löytyykö ohjelmasta itsestään syitä matalaan käyttöasteeseen, jotka laskevat käyttöastetta heikentäen tuotannon tehokkuutta. Löydettyjä kehityskohteita pyritään parantamaan Lean-periaatteiden mukaisesti, niin että vesileikkausprosessi etenisi mahdollisimman sujuvasti ilman katkoksia.

Tuotannon tehostamisen kannalta on tärkeää ymmärtää, kuinka vesileikkausprosessi tapahtuu käytännössä ja millaisia työkaluja Lean ajattelumalli tarjoaa ongelmien ratkaisemiseksi. Opinnäytetyön teoriaosuus esittelee TT Gasketsin vesileikkausprosessin vaiheet sekä syventyy vesileikkurin rakenteeseen ja toimintaperiaatteeseen. Teorian toinen osakokonaisuus keskittyy tuotannon tehostamisen periaatteisiin ja Lean-filosofiaan. Lopuksi näitä tietoja sovelletaan prosessista saatuun dataan ja sen perusteella pyritään tekemään ehdotuksia tuotannon tehostamiseksi.

2 TT GASKETS

TT Gaskets (Tampereen Tiivisteteollisuus Oy) on Tampereella sijaitseva perheyrittäjä, joka perustettiin vuonna 1943. Yritys tarjoaa tiivistysratkaisuja monipuolisesti eri teollisuudenaloille. Tiivisteet suunnitellaan ja valmistetaan Tampereen tehtaalla. Sen lisäksi myyntikonttoreita on Ruotsissa ja Saksassa. Tampereen tehtaalla työskentelee 105 henkilöä. (Yritysesite 2023.) Tuotteita viedään ympäri maailmaa, erityisesti Eurooppaan, Pohjois- ja Etelä-Amerikkaan sekä Kiinaan (TT Gaskets 2024). Yhteensä vientiä onkin 50 eri maahan. Yritys on saanut sertifioinnit ISO 9001, ISO 14001 sekä ISO 45001. (Yritysesite 2023.)

Yrityksen liikevaihto vuonna 2022 oli n. 19 miljoonaa euroa ja liiketulos noin 3 miljoonaa euroa (Kauppalehti 2024). Vuoden 2023 liikevaihto on noin 20 miljoonaa euroa. Yritys tuottaa vuodessa noin 23 miljoonaa erilaista tiivistettä. Yrityksen tavoitteena on olla hiilineutraali vuoteen 2027 mennessä. (Yritysesite 2023.)

3 VESISUIHKULEIKKAUS

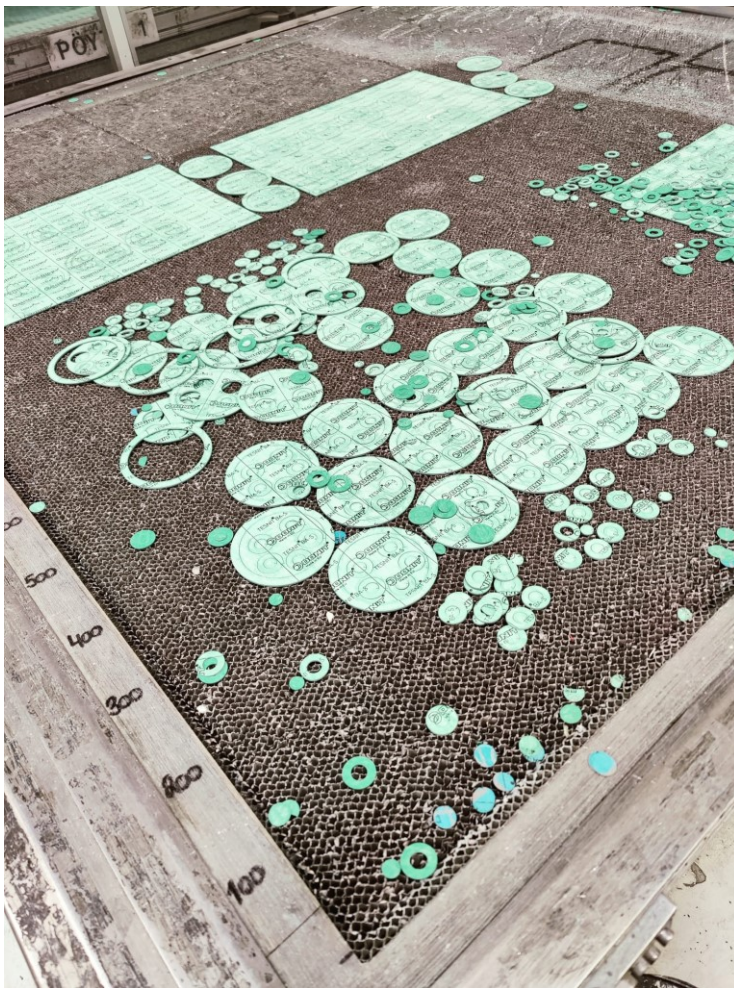
3.1 Vesileikkausprosessi TT Gasketsilla

TT Gasketsilla vesileikkauksen tuotantoprosessi alkaa myynnistä, josta saadun tilauksen perusteella luodaan leikkausohjelma (nestaus) Nestix-ohjelmaan. Nestauksen tavoitteena on asetella leikattavat tiivisteet mahdollisimman tiiviisti arkille materiaalihävikin minimoimiseksi. Kun tiivisteet on sijoitettu halutusti arkille ja ohjelma on tallennettu, kerätään tarvittavat materiaaliarkit varastosta ja siirretään ne kärryyn leikkausta varten. Leikkausohjelma ladataan vesileikkuriin, jonka jälkeen se ajetaan koneessa, jolloin tapahtuu itse vesileikkaus. Vesileikkauksen jälkeen leikkauspöydällä olevat tiivisteet kerätään kärryyn leikkauspöydältä. Tiettyillä materiaaleilla tiivistearkit pitää pinota heti kasaan, ja ylimääräiset palat poistetaan tiivisteiden reunoilta heti leikkauspöydältä. Tämä tehdään tiivisteiden vääntymisen välttämiseksi. TT Gasketsilla on yhteensä kuusi vesileikkauskonetta, joista viidessä on käytössä tuotantoaikojen seuraamiseen tarkoitettu CML Automation -ohjelma. Kuvassa 1 on esitetty yksi tehtaan kuudesta vesileikkauskoneesta.



KUVA 1. Vesileikkuri (Kuva: Sanni Anttikoski 2024).

Leikkauksen jälkeen tiivisteet menevät jälkikäsittelyyn. Puhdasvesileikkauksessa jälkikäsittelyksi riittää yleensä pelkkä puhdistus eli ylimääräisen materiaalin poisto tiivisteiden reunoilta. Kuvassa 2 nähdään esimerkki leikkuupöydästä, jolla on vielä putsaamattomia tiivisteitä. Jälkikäsittely vie huomattavasti aikaa ja sen vuoksi siinä hyödynnetään myös alihankkijoita. Alihankkijoille ohjataan usein isojen tuotantomäärien tilaukset puhdistusta varten. Jälkikäsittelyn jälkeen tiivisteet pakataan ja lähetetään asiakkaalle. Tuotantoprosessissa tiivisteiden läpimenoaika hidastaa toisinaan vesileikattujen tiivisteiden kuivuminen, jota on nopeutettu joillakin osastoilla lämpökaapeilla.



KUVA 2. Tiivisteitä vesileikkauspöydällä (Kuva: Sanni Anttikoski 2024).

Itse vesileikkausta tehdään arkisin aamuvuorossa kello 6–14 ja iltavuorossa kello 14–24. Perjantaisin on pelkkä aamuvuoro paikalla. Vesileikkauspisteellä työskentelee yhdessä vuorossa 2–3 vesileikkaajaa. Yhdellä työntekijällä on yleensä vastuullaan kahden vesileikkauksen käyttö. Lisäksi nestausta tekee jokaisessa työvuorossa yksi työntekijä.

3.2 Toimintaperiaate ja rakenne

Korkeapainevesisuihku on tehokas työkalu monilla eri teollisuuden aloilla ja sitä käytetään erilaisissa sovellutuksissa (Hashish 2015, 1653). Vesisuihkuleikkauksessa vesi paineistetaan korkeapainepumppujen avulla erittäin korkeisiin paineisiin, parhaimmillaan jopa 6200 baariin saakka (Muototerä 2020). Paine vapautetaan suihkuttamalla vesi pienen suutinreiän läpi, jonka halkaisija on noin 0,1 mm. Paineistettu vesi, sen massa ja nopeus yhdessä muodostavat terävän ja tarkan suihkun, joka pystyy leikkaamaan lähes kaikkia materiaaleja. (Järvenpää 2007, 8.)

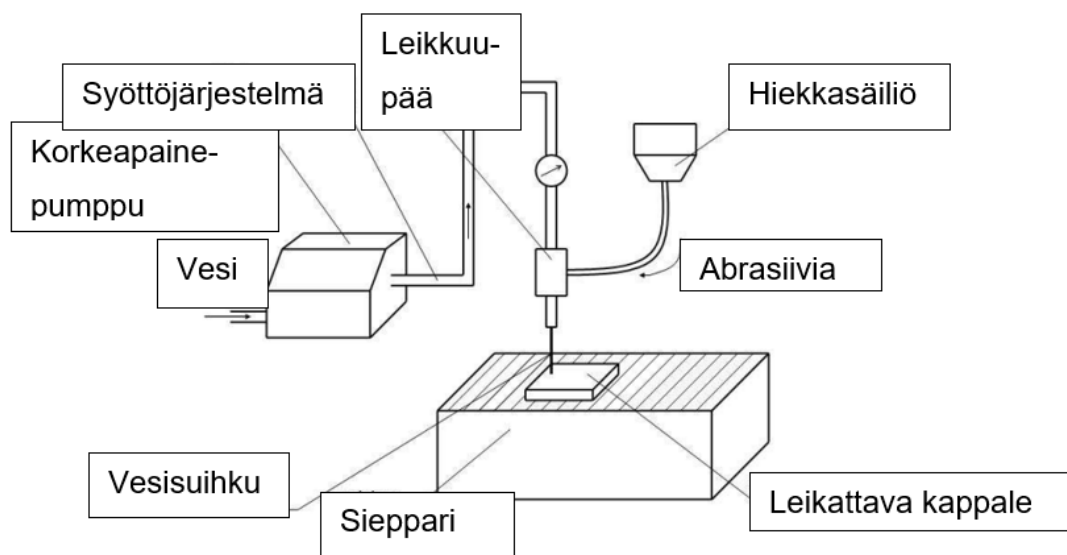
Vesileikkaus soveltuu paksummille materiaaleille kuin laserleikkaus. Erityisen hyvin vesileikkaus soveltuu juuri ei-metallisille materiaaleille. Vesisuihkuleikkurin leikkausmenetelmä on ei-terminen ja sen toiminta perustuu vesisuihkon suureen nopeuteen ja siitä saatavaan energiaan. (Muototerä 2020.) Vesileikkauksessa ei vapaudu lämpöä, joten materiaalin ei tule termisiä muutoksia kuten vääntymistä ja terästen karkenemistä. Leikkausjälki jää myös materiaalin väriseksi ja mattapintaiseksi, mikä vähentää jälkikäsittelyn tarvetta. (Laserle n.d.)

Vesileikkausta voidaan toteuttaa kahdella eri tavalla. Ensimmäinen päätyyppi on puhdasvesileikkaus, jossa leikkaus suoritetaan yksinomaan vedellä. Prosessi suoritetaan leikkauspöydässä, jonka alla on tyhjä allas. Tämä estää veden aaltoilun ja sitä kautta materiaalin turhan kastumisen. Tämä tekee puhdasvesileikkauksesta hyvän ratkaisun vesiaroille materiaaleille. Pienemmän liike-energian vuoksi puhdasvesileikkaus soveltuu parhaiten pehmeille materiaaleille. Tällaisia materiaaleja ovat esimerkiksi kumi, hiilikuitu, muovit, vanerit, villa ja erilaiset tiivistemateriaalit. (Turun Watercut Oy n.d.)

Toisena päätyyppinä esiintyy abrasiivivesileikkaus, jossa leikkausveteen sekoitetaan leikkaushiekkaa eli abrasiivia. Tällä tavoin leikkausveteen saadaan lisää kineettistä energiaa leikkausta varten. (Muototerä 2020.) Leikkausvoima kasvaa, kun hienojakoista hiekkaa (80 mesh) käytetään jopa 200–350 g minuutissa. Abrasiivihiekan avulla voidaan leikata hyvinkin kovia materiaaleja, kuten terästä, alumiinia, kuparia, messinkiä, titaania, kiveä ja lasia. Abrasiivivesileikkaus on myös

hellävarainen menetelmä, jossa ei synny kemiallisia, termisiä tai jännitteisiä muutoksia leikattavaan pintaan. Tämän ansiosta on mahdollista leikata myös jo valmiiksi kalvotettuja, maalattuja ja pintakäsiteltyjä materiaaleja. (Turun Watercut Oy n.d.)

Tyypillisesti vesileikkauskoneen rakenteeseen kuuluvat muun muassa korkeapainepumppujärjestelmä, vedensyöttöjärjestelmä, leikkauspää, vedenkeruuallas ja liikejärjestelmä. Abrasiivileikkauksessa lisäksi tarvitaan sekoitusallas sekä hiekansyöttö- ja poistojärjestelmä. Vedensyöttöjärjestelmä on suunniteltu siirtämään korkeapaineista vettä pumpusta leikkauspäähän. Se koostuu pääasiassa paksuseinäisistä korkeapaineputkista, liittimistä ja venttiileistä. Leikkauspää taas koostuu aukosta ja suuttimesta. Abrasiivileikkauksessa leikkauspään yhteydessä on myös hiekkansekoitusallas suuttimen ja aukon välissä. Vedenkeruuallas vastaanottaa leikkauksen jälkeisen veden liike-energian ja kerää leikkuuveden, mahdolliset leikkaushiekat ja osan leikkuujätteestä. Liikejärjestelmä mahdollistaa leikkauskuvioiden muodostamisen ja se voidaan toteuttaa joko leikkuupäätä tai pöytää liikuttamalla. (Liu 2004, 10–13.) Abrasiivivesileikkurin osat ovat nähtävillä kuviossa 1.



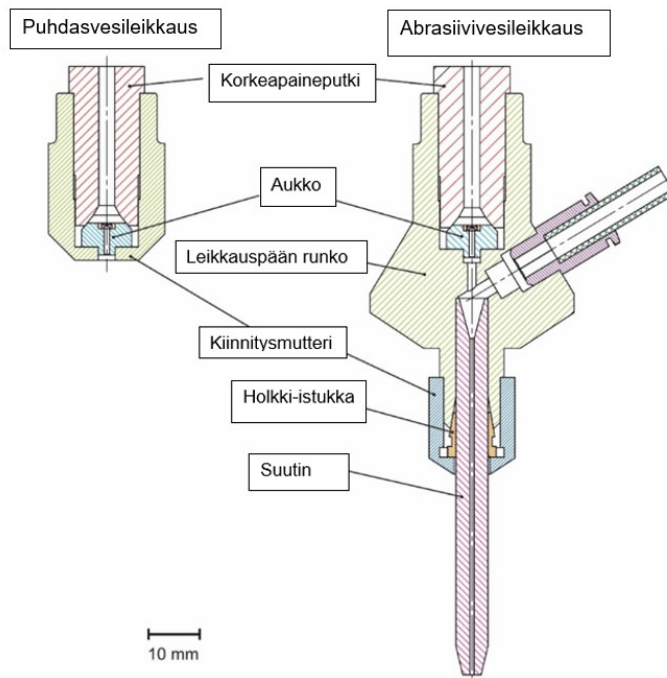
KUVIO 1. Abrasiivivesileikkurin osat (Liu 2004, 11, muokattu).

3.2.1 Vesileikkausjärjestelmät

Vesisuihkujärjestelmä koostuu useista eri alijärjestelmistä, joista yksi tärkeimmistä on korkeapainepumput (UHP) ja niihin liittyvät putkistot. Tämä on järjestelmän osa, jossa vesi tulee pumppuun ympäristön normaalissa paineessa ja poistuu pumpusta putkistojärjestelmään korkeammalla paineella. UHP-putkistoa käytetään paineveden kuljettamiseen suihkua muodostavaan suuttimeen. (Hashish 2015, 1655.)

Toisen tärkeän osan vesileikkausjärjestelmässä muodostavat leikkuupäät. Putkistolinjassa ennen leikkuusuutinta sijaitsee on/off-venttiili, jota käytetään korkeapainevesisuihkun katkaisemiseen tai käynnistämiseen. (Hashish 2015, 1655.) Puhtaan veden leikkauspään suutin koostuu yleensä toimilaitteesta, venttiilirungosta, suutinputkesta, nestesuihkusuuttimesta ja suuttimen reiästä (KMT Waterjet 2020).

Karkaistusta teräksestä valmistettua suutinta käytetään yleensä 1000 baarin paineeseen asti. Korkeammassa paineessa käytetään suutinta, johon on lisätty safiirinen kulutusosa. Suuttimien materiaalina safiirin ja teräksen lisäksi käytetään myös karbidia. Suutin on tärkeä komponentti, sillä se muuttaa sisään tulevan paineistetun veden potentiaalienergian nopean vesisuihkun kineettiseksi energiaksi. (Momber 2005, 90–92.) Abrasiivivesileikkauksessa paineistettu vesi tulee suuttimen läpi sekoituskammioon, johon johdetaan syöttöputken avulla myös abrasii-vihiekka. Lopulta sekoitettu vesi ja hiekka suunnataan kohdennusputken läpi leikkattavaan materiaaliin. (Oh & Cho 2013, 748.) Suuttimen osat ovat esitetty kuviossa 2.



KUVIO 2. Leikkauspäiden osat (Mlinaric, Jemaa, Hassel & Maier 2022, muokattu).

Kolmas leikkurin järjestelmästä on liikejärjestelmä. Liikejärjestelmää käytetään leikkauspään tai työkappaleen liikuttamiseen, kun vesisuihku on vuorovaikutuksessa leikattavan materiaalin kanssa. Tyypillisesti liikejärjestelmässä on yhdestä viiteen liikeakselia ja konetta ohjataan CNC-ohjaimen avulla. Vaihtoehtoisesti voidaan käyttää myös robottikäsijärjestelmää. (Hashish 2015, 1655.)

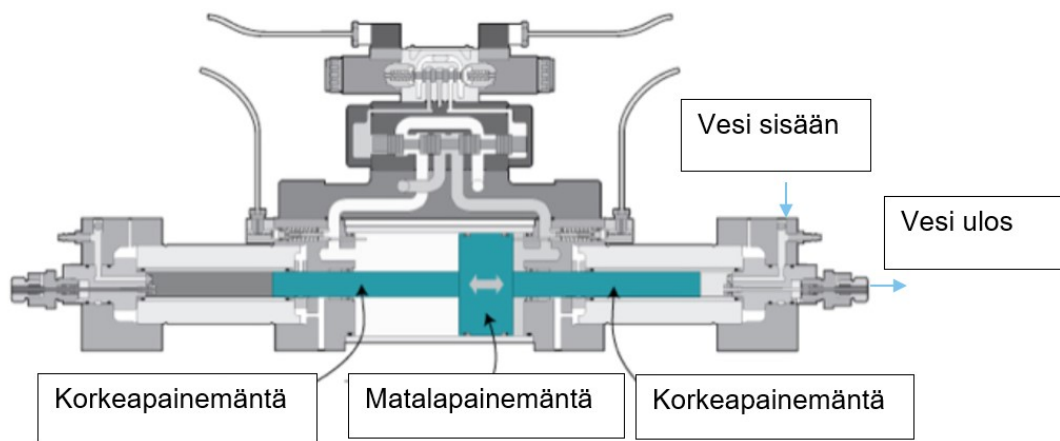
Ohjelmistoa taas käytetään, jotta käyttäjät voivat muodostaa käyttöliittymän koneen ohjaimen. Malleja, jotka yhdistävät suihkuparametrit leikkaustuloksiin käytetään yleensä ohjelmiston käyttöliittymän kautta. Mallit auttavat operaattoria seuraamaan leikkausprosessia. (Hashish 2015, 1655.)

Näiden lisäksi vesisuihkujärjestelmissä on useita apulaitteita. Apulaitteiden tarve riippuu käyttökohteesta. Tyypillisiä apulaitteita ovat erilaiset anturit ja konenäkö. (Hashish 2015, 1655.)

3.2.2 Vesileikkurin pumput

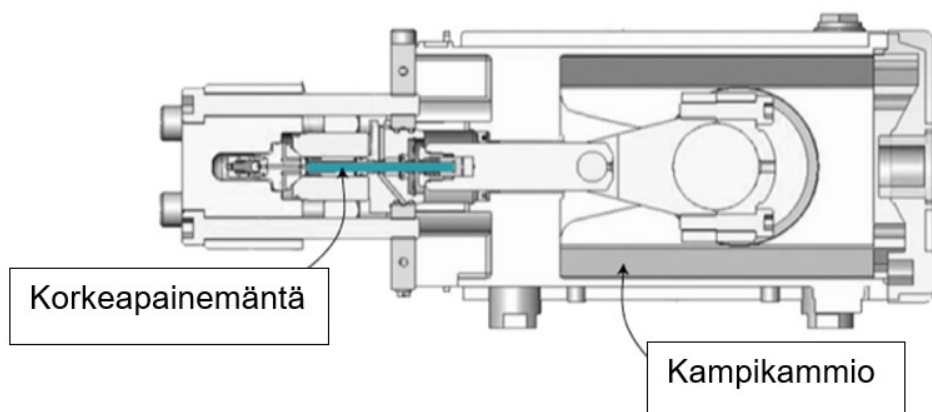
Vesileikkauksessa käytettäviä pumppuja on kahta erilaista päätyyppiä. Pumput voivat olla vahvistintyyppisiä tai suorakäyttöisiä. Vahvistintyyppiset pumput toimivat paineen tehostamisen periaatteella. Suurella pinta-alalla vaikuttava matalapaine johtaa korkeapaineeseen pienellä pinta-alalla. (Hashish 2015, 1656.) Paineilma käyttää suuren pinta-alan mäntää, joka liikuttaa pienempää mäntää paineistaen veden putkiston korkeaan paineeseen. (Järvenpää 2007, 8).

Kaksitoimisessa vahvistimessa samalla männänvarrella on kaksi mäntää, jolloin toinen sylinteri täyttyy vedestä samanaikaisesti, kun toinen sylinteri tyhjenee paineistettuna. Tällainen vahvistin on esitetty kuviossa 3. Tyypillisesti tyhjennystaajuus on noin 60 kertaa minuutissa. Korkeapainemännän jälkeen vesi voidaan varastoida paineakkuun ennen kuin se purkautuu leikkaussuuttimelta. Paineakku tasaa männän aiheuttamaa jaksollista paineenvaihtelua ja tekee suihkusta mahdollisimman tasaisen. (Hashish 2015, 1656.)



KUVIO 3. Vahvistintyyppinen pumppu (Flow waterjet 2024, muokattu).

Suorakäyttöisessä pumpussa korkeapainemäntä on kytketty suoraan moottorin kampiakselille. Useimmissa suorakäyttöpumpeissa on kolme mäntää samalla kampiakselilla. Kuviossa 4 nähdään suokäyttöinen pumppu ja yksi kolmesta sylinteristä. Kampiakselin pyöriessä mäntä liikkuu edestakaisin tuottaen painetta. Vastaventtiili männän jälkeen estää veden virtaamisen väärään suuntaan. Kampiakselin pyörimisnopeus määrittää pumpun tuoton. (Hashish 2015, 1657.)



KUVIO 4. Suorakäyttöinen pumppu (Flow waterjet 2024, muokattu).

3.3 Vesileikkauksen hyödyt

Vesileikkaus on monipuolinen ja tehokas menetelmä, sillä se soveltuu lähes kaikenlaisille materiaaleille. Leikattavien materiaalien paljous mahdollistaa sen, että markkinoilla on saatavilla monipuolisesti erilaisia vesileikkaukoneita. (Radovanović 2007, 102.) Vesileikkauksessa pinnanlaatu on erinomainen, sillä lämmönvaikutuksesta aiheutuvia materiaalivääristymiä ei synny ja prosessi mahdollistaa tarkat toleranssit laadunvalvonnassa (Muototerä 2020).

Materiaalihukkaa voidaan vähentää ohuen leikkausrailon ja kappaleiden strategisen sijoittelun ansiosta. Vesileikkaustoimintoa voidaan suorittaa ilman jatkuvaa operaattorin valvontaa. (Muototerä 2020.) Nämä vähentävät vesileikkauksen kustannuksia. Vesileikkauksen kustannukset koostuvatkin kolmesta osasta, jotka ovat käyttökustannukset, työvoimakustannukset ja poistokustannukset (Radovanović 2007, 100).

Vesileikkauksen etuihin kuuluu myös sen kyky toimia nopeasti. Tuotantonopeutta on mahdollista tehostaa lisäämällä leikkauspäitä ja pinoamalla leikattavat materiaalit päällekkäin. (Muototerä 2020.) Lisäksi tuotannon nopeutta edistää se, että pitkiä ja monivaiheisia jälkikäsittelyvaiheita ei tarvita, koska jälki on jo tarkkaa (Radovanović 2007, 102).

Viisiakselinen tai robottipohjainen vesileikkaus mahdollistaa kaikenlaisten muotojen leikkauksen. Vesileikkuri on myös helppokäyttöinen tarvitessaan vain vettä, sähköä ja tarvittaessa hiekkaa. Lisäksi vesileikkaus on ympäristöystävällinen, sillä se ei tuota vaarallista jätettä eikä myrkyllisiä palokaasuja. (Muototerä 2020.) Nämä tekevät vesileikkauksesta turvallisen käyttä.

4 LEAN-MENETELMÄT TUOTANNON TEHOSTAMISESSA

Lean on prosessijohtamisen malli, joka keskittyy virtauksen maksimointiin ja hukkan poistamiseen. Sen tavoitteena on optimoida prosessit niin, että työ virtaa sujuvasti ja tehokkaasti, samalla kun poistetaan kaikki toiminnat ja resurssit, jotka eivät lisää tuotteen jalostusarvoa. (Six sigma n.d.) Lyhyesti sanottuna Lean tarjoaa tavan tehdä enemmän vähemmällä vaivalla, laitteilla, ajalla ja tilalla, tarjoten samalla asiakkaille juuri sen, mitä he haluavat (Womack & Jones 2003, 15). Vaikka Lean tunnetaankin usein hukkan poistoon tähtäävänä menetelmänä, sen keskeinen tavoite on lyhentää läpimenoaikaa eli nopeuttaa prosessien kulkua. Lyhyemmät läpimenoajat parantavat tuotannon tehokkuutta ja siten edistävät yrityksen taloudellista tulosta. (Six sigma n.d.)

Läpäisyajan lyhentäminen edellyttää perusteellista ymmärrystä prosessin kestosta, sen vaihtelusta ja sen jakautumisesta eri vaiheisiin. Siksi on ensisijaisen tärkeää tarkastella prosessia kokonaisvaltaisesti, mitata sen läpäisyajan vaihteluita ja purkaa se osiin. Tämän jälkeen voidaan tarkastella prosessin eri osia neljästä eri näkökulmasta: tehtävien poistaminen, prosessin osien yhdistäminen, osien rinnakkainen suorittaminen ja nopeuttaminen. (Logistiikan maailma 2024.)

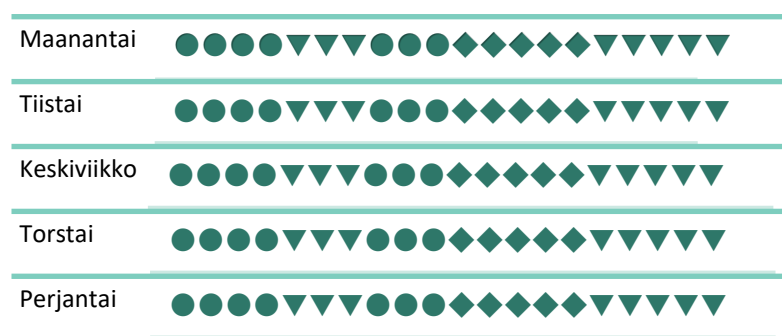
4.1 Heijunka

Heijunka on yksi Leanin menetelmistä, jossa pyritään suunnittelemaan työtä niin, että tuotanto on tasainen eikä tuotannossa ole suuria vaihteluja kysynnän heilumisesta huolimatta. Valmistus tapahtuu joustavasti asiakaskysynnän mukaan, ja pyritään siihen, että tuotteet valmistuvat juuri oikeaan aikaan. (Heijunka 2024.) Tuotteita ei valmisteta suoraan asiakastilausten mukaisessa järjestyksessä, mikä voisi aiheuttaa vaihtelua tuotannon tasaisuudessa. Sen sijaan valmistuksessa otetaan huomioon tilausten kokonaismäärä tietyn ajanjakson aikana, ja ne jaetaan ja sekoitetaan tasaisesti jokaiselle päivälle. (Liker 2004, 116.)

Tuotannon aikataulun tasoittamisella on useita eri etuja. Aikataulun tasoittaminen tuo joustavuutta: voidaan tehdä, mitä asiakas haluaa, kun asiakas haluaa. Tämä

vähentää tarvetta varastoida tuotteita ja poistaa siihen liittyviä ongelmia. Kun varastossa on vähän tavaraa, vähenee myös myymättömien tuotteiden riski, varaston arvo laskee ja keskeneräiset tuotteet eivät täytä tuotantotiloja. Aikataulun tasapainottaminen lisää työvoimaa ja koneiden käyttöä. Tehdas voi luoda standardisoitua työtä ottamalla huomioon sen, että jotkin työt vaativat enemmän aikaa kuin toiset. Aikatauluttamisella on myös merkittävä vaikutus alkupään tuotantoon ja toimituserien suunnitteluun. Tavoitteena on tasapainottaa toimituserät tuotannon tarpeisiin sopiviksi. (Liker 2004, 118–119.)

Kuviossa 5 on Heijunkan mukainen esimerkki kolmen erilaisen tuotteen valmistuksen jakautumisesta eri päiville. Kuvasta voidaan huomata, että tuotanto on sekoitettu niin, että kaikkia samoja tuotteita ei valmisteta välttämättä peräkkäin eikä myöskään suoraan tilausten mukaisessa järjestyksessä. Tuotanto on sen sijaan tasaista ja melko standardisoitua jokaiselle päivälle.



KUVIO 5. Sekoitettu tuotannon malli (Kuva: Sanni Anttikoski 2024).

4.2 SMED

SMED menetelmä pyrkii vähentämään prosessin asetus- eli vaihtoaikaa (Boutbagha & Abbadi 2024, 32). SMED lyhenne tulee sanoista Single Minute Exchange of Dies (SMED 2024). SMED-menetelmää voidaan soveltaa joko vähentämällä raaka-aineen vaihtoon kuluva aikaa tai aikaa, joka kuluu koneen tyhjentämiseen valmiista tuotteesta (Ledbetter 2018, 57–76).

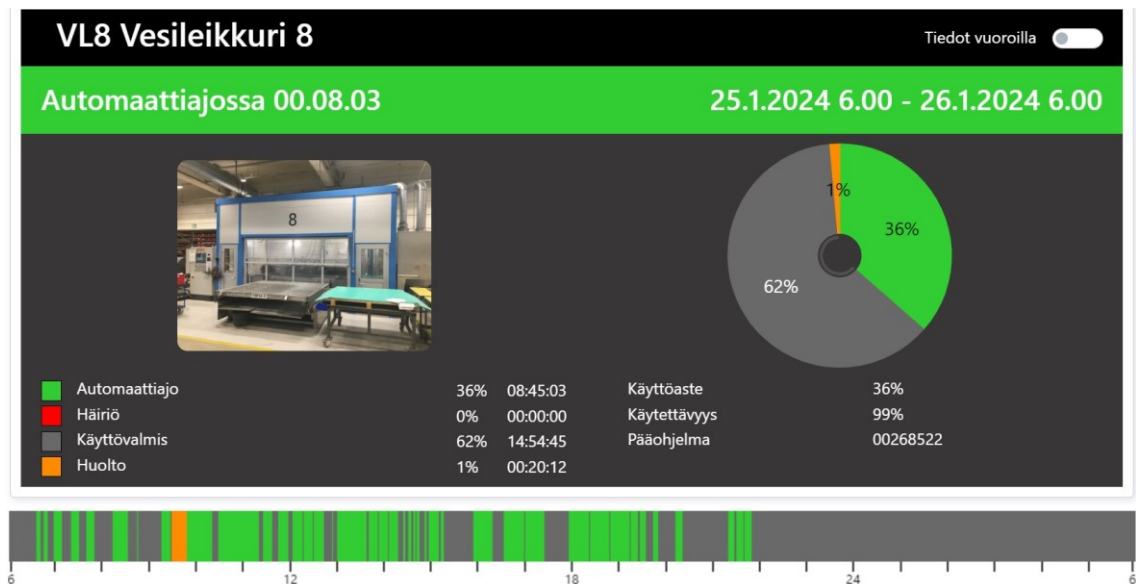
Koko menetelmän toteutus perustuu yksityiskohtaiseen analyysiin työpaikalla. Menetelmä koostuu neljästä eri vaiheesta. Ensimmäisessä vaiheessa erotetaan prosessin osa sisäisiin ja ulkoisiin toimintoihin. Sisäiset toiminnot ovat toimintoja, joita voidaan suorittaa tai muokata vain prosessin ollessa pysähdyksissä. Se voi olla esimerkiksi koneen tyhjäkäyntiaikaa, joka kuluu koneelta valmistettavan kappaleen vaihtoon tai tarkastukseen. Ulkoisia toimintoja sen sijaan voidaan suorittaa prosessin käynnin aikana, sitä ennen tai sen jälkeen koneen ulkopuolella. Esimerkkinä ulkoisesta toiminnosta on esimerkiksi työkalujen tai materiaalien valmistelu prosessia varten. (Jurík, Horňáková & Domčeková 2020, 271.)

Toisessa vaiheessa pyritään vähentämään sisäisiin toimintoihin kuluvaan aikaa. Kolmannessa vaiheessa vähennetään ulkoisten toimintojen aikaa. Ulkoisten vaihtoaikojen lyhentäminen voi olla organisoinnin parantaminen esimerkiksi vähentämällä työntekijän tarpeetonta työkalujen etsintää ja liikkumista. Viimeisessä vaiheessa pyritään eliminoimaan prosessin vaihtoaikaa standardisoimalla prosessin vaihteita ja osia. (Jurík ym. 2020, 271.)

5 HAVAINNOINNIN TOTEUTUS

Seurantaprosessi alkoi vesileikkaajille järjestetyllä koulutuksella siitä, miten heidän tulisi kirjata tuotannon odotusaika CML Automation -ohjelmaan. Koulutuksen jälkeen pidettiin kaksi harjoituspäivää kirjaamisen harjoitteluun. Jokaiselle vesileikkauskoneelle jaettiin lomake, johon leikkaajien tuli kirjata poikkeavuuksia tuotannossa. Koneseurannan havainnointilomake esitetty tarkemmin liitteessä 1. Ohjelma alkaa automaattisesti kirjaamaan odotusaikaa, kun se ei ole 5 minuutin jälkeen leikannut. Vesileikkaajien tehtävä oli tarkastaa ja kuitata koneen antama odotusaika ja kirjata odotuksen syy CML Automation -ohjelmaan. Seuranta tehtiin viidellä eri vesileikkauskoneella, mutta niistä vain neljä toimi koko seurantaajan.

Alun perin mittausjakso valittiin neljän viikon mittaiseksi, mutta jaksoa päätettiin jatkaa vielä kahdella viikolla, koska tarvittavaa dataa ei ollut vielä saatu riittävästi. Tähän oli syynä CML Automation -ohjelman satunnaiset toimintahäiriöt sekä vesileikkaajien vähäisempi henkilöstömäärä seuranta-aikana verrattuna normaaliin. Havainnot ja odotusajat kirjattiin ajalta 22.1–3.3.2024. Lopuksi käyttöaikoja verrattiin viime vuoden vastaavaan ajanjaksoon, jolta saatu data oli täysin ohjelman automaattisesti kirjaamaa. Tämä mahdollisti ohjelman tallentaman datan luotettavuuden arvioinnin verrattuna manuaalisesti kirjattuihin aikoihin. Kuvassa 3 näkyy, miltä ohjelma näyttää käyttäjälle.



KUVA 3. Kuvakaappaus CML Automation -ohjelmasta (Kuva: Sanni Anttikoski 2024).

Ehdotuksia tuotannon parantamiseksi kerättiin haastattelemalla kuutta vesileikkaajaa, kahta suunnittelijaa ja neljää jälkikäsittelyn työntekijää. Lisäksi kierrettiin tuotannossa katsomassa, miten muissa työpisteissä työtehtävät hoituvat. Tämän jälkeen järjestettiin kokous ideoinnista tuotannon tehostamiseksi. Tuotannossa käytettiin myös menetelmää, jossa työntekijät saivat kirjoittaa parannusehdotuksia ilmoitustaululle. Seurantajakson aikana ilmoitustaululle ei tullut uusia kehitysideoita, mikä teki tuotannon kehittämisestä haastavaa. Tämän seurauksena kirjallisia ehdotuksia ei koettu tarpeellisiksi kerätä lisää. Vesileikkauspisteen työskentelyä pidettiin hyvin suunniteltuna, eikä turhia työtehtäviä juuri havaittu.

6 TULOSTEN KÄSITTELY

6.1 Koneiden käyttöasteet seuranta-ajalta ja havainnot

Mittausdataa kerättiin kuuden viikon ajanjaksolta 22.1–3.3.2024 viideltä eri vesileikkurilta: VL6, VL7, VL8, VL9 ja VL10. Vesileikkuri 7:ssa alkoi ohjelma toimimaan vasta 28.2.2024 alkaen, joten tuloksissa on esitetty vain neljän vesileikkurin käyttöasteet vuodelta 2024. Lisäksi käytössä oli CML Automation -ohjelman käyttöasteet neljältä vesileikkurilta vuotta aiemmalta ajanjaksolta 23.1–5.3.2023. Työvuorojen mukainen viikoittaiseksi työajaksi on laskettu 80 tuntia. Mittausdata kokonaisuudessaan on esitetty liitteissä 2–9.

Taulukossa 1 esitettynä jokaisen vesileikkauskoneen käyttöasteet keskiarvoina 6 viikon seuranta-ajalta vuodelta 2024. Taulukossa 2 on esitetty päivittäisten käynnissäoloaikojen keskiarvot 6 viikon seuranta-ajalta. Molemmista taulukoista voidaan nähdä, että koneiden käyttäminen on ollut melko tasaista. Poikkeuksena vesileikkuri VL8, jonka käyttöaste on muita korkeampi.

TAULUKKO 1. Vesileikkurien käyttöasteiden keskiarvot vuorokaudessa.

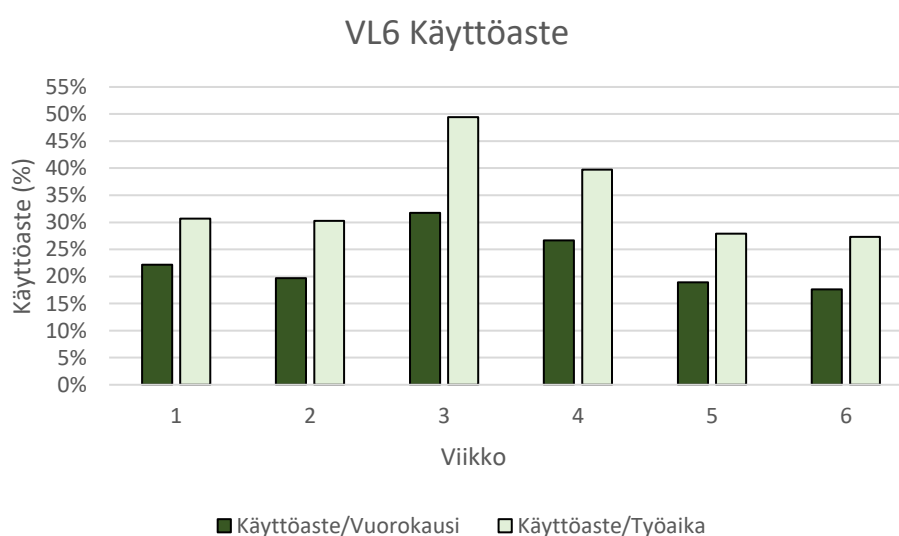
Käyttöaste (%)	VL6	VL8	VL9	VL10
Viikko 1	22	33	31	32
Viikko 2	20	34	27	19
Viikko 3	32	29	25	23
Viikko 4	27	27	24	10
Viikko 5	19	39	18	16
Viikko 6	18	33	23	25
Keskiarvo/vrk	23	33	24	21
Keskiarvo/työaika	34	48	35	31

TAULUKKO 2. Koneiden vuorokauden käyttöajan keskiarvot kuuden viikon seuranta-ajalta.

	VL6	VL8	VL9	VL10
Käyttöaika / vrk	5 h 28 min 32 s	7 h 49 min 29 s	5 h 57 min 12 s	5 h 1 min 37 s

Kuviossa 6 on esitettyä vesileikkauskoneen 6 käyttöasteet keskiarvoina jokaiselta mittausviikolta. Pylväskaavion ensimmäisessä pylväässä käyttöaste on vuorokausikohtainen eli leikkuaika on suhteutettu koko vuorokauden tuntimäärään. Toinen pylväs taas kuvaa käyttöastetta ottaen huomioon vain tehtaan työvuoroihin kuuluvat työtunnit.

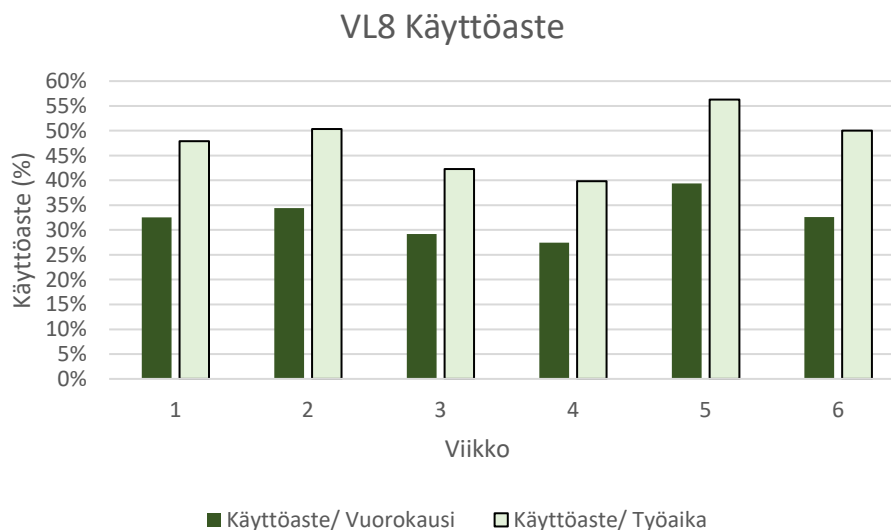
Kuviosta 6 voidaan havaita, että koneen käyttö ei ole tasaisesti jakautunutta viikkojen kesken. Käyttöasteen vuorokausikohtainen keskiarvo vaihtelee välillä 18–32 %, kun taas työajan mukaisen käyttöasteen keskiarvo on 27–49 %. Koneen VL6 matalin yksittäinen käyttöaste vuorokaudessa oli 3 %, jolloin koneelle oli myös kirjattu huoltoaika 21 % vuorokaudesta. Korkein vuorokausikohtainen käyttöaste oli 52 %. Pylväistä voidaan havaita, että käyttöasteet ovat korkeimmillaan keskimmaisilla mittausviikoilla ja laskevat ensimmäisellä sekä viimeisellä viikolla. Koneseurannan havainnointilomakkeeseen ei ollut kirjoitettu mitään poikkeavuuksia mittausjaksolta.



KUVIO 6. Vesileikkauskoneen 6 käyttöasteet.

Kuviossa 7 esitetään vesileikkauskoneen VL8 käyttöasteet. Huomataan, että VL8-koneen käyttöasteet ovat noin 10–15 prosenttiyksikköä korkeammat kuin VL6-koneella. Käyttöasteen keskiarvot vuorokaudessa vaihtelivat välillä 27–39 %, kun taas työaikaan suhteutettuna keskiarvot vaihtelivat välillä 40–56 %. Näin ollen kyseisen koneen käyttöaika oli selvästi korkeampi kuin muilla koneilla. Mittausjakson matalin käyttöaste vuorokaudessa oli 7 % ja korkein 53 %. Yleisesti ottaen vesileikkauskoneen käyttöasteet olivat hieman tasaisempia kuin VL6-koneella.

Leikkurin VL8 havainnointilomakkeeseen oli mittausjaksolla kirjattu kuusi kertaa, että osan työvuorosta tai koko vuoron oli töissä vain kaksi kolmesta leikkaajasta. Lisäksi saatiin kolme kappaletta kirjauksia, joissa osan vuorosta hoiti vain yksi työntekijä. Yhdelle päivälle oli kirjattu tunnin ajanjakso, jolloin ei ollut yhtään leikkaajaa paikalla. Kirjauksia siitä, että CML Automation -ohjelma ei toimi, oli viisi kertaa. Seurantajaksolta saatiin mainintoja myös koneiden pesusta ja kolme kirjausta siitä, että vesileikkauksen sijasta työntekijä oli tehnyt tiivisteiden putsausta.

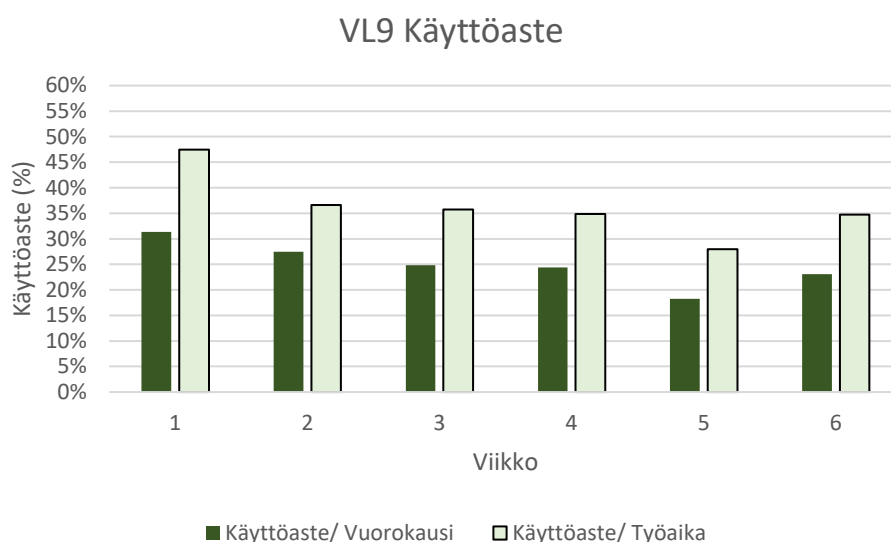


KUVIO 7. Vesileikkauskoneen 8 käyttöasteet.

Kuviossa 8 esitellään vesileikkauskoneen 9 käyttöasteet. Keskiarvot päivittäisistä käyttöasteista vaihtelivat välillä 18–31 %, kun taas työaikaan kohti lasketut keskiarvot vaihtelivat välillä 28–47 %. Matalin mitattu vuorokauden käyttöaste oli 0 %, jolloin ei ollut tullut dataa ollenkaan. Kyseessä oli kuitenkin perjantai, jolloin

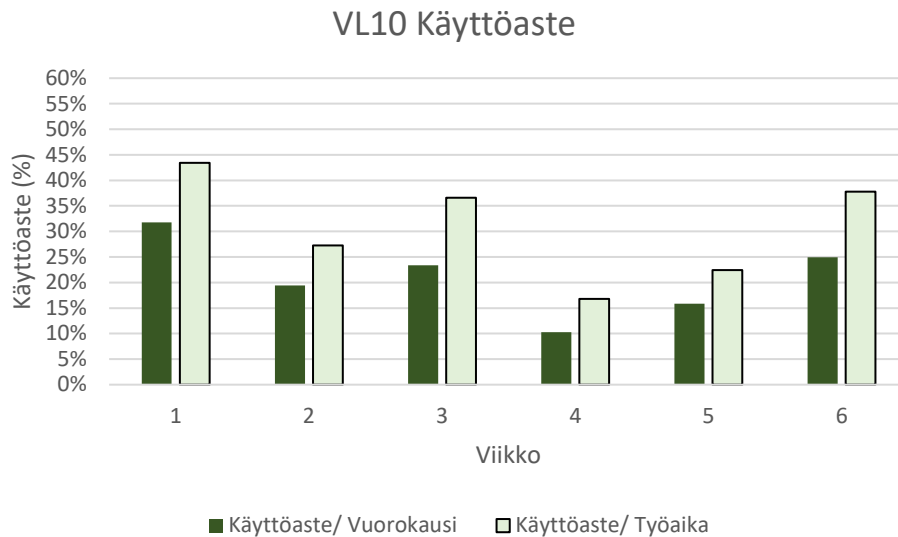
vain aamuvuoro oli töissä. Korkein käyttöaste vuorokaudessa oli 51 %. Pylväissä ei havaittu merkittäviä käyttöasteiden nousuja tai laskuja seurantajakson aikana.

Koneen VL9:n seurantalomakkeeseen tehtiin eniten merkintöjä. Siinä havaittiin, että kahden leikkaajan vuorot esiintyivät 12 kertaa, yhden leikkaajan vuorot kolmesti, joista yhdessä tapauksessa yksi leikkaaja puuttui koko vuoron ajan. Lisäksi kahdesti merkittiin tilanteita, joissa leikkaajaa ei ollut lainkaan. Ohjelman toimimattomuudesta raportoitiin neljä kertaa. Muita havaintoja oli leikkeiden putsaus vuoron aikana sekä villan ajaminen, jolloin yksi leikkaaja pystyy toimimaan vain yhdellä koneella.



KUVIO 8. Vesileikkauskoneen 9 käyttöasteet.

Kuviossa 9 esitetään vesileikkauskoneen 10 käyttöasteet mittausviikkojen keskiarvoina. Pylväistä havaitaan, että käyttöasteissa oli selvä laskeva ja sen jälkeen nouseva trendi. Keskiarvot vuorokauden käyttöasteista vaihtelivat välillä 10–32 %, kun taas työaikaan suhteutetut keskiarvot olivat 17–43 %. Mittausjakson matalin käyttöaste vuorokaudessa oli 2 % ja korkein 49 %. Huomataan, että vesileikkauskonetta 10 käytettiin hieman vähemmän kuin muita koneita, ja käyttö oli myös hieman epätasaisempaa kuin muilla vesileikkureilla. Havainnointilomakkeeseen tehtiin viisi kertaa merkintä "ei leikkaajaa". Lisäksi muutamia kertoja kirjattiin tilanteita, joissa oli kaksi tai vain yksi leikkaaja työvuorossa.



KUVIO 9. Vesileikkauskoneen 10 käyttöasteet.

Yleisenä havaintona huomattiin, että seurantaohjelma ei aina tallenna käyttöaikadataa, vaikka vesileikkuri on käynnissä. Virheitä ei kuitenkaan havaittu niin päin, että ohjelma merkkaisi käyntiajaksi aikaa, jolloin se on pysähdyksissä. Voidaan siis todeta, että ohjelmasta saatu arvio käyttöasteesta on usein hieman alankanttiin tai maksimissaan sama kuin todellinen käyttöaste. Testien perusteella käyntiajan rekisteröintiin vaikutti ainakin leikkuunopeuden säätö. Erityisesti häiriöitä alettiin huomata, kun leikkuunopeus laskettiin alle 50 %:n arvoon. Varsinaisia huolto- tai häiriöaikoja ohjelmaan oli kirjattu melko vähän, joten niiden vaikutus käyttöasteeseen on hyvin pieni.

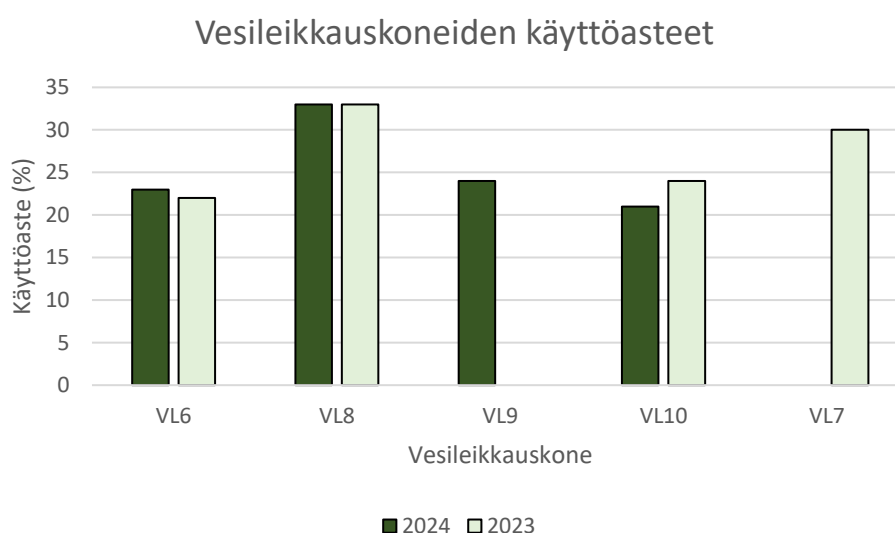
6.2 Käyttöaikojen vertailu ja datan luotettavuuden arviointi

Yhdeksi keinoksi tutkia CML Automation -ohjelman mittaaman datan luotettavuutta valittiin vertailla koneiden käyttöasteita eri vuosien välillä. Vuoden 2023 mittausjakson kirjaukset ovat täysin ohjelman automaattisesti tekemiä, mutta vuoden 2024 vastaavan ajan data on leikkaushenkilökunnan tarkistamaa ja kuitaamaa. Taulukossa 3 on esitettyä vuosien 2023 ja 2024 mittausjaksoilta vesileikkauskoneiden keskimääräiset käyttöasteet konekohtaisesti. Taulukon käyttöasteet on laskettu suhteuttamalla leikkausaika koko vuorokauden tuntimäärään viiden päivän työviikolta.

TAULUKKO 3. Vesileikkureiden käyttöasteiden mittausjakson keskiarvot vuosina 2023 ja 2024.

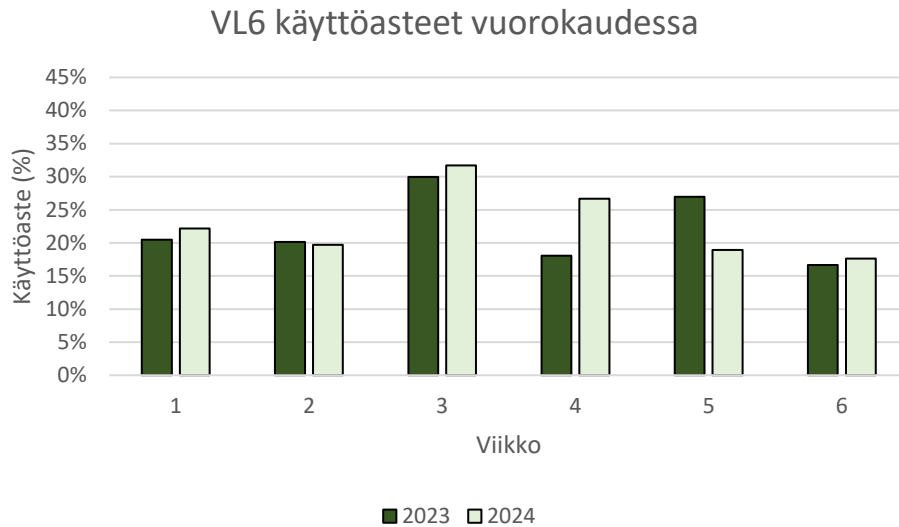
Vuosi	VL6	VL8	VL10	VL7	VL9
2023	22 %	33 %	24 %	30 %	-
2024	23 %	33 %	21 %	-	24 %

Kuviossa 10 on taulukon 3 data on esitetty pylväskaaviona, joka havainnollistaa vuosikohtaisia eroja yksittäisten vesileikkureiden käyttöasteissa. Vesileikkureilta 7 ja 9 ei ollut ehjää dataa saatavilla molempien vuosien koko mittausjaksoilta. Muiden leikkureiden osalta sen sijaan nähdään, että vuosikohtainen vaihtelu koko mittausjakson aikana on hyvin pientä. Kuvioista voidaan myös havaita, että leikkureita VL8 ja VL7 käytetään eniten suhteessa muihin koneisiin.



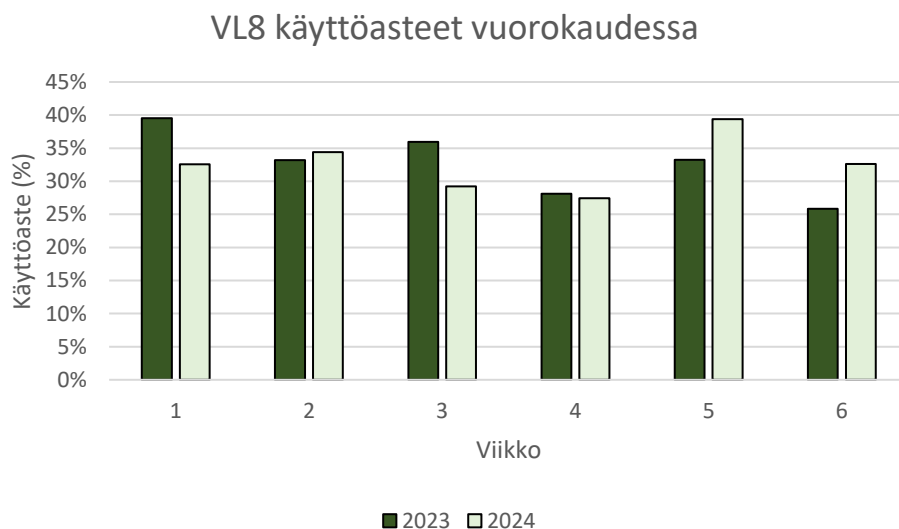
KUVIO 10. Vesileikkauskoneiden käyttöasteiden keskiarvot mittausjaksolta vuosina 2023 ja 2024.

Vertailua voidaan tarkentaa analysoimalla konekohtaisesti käyttöasteiden viikoittaisia keskiarvoja. Kuviossa 11 on esitetty vesileikkurin 6 käyttöasteiden vaihtelu eri mittausviikoilla vuosikohtaisesti. Mittausviikkojen 1, 2, 3 ja 6 osalta käytön voidaan todeta olevan samankaltaista eri vuosien välillä. Kolmannen mittausviikon huomataan olevan molempina vuosina aktiivisin, jolloin käyttöaste nousee yli 30 % tasolle. Viikoilla 4 ja 5 käyttöasteissa on noin 8 prosenttiyksikön ero, joka kuitenkin tasoittuu, jos nämä viikot lasketaan yhteen. Vesileikkurin 6 kokonaiskäyttöaste jää vuodesta riippumatta suhteellisen matalalle 22 %–23 % tasolle.



KUVIO 11. Vesileikkauskoneen 6 käyttöasteet.

Kuviossa 12 on esitetty vesileikkauskoneen 8 käyttöasteiden vaihtelu eri mittausviikoilla vuosina 2023 ja 2024. Tässäkin tapauksessa vuosikohtaiset erot eri mittausviikkojen käyttöasteilla ovat todella pieniä ja käyttö on suhteellisen tasaista läpi koko mittausjakson. Vesileikkurin 8 käyttöaste on koneista paras saavuttaen molempina vuosina 33 % keskiarvon, joka vastaa noin kahdeksan tunnin päivittäistä työskentelyaikaa. Parhaimpina työviikkoina on yletty lähelle 40 % tasoa.



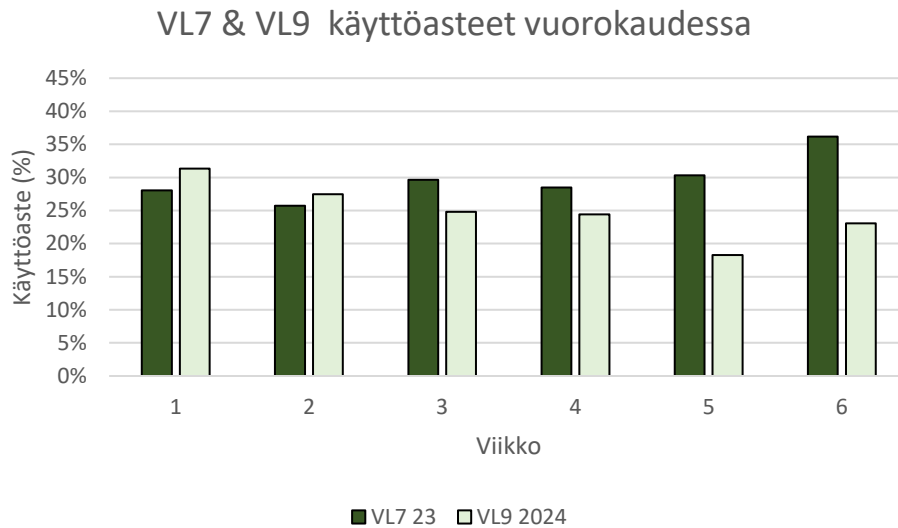
KUVIO 12. Vesileikkauskoneen 8 käyttöasteet.

Kuviossa 13 on esitetty vesileikkauskoneen 10 käyttöasteet eri mittausviikoilla vuosina 2023 ja 2024. Kuviosta huomataan, että koneella ensimmäinen mittausviikko on ollut suhteellisen samankaltainen molempina vuosina. Sen sijaan muiden mittausviikkojen kohdalla on nähtävissä eroa käyttöasteissa. Etenkin viikolla 3 havaitaan suuri, jopa 16 prosenttiyksikön ero vuosien välillä. Kokonaiskäyttöasteissa ei ole kuitenkaan suurta eroa vuosien välillä.



KUVIO 13. Vesileikkauskoneen 10 käyttöasteet.

Kuviossa 14 on esitetty vesileikkauskoneiden 7 ja 9 käyttöasteet vuosina 2023 ja 2024. Datan puuttumisen vuoksi näiden suora vertailu on kuitenkin vaikeaa, sillä kyseessä on kuitenkin eri koneet. Kuviosta voidaan todeta, että vuonna 2023 leikkuri 7 on toiminut suhteellisen korkealla n. 30 % käyttöasteella, kun taas koneen 9 käyttöaste on vuonna 2024 ollut loppua kohti laskeva ja keskiarvoltaan noin 24 %. Käyttöasteet molempina vuosina ovat tasaisia kummallakin vesileikkurilla.



KUVIO 14. Vesileikkauskoneiden 7 ja 9 käyttöasteet.

Kokonaisuudessaan voidaan todeta, että vertailukelpoisilla koneilla mitatut käyttöasteet ovat hyvin lähellä toisiaan. Vaikka tilausten määrässä olisi eroja vuosien välillä, voidaan sanoa, että CML Automation -ohjelman mittaamat arvot ovat hyvin samankaltaisia kuin manuaalisesti kuitatut mittausravot ja sen vuoksi ohjelman dataa voidaan pitää suuntaa antavasti luotettavana. Kuten aiemmin todettiin, ohjelmasta saatu arvio käyttöasteesta voi kuitenkin olla tietyissä tapauksissa todellista pienempi. Myöskään käyntiajan ulkopuolisia tapahtumia, kuten huoltoja tai muita vikoja kone ei osaa kirjata automaattisesti oikein.

7 RATKAISUJEN ESITTÄMINEN TUOTANNON TEHOSTAMISEKSI

7.1 Havaitut kehityskohteet

Haastavaa tuotannon tehostamisesta tekee se, että sekä leikkauskoneita, leikatavia tuotteita, että materiaaleja on useita. Eri töiden leikkausajat ja niiden vaatima henkilöstön läsnäolo vaihtelevat suuresti. Lisäksi on huomioitava eri tuotteiden erilaiset toimitusaikataulut.

Ajankäytöllisinä haasteina vesileikkausosastolla nousivat vesileikkauspöydän siivoamiseen kuuluva aika, sekä leikkumateriaalit, jotka ovat rullissa valmiiden arkien sijasta. Suurimpana ongelmana nähtiin kuitenkin tiivisteiden jälkikäsittely, mihin kerääntyy helposti suuri määrä tiivisteitä odottamaan puhdistusta. Jälkikäsittelyssä merkittävimpänä haasteena koettiin se, että työmääräyksissä oli useampia koneajoja, joiden valmistumistarpeet olivat eri päiville. Nämä tuotteet saapuivat jälkikäsittelyyn samassa kärryssä sekoittaen lajittelua ja vieden paljon aikaa. Muita jälkikäsittelyyn liittyviä ongelmia olivat kärryjen vähyys ja se, että tiivisteet joskus pinotaan liian korkeaksi kasaksi kärryyn. Huomioita tuli myös siitä, että kiireellisten tilausten sekaan on ajoittain eksynyt myös ei-kiireellisiä tilauksia. Tuotannonsuunnittelussa itsessään ei havaittu suurempia ongelmia ajankäytössä vaikkakin sen merkitys koneiden käyttöasteelle on suuri.

7.2 Tuotannonsuunnittelu

Tuotannonsuunnittelulla voidaan vaikuttaa merkittävästi siihen, miten työt jakautuvat eri vesileikkureiden välille ja millaiset ovat eri koneiden käyttöasteet. Erilaisia tuotteita on paljon, joten Heijunkan mukainen tuotannon tasoittamisen vaihtuvista tuotteista huolimatta olisi suunnittelulle järkevä tavoite. Osittain tuotantoa jo tasoitetaan täyttämällä vajaita arkkeja standardituotteilla. Töitä koneille voisi jakaa niin, että osalla koneista tehtäisiin lyhyempiä ja osalla pidempiä ajoja, mikä mahdollistaa työntekijöiden tehokkaan työskentelyn. Tämän pitäisi olla mahdollista, koska suurimmalla osalla koneista pystyy ajamaan kaikkia materiaaleja. Poikkeuksena ovat vain vesileikkauskone 4, jolla ajetaan vaikeasti työstettävät materiaalit sekä vesileikkauskone 6, jolla on pidempi pöytä pidempiä materiaaleja

varten. Vesileikkauskoneen 9 osalta pitää huomioida, että se on ainoa kone, jolla leikataan villoja. Villoja ei ajeta kovinkaan usein, mutta kun niitä ajetaan, se vie kokonaan yhden vesileikkaajan työajan.

Tällä hetkellä lyhyempiä ajoja ja suurin osa leikkauksista tehdään jo koneilla 7 ja 8. Näillä koneilla on myös kaikista korkeimmat käyttöasteet. Lopuilla koneilla ajetaan yleisesti pidempiä ajoja. Käyttö ei ole kuitenkaan saadun datan perusteella aina tasaista koko työvuoron ajan, joten sitä on mahdollista tehostaa. Tällä hetkellä toisessa vuorossa 8 ja 7 koneet ovat samalla leikkaajalla. Ajankäytöllisesti parempi vaihtoehto olisi, jos yhdellä leikkaajalla olisi yksi nopeampia leikkauksia tekevämpi kone ja toinen pidempiä leikkauksia tekevä kone. Yhdellä leikkaajalla olisi hyvä olla käytössä vastakkaiset koneet niin olisi helpompi nähdä, jos kone ei käy tai siinä on ongelmaa. Suunnittelussa voisi ottaa huomioon myös sen, että koneille 6 ja 10 voisi tarvittaessa laittaa enemmän leikattavaa, koska niiden käyttöasteet ovat selkeästi matalimmat. Kuviossa 15 on esitetty vesileikkauskoneiden jakaminen leikkaajien kesken.

Vesileikkaaja 1	Vesileikkaaja 2	Vesileikkaaja 3
<ul style="list-style-type: none"> • VL8 • VL4 	<ul style="list-style-type: none"> • VL7 • VL9 	<ul style="list-style-type: none"> • VL10 • VL6

KUVIO 15. Suositus vesileikkureiden jakamisesta vesileikkaajien kesken.

SMED-periaatteen mukaista tuotannon standardisointia voisi kokeilla ainakin yhdellä vesileikkurilla, niin että sillä tehtäisiin ns. ”standarditiivisteitä”, joille on jatkuvasti paljon kysyntää. Tällöin arkki voitaisiin nestata optimaalisesti sopivien standardimallien avulla ja samaa ohjelmaa voidaan ajaa useita kertoja peräkkäin. Tällöin kaikki työvaiheet, kuten oikean materiaaliarkin laittaminen koneeseen ja leikkuupöydän siivoaminen sujuisivat rutiinomaisesti ja koneen ajankäyttö olisi helposti ennustettavaa ja tehokasta. Ongelmana voisi tulla mahdollisesti se, että standardituotteita ei tällöin riittäisi nestauksessa muiden arkkien täyttöön materiaalihukan pienentämiseksi. Toiseksi ongelmaksi voisi nousta tuotteiden ylimää-

räinen varastointi, jos tuotantomäärät kasvavat kysyntää suuremmaksi. Optimoitun tuotannon tarkoituksena olisi kuitenkin valmistaa tiivisteitä tilauksien mukaan, joten mikäli tilauksia riittää, voisi käytännön ottaa myös toiseen vesileikkauskoneeseen.

7.3 Henkilöstö vesileikkausosastolla

Henkilöstön merkitys koneiden käyttöasteeseen on hyvin suuri. Oikein mitoitettulla työntekijämäärällä voidaan SMED-periaatteen mukaisesti lyhentää etenkin prosessin ulkoisten toimintojen vaihtoaikaa, kuten kappaleen vaihtoa koneeseen ja seuraavien töiden valmistelua. Koneseurannan havaintojen perusteella näyttää siltä, että vesileikkausosastolla on yleensä vain kaksi kolmesta vesileikkaajasta paikalla. Mikäli kolmas henkilö on töissä, hän yleensä suorittaa muita tehtäviä, kuten leikkeiden puhdistusta tai työskentelee toisella osastolla.

Ehdotuksena on, että vesileikkausosastolle otetaan käyttöön yksi kiertävä vesileikkaaja, joka kiertäisi kaikkia vesileikkureita pitäen ne käynnissä mahdollisimman tehokkaasti. Mikäli kaikissa koneissa on tuotanto käynnissä, kiertävä henkilö voisi avustaa vesileikkauspöytien siivoamisessa tai putsata valmiita leikkeitä. Lisäksi kiertävä vesileikkaaja voisi auttaa materiaalilevyn asettelussa leikkauspöydälle, erityisesti jos materiaali tulee rullasta. Mahdollisesti kiertävä vesileikkaaja voisi myös osallistua tiivisteiden pakkaamiseen suoraan vesileikkausosastolla, edellyttäen että tiivisteet ovat kuivia ja valmiita lähetettäväksi. Tällaisessa työskentelytavassa on tärkeää varmistaa, etteivät tuotantoerät mene sekaisin.

7.4 Muita ehdotukset tuotannon tehostamiseksi

Tuotannon tehostamiseksi löytyi havainnoinnin aikana useita muitakin keinoja. Näitä on listattuna kuviossa 16. Ideat on jaettu kolmeen kategoriaan: materiaalit, henkilöstö ja laitteet.

Materiaalit	Henkilöstö	Laitteet
<ul style="list-style-type: none"> • Leikataan enemmän arkkeja valmiiksi rullista • Hankitaan rullien tilalle valmiita arkkeja (esim. teflon 2 mm ja paksut kumit yli 8 mm) • Ajetaan materiaaleja enemmän päällekkäin 	<ul style="list-style-type: none"> • Alihankkijoiden lisääminen puhdistukseen • Vesileikkausosastolla lajiteltaisiin aina isot tiivisteet jo valmiiksi jälkikäsittelyä varten • Tuotannon läpinäkyvyyttä tuotantoon laittamalla vesileikkausosaston seinälle, minkä päivämäärän tilauksia jälkikäsittelyssä tehdään 	<ul style="list-style-type: none"> • Useampi leikkauspöytä vesileikkauksineissa • Vesileikkausosastolle kuivauskaappi • Lisää kärryjä tiivisteille jälkikäsittelyyn • Suuttimien lisääminen

KUVIO 16. Muut ehdotukset koottuna tuotannon tehostamiseksi.

Materiaalien osalta korostui valmiina arkkeina olevien materiaalien käytön helppous. Materiaalit voidaan joko tilata suoraan arkkeina tai leikata rullasta. Valmiiden arkkien käyttö nopeuttaisi työtä etenkin vaikeasti leikattavien materiaalien kuten teflonin tai paksujen kumien kanssa.

Henkilöstön osalta erityisesti tuotteiden puhdistus on työlästä ja sitä voitaisiin tehostaa alihankkijoiden avulla. Tiivisteiden lajittelu etenkin isojen tiivisteiden osalta jo vesileikkausosastolla helpottaisi jälkikäsittelyn työkuormaa.

Laitteita päivittämällä voitaisiin nopeuttaa useita eri prosessin vaiheita. Esimerkiksi materiaalien vaihtoa voitaisiin nopeuttaa, jos koneessa olisi useampia leikkauspöytiä. Kosteiden tiivisteiden kuivumisaikaa voisi tehostaa erillisen kuivauskaapin avulla. Itse leikkaustapahtumaa voitaisiin nopeuttaa toisen leikkaussuuttimen avulla. Pöydän siivousta auttaisi, jos valmiille tiivisteille olisi enemmän keräyskärryjä.

8 JOHTOPÄÄTÖKSET JA POHDINTA

Kuuden viikon mittaiselta seuranta-ajalta havaittiin, että koneiden välillä käyttöasteissa oli jonkin verran eroja. Leikkausaika suhteutettuna koko vuorokauden tunteihin oli jaksolla keskimäärin 20–30 % ja käyttöaste työvuorojen työaikaan nähden noin 30–50 %. Myös yksittäisten koneiden käyttö oli välillä epätasaista vuoron aikana. Ajoittain koneilla oli jatkuvasti pitkiä leikkuutöitä ja vain lyhyitä taukoja niiden välillä, mutta toisinaan saattoi esimerkiksi olla vain yksi lyhyt leikkaus koko illan aikana. Pääosin pidemmät yksittäiset ajot antoivat paremman käyttöasteen kuin useat hyvin lyhyet ajot.

Kokonaisuudessaan voidaan todeta, että leikkausprosessia olisi vielä mahdollisuus tehostaa, mikäli tilausmäärä sitä vaatii. Haastavaa prosessin optimoinnista tekee muuttujien suuri määrä: tuotteita on paljon erilaisia, ne joudutaan nestämään erilaisille arkeille riippuen tilauskannasta, leikkausaika vaihtelee, materiaaleja on useita ja käytettävissä olevia leikkureita on useita. Teoriassa voitaisiin ajatella, että kaikkien koneiden käyttöasteet voitaisiin saada samalle tasolle kuin suurimman käyttöasteen vesileikkurilla VL8 oli tehokkaimpina päivinään. Käytännössä tämä ei kuitenkaan ole mahdollista sillä esimerkiksi lyhyemmät ajot vaativat useamman kappaleen vaihdon, jolloin taukoa leikkaukseen kertyy väkisinkin enemmän.

Sinä aikana, kun kone ei käy, tuotannon edistäminen vaatii henkilökuntaa. Vaikka teoriassa koneiden käyttöön oli varattu riittävästi työvoimaa, kuitenkin havaittiin, että usein vain osa vuoron työntekijöistä pystyi täysin hoitamaan leikkuutöitä. Ehdotuksena ongelman ratkaisuun olisi lisätä työvuoroon yksi kiertävä vesileikkaaja, joka voisi hoitaa vuorotellen kaikkien koneiden käynnissäpitoa ja tiivistysten siivousta, mikäli yksittäisen koneen hoitajalla on toinen työtehtävä kesken. Koneet pitäisi myös jakaa työntekijöille niin, että käyttäjä pystyy valvomaan yhtä aikaa molempien koneiden tilaa. Yhdellä työntekijällä voisi olla vastuullaan yksi pidempiä leikkauksia ja yksi lyhyempiä ajoja tekevä kone.

Yksittäisillä koneilla voisi kokeilla odotusaikojen vähentämistä standardisoimalla prosessia esimerkiksi suuren menekin tuotteille. Tällöin koneen jokainen työ olisi edellisen kaltainen ja työskentely olisi hyvin rutiininomaista ja tehokasta. Yhdenkin koneen käytön standardisointi laskisi muuttujien määrää, kun sen päivittäisen työkuorman suunnitteluun ei tarvitsisi käyttää resursseja. Muilla koneilla tuotannon suunnitteluun voisi soveltaa Heijunka-periaatetta, jossa tavoitteena on tasainen tuotanto kysynnän vaihtelusta huolimatta, mutta tuotteet valmistuisivat kuitenkin juuri tarvittavaan aikaan. Lisäksi tuotantoa olisi mahdollista tehostaa laitepäivityksillä kuten leikkuupöytien, suuttimien, keräilykärryjen tai kuivauskaapin lisäämisellä. Myös materiaalien valmis arkitus ennen leikkuuta nopeuttaisi asetus-aikaa.

Yleisesti voidaan sanoa, että CML Automation -ohjelman antamaa dataa ei voida pitää absoluuttisena totuutena. Vuorokauden käyntiastetta voidaan pitää suuntaa antavana ja sen avulla voidaan esimerkiksi vertailla käyttöaikoja eri ajanjaksoina. Kaikki ohjelman merkitsemä käyntiaika on varmasti toteutunutta, mutta osa käynnistä saattaa jäädä kokonaan merkkäämättä. Esimerkiksi, kun koneen leikkausnopeus tiputetaan alle 50 % maksimiarvosta, saattaa ohjelma lopettaa käyntiajan kirjaamisen. Myöskään esimerkiksi huoltojaksoja kone ei osaa kirjata automaattisesti.

Analyysia varten valittu kuuden viikon mittainen seurantajakso antoi varsin kattavan kuvan tuotannon vaihtelusta viikkojen välillä. Pidempi seurantajakso olisi parantanut tulosten luotettavuutta entisestään. Käyntiaikojen vertailu vuoden takaiseen jaksoon antoi suuntaa datan luotettavuudesta, mutta on otettava huomioon, että tuotantomäärissä on vuosien välillä eroa. Ohjelman antamien mittausaikojen luotettavuuden arvioimiseksi olisi esimerkiksi yhden päivän käyntiaikoja voinut kellottaa myös sekuntikellon avulla ja hoitaa kirjaukset täysin manuaalisesti. Tämä olisi toisaalta häirinnyt työpisteen normaalia työrytmiä, sillä työntekijät olisivat joutuneet koneiden käytön sijaan käyttämään aikaa prosessin seuraamiseen. Tämä työ keskittyi vesileikkaukseen, mutta tiivisteiden valmistuksen läpimenoajan lyhentämiseksi on tärkeää tutkia koko prosessi ja sen pullonkaulat.

LÄHTEET

Boutbagha, M. & El Abbadi, L. 2024. Heijunka-levelling customer orders: a systematic literature review. *International journal of production management and engineering* 12 (1), 31–41. Viitattu 19.3.2024. <https://polipapers.upv.es/index.php/IJPME/article/view/19279>

Flow waterjet. 2024. The basics of a waterjet pump. Verkkosivu. Viitattu 2.4.2024. <https://www.flowwaterjet.com/explore/the-basics-of-a-waterjet-pump>

Hashish, M. 2015. *Handbook of Manufacturing Engineering and Technology: 46 Waterjet Machining Process*. E-kirja. London: Springer. Viitattu 9.2.2024. <https://link-springer-com.libproxy.tuni.fi/referencework/10.1007/978-1-4471-4670-4>

Heijunka. 2024. Lean thinking. Verkkosivu. Viitattu 27.3.2024. <https://leanthinking.fi/sanasto/heijunka/>

Jurík, L., Horňáková, N. & Domčeková, V. 2020. The application of smed method in the industrial enterprise. *Acta logistica* 7 (4), 269–281. Viitattu 22.3.2024. https://actalogistica.eu/issues/2020/IV_2020_07_Jurik_Hornakova_Domcekova.pdf

Järvenpää, J. 2007. Vesileikkatujen tuotteiden jatkokäsittely. Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma. Tampereen ammattikorkeakoulu. Tutkintotyö. Viitattu 7.2.2024. <https://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-201003063577>

Kauppalehti. 2024. Tampereen Tiivisteteollisuus. Taloustiedot. Viitattu 7.2.2024. <https://www.kauppalehti.fi/yritykset/yritys/tampereen+tiivisteteollisuus+oy/06785478>

KTM Waterjet. 2020. KMT Waterjet cutting heads. Verkkosivu. Viitattu 31.1.2024. <https://www.kmtwaterjet.com/a-kmt-waterjet-cutting-heads-landing-page.aspx>

Laserle. n.d. Vesileikkaus. Verkkosivu. Viitattu 25.1.2024. <https://laserle.fi/palvelut/vesileikkaus/>

Ledbetter, P. 2018. *The Toyota template: 9 The Pattern: Flow, Pull, and Heijunka*. E-kirja. Boca Raton: CRC Press. Viitattu 21.3.2024. Vaatii käyttöoikeuden. https://learning.oreilly.com/library/view/the-toyota-template/9781351263702/?sso_link=yes&sso_link_from=tampere-university

Liker, J. K. 2004. *The Toyota way: 14 management principles from the world's greatest manufacturer*. New York: McGraw-Hill.

Liu, H. 2004. A Study of the cutting performance in abrasive waterjet contouring of alumina ceramics and associated yet dynamic characteristics. School of mechanical, manufacturing, and medical engineering. Queensland university of technology. Väitöskirja. Viitattu 25.1.2024. <https://core.ac.uk/download/pdf/10884809.pdf>

Logistiikan maailma. 2024. Lämpösiirron lyhentäminen. Verkkosivu. Viitattu 20.3.2024. <https://www.logistiikanmaailma.fi/tuotanto/prosessien-kehittaminen/lampoesiirron-lyhentaminen/>

Mlinaric, M., Jemaa, H., Hassel, T. & Maier, H.J. 2022. An Experimental and Numerical Study of Damage Due to Particle Impact on Sapphire Orifices Used in High-Pressure Water Jet Cutting. Artikkel. Viitattu 2.4.2024. <https://doi.org/10.3390/machines10090756>

Momber, A. 2005. Hydrodemolition of Concrete Surfaces and Reinforced Concrete Structures. E- kirja. Oxford: Elsevier. Viitattu 31.1.2024. Vaatii käyttöoikeuden. <https://www-sciencedirect-com.libproxy.tuni.fi/book/9781856174602/hydrodemolition-of-concrete-surfaces-and-reinforced-concrete>

Muototerä. 2020. Tietoa vesileikkauksesta. Verkkosivu. Viitattu 29.1.2024. <https://muototera.com/fi/ratkaisut/tietoa-vesileikkauksesta/>

Oh, T.-M. & Cho, G.-C. 2013. Characterization of Effective Parameters in Abrasive Waterjet Rock Cutting. Wien: Springer-Verlag 47 (2), 745–756. Viitattu 7.2.2024. Vaatii käyttöoikeuden. <https://link-springer-com.libproxy.tuni.fi/content/pdf/10.1007/s00603-013-0434-3.pdf>

Radovanović, M. 2007. Abrasive waterjet cutting cost. Nonconventional Technologies Review – NO. 1 / 2007. pp. 97-102. Viitattu 20.3.2024. [https://www.academia.edu/39248632/Nonconventional Technologies Review No 1 2007 97 ABRASIVE WATERJET CUTTING COST](https://www.academia.edu/39248632/Nonconventional_Technologies_Review_No_1_2007_97_ABRASIVE_WATERJET_CUTTING_COST)

Six Sigma. n.d. Yleistä leanista. Verkkosivu. Viitattu 18.3.2024. <https://sixsigma.fi/yleista-leanista/>

SMED. 2024. Lean thinking. Verkkosivu. Viitattu 27.3.2024. <https://leanthinking.fi/sanasto/smed/>

TT Gaskets. 2024. Vastuullinen perheyritys. Verkkosivu. Viitattu 7.2.2024. <https://tt-gaskets.fi/yritys/vastuullinen-perheyritys/>


Turun Watercut Oy. n.d. Vesileikkaus. Verkkosivu. Viitattu 25.1.2024. <https://watercut.fi/vesileikkaus/>

Womack, J. P. & Jones, D. T. 2003. Lean thinking: banish waste and create wealth in your corporation. New York: Free Press.

Yritysesite. 2023. TT Gaskets Smarter Sealing for a Safer Tomorrow. Diaesitys. Julkaisematon. Viitattu 27.2.2024.

LIITTEET

Liite 1. Koneseurannan havaintolomake



CML Automation

CML Automation koneseurannan havainnot


Päivämäärä	Kello	Havainnoitsija	VL	Havainto

Address
Alasniitynkatu 14
FIN-33560 TAMPERE
Finland

Telephone
+358 3 358 1500

E-mail
firstname.lastname@tt-gaskets.fi
www.tt-gaskets.fi

Vat. reg. no.
F016785478
Registered Office
Tampere



ISO 9001 · ISO 14001
ISO 45001

Liite 2. Mittauspöytäkirja VL10 2024

VL10 2024							
	Päivämäärä	Käyttöaika	Häiriöaika	Huoltoaika	Käyttöaste / Vuorokausi	Käyttöaste / Työaika	
ma	22.1.2024	6.25.33	0.00.00		27%	36%	
ti	23.1.2024	11.37.29	0.17.29		48%	65%	
ke	24.1.2024	11.32.43	0.09.27		48%	64%	
to	25.1.2024	7.48.47	0.00.00	7.05.23	33%	43%	
pe	26.1.2024	0.45.11	0.00.00	4.56.35	3%	9%	
la	27.1.2024	0.00.00	0.00.00		0%	0%	
su	28.1.2024	0.00.00	0.00.00		0%	0%	
ma	29.1.2024	4.21.11	0.00.00		18%	24%	
ti	30.1.2024	5.51.03	0.00.00		24%	33%	
ke	31.1.2024	9.27.56	0.00.00		39%	53%	
to	1.2.2024	2.37.35	5.50.25	2.33.13	11%	15%	
pe	2.2.2024	0.59.37	3.40.37		4%	12%	
la	3.2.2024	0.00.00	0.00.00		0%	0%	
su	4.2.2024	0.00.00	0.00.00		0%	0%	
ma	5.2.2024	7.40.00	0.00.00		32%	43%	
ti	6.2.2024	4.16.51	0.00.00		18%	24%	
ke	7.2.2024	6.12.14	0.27.39		26%	34%	
to	8.2.2024	5.55.10	0.00.00	1.41.47	25%	33%	
pe	9.2.2024	3.57.08	0.00.00		16%	49%	
la	10.2.2024	0.00.00	0.00.00		0%	0%	
su	11.2.2024	0.00.00	0.00.00		0%	0%	
ma	12.2.2024	6.13.17	0.00.00		26%	35%	
ti	13.2.2024	2.03.36	0.00.00		9%	11%	
ke	14.2.2024	1.16.33	0.00.00		5%	7%	
to	15.2.2024	0.34.47	0.00.00		2%	3%	
pe	16.2.2024	2.13.23	0.00.00		9%	28%	
la	17.2.2024	0.00.00	0.00.00		0%	0%	
su	18.2.2024	0.00.00	0.00.00		0%	0%	
ma	19.2.2024	7.37.50	0.00.00		32%	42%	
ti	20.2.2024	2.12.22	0.00.00		9%	12%	
ke	21.2.2024	5.56.54	0.00.00		25%	33%	
to	22.2.2024	2.20.55	0.00.00	1.25.13	10%	13%	
pe	23.2.2024	0.54.05	0.00.00		4%	11%	
la	24.2.2024	0.00.00	0.00.00		0%	0%	
su	25.2.2024	0.00.00	0.00.00		0%	0%	
ma	26.2.2024	4.10.17	0.00.00		17%	23%	
ti	27.2.2024	2.00.53	0.00.00		8%	11%	
ke	28.2.2024	11.45.15	1.01.25		49%	65%	
to	29.2.2024	8.44.35	0.00.00	1.46.02	36%	49%	
pe	1.3.2024	3.15.31	0.00.00		14%	41%	
la	2.3.2024	0.00.00	0.00.00		0%	0%	
su	3.3.2024	0.00.00	0.00.00		0%	0%	
KA		5.01.37			21%	31%	

Liite 3. Mittauspöytäkirja VL9 2024

VL9 2024						
	Päivämäärä	Käyttöaika	Häiriöaika	Huoltoaika	Käyttöaste / Vuorokausi	Käyttöaste / Työaika
ma	22.1.2024	9.07.01	0.00.00		38%	51%
ti	23.1.2024	5.01.05	0.00.00		21%	28%
ke	24.1.2024	12.10.20	0.00.00		51%	68%
to	25.1.2024	7.15.11	0.44.45	0.58.27	30%	40%
pe	26.1.2024	4.04.11	0.00.00	0.29.37	17%	51%
la	27.1.2024	0.00.00	0.00.00		0%	0%
su	28.1.2024	0.00.00	0.00.00		0%	0%
ma	29.1.2024	8.14.18	0.00.00		34%	46%
ti	30.1.2024	8.24.30	0.00.00		35%	47%
ke	31.1.2024	4.58.05	0.00.00		21%	28%
to	1.2.2024	4.45.32	0.00.00	1.43.38	20%	26%
pe	2.2.2024		0.00.00		0%	0%
la	3.2.2024	0.00.00	0.00.00		0%	0%
su	4.2.2024	0.00.00	0.00.00		0%	0%
ma	5.2.2024	6.41.35	0.00.00		28%	37%
ti	6.2.2024	6.21.28	0.59.05		26%	35%
ke	7.2.2024	11.05.13	0.00.00		46%	62%
to	8.2.2024	3.46.04	0.00.00	1.23.59	16%	21%
pe	9.2.2024	1.52.54	0.00.00		8%	24%
la	10.2.2024	0.00.00	0.00.00		0%	0%
su	11.2.2024	0.00.00	0.00.00		0%	0%
ma	12.2.2024	6.33.18	0.00.00		27%	36%
ti	13.2.2024	5.24.55	0.00.00		23%	30%
ke	14.2.2024	12.04.14	0.00.00		50%	67%
to	15.2.2024	3.34.58	0.00.00		15%	20%
pe	16.2.2024	1.39.36	0.00.00		7%	21%
la	17.2.2024	0.00.00	0.00.00		0%	0%
su	18.2.2024	0.00.00	0.00.00		0%	0%
ma	19.2.2024	8.41.29	0.43.37		36%	48%
ti	20.2.2024	5.45.00	0.00.00		24%	32%
ke	21.2.2024	1.39.02	0.00.00		7%	9%
to	22.2.2024	3.11.08	0.00.00	1.37.39	13%	18%
pe	23.2.2024	2.37.46	0.00.00		11%	33%
la	24.2.2024	0.00.00	0.00.00		0%	0%
su	25.2.2024	0.00.00	0.00.00		0%	0%
ma	26.2.2024	5.44.09	0.00.00		24%	32%
ti	27.2.2024	7.16.19	0.00.00		30%	40%
ke	28.2.2024	7.39.35	0.00.00		32%	43%
to	29.2.2024	4.06.12	0.16.19		17%	23%
pe	1.3.2024	2.53.32	0.00.00	1.44.17	12%	36%
la	2.3.2024	0.00.00	0.00.00		0%	0%
su	3.3.2024	0.00.00	0.00.00		0%	0%
KA		5.57.12			24%	35%

Liite 4. Mittauspöytäkirja VL8 2024

VL8 2024							
	Päivämäärä	Käyttöaika	Häiriöaika	Huoltoaika	Käyttöaste / Vuorokausi	Käyttöaste / Työaika	
ma	22.1.2024	7.27.32	0.00.00		31%	41%	
ti	23.1.2024	9.53.43	0.00.00		41%	55%	
ke	24.1.2024	9.42.34	0.09.35		40%	54%	
to	25.1.2024	8.45.03	0.00.00	0.20.12	36%	49%	
pe	26.1.2024	3.14.12	0.00.00		13%	40%	
la	27.1.2024	0.00.00	0.00.00		0%	0%	
su	28.1.2024	0.00.00	0.00.00		0%	0%	
ma	29.1.2024	11.04.31	0.00.04		46%	62%	
ti	30.1.2024	11.29.03	0.00.09		48%	64%	
ke	31.1.2024	9.23.08	1.13.16		39%	52%	
to	1.2.2024	6.06.26	0.00.00		25%	34%	
pe	2.2.2024	3.13.03	0.00.00		13%	40%	
la	3.2.2024	0.00.00	0.00.00		0%	0%	
su	4.2.2024	0.00.00	0.00.00		0%	0%	
ma	5.2.2024	7.49.39	0.00.04		33%	43%	
ti	6.2.2024	10.27.26	0.00.00		44%	58%	
ke	7.2.2024	1.47.13	0.00.00		7%	10%	
to	8.2.2024	12.35.23	0.00.00		52%	70%	
pe	9.2.2024	2.23.44	0.04.23	1.45.05	10%	30%	
la	10.2.2024	0.00.00	0.00.00		0%	0%	
su	11.2.2024	0.00.00	0.00.00		0%	0%	
ma	12.2.2024	7.10.38	0.00.00		30%	40%	
ti	13.2.2024	11.50.42	0.00.00		49%	66%	
ke	14.2.2024	6.51.15	0.00.00		29%	38%	
to	15.2.2024	4.43.14	0.00.00		20%	26%	
pe	16.2.2024	2.20.10	0.00.24		10%	29%	
la	17.2.2024	0.00.00	0.00.00		0%	0%	
su	18.2.2024	0.00.00	0.00.00		0%	0%	
ma	19.2.2024	11.12.36	0.00.04		47%	62%	
ti	20.2.2024	11.33.24	1.42.35		48%	64%	
ke	21.2.2024	11.25.15	0.00.00		48%	63%	
to	22.2.2024	10.22.25	0.00.00		43%	58%	
pe	23.2.2024	2.43.00	0.00.00		11%	34%	
la	24.2.2024	0.00.00	0.00.00		0%	0%	
su	25.2.2024	0.00.00	0.00.00		0%	0%	
ma	26.2.2024	12.48.56	0.20.15		53%	71%	
ti	27.2.2024	10.39.01	0.00.00		44%	59%	
ke	28.2.2024	7.58.59	0.12.24		33%	44%	
to	29.2.2024	2.59.42	0.00.00		12%	17%	
pe	1.3.2024	4.42.29	0.00.06	1.59.31	20%	59%	
la	2.3.2024	0.00.00	0.00.00		0%	0%	
su	3.3.2024	0.00.00	0.00.00		0%	0%	
KA		7.49.29			33%	48%	

Liite 5. Mittauspöytäkirja VL6 2024

VL6 2024							
	Päivämäärä	Käyttöaika	Häiriöaika	Huoltoaika		Käyttöaste / Vuorokausi	Käyttöaste / Työaika
ma	22.1.2024	6.24.14	0.00.00			27%	36%
ti	23.1.2024	10.24.57	0.00.00			43%	58%
ke	24.1.2024	3.08.56	0.00.00			13%	17%
to	25.1.2024	5.51.34	0.00.00	7.50.15		24%	33%
pe	26.1.2024	0.48.21	0.00.00	4.45.25		3%	10%
la	27.1.2024	0.00.00	0.00.00			0%	0%
su	28.1.2024	0.00.00	0.00.00			0%	0%
ma	29.1.2024	7.02.16	0.00.00			29%	39%
ti	30.1.2024	3.46.41	0.00.00			16%	21%
ke	31.1.2024	4.33.37	0.00.00			19%	25%
to	1.2.2024	5.21.35	0.00.00	1.33.51		22%	30%
pe	2.2.2024	2.53.25	0.00.00			12%	36%
la	3.2.2024	0.00.00	0.00.00			0%	0%
su	4.2.2024	0.00.00	0.00.00			0%	0%
ma	5.2.2024	7.12.06	0.00.00			30%	40%
ti	6.2.2024	5.18.51	0.00.00			22%	30%
ke	7.2.2024	8.13.30	0.00.00			34%	46%
to	8.2.2024	12.11.35	0.00.00	1.41.43		51%	68%
pe	9.2.2024	5.08.06	0.00.00			21%	64%
la	10.2.2024	0.00.00	0.00.00			0%	0%
su	11.2.2024	0.00.00	0.00.00			0%	0%
ma	12.2.2024	12.34.42	0.00.00			52%	70%
ti	13.2.2024	5.31.42	0.00.00			23%	31%
ke	14.2.2024	6.25.44	0.00.00	1.18.00		27%	36%
to	15.2.2024	4.31.16	0.00.00			19%	25%
pe	16.2.2024	2.58.26	0.00.00			12%	37%
la	17.2.2024	0.00.00	0.00.00			0%	0%
su	18.2.2024	0.00.00	0.00.00			0%	0%
ma	19.2.2024	6.04.26	0.00.00			25%	34%
ti	20.2.2024	4.52.04	0.00.00			20%	27%
ke	21.2.2024	7.07.57	0.00.00			30%	40%
to	22.2.2024	2.45.57	0.00.00	1.22.22		12%	15%
pe	23.2.2024	1.53.31	0.00.00			8%	24%
la	24.2.2024	0.00.00	0.00.00			0%	0%
su	25.2.2024	0.00.00	0.00.00			0%	0%
ma	26.2.2024	4.00.06	0.00.00			17%	22%
ti	27.2.2024	1.52.10	0.00.00			8%	10%
ke	28.2.2024	7.45.36	0.00.00			32%	43%
to	29.2.2024	4.48.19	0.00.00			20%	27%
pe	1.3.2024	2.44.07	0.00.00			11%	34%
la	2.3.2024	0.00.00	0.00.00			0%	0%
su	3.3.2024	0.00.00	0.00.00			0%	0%
KA		5.28.32				23%	34%

Liite 6. Mittauspöytäkirja VL10 2023

VL10 2023					
	Päivämäärä	Käyttöaika	Häiriöaika	Käyttöaste / Vuorokausi	Käyttöaste / Työaika
ma	23.1.2023	6.40.51	0.00.00	28%	37%
ti	24.1.2023	5.16.48	0.00.00	22%	29%
ke	25.1.2023	11.55.06	0.00.00	50%	66%
to	26.1.2023	6.17.56	0.00.00	26%	35%
pe	27.1.2023	5.00.49	0.00.00	21%	63%
la	28.1.2023	0.00.00	0.00.00	0%	0%
su	29.1.2023	0.00.00	0.00.00	0%	0%
ma	30.1.2023	2.56.15	0.00.00	12%	16%
ti	31.1.2023	1.49.23	0.00.00	8%	10%
ke	1.2.2023	4.16.03	0.00.00	18%	24%
to	2.2.2023	5.40.11	0.00.00	24%	31%
pe	3.2.2023	0.51.14	0.00.00	4%	11%
la	4.2.2023	0.00.00	0.00.00	0%	0%
su	5.2.2023	0.00.00	0.00.00	0%	0%
ma	6.2.2023	13.07.39	0.00.00	55%	73%
ti	7.2.2023	8.58.06	0.00.00	37%	50%
ke	8.2.2023	11.37.37	0.00.00	48%	65%
to	9.2.2023	9.28.33	0.00.00	39%	53%
pe	10.2.2023	3.39.37	0.00.00	15%	46%
la	11.2.2023	0.00.00	0.00.00	0%	0%
su	12.2.2023	0.00.00	0.00.00	0%	0%
ma	13.2.2023	5.52.42	0.00.00	24%	33%
ti	14.2.2023	5.58.37	0.00.00	25%	33%
ke	15.2.2023	3.48.23	0.00.00	16%	21%
to	16.2.2023	4.00.45	0.00.00	17%	22%
pe	17.2.2023	1.12.30	0.00.00	5%	15%
la	18.2.2023	0.00.00	0.00.00	0%	0%
su	19.2.2023	0.00.00	0.00.00	0%	0%
ma	20.2.2023	7.26.35	0.00.00	31%	41%
ti	21.2.2023	8.49.59	0.00.00	37%	49%
ke	22.2.2023	6.14.29	0.00.00	26%	35%
to	23.2.2023	6.53.06	0.00.00	29%	38%
pe	24.2.2023	2.56.45	0.00.00	12%	37%
la	25.2.2023	0.00.00	0.00.00	0%	0%
su	26.2.2023	0.00.00	0.00.00	0%	0%
ma	27.2.2023	5.23.57	0.00.00	22%	30%
ti	28.2.2023	5.02.14	0.00.00	21%	28%
ke	1.3.2023	0.18.07	0.00.00	1%	2%
to	2.3.2023	8.33.12	0.00.00	36%	48%
pe	3.3.2023	4.16.21	0.00.00	18%	53%
la	4.3.2023	0.00.00	0.00.00	0%	0%
su	5.3.2023	0.00.00	0.00.00	0%	0%
KA		5.37.33		24%	36%

Liite 7. Mittauspöytäkirja VL8 2023

VL8 2023					
	Päivämäärä	Käyttöaika	Häiriöaika	Käyttöaste / Vuorokausi	Käyttöaste / Työaika
ma	23.1.2023	10.42.01	0.00.03	45%	59%
ti	24.1.2023	9.54.21	0.00.00	41%	55%
ke	25.1.2023	11.39.38	0.00.00	49%	65%
to	26.1.2023	9.50.15	0.00.00	41%	55%
pe	27.1.2023	5.20.05	0.01.02	22%	67%
la	28.1.2023	0.00.00	0.00.00	0%	0%
su	29.1.2023	0.00.00	0.00.00	0%	0%
ma	30.1.2023	7.07.52	0.03.06	30%	40%
ti	31.1.2023	13.48.58	0.00.00	58%	77%
ke	1.2.2023	11.21.24	0.01.45	47%	63%
to	2.2.2023	6.09.13	0.00.00	26%	34%
pe	3.2.2023	1.22.42	0.00.03	6%	17%
la	4.2.2023	0.00.00	0.00.00	0%	0%
su	5.2.2023	0.00.00	0.00.00	0%	0%
ma	6.2.2023	9.55.56	0.00.03	41%	55%
ti	7.2.2023	9.48.16	0.00.05	41%	54%
ke	8.2.2023	13.01.41	0.03.50	54%	72%
to	9.2.2023	8.32.14	0.00.31	36%	47%
pe	10.2.2023	1.48.38	0.00.05	8%	23%
la	11.2.2023	0.00.00	0.00.00	0%	0%
su	12.2.2023	0.00.00	0.00.00	0%	0%
ma	13.2.2023	8.28.51	0.00.06	35%	47%
ti	14.2.2023	6.51.22	0.00.10	29%	38%
ke	15.2.2023	8.03.39	0.00.17	34%	45%
to	16.2.2023	9.09.12	0.00.09	38%	51%
pe	17.2.2023	1.10.11	0.00.06	5%	15%
la	18.2.2023	0.00.00	0.00.00	0%	0%
su	19.2.2023	0.00.00	0.00.00	0%	0%
ma	20.2.2023	7.24.19	0.00.04	31%	41%
ti	21.2.2023	9.36.12	0.00.05	40%	53%
ke	22.2.2023	10.37.20	0.00.00	44%	59%
to	23.2.2023	8.39.59	0.00.00	36%	48%
pe	24.2.2023	3.35.50	0.00.00	15%	45%
la	25.2.2023	0.00.00	0.00.00	0%	0%
su	26.2.2023	0.00.00	0.00.00	0%	0%
ma	27.2.2023	10.04.25	0.00.03	42%	56%
ti	28.2.2023	9.31.40	0.00.00	40%	53%
ke	1.3.2023	2.34.17	0.00.10	11%	14%
to	2.3.2023	6.15.40	0.00.00	26%	35%
pe	3.3.2023	2.35.05	0.00.08	11%	32%
la	4.3.2023	0.00.00	0.00.00	0%	0%
su	5.3.2023	0.00.00	0.00.00	0%	0%
KA		7.34.53		33%	47%

Liite 8. Mittauspöytäkirja VL7 2023

VL7 2023					
Päivämäärä	Käyttöaika	Häiriöaika	Käyttöaste / Vuorokausi	Käyttöaste / Työaika	
ma	23.1.2023	6.13.17	0.00.24	26%	35%
ti	24.1.2023	7.47.11	0.00.00	32%	43%
ke	25.1.2023	9.44.26	0.00.00	41%	54%
to	26.1.2023	6.04.37	0.00.00	25%	34%
pe	27.1.2023	3.49.13	0.00.22	16%	48%
la	28.1.2023	0.00.00	0.00.00	0%	0%
su	29.1.2023	0.00.00	0.00.00	0%	0%
ma	30.1.2023	8.15.08	0.00.06	34%	46%
ti	31.1.2023	11.17.56	0.00.00	47%	63%
ke	1.2.2023	6.27.37	0.00.00	27%	36%
to	2.2.2023	3.53.05	0.00.00	16%	22%
pe	3.2.2023	0.58.24	0.00.00	4%	12%
la	4.2.2023	0.00.00	0.00.00	0%	0%
su	5.2.2023	0.00.00	0.00.00	0%	0%
ma	6.2.2023	11.18.38	0.00.47	47%	63%
ti	7.2.2023	7.36.18	0.00.39	32%	42%
ke	8.2.2023	10.09.22	0.00.00	42%	56%
to	9.2.2023	4.39.00	0.00.00	19%	26%
pe	10.2.2023	1.51.36	0.00.00	8%	23%
la	11.2.2023	0.00.00	0.00.00	0%	0%
su	12.2.2023	0.00.00	0.00.00	0%	0%
ma	13.2.2023	5.42.24	0.00.05	24%	32%
ti	14.2.2023	7.00.46	0.00.36	29%	39%
ke	15.2.2023	11.08.00	0.00.00	46%	62%
to	16.2.2023	6.28.11	0.00.03	27%	36%
pe	17.2.2023	3.52.16	0.00.03	16%	48%
la	18.2.2023	0.00.00	0.00.00	0%	0%
su	19.2.2023	0.00.00	0.00.00	0%	0%
ma	20.2.2023	10.29.52	0.00.10	44%	58%
ti	21.2.2023	10.08.25	0.00.00	42%	56%
ke	22.2.2023	9.31.17	0.00.00	40%	53%
to	23.2.2023	6.09.35	0.00.00	26%	34%
pe	24.2.2023	0.03.52	0.00.52	0%	1%
la	25.2.2023	0.00.00	0.00.00	0%	0%
su	26.2.2023	0.00.00	0.00.00	0%	0%
ma	27.2.2023	11.39.25	0.00.07	49%	65%
ti	28.2.2023	12.19.07	0.00.00	51%	68%
ke	1.3.2023	10.39.22	0.00.00	44%	59%
to	2.3.2023	5.24.25	0.00.00	23%	30%
pe	3.3.2023	3.22.28	0.00.00	14%	42%
la	4.3.2023	0.00.00	0.00.00	0%	0%
su	5.3.2023	0.00.00	0.00.00	0%	0%
KA		7.08.10		30%	43%

Liite 9. Mittauspöytäkirja VL6 2023

VL6 2023				Käyttöaste / Vuorokausi	Käyttöaste / Työaika
Päivämäärä	Käyttöaika	Häiriöaika			
ma	23.1.2023	6.33.56	0.04.22	27%	36%
ti	24.1.2023	4.48.43	0.00.00	20%	27%
ke	25.1.2023	7.26.19	0.00.00	31%	41%
to	26.1.2023	2.02.28	0.00.00	9%	11%
pe	27.1.2023	3.41.28	0.01.54	15%	46%
la	28.1.2023	0.00.00	0.00.00	0%	0%
su	29.1.2023	0.00.00	0.00.00	0%	0%
ma	30.1.2023	9.17.30	0.03.04	39%	52%
ti	31.1.2023	5.56.04	0.03.28	25%	33%
ke	1.2.2023	3.37.23	0.00.00	15%	20%
to	2.2.2023	4.10.02	0.00.00	17%	23%
pe	3.2.2023	1.08.41	0.00.00	5%	14%
la	4.2.2023	0.00.00	0.00.00	0%	0%
su	5.2.2023	0.00.00	0.00.00	0%	0%
ma	6.2.2023	11.05.32	0.00.00	46%	62%
ti	7.2.2023	8.18.01	0.00.00	35%	46%
ke	8.2.2023	8.00.33	0.00.00	33%	44%
to	9.2.2023	6.25.35	0.00.00	27%	36%
pe	10.2.2023	2.05.41	0.00.00	9%	26%
la	11.2.2023	0.00.00	0.00.00	0%	0%
su	12.2.2023	0.00.00	0.00.00	0%	0%
ma	13.2.2023	3.57.11	0.00.00	16%	22%
ti	14.2.2023	1.30.24	0.00.00	6%	8%
ke	15.2.2023	5.52.35	0.00.00	24%	33%
to	16.2.2023	6.56.56	0.00.00	29%	39%
pe	17.2.2023	3.24.20	0.00.00	14%	43%
la	18.2.2023	0.00.00	0.00.00	0%	0%
su	19.2.2023	0.00.00	0.00.00	0%	0%
ma	20.2.2023	9.46.59	0.00.00	41%	54%
ti	21.2.2023	8.07.38	0.00.00	34%	45%
ke	22.2.2023	8.25.40	0.00.00	35%	47%
to	23.2.2023	3.14.38	0.00.00	14%	18%
pe	24.2.2023	2.46.15	0.00.00	12%	35%
la	25.2.2023	0.00.00	0.00.00	0%	0%
su	26.2.2023	0.00.00	0.00.00	0%	0%
ma	27.2.2023	7.54.18	0.00.00	33%	44%
ti	28.2.2023	3.27.08	0.00.00	14%	19%
ke	1.3.2023	1.29.02	0.00.00	6%	8%
to	2.3.2023	3.32.23	0.00.00	15%	20%
pe	3.3.2023	3.36.10	0.00.00	15%	45%
la	4.3.2023	0.00.00	0.00.00	0%	0%
su	5.3.2023	0.00.00	0.00.00	0%	0%
KA		5.17.19		22%	33%