



Ali Musse

Robottisolun Lean-kehittäminen

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Konetekniikan tutkinto-ohjelma

Insinöörityö

10.03.2026

Tiivistelmä

Tekijä:	Ali Musse
Otsikko:	Robottisolun Lean-kehittäminen
Sivumäärä:	39 sivua + 5 liitettä
Aika:	10.03.2026
Tutkinto:	Insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma:	Konetekniikka
Ammatillinen pääaine:	Valmistus- ja tuotantotekniikka
Ohjaaja:	Lehtori Timo Junell

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli kehittää Metropolia Ammattikorkeakoulun Myyrmäen kampuksen konelaboratoriossa sijaitsevan robottisolun toimivuutta, selkeyttä ja tilankäyttöä. Uuden koneistuskeskuksen käyttöönotto toi robottisoluun uusia toiminnallisia vaatimuksia ja osoitti tarpeen selkeyttää työkalujen, materiaalien ja kalusteiden sijoittelua. Työssä parannettiin oppimisympäristön käytettävyyttä ja järjestelmällisyyttä soveltamalla Lean-ajattelua ja erityisesti 5S-menetelmää.

Työ toteutettiin havainnoimalla robottisolun nykytilaa, tunnistamalla kehityskohteet ja toteuttamalla käytännön parannuksia. Suunnittelussa hyödynnettiin 3D-suunniteluohjelmaa, jonka avulla mallinnettiin erilaisia telineitä, pidikkeitä ja säilytysratkaisuja. Työssä suunniteltiin ja valmistettiin työkalupidikkeitä, astioita ja telineitä, kehitettiin paineilmaletkun sijoittelua, uudistettiin työkalujen säilytystä sekä optimoitiin solun tilankäyttöä poistamalla tarpeettomia kalusteita ja siirtämällä olemassa olevia käytännöllisempiin paikkoihin.

Työn tuloksena robottisolun oppimisympäristöstä saatiin selkeämpi, turvallisempi ja toiminnallisesti tehokkaampi. Työkalut ja tarvikkeet ovat nyt paremmin järjestettyjä, helposti löydettävissä ja visuaalisesti hallittavissa 5S-periaatteiden mukaisesti. Tilankäytön optimointi paransi solun käytettävyyttä erityisesti opetustilanteissa, ja tehdyt ratkaisut tukevat Lean-ajattelun mukaista hukan vähentämistä ja työn sujuvuutta. Työ osoitti, että suhteellisen pienillä ja kustannustehokkailla muutoksilla voidaan saavuttaa merkittäviä parannuksia oppimisympäristön toimivuudessa ja luoda hyvä perusta robottisolun jatkuvalla kehittämiselle.

Avainsanat: Lean, 5S-menetelmä, Oppimisympäristö

Tämän opinnäytetyön alkuperä on tarkastettu Turnitin Originality Check -ohjelmalla.

Abstract

Author: Ali Musse
Title: Lean Development of a Robotic Cell
Number of Pages: 39 pages + 5 appendices
Date: 10 March 2026

Degree: Bachelor of Engineering
Degree Programme: Mechanical engineering
Professional Major: Manufacturing and Production Technology
Supervisor: Timo Junell, Senior Lecturer

The aim of this thesis was to improve the functionality, clarity, and use of space in the robotic cell located in the machine laboratory at Metropolia University of Applied Sciences, Myyrmäki campus. The introduction of a new machining center brought new functional requirements to the robotic cell and highlighted the need to reorganize the placement of tools, materials, and equipment. The goal was to improve the usability and orderliness of the learning environment by applying Lean thinking, especially the 5S method.

The work was carried out by observing the current state of the robotic cell, identifying development needs, and implementing practical improvements. A 3D design software was used to design different holders, supports, and storage solutions. During the project, various tool holders, containers, and racks were designed and manufactured, the placement of the compressed air hose was improved, tool storage was reorganized, and the use of space in the cell was optimized by removing unnecessary furniture and relocating existing items to more practical locations.

As a result of the work, the robotic cell became clearer, safer, and more efficient as a learning environment. Tools and accessories are now better organized, easy to find, and visually controlled according to the principles of 5S. The optimization of space improved the usability of the cell especially during teaching situations, and the implemented solutions support waste reduction and smoother work in line with Lean thinking. The thesis showed that significant improvements in the functionality of a learning environment can be achieved with relatively small and cost-effective changes, creating a good basis for continuous development of the robotic cell.

Keywords: Lean, 5S method, learning environment

Sisällys

1	Johdanto	1
1.1	Työn tausta	1
1.2	Työn tavoitteet ja rajaukset	2
1.3	Työn toteutus	2
2	Lean-ajattelu	3
2.1	Lean-periaatteet ja historia	3
2.2	5S- menetelmä	5
2.3	Jatkuva parantaminen (Kaizen)	7
2.4	Hukan tunnistaminen ja poistaminen	8
3	Nykyinen robottisolu ja kehityskohteet	9
3.1	Robottisolun rakenne	9
3.2	Kehityskohteiden tunnistaminen	11
3.3	Suunnittelu- ja valmistusvälineet	14
3.4	Työn eteneminen ja ajallinen toteutus	15
4	Ratkaisujen suunnittelu ja toteutus	16
4.1	Apuvälineiden 3D-suunnittelu ja -tulostus	17
4.2	Ohutlevyosien suunnittelu ja valmistus	24
4.3	Työkalujen ja tavaroiden sijoittelu	28
4.4	Solun tilankäytön optimointi	31
4.5	5S:n käyttöönotto	33
5	Tulokset ja johtopäätökset	34
5.1	Työn tulokset	34
5.2	Johtopäätökset ja arviointi	35
5.3	Jatkotutkimusaiheita	37
6	Yhteenveto	37
	Lähteet	39
	Liitteet	

1 Johdanto

1.1 Työn tausta

Metropolia Ammattikorkeakoulun Myyrmäen kampukselle on hankittu uusi koneistuskeskus, joka sijoitetaan osaksi konelaboratorion robottisolua. Uusi laitteisto tarjoaa mahdollisuuden kehittää solun toimintaa ja helpottaa opetusta. Nykytilassa robottisolun materiaalien ja työkalujen järjestely ei ole optimaalinen, mikä hankaloittaa sujuvaa käyttöä ja vähentää oppimisympäristön selkeyttä. Lean-periaatteiden soveltaminen tarjoaa keinon järjestää solun toiminnot systemaattisesti niin, että turha työ ja hukka minimoidaan ja käytännön työskentely tukee opetusta tehokkaammin.

Robottisolun kehittäminen on ajankohtaista erityisesti nykytilan haasteiden vuoksi. Solun työkalujen, tarvikkeiden ja kalusteiden sijoittelu on muodostunut ajan myötä epäselväksi, eikä kokonaisuus enää tue tehokasta ja sujuvaa työskentelyä. Työpisteissä esiintyy turhaa tavaraa, epäloogisia sijoitusratkaisuja sekä tilankäytöllisiä esteitä, jotka vaikeuttavat sekä robottisolun käyttöä että sen ylläpitoa. Kun ympäristö ei ole järjestelmällinen, aikaa kuluu esimerkiksi työkalujen etsimiseen ja työvaiheiden valmisteluun, mikä heikentää solun toimivuutta.

Työ tarjoaa konkreettisia ehdotuksia ja ratkaisuja koulun oman robottisolun toiminnan optimointiin. Tämä tekee opinnäytetyöstä suoraan hyödynnettävän koulun arjessa. Hyvin suunniteltu robottisolu tukee käytännönläheistä oppimista, jossa opiskelijat voivat havainnoida ja kokeilla teollisuusrobotiikan toimintaa sekä Lean-periaatteiden vaikutusta käytännössä. Lean-ajattelun soveltaminen robottisolun suunnitteluun voi luoda selkeämmän, loogisemman ja tehokkaamman oppimisympäristön, jossa opiskelijat voivat keskittyä paremmin opetusvälineisiin ilman turhia häiriöitä tai epäselvyyksiä.

1.2 Työn tavoitteet ja rajaukset

Opinnäytetyön tavoitteena on parantaa robottisolun selkeyttä ja käytännön toimivuutta kehittämällä sen tilankäyttöä, työkalujen järjestystä ja kokonaisrakennetta siten, että solua voidaan hyödyntää tehokkaammin tulevaisuudessa. Tavoitteena on luoda robottisoluun Lean-ajatteluun perustuva toimintamalli, jossa työkalujen, materiaalien ja tarvikkeiden sijoittelu tukee turvallista, sujuvaa ja järjestelmällistä työskentelyä opetuskäytössä.

Keskeisenä osana työtä hyödynnetään 5S-menetelmää kaappien, työpisteiden ja koneistuskeskuksen työkalujen järjestämisessä. Lisäksi tavoitteena on kehittää toimiva ratkaisu paineilmaletkun sijoittamiseen sekä parantaa lastunkuljetinjärjestelmään liittyvää astiatarkaisua. Näiden toimenpiteiden avulla pyritään vähentämään epäjärjestyksestä aiheutuvaa hukkaa ja tukemaan työpisteiden helppoa käyttöä.

Työ rajataan koskemaan robottisolun fyysistä työympäristöä ja sen toiminnan kehittämistä opetustarkoituksessa. Työssä ei käsitellä robottien tai koneistuskeskusten ohjelmointia eikä tuotantoprosessien teknistä optimointia. Tavoitteena on luoda opiskelijoille selkeä ja toimiva oppimisympäristö, jossa teollisuusrobotiikkaa ja Lean-ajattelua voidaan havainnoida ja harjoitella käytännönläheisesti.

1.3 Työn toteutus

Työ toteutettiin havainnoimalla robottisolun nykyistä toimintaa ja kartoittamalla sen keskeiset kehityskohteet. Lähtökohtana oli nykytilan analysointi, jossa tarkasteltiin erityisesti työkalujen ja materiaalien sijoittelua, työpisteiden selkeyttä, turvallisuutta sekä oppimisympäristön toimivuutta. Havainnoinnin ja mittausten avulla tunnistettiin ongelmakohtia, kuten epäjärjestys, turha liikkuminen ja työskentelyä hidastavat käytännöt, jotka heikensivät robottisolun käytettävyyttä opetustilanteissa.

Suunnitteluvaiheessa hyödynnettiin Lean-ajattelun keskeisiä työkaluja, kuten hukan tunnistamista ja 5S-menetelmän periaatteita, joiden avulla kehityskoh- teita lähdettiin parantamaan järjestelmällisesti. Lisäksi ergonomia ja työturvalli- suus otettiin huomioon arvioimalla esimerkiksi työkalujen saavutettavuutta ja työskentelytilan toimivuutta. Kehitysehdotukset koottiin selkeiksi parannustoi- menpiteiksi, jotka tähtäsivät robottisolun sujuvampaan käyttöön ja parempaan järjestykseen.

Ratkaisujen suunnittelussa ja toteutuksessa käytettiin useita käytännön työka- luja. Exceliä hyödynnettiin projektin aikataulutuksessa sekä kehitystoimenpitei- den dokumentoinnissa. 3D-suunnitteluohjelmiston avulla mallinnettiin robottiso- lun layout ja arvioitiin eri sijoitteluvaihtoehtoja ennen fyysisten muutosten teke- mistä. Näin voitiin varmistaa, että ratkaisut sopivat olemassa olevaan tilaan ja tukevat robottisolun kokonaisuutta.

Työn toteutus sisälsi myös konkreettisia parannuksia robottisolun ympäristöön. Käytössä olleilla valmistuslaitteilla, kuten 3D-tulostimilla, laserleikkurilla ja teippi- leikkurilla, tuotettiin esimerkiksi työkalujen paikkamerkintöjä, opasteita ja järjes- tystä tukevia rakenteita. Lisäksi työssä tehtiin käytännön järjestelymuutoksia, kuten työkalujen uudelleensijoittelua, paineilmaletkun käytön parantamista sekä lastunkuljetukseen liittyvien ratkaisujen kehittämistä.

Lopputuloksena työssä esitetään selkeät ja toteutuskelpoiset parannukset, jotka tukevat Lean- ja 5S-periaatteita ja ovat suoraan hyödynnettävissä Metropolian robottisolun arjessa. Työ parantaa oppimisympäristön toimivuutta, turvallisuutta ja järjestelmällisyyttä sekä helpottaa robottisolun käyttöä tulevaisuudessa osana opetusta.

2 Lean-ajattelu

2.1 Lean-periaatteet ja historia

Lean-ajattelun juuret ovat Japanin autoteollisuudessa ja erityisesti Toyotan tuo- tantojärjestelmässä (Toyota Production System, TPS), jota kehitettiin toisen

maailmansodan jälkeen vastauksena rajoitettuihin resursseihin ja tarpeeseen tuottaa laadukkaita tuotteita tehokkaasti ilman suuria varastoja. Toyotan systemaattinen pyrkimys oli tunnistaa ja poistaa kaikki arvoa tuottamaton toiminta (hukka) sekä keskittyä prosesseihin, jotka tuottavat suoraa arvoa asiakkaalle. Lean-ajattelussa korostuvat myös jatkuva parantaminen ja työntekijöiden osallistaminen ongelmien tunnistamiseen ja ratkaisuihin. (Marpaung 2025.)

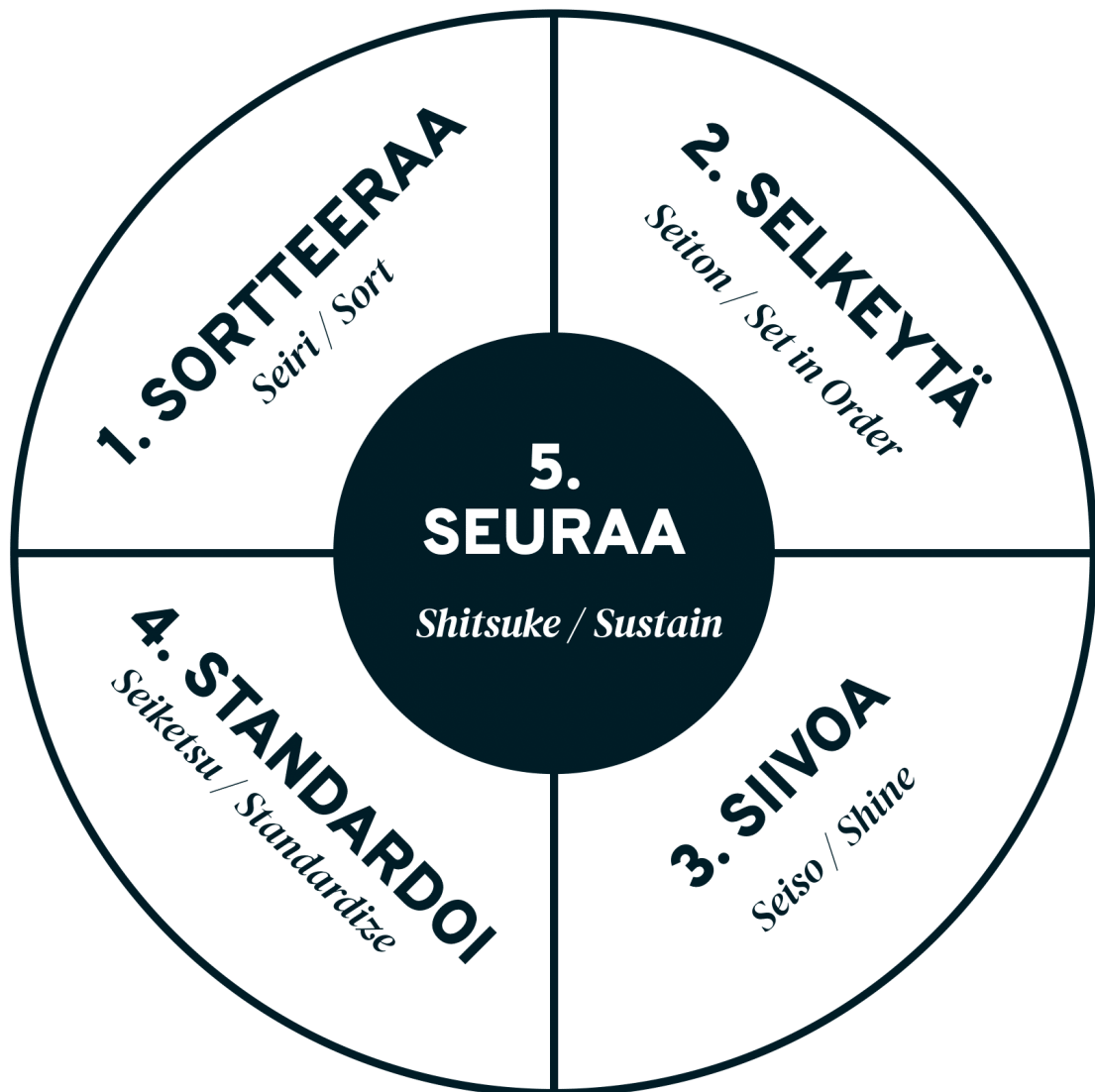
Lean eroaa perinteisestä länsimaisesta massatuotannosta siinä, että painopiste ei ole yksinomaan tuotantomäärien maksimoinnissa, vaan sujuvassa prosessivirrassa, laadussa ja prosessien virheettömyydessä. Toyotan lähestymistavassa tuotanto nähdään kokonaisuutena, jossa jokainen vaihe vaikuttaa seuraavaan, ja ongelmat pyritään tekemään näkyviksi ja ratkaisemaan mahdollisimman varhaisessa vaiheessa tuotantoprosessia. (Marpaung 2025.)

Jeffrey K. Liker (2004) kokoaa Toyotan toimintamallin teoksessaan *The Toyota Way* neljääntoista johtamisperiaatteeseen, jotka muodostavat Lean-ajattelun perustan. Näihin periaatteisiin kuuluvat muun muassa pitkän aikavälin ajattelu lyhyen aikavälin tulosten sijaan, jatkuvan virtauksen luominen prosesseihin, laadun sisäänrakentaminen sekä ihmisten ja yhteistyökumppaneiden kunnioittaminen. Liker korostaa, että Lean ei ole yksittäinen menetelmä tai työkalukokoselma, vaan kokonaisvaltainen johtamis- ja toimintafilosofia, joka ohjaa organisaation päivittäistä toimintaa kaikilla tasoilla (Liker 2004.)

Lean ajattelua pidetään usein ensisijaisesti teollisuuden tuotannon kehittämisen työkaluna, mutta sen periaatteet soveltuvat erinomaisesti myös oppimisympäristöjen kehittämiseen. Modig ja Åhlström kuvaavat Lean-menetelmää ajattelutapana, jonka tavoitteena on virtaustehokas toiminta. Virtaustehokkuudella tarkoitetaan sitä osuutta kokonaisajasta, joka tuottaa arvoa asiakkaalle suhteessa odotus- ja hukka-aikaan. (Modig & Åhlström 2013.)

2.2 5S-menetelmä

5S-menetelmä on Lean-ajattelun keskeinen työkalu, jonka tavoitteena on luoda selkeä, järjestelmällinen ja tehokas työympäristö. Menetelmä on saanut alkunsa Japanissa ja se muodostuu viidestä japaninkielisestä vaiheesta: Seiri, Seiton, Seiso, Seiketsu ja Shitsuke (kuva 1). Näiden vaiheiden avulla työympäristöä kehitetään systemaattisesti siten, että turha poistetaan, tarvittavat asiat järjestetään loogisesti ja toimintatavat yhdenmukaistetaan (Osada 1991.)



Kuva 1. 5S-menetelmä. (Jääskeläinen 2020).

Ensimmäinen vaihe, Seiri (lajittelu), tarkoittaa tarpeettomien tavaroiden tunnistamista ja poistamista työpisteestä. Tavoitteena on säilyttää vain sellaiset

välineet ja materiaalit, joita työssä todella tarvitaan. Tämä vähentää häiriöitä, vapauttaa tilaa ja helpottaa työskentelyä. (Osada 1991.)

Toinen vaihe, Seiton (järjestäminen), keskittyy jäljelle jääneiden tavaroiden sijoitteluun siten, että ne ovat helposti saatavilla ja palautettavissa omille paikoilleen. Jokaiselle työkalulle määritellään oma selkeä paikka, mikä vähentää etsimiseen kuluva aikaa ja parantaa työn sujuvuutta. (Osada 1991.)

Kolmas vaihe, Seiso (siivous), tarkoittaa työympäristön säännöllistä puhdistamista ja kunnossapitoa. Siivouksen avulla voidaan havaita poikkeamia, kuten kulumista tai vikoja, jo varhaisessa vaiheessa. Osadan (1991) mukaan siivous ei ole vain puhtaanapitoa, vaan myös työympäristön tarkkailua ja ennakoivaa ylläpitoa. (Osada 1991.)

Neljäs vaihe, Seiketsu (standardointi), pyrkii vakiinnuttamaan aiempien vaiheiden tulokset. Tämä toteutetaan esimerkiksi visuaalisilla merkinnöillä, ohjeilla ja yhtenäisillä toimintatavoilla, jotta järjestys ja siisteys säilyvät myös pitkällä aikavälillä. (Osada 1991.)

Viides ja viimeinen vaihe, Shitsuke (ylläpito ja itsekurin kehittäminen), korostaa jatkuvaa sitoutumista 5S-toimintamalliin. Menetelmän toimivuus edellyttää, että sovitusta käytännöistä pidetään kiinni ja että työyhteisö sitoutuu jatkuvaan parantamiseen. Osadan mukaan juuri tämä vaihe erottaa hetkellisen siivousprojektin pitkäjänteisestä toimintakulttuurin muutoksesta. (Osada 1991.)

5S ei ainoastaan paranna työpisteiden siisteyttä, vaan sillä on merkittäviä vaikutuksia myös tuottavuuteen ja turvallisuuteen. Selkeä ja järjestelmällinen työympäristö tukee tehokkuutta ja vähentää virheiden määrää, kun työn poikkeamat ja häiriöt tehdään helposti havaittaviksi (Liker 2004). Liker korostaa, että visuaalinen hallinta ja standardoidut työmenetelmät ovat keskeisiä Toyota-tuotantofilosofiassa, sillä ne auttavat työntekijöitä ymmärtämään prosessin kulun, havaitsemaan ongelmat ajoissa ja oppimaan jatkuvasti työssään. Lisäksi 5S toimii usein porttina syvällisempään Lean-ajattelun omaksumiseen, sillä se antaa näkyviä ja

nopeita tuloksia, jotka motivoivat yrityksiä jatkamaan sisäistä kehitystyötä. (Osada 1991.)

2.3 Jatkuva parantaminen (Kaizen)

Kaizen on japanilainen termi, joka tarkoittaa *jatkuvaa parantamista* ja perustuu ajatukseen, että pienet, jatkuvasti tehtävät parannukset voivat johtaa merkittäviin parannuksiin organisaation prosesseissa, tuotteissa tai palveluissa pitkällä aikavälillä. Kaizen korostaa sitä, että parannukset eivät ole kertaluonteisia projekteja vaan osa päivittäistä toimintaa, jossa kaikki organisaation jäsenet voivat osallistua prosessin kehittämiseen. (Hargrave 2025.)

Kaizen-filosofia sisältää usein periaatteita, kuten työntekijöiden osallistaminen, prosessien tarkka havainnointi, hukan tunnistaminen ja poistaminen sekä jatkuvan oppimisen kulttuurin edistäminen. Tämän ajattelutavan mukaan jokainen työntekijä voi ehdottaa parannuksia ja osallistua niiden toteuttamiseen, mikä lisää sitoutumista ja työn tehokkuutta. (Hargrave 2025.)

Lean-ajattelun yhteydessä Kaizen nähdään keskeisenä osana Lean-perusteita, koska Lean menetelmän tavoitteena on jatkuva virtaus ja hukan poisto. Liker (2004) kuvaa Lean-filosofiaa kokonaisvaltaisena johtamisjärjestelmänä, jonka yksi peruspilari on jatkuvan parantamisen kulttuurin rakentaminen. Tällöin Kaizen ei ole vain tekninen työkalu, vaan osa organisaation tapaa toimia, jossa prosessit arvioidaan, parannetaan ja standardoidaan järjestelmällisesti. (Liker, 2004.)

Kaizenin käyttöönotto organisaatiossa voi johtaa parempaan tehokkuuteen, laadun paranemiseen ja henkilöstön sitoutumiseen, koska se kannustaa jatkuvaan kehittämiseen ja ongelmien ratkomiseen jo ennen kuin ne kasvavat suuriksi.

2.4 Hukan tunnistaminen ja poistaminen

Lean-ajattelun keskeinen tavoite on hukan (jap. *muda*) tunnistaminen ja systemaattinen poistaminen kaikista työ- ja tuotantoprosesseista. Toyotan tuotantojärjestelmässä hukalla tarkoitetaan kaikkea toimintaa, joka ei tuota arvoa asiakkaalle, mutta kuluttaa aikaa, resursseja tai lisää monimutkaisuutta (Liker, 2004). Liker esittelee seitsemän perinteistä hukan muotoa: ylituotanto, odottaminen, kuljettaminen, yliprosesointi, varastot, tarpeeton liike sekä virheet ja uudelleen-työ. Näiden hukkien tunnistaminen nähdään edellytyksenä jatkuvalla parantamiselle ja toiminnan kehittämiseksi. (Liker, 2004.)

Lean menetelmän historiallisessa kehityksessä hukan poistaminen nousi keskeiseen asemaan Toyotan pyrkiessä kehittämään tehokasta tuotantoa rajallisilla resursseilla. Toisin kuin länsimaisessa massatuotannossa, jossa painopiste oli usein tuotantomäärien kasvattamisessa, Toyotan lähestymistavassa keskityttiin tuotannon sujuvaan virtaukseen ja asiakkaalle tuotettavaan arvoon. Tämä ajattelutapa loi perustan Lean-filosofialle, jossa jokainen prosessin vaihe arvioidaan sen tuottaman arvon perusteella. (Marpaung 2025.)

Modig & Åhlström laajentavat hukan tarkastelua esittelemällä virtaustehokkuuden käsitteen. Heidän mukaansa hukka ei ole ainoastaan yksittäisiä tehottomia työvaiheita, vaan erityisesti asiakkaan näkökulmasta syntyvää odotus- ja läpimenoaikaa. Virtaustehokkuus korostaa sitä, kuinka suuri osa kokonaisajasta todella tuottaa arvoa, ja tuo esiin sen, että paikallinen resurssitehokkuus voi jopa lisätä kokonaisprosessin hukkaa. Näin ollen hukan poistaminen edellyttää koko

järjestelmän tarkastelua, ei vain yksittäisten työpisteiden optimointia (Modig & Åhlström 2013.)

3 Nykyinen robottisolu ja kehityskohteet

3.1 Robottisolun rakenne

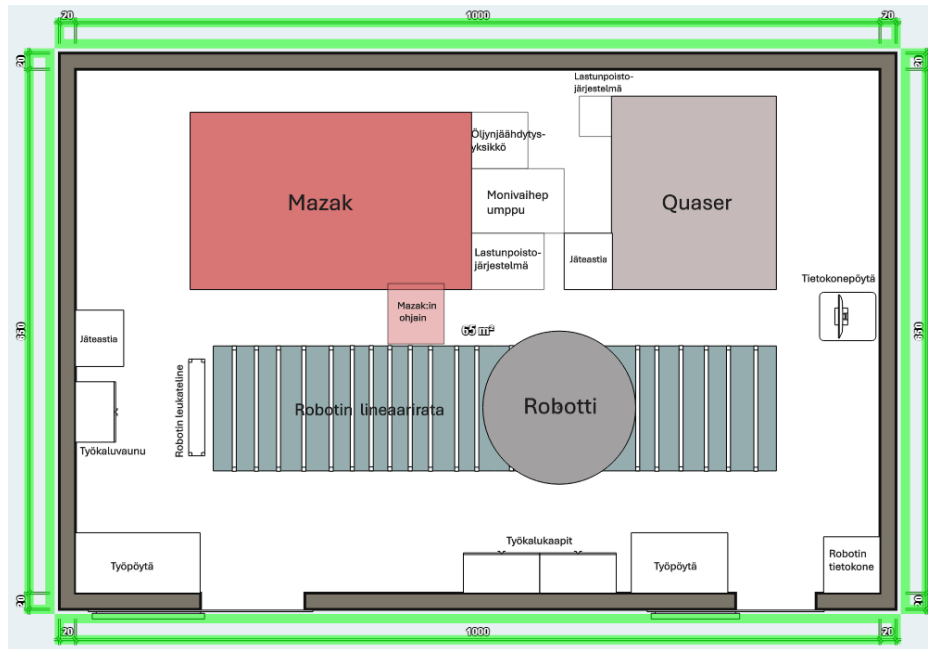
Robottisolu sijaitsee Metropolian Ammattikorkeakoulun Myyrmäen kampuksen konelaboratoriossa. Työtä aloitettaessa kartoitettiin robottisolun nykytilanne ja tilankäyttö. Solussa on rajallisesti tilaa, mikä rajoittaa laajempien muutosten toteuttamista. Kokonaisuudessaan robottisolu kattaa noin 65 m² alueen. Se koostuu kolmesta suuremmasta laitteesta sekä työkalujen ja muiden tarvikkeiden varastointiin tarkoitetuista hyllyistä.

Robottisoluun on juuri ennen vuoden 2025 kesälomalle siirtymistä hankittu uusi koneistuskeskus, joka vie huomattavasti enemmän tilaa kuin sen korvannut edeltäjä. Koneistuskeskuksen mukana tuli myös paljon työkaluja mm. poria, sorvintyökaluja ja jyrsimiä. Näille työkaluille oli tarve määrittää selkeät ja toimivat paikat Lean-periaatteiden mukaisesti robottisolusta.

Robottisolussa on kaksi koneistuskeskusta: uusi Mazak sekä vanhempi Quaser. Lisäksi soluun kuuluu teollisuusrobotti, joka vie merkittävän osan käytettävissä olevasta tilasta lineaariradallaan. Robotin radan sijoittuminen keskelle solua vaikeuttaa liikkumista ja rajoittaa tilankäyttöä. Rata on huoneen keskellä poikittain ja se on pinta-alaltaan 700 cm x 157 cm.

Robottisolun rakenne (Kuvat 2 ja 3) on suunniteltu tukemaan opetuskäyttöä, jossa robotti toimii yhteistyössä koneistuskeskusten kanssa. Siksi robotin on sijaittava riittävän lähellä kumpaakin laitetta, jotta se voi esimerkiksi siirtää työkappaleita koneistettavaksi. Solun layoutin tulee mahdollistaa sujuva materiaalivirta ja turvallinen työskentely myös silloin, kun useampi opiskelija työskentelee samassa tilassa. Lisäksi laitteiden sijoittelussa on huomioitu robottikäden ulottuvuus, liikeradat sekä se, että koneiden ovet ja huoltoalueet pysyvät

esteettöminä. Opetustilanteissa robottisolun selkeä rakenne tukee opiskelijoiden mahdollisuuksia harjoitella teollisia työvaiheita järjestelmällisesti ja turvallisesti.



Kuva 2. Robottisolun layout, alkuperäinen tilanne.



Kuva 3. Robottisolu, alkuperäinen tilanne.

3.2 Kehityskohteiden tunnistaminen

Tässä työssä Lean-ajattelua tarkastellaan oppimisympäristön näkökulmasta siten, että opiskelija nähdään asiakkaana ja oppiminen tuotteena. Tällainen tarkastelutapa auttaa konkretisoimaan Lean-ajattelun tavoitteita ja soveltamaan niitä käytännönläheisesti opetuksen ja oppimisympäristön kehittämiseen. Kun oppimisympäristö on selkeä, järjestelmällinen ja tukee sujuvaa työskentelyä, voidaan opiskelijoiden käytettävissä oleva aika kohdistaa tehokkaammin itse oppimiseen eikä esimerkiksi välineiden etsimiseen tai epäselviin toimintatapoihin. Lean tarjoaa näin ollen toimivan viitekehyksen oppimisympäristön jatkuvan parantamiseen ja tukee tehokasta, turvallista ja tarkoituksenmukaista toimintaa. Kehityskohteiden tunnistaminen on olennainen vaihe Lean-periaatteiden soveltamisessa, sillä se luo pohjan jatkuvalle parantamiselle ja prosessien optimoinnille. Kehityskohteiden tunnistus perustui nykytilan havainnointiin,

työskentelytapojen analysointiin sekä 5S- ja hukanpoistoperiaatteiden soveltamiseen robottisolun ympäristössä. Kehityskohteita tarkasteltaessa huomioitiin ensisijaisesti, mitkä ratkaisut olisivat optimaalisimpia nimenomaan oppimisen ja opetusikäytön näkökulmasta.

Robottisolun nykytilaa analysoitiin havainnoimalla tilankäyttöä, työkalujen sijoittelua sekä laitteiden saavutettavuutta käytännön työssä. Lisäksi keskusteltiin opettajien ja opiskelijoiden kanssa robottisolun käytön sujuvuudesta, mikä auttoi tunnistamaan arjen haasteita. Tarkastelun tavoitteena oli löytää kehityskohteita, joiden avulla voidaan parantaa työympäristön järjestystä, tehokkuutta ja turvallisuutta Lean- ja 5S-periaatteiden mukaisesti.

Analyysin perusteella havaittiin, että erityisesti uusien ja vanhojen työkalujen sijoittelussa, tilankäytön suunnittelussa sekä laitteiden tukijärjestelmissä on parantamisen varaa. Kehitystoimien avulla pyritään luomaan selkeämpi, turvallisempi ja visuaalisesti hallittavampi työympäristö, joka tukee sekä opetusta että käytännön työskentelyä. Kehityskohteiden tunnistaminen muodostaa perustan seuraavalle vaiheelle, jossa ratkaisuja voidaan mallintaa ja testata 3D-suunnittelun ja simuloinnin avulla. Näin varmistetaan, että muutokset ovat toimivia ja tukevat robottisolun kokonaisvaltaista kehittämistä ennen niiden käytännön toteutusta.

Taulukossa 1 on koottu robottisolussa tunnistetut keskeisimmät kehityskohteet, niihin liittyvät nykyiset haasteet sekä ehdotetut parannustoimenpiteet ja niiden odotetut hyödyt. Kehityskohteet tunnistettiin havainnoimalla päivittäistä työskentelyä solussa sekä arvioimalla työpisteen toimivuutta Lean- ja 5S-periaatteiden näkökulmasta. Taulukko havainnollistaa, miten yksittäiset ongelmat, kuten työkalujen epäselvä sijoittelu, tarpeettoman tavaran kertyminen ja epäkäytännölliset apuratkaisut vaikuttavat työn sujuvuuteen, turvallisuuteen ja tehokkuuteen.

Taulukko 1. Kehityskohteiden esittely.

Kehityskohde	Nykyinen haaste	Parannusehdotus	Odotettu hyöty
Työkalujen ja materiaalien sijoittelu	Uusien työkalujen lisääntyminen on aiheuttanut epäjärjestyttä kaapeissa ja työpisteissä.	Järjestetään työkalut ja materiaalit uudelleen 5S-periaatteiden mukaisesti ja merkitään niille pysyvät paikat.	Parantaa työkalujen löydettävyyttä ja vähentää etsimiseen kuluvaa aikaa.
Tarpeettoman tavaran poistaminen ja standardointi	Työpisteissä on vanhoja ja tarpeettomia välineitä, jotka vievät tilaa ja vaikeuttavat järjestyksen ylläpitoa.	Poistetaan turhat tavarat ja yhtenäistetään kaappien ja työpisteiden järjestelyt.	Lisää työtilaa ja helpottaa siisteyden ylläpitämistä.
Paineilmaletkun sijoittelu	Uudelle paineilmaletkulle tulee löytää paikka koneistuskeskuksen lähellä siten, että se on helposti käytettävissä mutta ei estä liikkumista tai työskentelyä.	Sijoitetaan letku uudelle paikalle, jossa se on helposti saatavilla mutta ei estä liikkumista.	Parantaa työturvallisuutta ja käytön sujuvuutta.
Lastunkuljetinjärjestelmä	Nykyinen lastujäteastia on liian korkea eikä mahdu uuden koneistuskeskuksen lastunpoistojärjestelmän alle.	Hankitaan lastunpoistojärjestelmän alle mahduttava astia.	Tehostaa lastujen poistoa ja vähentää huoltotarvetta.

3.3 Suunnittelu- ja valmistusvälineet

Koulun konelaboratoriossa oli käytettävissä laaja valikoima suunnittelu- ja valmistusvälineitä. Vaikka robottisolun koneistuskeskuksia ja teollisuusrobotteja ei käytetty suoraan työn toteutuksessa, niiden mitat ja sijainnit otettiin huomioon suunnittelun lähtötietoina. Näin varmistettiin, että kehitetyt ratkaisut, kuten työkalujen sijoittelu, paineilmaletkun paikka ja lastunkuljetinjärjestelmän uudistus, soveltuvat käytännön käyttöön.

Suunnittelutyö toteutettiin pääasiassa 3D-suunnitteluohjelmistolla, jonka avulla mallinnettiin robottisolun layout, laitteiden mittasuhteet ja komponenttien paikat. Ohjelman avulla oli mahdollista arvioida eri vaihtoehtoja esimerkiksi työkalujen ja kaappien sijoittelulle ennen fyysistä toteutusta. 3D-suunnitteluohjelmisto toimi keskeisenä työkaluna koko projektin ajan, sillä se mahdollisti tarkan mittakaavan mukaisen suunnittelun ja auttoi havainnollistamaan kehitysehdotusten vaikutuksia visuaalisesti.

Fyysisiä osia ja merkintöjä valmistettiin koulun valmistuslaitteilla, joihin kuului mm. 3D-tulostimia, laserleikkureita ja tarratulostimia. Näiden avulla voitiin tehdä esimerkiksi työkalujen paikkamerkintöjä, opasteita ja pienimuotoisia prototyyppejä 5S-periaatteiden mukaisesti. Lisäksi käytössä oli levymetallityöstökoneita, joilla pystyttiin muokkaamaan ja sovittamaan metalliosia tarpeen mukaan.

Mittatarkkuuden varmistamiseksi käytettiin erilaisia mittausvälineitä, kuten rullamittaa ja työntömittaa. Näiden avulla tarkastettiin laitteiden ja kalusteiden sijoitusmitat sekä varmistettiin, että suunnitellut muutokset mahtuivat robottisolun todelliseen tilaan. Lisäksi työssä hyödynnettiin pienempiä käsityökaluja ja kokoonpanovälineitä, jotka tukivat käytännön toteutusta ja yksityiskohtien viimeistelyä.

Työssä käytetyt työkalut:

- Suunnitteluohjelmisto: SolidWorks 2025
- Valmistuslaitteet: 3D-tulostimet, tarraleikkuri, tarratulostimet
- Metallintyöstölaitteet: Laserleikkauskone, levyn taivutuskone
- Mittausvälineet: rullamitta, työntömitta, mikrometri, suorakulma
- Muut työkalut: käsityökalut, merkintävälineet ja kokoonpanovälineet.

Käytettävissä olleet työkalut mahdollistivat projektin toteuttamisen tehokkaasti ja kustannustehokkaasti koulun omissa tiloissa. Työssä yhdistettiin digitaalinen suunnittelu, käytännön testaus ja valmistusmenetelmät, mikä tuki projektin opetuksellisia tavoitteita ja loi samalla konkreettisia parannuksia robottisolun toimintaan.

3.4 Työn eteneminen ja ajallinen toteutus

Työn toteutus eteni vaiheittain ja suunnitelmallisesti siten, että jokainen vaihe suoritettiin loppuun ennen seuraavaan siirtymistä. Tämä mahdollisti työn etenemisen hallitusti ja auttoi pitämään kokonaisuuden selkeänä. Aluksi keskityttiin robottisolun nykytilan kartoittamiseen ja mittauksiin, joiden avulla varmistettiin, että suunnitellut ratkaisut soveltuvat olemassa olevaan tilaan ja laitteiden sijoitteluun. Mittaustyö ja havaintojen kirjaaminen olivat tärkeitä, sillä robottisolu on rajallinen tila, jossa suurempia rakenteellisia muutoksia ei voitu tehdä.

Koska koneistuskeskusten ja teollisuusrobotin sijainti oli ennalta määrätty eikä niitä voitu siirtää, työ painottui pienempien kalusteiden ja tarvikkeiden uudelleenjärjestelyyn. Siirrettäviä kohteita olivat muun muassa apupöytä, robotin leukateline, roska-astiat sekä erilaiset pienvälineet ja varusteet. Työ sisälsi myös uusien työkalujen ja tarvikkeiden hankintaa, jotta robottisolu voitiin varustaa vastaamaan paremmin opetuskäyttöä ja koneistuskeskuksen uusia tarpeita. Muutokset toteutettiin 5S-periaatteiden mukaisesti, tavoitteena parantaa työpaikkojen selkeyttä, turvallisuutta ja siisteyttä. Työn aikana apuna toimi

ulkopuolinen työntekijä, joka ohjasi ja tuki useampaa opiskelijaa vuoden 2025 kesän aikana tehtävissä opinnäytetöissä. Hänen kokemuksensa ja käytännön neuvonsa auttoivat työn etenemisessä sekä ratkaisujen kehittämisessä.

Toteutusvaihe kesti yhteensä noin kolme kuukautta, jonka aikana työtä tehtiin useammassa jaksossa. Työaikaa kului erityisesti mittauksiin, tilojen järjestelyyn ja eri vaihtoehtojen testaamiseen käytännössä. Lisäksi toteutusvaiheen aikana käytiin säännöllisesti läpi ohjaajan kanssa työn etenemistä ja varmistettiin, että muutokset tukivat Lean- ja 5S-periaatteiden mukaisia tavoitteita.

Raportin kirjoittamiseen varattiin projektin pisin ajanjakso, sillä se sisälsi työn eri vaiheiden huolellisen dokumentoinnin, toteutettujen muutosten kuvaamisen, tulosten analysoinnin sekä teoriaosuuden laatimisen. Raportointivaiheessa käytännön toteutuksesta saadut havainnot yhdistettiin Lean- ja 5S-periaatteiden mukaiseen teoreettiseen viitekehykseen, mikä vaati aikaa, tarkkuutta ja kokonaisuuden jatkuvaa jäsentämistä. Työn aikana kerättyjen mittausten, kehitysehdotusten ja toteutettujen ratkaisujen esittäminen selkeässä muodossa oli tärkeää, jotta opinnäytetyön tulokset ovat hyödynnettävissä myös tulevaisuudessa robottisolun kehittämisessä.

4 Ratkaisujen suunnittelu ja toteutus

Tässä opinnäytetyössä hukan tunnistamista hyödynnettiin tarkastelemalla robottisolun toimintaa kokonaisuutena työn sujuvuuden näkökulmasta. Modigin ja Åhlströmin (2013) virtaustehokkuuden ajattelun mukaisesti huomio kiinnitettiin erityisesti työkalujen etsimiseen kuluvaan aikaan, turhiin liikkeisiin solussa sekä epäselvään työympäristöön, jotka eivät tuota arvoa käyttäjälle. Näiden havaintojen pohjalta toteutettiin konkreettisia kehitystoimenpiteitä, kuten työkalujen selkeämpi sijoittelu, 5S-menetelmän käyttöönotto ja solun tilankäytön optimointi. Näin Lean-ajattelu toimi käytännöllisenä viitekehyksenä robottisolun toiminnan kehittämisessä ja oppimisympäristön sujuvoittamisessa.

4.1 Apuvälineiden 3D-suunnittelu ja -tulostus

3D-suunnittelu ja kappaleiden tulostus olivat keskeisessä roolissa ratkaisujen kehittämisessä ja toteutuksessa. Koulun konelaboratoriossa käytettävissä oli neljä 3D-tulostinta, jotka mahdollistivat suunniteltujen osien nopean ja tarkan valmistuksen. Tulostusta varten kappaleet suunniteltiin 3D-suunnitteluohjelmistolla, joka tarjosi monipuoliset työkalut mittojen tarkkaan sovittamiseen ja muokattavien mallien luomiseen.

3D-suunnitteluohjelmisto osoittautui erityisen hyödylliseksi, koska sen avulla voitiin suunnitella parametrinen mallien avulla osia, joita voitiin helposti muuttaa ja hienosäätää suunnittelun edetessä. 3D-mallit mahdollistivat myös rakenteiden ja sijoitteluratkaisujen havainnollistamisen ennen varsinaista tulostusta, mikä vähensi virheitä ja nopeutti päätöksentekoa.

Tulostusmateriaalina käytettiin PLA-muovia, joka on helposti tulostettava ja riittävän luja materiaali suunniteltujen kevyiden komponenttien, kuten telineiden, pidikkeiden ja merkintäratkaisujen, valmistukseen. PLA soveltui hyvin myös opetuskäyttöön, sillä se on biohajoava ja ympäristöystävällinen vaihtoehto. Tulostusasetukset pidettiin yleisesti kevyen rakenteen tarpeisiin sopivina, kerrospaksuus noin 0,2 mm ja täyttöaste 20–30 %, jotta valmistus oli nopeaa mutta kappaleet riittävän tukevia käytännön sovelluksiin.

Lean-ajattelun periaatteet ohjasivat vahvasti suunnittelua ja valmistusta. Suunnittelussa pyrittiin vähentämään materiaalin kulutusta ja minimoimaan tulostuksen hukkaa esimerkiksi optimoimalla kappaleiden muoto ja tulostusasento sekä hyödyntämällä mahdollisimman vähän tukimateriaalia. Myös tulostettujen osien monikäyttöisyyttä ja helppoa kiinnitettävyyttä korostettiin, jotta ne tukisivat pitkäaikaista käyttöä ja vähentäisivät tarpeetonta uudelleentulostusta.

Poraistukka-avaimet

Ensimmäinen toteutus koski poraistukka-avaimien säilytystä (kuva 4 ja 5). Aiemmin avaimet veivät huomattavan määrän tilaa työkalukärryn sisällä, mikä vaikeutti muiden työkalujen sijoittelua. Ratkaisuksi suunniteltiin ja tulostettiin 3D-tulostetut kotelot, jotka kiinnitettiin kärryn sivulle. Tämä vapautti tilaa laatikoista ja teki avaimista helposti saatavilla olevia ilman, että ne olivat tiellä.



Kuva 4. Poraistukka-avainten alkuperäinen asettelu työkaluhyllyssä.



Kuva 5. Ratkaisu.

Paineilmaletku

Toinen toteutus liittyi paineilmaletkun sijoittamiseen koneistuskeskuksen läheisyyteen. Letkun tuli olla helposti käytettävissä, mutta se ei saanut häiritä muita toimintoja tai jäädä oven väliin. Tätä varten suunniteltiin ja tulostettiin paineilmapistoolin pidike, joka kiinnitettiin koneistuskeskuksen seinään (Kuva 6). Pidike mahdollistaa letkun turvallisen säilytyksen oikeassa asennossa ja helpottaa sen käyttöä. Lisäksi paineilmaletkun rulla kiinnitettiin koneistuskeskuksen katolle (kuva 7), mikä vähentää lattialla kulkevan letkun aiheuttamaa kompastumisriskiä ja pitää työympäristön siistimpänä.



Kuva 6. Ratkaisu paineilmapistoolin sijoitukselle.



Kuva 7. Paineilmaletkun rullan sijoitus.

Holkit

Kolmas toteutus koski holkkien säilytysratkaisua, joka suunniteltiin parantamaan työkalulaatikon järjestystä ja helpottamaan oikeiden holkkien löytämistä. Aiemmin holkit olivat ilman selkeää sijoituspaikkaa, mikä hidasti työskentelyä ja vaikeutti kokonaisuuden hallintaa. Ratkaisuksi suunniteltiin ja 3D-tulostettiin kaksi neliskulmaista astiaa (kuva 8), joissa jokaiselle holkille oli oma, koon mukaan merkitty paikkansa. Astioista toinen oli tarkoitettu suuremmille holkeille ja toinen pienemmille, mikä teki kokonaisuudesta selkeän ja helposti hallittavan.



Kuva 8. Punaiset astiat: holkkien pidikeratkaisut.

Tulostusvaiheessa kuitenkin ensimmäinen astia osoittautui liian korkeaksi, ja sen numerointi oli virheellinen (Kuva 9). Tästä huolimatta kappaletta ei hylätty, vaan sille löydettiin uusi käyttötarkoitus laboratorion muista tarpeista, jolloin vältettiin materiaalin ja työn haaskausta. Tämä ratkaisu kuvastaa Lean-ajattelun mukaista toimintatapaa – virheistä opittiin, mutta samalla pyrittiin minimoimaan hukka ja maksimoimaan resurssien hyödyntäminen.



Kuva 9. Virheellinen astia.

Virheellisestä tulostuksesta saatiin kuitenkin myös arvokkaita oppeja jatkosuunnittelua varten. Ensinnäkin huomattiin, että holkkien säilyttämiseen ei tarvita niin korkeita astioita kuin alkuperäisessä versiossa, mikä mahdollisti materiaalinkulutuksen vähentämisen tulevissa tulosteissa. Lisäksi opittiin, että reikien läpivienti koko pidikkeen läpi olisi käytännöllinen ratkaisu, sillä se sallisi mahdollisten öljyjäämien valua pois holkkien alta, eikä neste jäisi kerääntymään astian pohjalle.

Näiden havaintojen pohjalta suunnittelua kehitettiin niin, että tulevat versiot ovat kevyempiä, toimivampia ja taloudellisempia, mikä vastaa suoraan Lean-ajattelun periaatteita: jatkuvaa parantamista, hukan vähentämistä ja resurssien tehokasta hyödyntämistä. Holkkien pidikeratkaisu paransi merkittävästi työkalujen saavutettavuutta ja standardisoi työpisteen järjestystä. Yhdessä muiden toteutusten kanssa se tuki robottisolun kehittämistä kohti selkeämpää, turvallisempaa ja tehokkaampaa työympäristöä.

Sorvityökalut

Neljäs toteutus liittyi koneistuskeskuksen suurimpien ja painavimpien sorvityökalujen säilytykseen. Nämä työkalut olivat selvästi raskaampia kuin muut

kaapissa olevat työkalut, minkä vuoksi niiden sijoittaminen ohutlevyrakenteeseen telineeseen ei olisi ollut rakenteellisesti kestäväää tai turvallista. Ratkaisuksi suunniteltiin ja valmistettiin kolme erillistä 3D-tulostettua pidikettä (kuva 10), joihin kuhunkin mahtui yksi suurempi työkalu.



Kuva 10. Sorvityökalu pidikkeessä.

Pidikkeet mallinnettiin myös 3D-suunnitteluohjelmalla ja niiden muoto optimoitiin tukemaan työkalua vakaasti ja turvallisesti. Tulostusmateriaalina käytettiin PLA-muovia, jota pyrittiin hyödyntämään mahdollisimman tehokkaasti Lean-periaatteiden mukaisesti, materiaalihukkaa minimoiden ja tulostusaikaa säästäen. Pidikkeiden muotoilussa huomioitiin myös käytännöllisyys: työkalut oli helppo nostaa ja palauttaa paikoilleen ilman ylimääräistä voimaa tai tarvetta käyttää kahta kättä.

Valmiit pidikkeet kiinnitettiin hyllyyn yksinkertaisella ja kustannustehokkaalla tavalla kaksipuolisella teipillä. Tämä ratkaisu oli helppo toteuttaa ilman erillisiä kiinnitysreikiä tai työkaluja, mutta piti pidikkeet silti tukevasti paikoillaan käytön

aikana. Pidikkeet sijoitettiin ohutlevyrakenteen viereen kaapin hyllykköön, jossa ne olivat hyvin käsillä mutta eivät häirinneet muuta työskentelyä.

Toteutus paransi työkalujen järjestystä, vähensi turhaa liikkumista ja loi tilasta selkeämmän ja turvallisemman. Samalla se osoitti, että 3D-tulostuksen ja yksinkertaisten kiinnitysratkaisujen avulla voidaan saavuttaa käytännöllisiä ja edullisia parannuksia tuotantoympäristöön ilman suuria investointeja. Näiden 3D-tulostettujen ratkaisujen avulla pystyttiin parantamaan robottisolun työkalujen hallintaa, turvallisuutta ja tilankäyttöä, samalla noudattaen Lean-ajattelun ja 5S-periaatteiden mukaista jatkuvan parantamisen filosofiaa.

4.2 Ohutlevyosien suunnittelu ja valmistus

Tässä osuudessa tarkoituksena oli löytää uuden koneistuskeskuksen sorvityökaluille sopivat ja järjestelmälliset säilytyspaikat kaapin sisältä. Kuvassa 11 näkyy työkalujen alkuperäinen järjestys kaapissa. Työkalut olivat vielä laatikoiden

sisällä ja järjestys oli epäsiisti. Työkalujen sijoittaminen järkevästi oli tärkeää, jotta ne löytyisivät nopeasti ja pysyisivät hyvässä järjestyksessä.

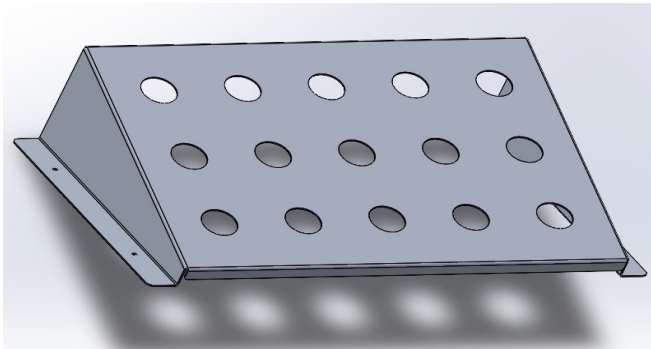


Kuva 11. Työkalukaapin alkuperäinen tilanne.

Ratkaisua pohdittaessa arvioitiin useita vaihtoehtoja, kuten astioiden 3D-tulostusta tai erilaisten telineiden ostamista valmiina. Lopulta päädyttiin kuitenkin ohutlevystä valmistettuun ratkaisuun, joka osoittautui selvästi edullisimmaksi ja kestävimmäksi vaihtoehdoksi. Levytyö voitiin toteuttaa koulun laitteilla, ja suunnittelu tehtiin 3D-suunnitteluohjelmalla käyttäen sheet metal -toimintoja, joiden avulla osien taivutukset ja mitoitus saatiin määritettyä tarkasti.

Kuvassa 12 näkyy 3D-suunnitteluohjelmalla suunniteltu ohutlevyrakenne, johon työkalujen paikat on porattu työkalujen hännän koon mukaan. Levy on taivutettu etu- ja takareunasta, jotta se ei taivu niin helposti työkalujen painosta. Lisäksi levy suunniteltiin kaltevaksi, jotta työkalut olisi helpompi nostaa paikoiltaan ilman tarvetta tarttua niihin hankalasta kulmasta. Tämä kaltevuus toi kuitenkin

omat haasteensa suunnitteluun, sillä työkalujen tuli mahtua kaapin sisälle osu-
matta ylemmään hyllyyn, ja samalla kädelle piti jäädä riittävästi tilaa työkalujen
nostamiseen. Näiden rajoitteiden vuoksi levyjen korkeus ja kulma optimoitiin
useiden mittausten ja kokeilujen avulla. Työkalujen yhtenäinen hännän koko
mahdollistaa niiden järjestämisen useilla eri tavoilla, mikä tekee ratkaisusta
joustavan ja helposti muokattavan myös tulevia tarpeita varten. Levyyn suunni-
teltiin riittävästi paikkoja uusille työkaluille, jotta järjestelmää ei tarvitse muuttaa
heti uusien työkalujen käyttöönoton yhteydessä.



Kuva 12. Suunniteltu ohutlevyrakenne.

Ohutlevyosien valmistus toteutettiin koulun laboratoriossa sijaitsevilla koneilla. Levyn leikkaus tehtiin laserleikkurilla, joka mahdollisti tarkat ja siistit leikkausjäl-
jet työkalujen paikkojen määrittämiseksi. Leikattujen kappaleiden taivutukset
suoritettiin taivutuslaitteilla, joiden avulla levyihin saatiin tarvittavat kulmat ja ra-
kenteellinen jäykkyys. Huolellinen leikkaus ja taivutus olivat tärkeitä, jotta työka-
lulevyt istuivat tarkasti kaappiin ja kestivät päivittäistä käyttöä ilman muodon-
muutoksia.

Kuvassa 13 näkyy toteutettu ratkaisu, jossa suunnitellut levyt on asennettu kaa-
pin hyllyille ja työkalut sijoitettu niille. Työkalujen aiempi säilytys oli epäjärjestel-
mällinen ja vei paljon tilaa, mutta uuden rakenteen ansiosta työkalut ovat nyt
helposti tunnistettavissa ja käyttövalmiina. Jokainen levy toimii omana kokonai-
suutenaan, johon mahtuu 15 työkalua, ja niitä valmistettiin yhteensä kolme

kappaletta. Järjestely paransi kaapin tilankäyttöä, selkeytti työskentelyä ja teki työkalujen hallinnasta systemaattisempaa.



Kuva 13. Työkalukaapin järjestely opinnäytetyön päätteeksi.

Kokonaisuudessaan valmistettiin kolme tällaista levyä, joihin kuhunkin mahtuu 15 työkalua. Näin saatiin aikaan selkeä ja toimiva järjestelmä, joka parantaa työkalujen säilytystä ja nopeuttaa työvaiheita. Lisäksi levyjen suunnittelussa otettiin huomioon Lean-ajattelun periaatteet, kuten tilankäytön optimointi ja hukan minimointi.

4.3 Työkalujen ja tavaroiden sijoittelu

Työkalujen ja tavaroiden sijoittelu robottisolussa toteutettiin 5S- ja Lean-periaatteiden mukaisesti. Tavoitteena oli luoda selkeä ja järjestelmällinen kokonaisuus, jossa jokaisella työkalulla ja tarvikkeella on oma, helposti tunnistettava paikkansa. Sijoittelun suunnittelussa huomioitiin työn sujuvuus, turvallisuus sekä se, että usein käytettävät työkalut olisivat helposti saatavilla ilman ylimääräistä liikumista.

Eriyistä huomiota kiinnitettiin työkalukaappien ja apupöytien sisältöjen optimointiin. Vanhoja ja tarpeettomia tarvikkeita poistettiin, ja tilalle järjestettiin vain päivittäisessä käytössä olevat työkalut. Työkalukaapit merkittiin selkeästi, ja kaappien sisäiset rakenteet suunniteltiin siten, että tavarat pysyvät omilla paikoillaan myös käytön aikana.

Yhtenä osana työkalujen sijoittelua toteutettiin kuvassa 14 näkyvä työkaluseinä, jonka tarkoituksena oli selkeyttää usein käytettävien mitta- ja käsityökalujen säilytystä robottisolun vieressä. Seinälle suunniteltiin jokaiselle työkalulle oma nimikoitu ja ääriviivoin merkitty paikkansa. Näin jokainen väline, kuten työntömitta, rullamitta, massavasara, kalvain ja istukka-avain, on helposti tunnistettavissa ja nopeasti saatavilla. Kun työkalut ovat näkyvillä ja niille on selkeät paikat, niiden etsimiseen ei kulu aikaa, ja puuttuvat työkalut huomataan heti.



Kuva 14. Työkaluseinä.

Ratkaisu tukee vahvasti 5S-menetelmän periaatteita, joiden tavoitteena on luoda siisti, selkeä ja toimiva työympäristö. 5S:ssä keskeistä on, että kaikki tarvittava on helposti löydettävissä ja tarpeeton poistettu, jolloin työ sujuu tehokkaammin ja häiriöt vähenevät. Visuaalisuus ja järjestelmällisyys auttavat havaitsemaan poikkeamat nopeasti ja tukevat työympäristön jatkuvaa kehittämistä

Ratkaisu noudattaa myös Lean-ajattelun ja jatkuvan parantamisen periaatteita. Työkalujen sijoittelua ja merkintöjä voidaan kehittää edelleen työn edetessä, jos havaitaan uusia parannuskohteita työn sujuvuuden tai ergonomian kannalta. Käytännössä työkaluseinä paransi työn tehokkuutta, vähensi työkalujen etsimiseen kuluvaa aikaa ja lisäsi työpisteen selkeyttä ja turvallisuutta. Epäselvä säilytys aiheutti tilanteita, joissa puuttuvia työkaluja ei havaittu heti. Visuaalisten paikkamerkintöjen ansiosta poikkeamat havaitaan välittömästi. Nämä hyödyt vastaavat suoraan Lean-ajattelun ja 5S-menetelmän keskeisiä tavoitteita, joissa pyritään tukemaan sujuvaa, virheetöntä ja hallittua työskentelyä.

Ennen toteutusta työkalujen säilytys oli epäselvää, mikä johti toistuvaan etsimiseen ja ylimääräiseen liikkumiseen robottisolussa. Tämä aiheutti Lean-ajattelun mukaista hukkaa erityisesti liikkeen ja etsimisen osalta. Työkaluseinän ja

selkeiden paikkamerkintöjen käyttöönoton jälkeen työkalut ovat välittömästi nähtävissä ja saatavilla, mikä vähentää merkittävästi etsimiseen kuluva-aikaa.

Toisena toteutuksena tehtiin robotin leukapöydän siirto, joka osoittautui tärkeäksi osaksi työtilan toimivuuden parantamista. Alkuperäisessä sijainnissaan leukapöytä sijaitsi suoraan uuden koneistuskeskuksen edessä, mikä hankaloitti liikumista ja työskentelyä robottilinjan takana. Tämä vaikutti myös koneen käyttöergonomiaan sekä turvallisuuteen, sillä kulkureitit olivat osittain ahtaat ja työalueen näkyvyys heikentynyt.

Leukapöytä päätettiin siirtää toisen seinän viereen (Kuva 15), paikkaan, jossa se ei ollut kulkureitillä tai työskentelyn esteenä, mutta kuitenkin tarpeeksi lähellä robottia sen tehokasta käyttöä varten. Sijoituspaikka valittiin huolellisesti siten, että se tukee robottisolun päivittäisiä toimintoja ja mahdollistaa tarvittaessa leukojen nopean vaihdon.



Kuva 15. Robotin leukateline.

Tämä muutos toteutettiin hyödyntäen Lean-ajattelun periaatteita, erityisesti 5S-menetelmää. Siirron myötä poistettiin turhaa liikkumista ja työpisteiden välistä häiriötä, mikä paransi työn sujuvuutta ja vähensi tarpeetonta hukkaa. Samalla työympäristön siisteys ja järjestys paranivat merkittävästi. Uusi sijoituspaikka mahdollistaa myös tulevaisuudessa helpon laajennettavuuden ja työtilan muokkaamisen ilman, että leukapöydän tarvitsee olla jatkuvasti tiellä. Kokonaisuutena tämä oli yksinkertainen, mutta erittäin tehokas kehitystoimenpide, joka paransi robottisolun käytettävyyttä ja tilankäyttöä huomattavasti.

Uusien työkalujen, kuten uuden koneistuskeskuksen mukana tulleiden sorvaus- ja jyrsintyökalujen, sijoittelu suunniteltiin siten, että ne löytyvät helposti ja loogisesti työvaiheiden mukaisessa järjestyksessä. Lisäksi robottisolussa hyödynnettiin 3D-tulostettuja ja ohutlevystä valmistettuja pidikkeitä, joiden avulla pienemmät osat, kuten istukka-avaimet ja holkit, saatiin järjestettyä ergonomisesti ja tilaa säästäen. Kokonaisuutena sijoittelun tavoitteena oli parantaa työpisteen käytettävyyttä, vähentää hukan määrää ja tukea jatkuvaa parantamista, jotta robottisolu pysyisi siistinä ja tehokkaana myös tulevaisuudessa.

4.4 Solun tilankäytön optimointi

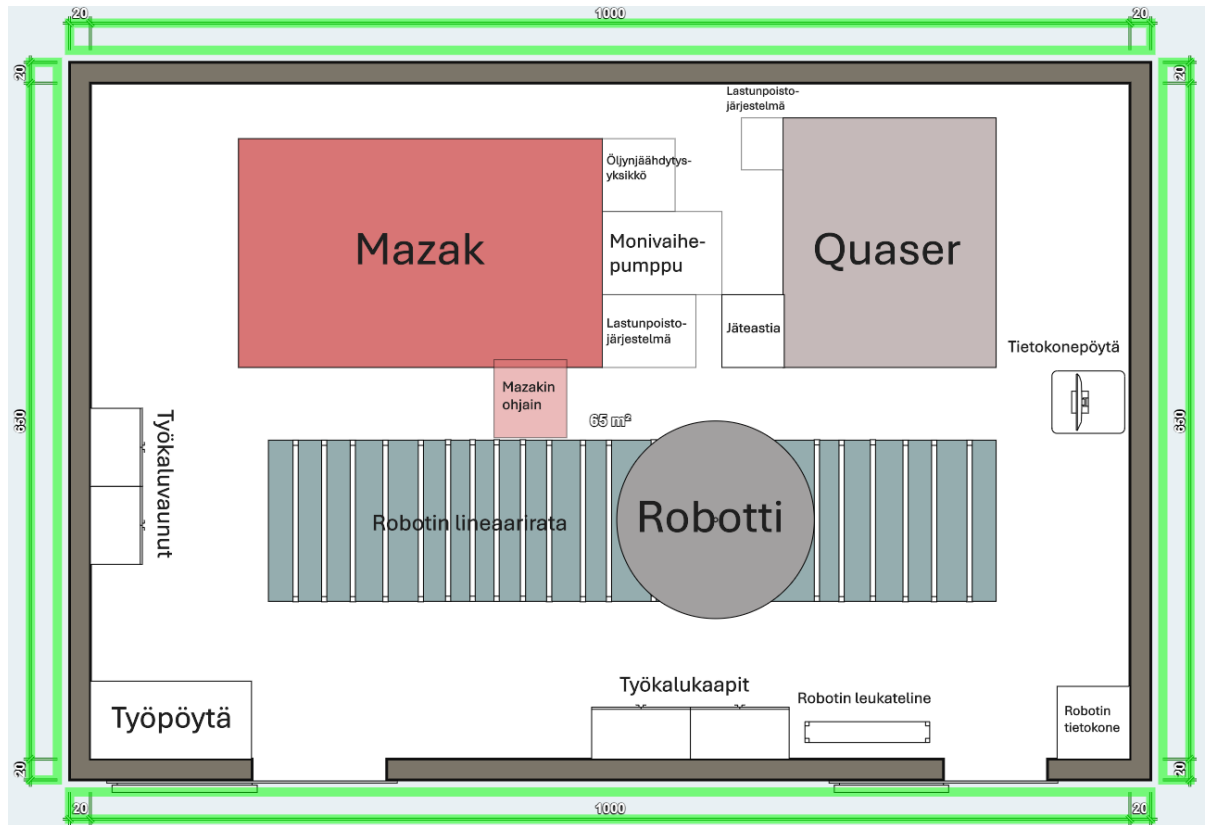
Solun tilankäytön suunnittelun tavoitteena oli parantaa työympäristön selkeyttä, turvallisuutta ja tehokkuutta poistamalla tarpeettomia tavaroita ja optimoimalla olemassa olevan tilan käyttöä. Työ pyrittiin toteuttamaan ilman suuria layout-muutoksia keskittyen pienempiin mutta käytännön kannalta merkittäviin parannuksiin.

Käytännön toteutuksessa poistettiin useita turhia tai huonosti sijoitettuja elementtejä. Roskajäteastia poistettiin kokonaan, sillä se vei arvokasta tilaa eikä palvellut selkeää käyttötarkoitusta. Tilalle hankittiin pienempi roskateline, joka soveltuu uuden koneistuskeskuksen lastunpoistojärjestelmän yhteyteen. Tämä ratkaisu vapautti lisää tilaa, paransi työpisteen siisteyttä ja helpotti jätteiden käsittelyä koneen läheisyydessä.

Lisäksi solusta poistettiin yksi ylimääräinen työpöytä, joka oli jäänyt ilman käytännön roolia. Sen tilalle siirrettiin robotin leukateline, joka aiemmin sijaitsi osittain kulkureitillä ja häytti liikkumista robottisolun alueella. Uusi sijainti teki työympäristöstä avaramman ja turvallisemman ja paransi robotin huoltoon liittyviä työvaiheita. Soluun tuotiin myös toinen työkaluvaunu, sillä työkaluille ja tarvikkeille tarvittiin lisää säilytystilaa. Tämä mahdollisti työvälineiden järjestämisen selkeämmin niiden käyttötarpeen mukaan ja vähensi työkalujen etsimiseen kuluva aikaa.

Kokonaisuudessaan nämä toimenpiteet toteutettiin Lean-ajattelun ja 5S-menetelmän periaatteiden mukaisesti. Erityisesti Seiri (lajittele) ja Seiton (järjestä) -vaiheet korostuivat, kun työpisteestä poistettiin kaikki tarpeeton ja jäljelle jääneet välineet järjestettiin tehokkaasti. Tavoitteena oli minimoida hukka, kuten tarpeeton liikkuminen, odottaminen ja tavaroiden etsiminen sekä luoda selkeä, standardoitu työympäristö.

Kuvassa 16 näkyy lopullinen robottisolun layout. Vaikka muutokset olivat suhteellisen pieniä, niiden vaikutus oli merkittävä. Solusta tuli siistimpi, tilavampi ja ergonomisempi, ja työskentely sujui sujuvammin ilman ylimääräisiä esteitä. Tämä työ kuvastaa hyvin Kaizen-ajattelun mukaista jatkuvaa parantamista, jossa pienilläkin kehitysaskeleilla saavutetaan pysyviä hyötyjä tuotantoympäristössä.



Kuva 16. Solun lopullinen layout.

4.5 5S:n käyttöönotto

5S-menetelmä oli tämän opinnäytetyön keskeisin työkalu ja ohjaava periaate koko kehitysprosessin ajan. Menetelmän tavoitteena oli luoda selkeä, järjestelmällinen ja tehokas työympäristö robottisoluun, jossa jokaisella tavarella ja työkalulla olisi oma paikkansa.

Työn alkuvaiheessa keskityttiin Seiri-vaiheeseen eli tarpeettomien tavaroiden poistamiseen. Solusta poistettiin esineitä, joilla ei ollut selvää käyttötarkoitusta, kuten ylimääräisiä työpöytiä ja roskasäiliöitä. Näin vapautettiin tilaa uusille ratkaisuille ja parannettiin työympäristön turvallisuutta ja järjestystä.

Seuraavaksi toteutettiin Seiton, eli tavaroiden ja työkalujen järjestäminen loogisesti. Työn aikana suunniteltiin ja toteutettiin erilaisia säilytysratkaisuja, kuten työkaluseinä ja ohutlevystä valmistetut työkalutelineet, joissa jokaiselle

välineelle oli oma merkitty paikkansa. Tämä vähensi hukkaa, helpotti työkalujen käyttöä ja nopeutti työnkulkuja.

Seiso-vaiheessa keskityttiin työpisteen puhtauteen ja ylläpidettävyyteen. Esimerkiksi 3D-tulostettujen holkkipidikkeiden suunnittelussa huomioitiin, että ne on helppo pitää puhtaina ja niissä on reiät öljyn poistumista varten. Tämä teki ratkaisuista käytännöllisiä ja pitkäikäisiä.

Lopuksi Seiketsu ja Shitsuke näkyivät toimintatapojen vakiinnuttamisena ja ylläpidon suunnitteluna. Uudet järjestelyt dokumentoitiin ja merkittiin selkeästi, jotta niitä voidaan noudattaa myös tulevaisuudessa. Lisäksi järjestystä ja siisteyttä pidetään yllä säännöllisellä tarkastuksella ja jatkuvalla parantamisella, mikä on 5S:n ja Lean-ajattelun ydin.

5 Tulokset ja johtopäätökset

5.1 Työn tulokset

Opinnäytetyön tuloksena robottisolun yleisilme ja toiminnallisuus kehittyivät huomattavasti. Työympäristöstä saatiin selkeämpi, turvallisempi ja tehokkaampi ilman suuria rakenteellisia muutoksia tai merkittäviä lisäkustannuksia. Työssä keskityttiin erityisesti tilankäytön optimointiin, työkalujen ja tarvikkeiden järjestämiseen sekä 5S-menetelmän mukaiseen jatkuvaan parantamiseen, jotka tukevat robottisolun käyttöä opetustarkoituksessa.

Keskeisimmät konkreettiset tulokset olivat uusien työkaluratkaisujen ja säilytysjärjestelmien kehittäminen sekä niiden käyttöönotto. 3D-tulostuksen avulla toteutettiin useita osia, kuten poraistukka-avainten kotelot, paineilmaletkun pidike, holkkien säilytysratkaisut sekä koneistuskeskuksen painaville työkaluille suunnitellut telineet. Näillä ratkaisuilla parannettiin työkalujen saavutettavuutta ja vähennettiin epäjärjestyksestä johtuvaa hukkaa. Lisäksi valmistettiin ohutlevyosia sorvityökalujen säilytykseen, mikä mahdollisti työkalujen järjestämisen selkeästi ja turvallisesti kaappiin.

Merkittävä osa työn tuloksista liittyi Lean-ajattelun mukaiseen hukan vähenemiseen. Lähtötilanteessa robottisolussa esiintyi hukkaa erityisesti työkalujen etsimisenä, tarpeettomana liikkumisena sekä epäselvänä varastointina. Työkaluseinän, visuaalisten paikkamerkintöjen ja uudelleen järjestettyjen säilytystilojen ansiosta työkalut ovat nyt helposti tunnistettavissa ja nopeasti saatavilla. Vaikka työssä ei tehty tarkkoja ajallisia mittauksia, havaintojen perusteella työkalujen etsimiseen kuluva aika lyheni selvästi ja työskentely muuttui sujuvammaksi verrattuna lähtötilanteeseen. Lisäksi tilankäytön optimointi, kuten tarpeettomien kalusteiden poistaminen ja robotin leukatelineen siirtäminen, paransi kulkureittejä ja lisäsi turvallisuutta robottisolussa.

Työn edetessä 5S-menetelmä osoittautui keskeiseksi työkaluksi suunnittelun ja toteutuksen ohjaamisessa. Jokaisessa vaiheessa pyrittiin luomaan ratkaisuja, jotka tukivat järjestelmällisyyttä, tehokkuutta ja jatkuvaa parantamista. Lopputuloksena syntyi robottisolu, joka toimii selkeämmin, vastaa paremmin käyttäjien tarpeita ja tarjoaa hyvän pohjan tuleville kehityshankkeille. Työ saavutti sille asetetut tavoitteet, ja kehitetyt ratkaisut tukevat Lean-ajattelun mukaista robottisolun jatkuvaa kehittämistä.

5.2 Johtopäätökset ja arviointi

Opinnäytetyön tavoitteena oli kehittää robottisolun järjestystä ja käytettävyyttä Lean-ajattelun ja 5S-menetelmän periaatteiden mukaisesti. Työn tulosten perusteella voidaan todeta, että suhteellisen pienillä, mutta harkituilla muutoksilla voidaan saavuttaa merkittäviä parannuksia työympäristön toimivuudessa ja tehokkuudessa. Suunnittelun ja toteutuksen onnistumisen kannalta keskeistä oli käytännönläheinen lähestymistapa, jossa ongelmat ratkaistiin yksinkertaisilla ja kustannustehokkailla keinoilla.

Työn aikana havaittiin, että Lean-ajattelun keskeiset periaatteet – kuten hukan poistaminen, virtaustehokkuus ja jatkuva parantaminen – soveltuvat erinomaisesti myös oppimis- ja kehitysympäristöihin. 5S-menetelmä osoittautui toimivaksi ohjausvälineeksi koko prosessin ajan, ja sen avulla pystyttiin luomaan

järjestelmällinen ja visuaalisesti hallittu työympäristö. Esimerkiksi työkaluseinän ja nimikoitujen säilytysratkaisujen ansiosta työkalujen hallinta helpottui huomattavasti, ja turhaa liikkumista sekä etsimistä pystyttiin vähentämään.

Arvioitaessa työn tuloksia voidaan todeta, että tavoitteet saavutettiin hyvin. Robottisolun toiminnallisuus parani, työkalujen sijoittelu selkeytyi ja tilankäyttö tehostui ilman suuria investointeja. Myös työn turvallisuus ja ergonomia kohentui, kun ylimääräiset tavarat ja esteet poistettiin ja usein käytettävät välineet sijoitettiin paremmin saavutettaviin paikkoihin.

Kokonaisuudessaan työn eri vaiheet veivät huomattavasti aikaa, mutta projekti eteni johdonmukaisesti ja suunnitelmallisesti vaihe vaiheelta. Työ osoitti, että huolellinen vaiheistus ja ajankäytön suunnittelu ovat keskeisiä tekijöitä onnistuneessa kehitystyössä, erityisesti silloin kun kehitystoimenpiteitä toteutetaan toiminnassa olevassa oppimisympäristössä. Käytettävissä oleva työaika hyödynnettiin tehokkaasti painottamalla käytännön järjestelyjä ja ratkaisujen testaamista robottisolun tiloissa. Vaikka varsinainen toteutusvaihe on päättynyt, kehittäminen ja raportointi jatkuvat edelleen, jotta työn tulokset tukevat mahdollisimman hyvin koulun opetustoimintaa ja robottisolun käytännön tarpeita myös tulevaisuudessa.

Työ kuitenkin osoitti myös kehittämisen jatkuvuuden tarpeen. Vaikka solun nykytila on merkittävästi aiempaa toimivampi, uusia tarpeita ja parannusehdotuksia syntyy käytännön työskentelyn myötä. Tässä korostuu Kaizen-ajattelun merkitys – järjestelmää ei tule nähdä valmiina, vaan jatkuvasti kehitettävänä kokonaisuutena.

Kokonaisuutena työ onnistui osoittamaan, että Lean- ja 5S-periaatteita voidaan soveltaa tehokkaasti myös pienimuotoisessa tuotanto- ja oppimisympäristössä. Projektin toteutus paransi työpisteen visuaalisuutta, tehokkuutta ja siisteyttä sekä loi selkeät toimintamallit, jotka tukevat tulevia kehitystoimia ja työn jatkuvaa parantamista.

5.3 Jatkotutkimusaiheita

Tämän työn pohjalta voidaan tunnistaa useita jatkokehitys- ja tutkimusmahdollisuuksia, jotka tukisivat robottisolun ja sen toimintaympäristön jatkuvaa kehittämistä. Yksi keskeinen jatkotutkimusaihe olisi 5S-menetelmän ja Lean-periaatteiden vaikutusten pitkäaikainen seuranta. Olisi hyödyllistä tarkastella, kuinka hyvin toteutetut ratkaisut – kuten työkalujen sijoittelu, ohutlevyrakenteet ja visuaaliset merkinnät – säilyvät käytännön työssä ja kuinka ne vaikuttavat työn tehokkuuteen, turvallisuuteen ja siisteyteen pidemmällä aikavälillä.

Toinen mielenkiintoinen jatkotutkimusaihe liittyisi robottisolun ergonomiaan ja turvallisuuteen. Kun työympäristö on rajallinen ja useita laitteita toimii samassa tilassa, olisi tärkeää selvittää, miten tilankäytön ja työkalujen sijoittelun muutokset vaikuttavat käyttäjien työasentoihin, liikkumiseen ja turvallisuusriskien vähentämiseen. Ergonomian kehittäminen Lean-periaatteiden rinnalla voisi tuoda merkittäviä hyötyjä työhyvinvoinnin ja tuottavuuden kannalta.

Lisäksi jatkotutkimuksissa voitaisiin selvittää, miten opiskelijoiden ja henkilöstön koulutus Lean- ja 5S-menetelmien käytöstä vaikuttaa työympäristön ylläpitoon ja jatkuvaan parantamiseen. Näin voitaisiin arvioida, missä määrin menetelmät juurtuvat pysyviksi käytännöiksi ja millaisia koulutuksellisia toimenpiteitä tarvitaan pitkäaikaisten tulosten varmistamiseksi. Näiden jatkotutkimusten avulla voitaisiin syventää ymmärrystä Lean- ja 5S-menetelmien käytännön vaikutuksista sekä kehittää edelleen robottisolun toimintaa entistä tehokkaammaksi, turvallisemmaksi ja oppimista tukevaksi kokonaisuudeksi.

6 Yhteenveto

Tässä opinnäytetyössä kehitettiin oppimisympäristössä sijaitsevaa robottisolua Lean-ajattelun ja erityisesti 5S-menetelmän periaatteita hyödyntäen. Työn tavoitteena oli parantaa solun toimivuutta, selkeyttää työvälineiden ja tarvikkeiden järjestystä sekä tehostaa tilankäyttöä. Lähtökohtana oli robottisoluun hankittu uusi koneistuskeskus, joka toi mukanaan uusia toiminnallisia vaatimuksia ja

osoitti tarpeen päivittää sekä uusien että olemassa olevien työkalujen ja kalusteiden sijoittelua. Suunnittelun ja toteutuksen aikana tehtiin useita konkreettisia muutoksia, kuten uusien 3D-tulostettujen ja ohutlevystä valmistettujen osien suunnittelu, työkalujen ja tarvikkeiden sijoittelun uudelleenjärjestely sekä tarpeettomien elementtien poistaminen solusta. Näiden toimenpiteiden ansiosta työympäristöstä saatiin selkeämpi, turvallisempi ja toiminnallisesti tehokkaampi.

5S-menetelmä oli keskeisessä roolissa koko kehitysprosessin ajan, ja sen eri vaiheet näkyivät konkreettisesti työn toteutuksessa. Lajittelun (Seiri) avulla robottisolusta poistettiin tarpeettomia kalusteita ja tarvikkeita, kuten ylimääräisiä työpöytiä ja jäteastioita, jotka haittasivat liikkumista ja tilankäyttöä. Järjestämisen (Seiton) vaiheessa suunniteltiin ja toteutettiin selkeät paikat työkaluille ja tarvikkeille muun muassa työkaluseinän, kaappien sisäisten säilytysratkaisujen sekä 3D-tulostettujen ja ohutlevystä valmistettujen telineiden avulla. Siivouksen (Seiso) osalta työpisteet selkeytyivät, kun työkalut eivät enää jääneet tasolle tai lattioille, vaan niille oli määritellyt paikat. Standardointi (Seiketsu) näkyi yhtenäisinä merkintöinä, nimikointeina ja toistettavina ratkaisuina, joita voidaan hyödyntää myös muissa vastaavissa oppimisympäristöissä. Ylläpidon (Shitsuke) näkökulmasta ratkaisut suunniteltiin siten, että ne tukevat järjestyksen säilymistä myös jatkossa ilman jatkuvaa erillistä ohjausta.

Tulosten perusteella voidaan todeta, että suhteellisen pienillä, mutta harkituilla toimenpiteillä voidaan saavuttaa merkittäviä parannuksia robottisolun toimivuudessa ilman suuria rakenteellisia muutoksia tai kustannuksia. Lean-ajattelun ja 5S-menetelmän soveltaminen osoittautui tehokkaaksi lähestymistavaksi, joka vähensi hukkaa, paransi työn sujuvuutta ja tuki oppimisympäristön selkeyttä. Työ loi myös vahvan perustan jatkuvalle kehittämiselle, jossa robottisolua voidaan edelleen mukauttaa tulevien opetustarpeiden ja laitehankintojen mukaisesti.

Lähteet

Hargrave, Marshall. 2025. Kaizen: Understanding the Japanese Business Philosophy. Verkkoaineisto. Investopedia. <<https://www.investopedia.com/terms/k/kaizen.asp>>. 27.05.2025. Luettu 02.02.2026.

Jääskeläinen, Janne 2020. 5S Seuraa: miten varmistaa pysyvä muutos? Verkkoaineisto. <<https://www.jannejaaskelainen.fi/5s-seuraa-miten-varmistaa-pysyva-muutos/>>. 11.06.2020. Luettu 02.02.2026.

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

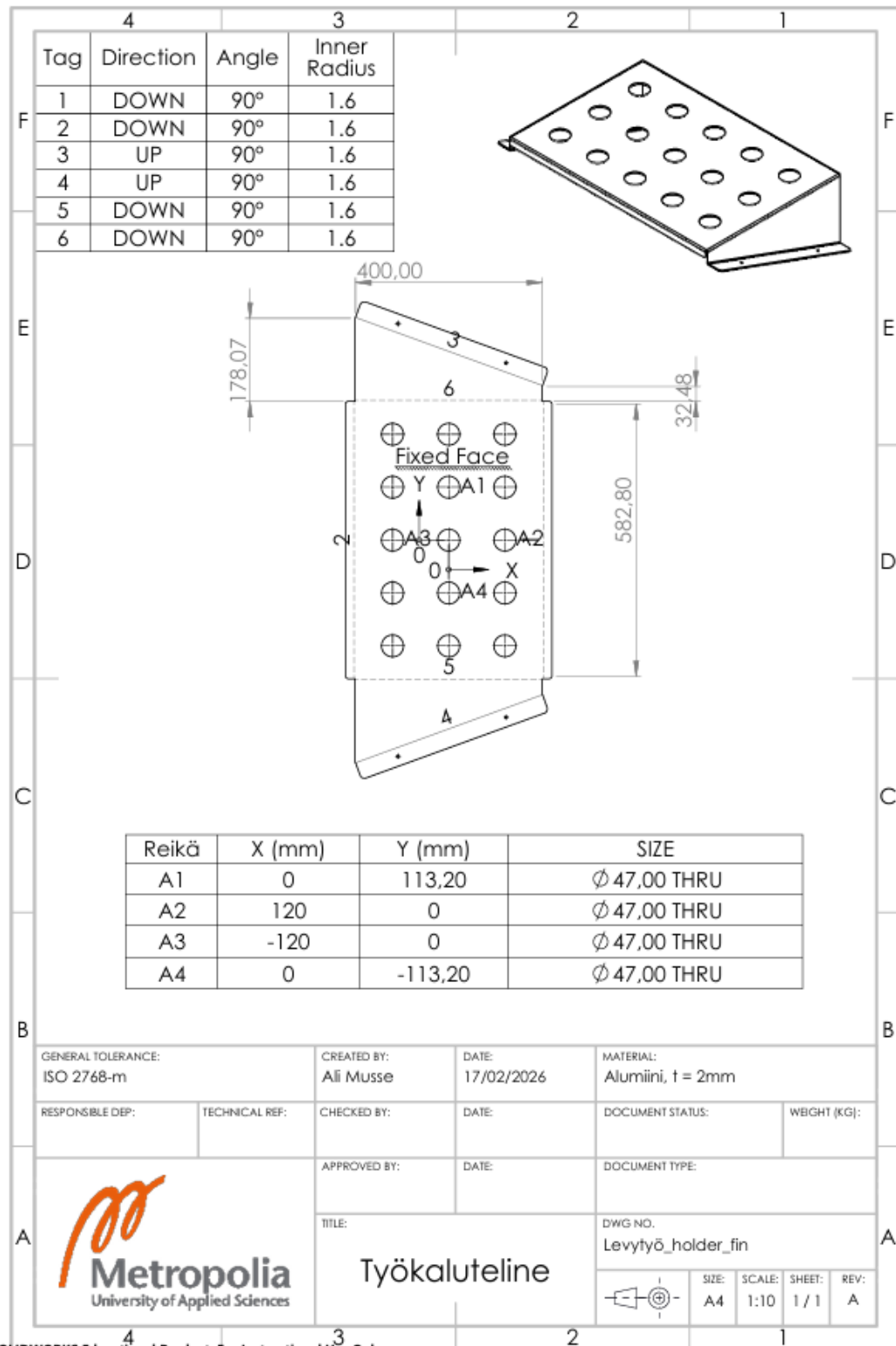
Marpaung, Alexander B. 2025. The History of Lean Manufacturing: From Origins to the Digital Frontier. Verkkoaineisto. Binus University. <<https://bbs.binus.ac.id/ibm/2025/11/the-history-of-lean-manufacturing-from-origins-to-the-digital-frontier/>>. 11.2025. Luettu 02.02.2026.

Modig, Niklas & Åhlström, Pär. 2026. Tätä on Lean: Ratkaisu tehokkuusparadoksiin. Tukholma: Rheologica Publishing.

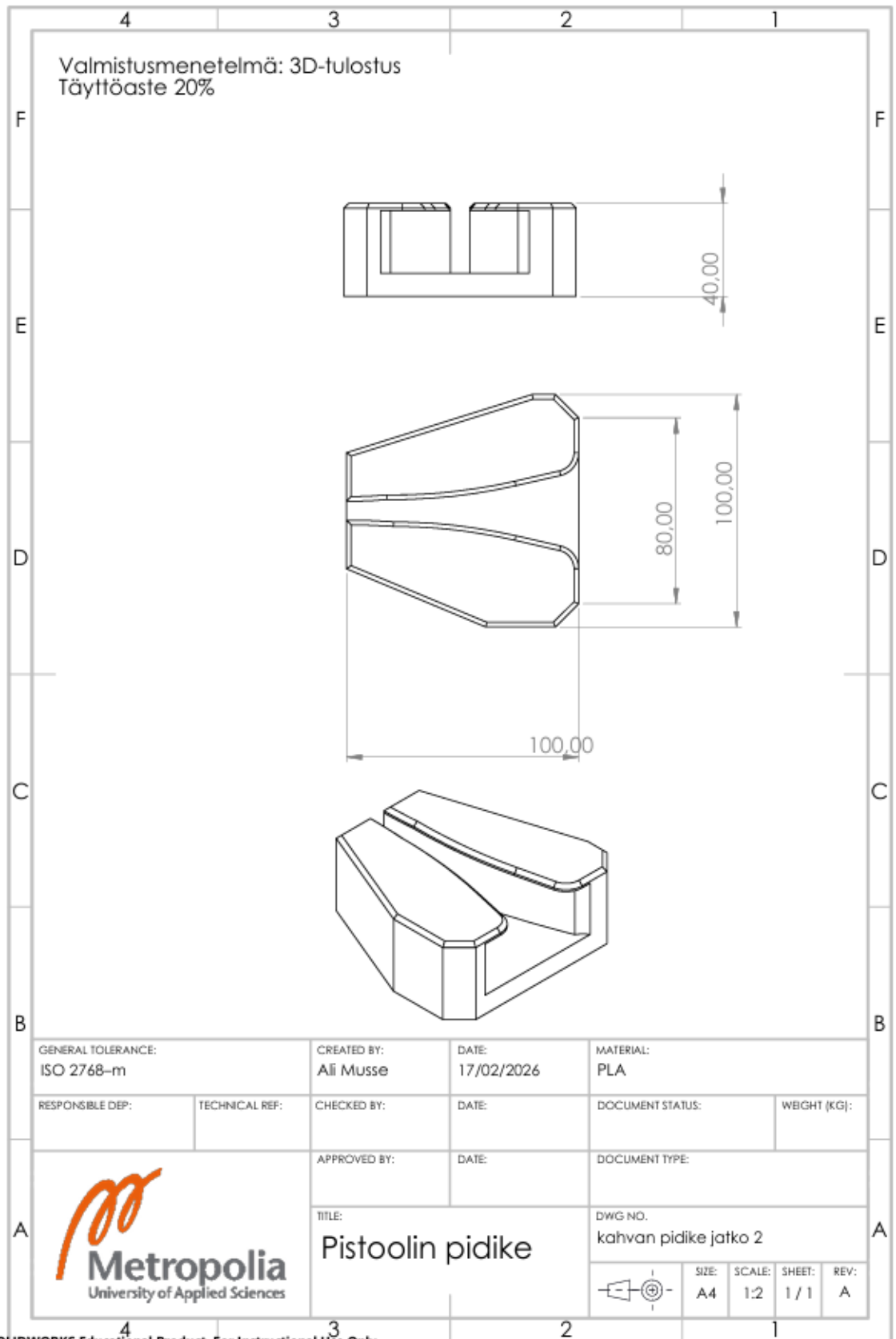
Osada, Takashi. 1991. The 5S's: Five Keys to a Total Quality Environment. Tokyo: Asian Productivity Organization, s. 43–168.

Liitteet

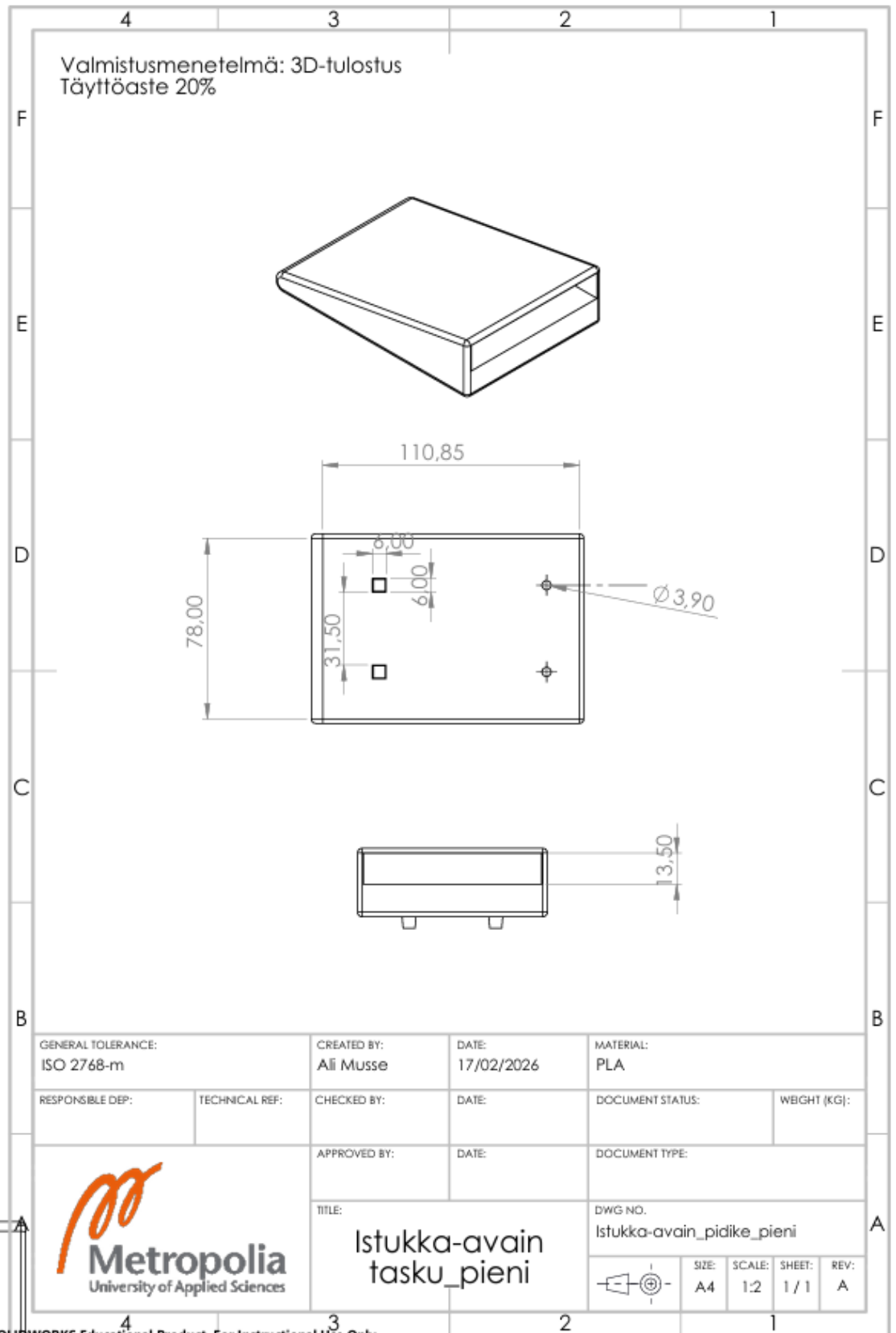
Sorvityökalujen ohutlevyrakenne, valmistuspiirustus



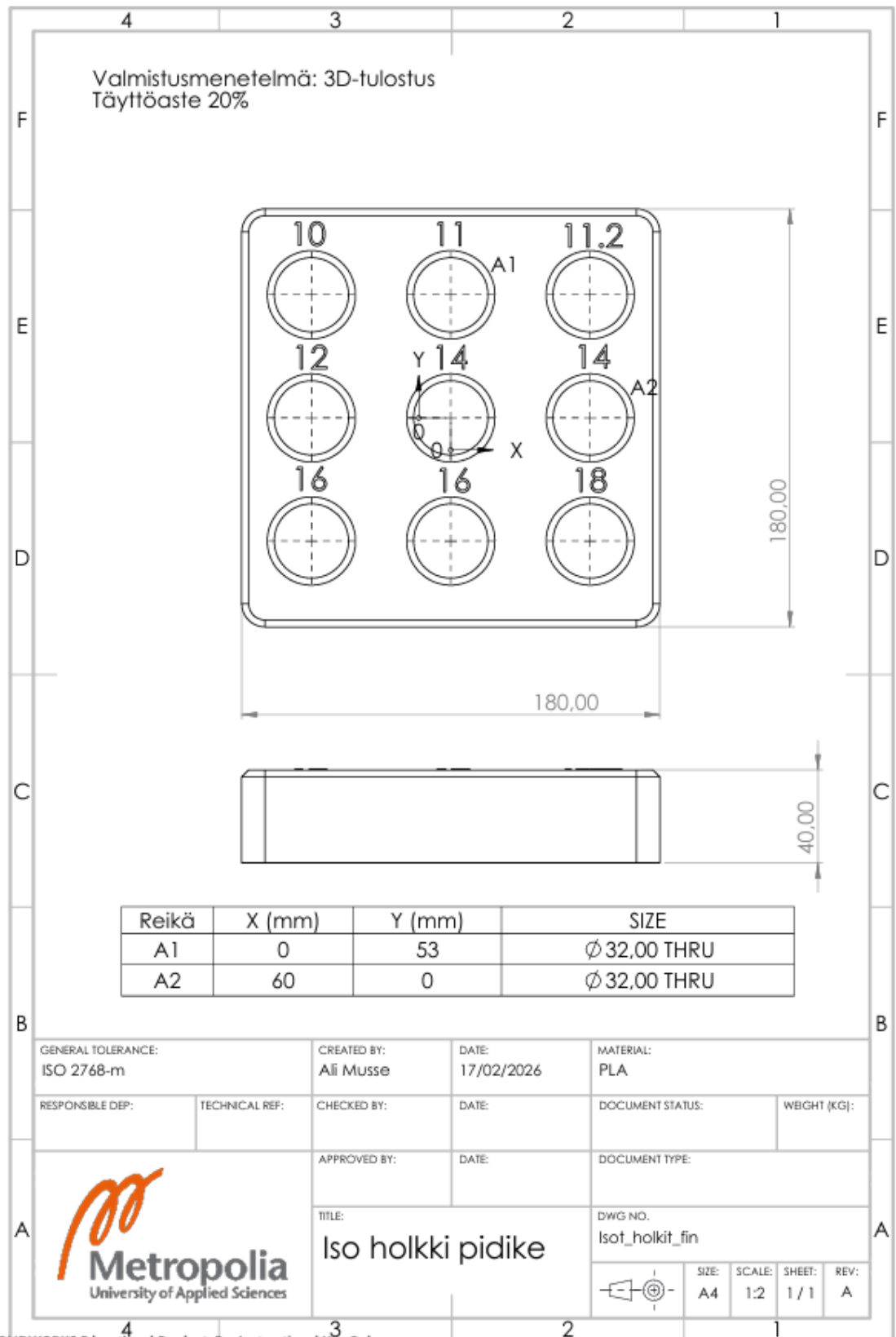
Paineilmapistoolin pidike, valmistuspiirustus



Istukka-avaimen tasku, valmistuspiirustus



Holkki astia, valmistuspiirustus



Isojen sorvityökalujen pidike, valmistuspiirustus

