

Teemu Hurskainen

**SIIRRETTÄVÄN YHTEISTOIMINTAROBOTTITYÖASEMAN  
SUUNNITTELU**

# **SIIRRETTÄVÄN YHTEISTOIMINTAROBOTTITYÖASEMAN SUUNNITTELU**

Teemu Hurskainen  
Opinnäytetyö  
Kesä 2018  
Kone- ja tuotantotekniikan tutkinto-ohjelma  
Oulun ammattikorkeakoulu

# TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu  
Kone- ja tuotantotekniikka, koneautomaatio

---

Tekijä: Teemu Hurskainen  
Opinnäytetyön nimi: Siirrettävän yhteistoimintarobottityöaseman suunnittelu  
Työn ohjaaja: Esa Kontio  
Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: syksy 2018  
Sivumäärä: 34 + 1 liite

---

Opinnäytetyö tehtiin Oulun ammattikorkeakoulun TEHOJA-hankkeelle. Hankkeessa sovelletaan uusimpia joustavan automaation työkaluja pienissä ja keskiuurissa yrityksissä Oulun lähialueella.

Tarve opinnäytetyölle syntyi, kun Oulun ammattikorkeakoulu hankki TEHOJA-hankkeen opiskelijaprojektien käyttöön UR10- ja UR5-yhteistoimintarobotteja. Nykyisin robotit on asennettu kiinteästi työpisteisiin, eikä se tue joustavan automaation ajatusta. Joustavuuden ja tuotannollisen tehokkuuden parantamiseksi roboteille oli suunniteltava siirrettävä työasema.

Työssä suunniteltiin yhteistoimintaroboteille renkailla liikkuva työasema, johon robotti kiinnitetään. Yhteistoimintarobotti ja työasema muodostavat laitteistokoonpanon, jonka tuli olla yhden henkilön operoitavissa ja mahdollistaa robotin joustava siirtäminen ja käyttö eri työpisteillä.

Työ koostuu kahdesta osuudesta: yhteistoimintarobottien ja tuotekehityksen teorioiden esittelystä ja tuotekehitysprosessista. Teoriaosuudessa tutustutaan perinteisten ja yhteistoimintarobottien eroihin ja yhteistoimintarobottien lisälaitteisiin sekä uusimpiin yhteistoimintarobottistandardeihin. Lisäksi esitellään systemaattisen tuotekehityksen menetelmiä. Tuotekehitysprosessissa edetään teorian mukaista prosessia soveltaen, minkä jälkeen työn mallinnusosa toteutettiin SolidWorksilla.

Työn laajuuden takia suunnitellun tuotteen valmistus ja toiminnan testaus on jätetty opinnäytetyön ulkopuolelle. Opinnäytetyön tuloksia olivat kattavat 3D-mallit, valmistettavien osien piirustukset, riskienarvio ja käyttöohje, joihin työn tilaaja oli tyytyväinen.

---

Asiasanat: mekaniikkasuunnittelu, yhteistoimintarobotti, tuotekehitys

## ABSTRACT

Oulu University of Applied Sciences  
Degree Programme in Mechanical and Production Engineering (BSc), Machine  
Automation

---

Author: Teemu Hurskainen  
Title of thesis: Design of Mobile Collaborative Robot Platform  
Supervisor(s): Esa Kontio  
Term and year when the thesis was submitted: autumn 2018  
Pages: 34 + 1 appendices

---

This thesis was carried out for the TEHOJA project of Oulu University of Applied Sciences. The project applies the latest flexible automation tools in small and medium-sized companies in Oulu.

The need for this thesis was revealed when Oulu University of Applied Sciences acquired UR10 and UR5 collaborative robots for TEHOJA project to be used in its student projects. Now the robots are firmly installed on workstations, which does not support the idea of flexible automation. To improve the flexibility and production efficiency of the robots a mobile platform had to be designed.

The aim of the thesis was to design a mobile workstation on wheels which the robot will be attached to. The collaborative robot and the workstation make up a hardware assembly which has to be operable by one person and enable the robot to be flexibly moved and operated at different workstations

The thesis consists of two parts: the presentation of collaborative robots and product development theories and the product development process. The theoretical part introduces the differences between traditional and collaborative robots, as well as collaborative robot accessories and the latest standards. In addition, systematic product development methods are presented. The product development process proceeds with the theory-based process, after which the works modeling part was carried out with SolidWorks.

Due to the extent of the project, manufacturing and testing of the product has been excluded from the thesis. The results of the thesis were 3D models, drawings for manufacturing the parts, risk assessment and user manual, which the commissioner was very satisfied with.

---

Keywords: mechanical design, collaborative robot, cobot, product design

## **ALKULAUSE**

Opinnäytetyö on tehty Oulun ammattikorkeakoulun Tuottavuutta joustavalla automaatiolla -hankkeelle (TEHOJA-hanke). Työ tehtiin hyvin itsenäisesti, ja aihe oli haastava, mielenkiintoinen sekä ammatillista kasvua edistävä. Tahdon kiittää TEHOJA-hankkeen projekti-insinöörejä Juho Liljamoja ja Lassi Kaivosojaa saaduista neuvoista ja ohjeista. Haluan myös kiittää työni ohjaajana toiminutta lehtori Esa Kontiota.

Lisäksi haluan kiittää ystäviäni ja perhettäni, jotka tukivat minua pitkän opinnäytetyöprojektin aikana.

Oulussa 12.9.2018

Teemu Hurskainen

# SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ	3
ABSTRACT	4
ALKULAUSE	5
SISÄLLYS	6
1 JOHDANTO	8
1.1 TEHOJA-hanke	8
1.2 Opinnäytetyön tavoitteet ja aiheen rajaus	8
2 YHTEISTOIMINTAROBOTIIKKA	10
2.1 Perinteisen ja yhteistoimintarobotin erot	10
2.2 Universal Robots -yhteistoimintarobotit	11
2.3 Yhteistoimintarobottien lisälaitteet	12
2.4 Yhteistoimintarobottiikan standardit	13
3 TUOTEKEHITYSMENETELMÄT	15
3.1 Tehtävän selvittely	15
3.2 Luonnostelu	16
3.2.1 Abstrahointi	16
3.2.2 Toimintorakenteen laatiminen	16
3.2.3 Vaikutusperiaatteiden haku ja yhdistäminen	17
3.3 Kehittely	17
3.4 Viimeistely	18
4 TYÖASEMAN SUUNNITTELUPROSESSI	19
4.1 Lähtötiedot	19
4.2 Esisuunnittelu	20
4.2.1 Yhdistelmien arviointi	21
4.2.2 Vaihtoehto V1	21
4.2.3 Vaihtoehto V2	21
4.2.4 Vaihtoehto V3	22
4.2.5 Vaihtoehto V4	22
4.2.6 Vaihtoehto V5	22
4.2.7 Vaihtoehtojen pisteytys ja ratkaisuvaihtoehdon valinta	23
4.3 Suunnittelu	23

4.3.1 Rungon ja nostomekanismin suunnittelu	23
4.3.2 Paikoituksen suunnittelu	27
4.3.3 Tasojen suunnittelu	28
4.3.4 Ulkokuoren suunnittelu	30
4.3.5 Viimeistely	32
4.3.6 Tuotedokumentit	32
5 YHTEENVETO	33
LÄHTEET	34
LIITTEET	
Liite 1 Kokoonpanopiirustus	

# 1 JOHDANTO

Opinnäytetyössä selostetaan UR10- ja UR5-yhteistoimintaroboteille tarkoitetun siirrettävän työaseman suunnittelun eteneminen. Työn tilaajana oli Oulun ammattikorkeakoulun (Oamk) Tuottavuutta joustavalla automaatiolla -hanke eli TEHOJA-hanke. Suunnitteluprosessin lisäksi opinnäytetyössä perehdytään lyhyesti yhteistoimintarobotteihin ja koneensuunnittelun teoriaan.

## 1.1 TEHOJA-hanke

Tuottavuutta joustavalla automaatiolla -hanke on EU-rahoitteinen hanke, jossa sovelletaan uusimpia joustavan automaation työkaluja pienissä ja keskisuurissa yrityksissä Oulun lähialueella. Hankkeen tarkoituksena on tuoda yhteen opiskelijat ja Oulun lähialueeseen kuuluvat yritykset opiskelijaprojektien avulla. Projekteissa keskitytään vastaamaan valmistavan teollisuuden yrityksissä alati kasvavaan automaation tarpeeseen. Hankkeen tarve on seurausta teollisuuden siirtymisestä alhaisemman työvoimakustannuksen maihin markkinoilla hallitsevan hintakilpailun vuoksi. (1, s. 3–4.)

Tarve opinnäytetyölle syntyi, kun TEHOJA-hanke hankki opiskelijaprojektien käyttöön UR10- ja UR5-yhteistoimintarobotteja. Robotteja tulisi voida tarvittaessa siirtää joustavasti työpisteeltä toiselle, mutta nykyisin robotit on asennettu kiinteästi työpisteisiin. Markkinoilla on jo muutamia vaihtoehtoja yhteistoimintarobottien joustavaan siirtämiseen, mutta ratkaisut eivät välttämättä sovi pienille yrityksille, sillä ne vaativat isoja investointeja tai eivät ole tarpeeksi käytännöllisiä. Oli löydettävä mahdollisimman kustannustehokas ratkaisu ongelmaan.

## 1.2 Opinnäytetyön tavoitteet ja aiheen rajaus

Opinnäytetyön tavoitteena on parantaa yhteistoimintarobottien joustavuutta ja tuotannollista tehokkuutta suunnittelemalla yhden henkilön siirrettävissä oleva helppokäyttöinen työasema, johon kiinnitettynä robotti voi työskennellä. Työaseman kehittämisessä pyritään käyttämään mahdollisimman paljon olemassa olevaa tietoutta ja standardoituja ratkaisuja, jotta uusia ideoita vaativiin kohteisiin



voidaan keskittyä. Valmiista työasemasta tuotetaan valmistukseen tarvittavat dokumentit ja käyttöohje.

Opinnäytetyön aihe on rajattu työaseman mekaniikkasuunnitteluun. Työn laajuuden vuoksi prototyypin valmistus ja toiminnan testaus on jätetty työn ulkopuolelle. Työasema valmistetaan TEHOJA-hankkeessa suunnittelun päätyttyä.

## 2 YHTEISTOIMINTAROBOTIIKKA

Ihmiset ja robotit ovat työskennelleet yhdessä valmistavan teollisuuden aloilla jo vuosikymmenien ajan. Automaatiolla voidaan vapauttaa ihminen toistoa vaativista tai yksinkertaisista töistä mielekkäämpiin tehtäviin, mutta robotit ovat tyypillisesti ihmisistä eristettynä turva-aidoilla ja ihmisen astuessa robottisolun sisälle robotti pysähtyy. Perinteinen teollisuusrobotti ei liikkeessaan tunnista törmäystään tai jos jokin jää puristuksiin, ja useimmiten teollisuusrobottien kanssa tapahtuvat tapaturmat ovatkin puristumisia. Vahinkotilanteen sattuessa robotin liikkeet saattavat aiheuttaa myös kappaleiden sinkoilua ja kipinöitä. Eristykset vaativat kuitenkin suuren lattiapinta-alan, ja lisäksi robotti on käytännössä kiinteästi samalla työpisteellä, mistä seuraa tuotannon joustamattomuus. Joustavuuden parantamiseksi on alettu kehittää robotteja, joiden kanssa ihmiset voivat toimia välittömässä yhteistyössä. (2, s. 7–10.)

### 2.1 Perinteisen ja yhteistoimintarobotin erot

Perinteiset teollisuusrobotit ovat väsymättömiä ja voivat suorittaa samoja liikkeitä tarkasti suurillakin kuormilla. Ne ovat tyypillisesti kiinteästi asennettuna turva-aitojen sisälle eikä niitä ole tarkoitettu muihin työtehtäviin tai siirrettäväksi työpisteeltä toiselle. (2, s. 10–14.)

Ihmisen ja teollisuusrobotin välinen yhteistyö on haasteellista ja hidasta. Se on kuitenkin mahdollistettu ilman ihmisen menemistä robottisolun sisälle esimerkiksi välityskunoilla ja pyörityspöydillä, mutta aina ihmisen astuessa turva-aitojen sisälle esimerkiksi huoltotarpeiden vuoksi robotti pysäyttää työkiertonsa ja tätä kautta laskee tuotannollista tehokkuutta. Robotin käyttöönottoon vaadittava kokemus, solun vaatima lattiapinta-ala ja hankintakustannukset tekevät investoinista usein kannattamatonta. (2, s. 10–14.)

Jotkin työtehtävät voivat olla vaikeita ja monimutkaisia automatisoida, jolloin parhaisiin tuloksiin päästään, kun ihminen ja robotti työskentelevät läheisessä yhteistyössä (2, s. 12). Teollisuusrobottien kanssa se on haastavaa turvallisuuden kannalta, ja tästä syystä on kehitetty aktiivisella voimantunnistuksella varustettuja yhteistoimintarobotteja, jotka törmätessään pysäyttävät itsensä.

Yhteistoiminnallinen teknologia mahdollistaa joustavan ja vuorovaikutuksellisen automaation poistamalla teollisuusroboteille vaaditut turva-aidat (3, linkit News - > How Universal Robots sold the first cobot). Yhteistoimintarobottien vaivaton siirtäminen ja helppo ohjelmitavuus uusiin työtehtäviin ilman tilaa vieviä turva-aitoja mahdollistavat pienienkin yritysten tuotannon automatisoinnin. Toistaiseksi yhteistoimintarobotit ovat pieniä, sillä keskisuurien ja isojen robottien turvallisuus ei ole vielä riittävällä tasolla (2, s. 15–16).

## 2.2 Universal Robots -yhteistoimintarobotit

UR10- ja UR5-yhteistoimintarobotit (kuva 1) kuuluvat tanskalaisen Universal Robots yhteistoimintarobottivalmistajan mallistoon. Robotit ovat 6-akselisia käsivar-robotteja, joiden ohjelmointi ja ohjaus tapahtuvat ohjelmointipäätteen kautta, jossa on kosketusnäyttö ja graafinen käyttöliittymä. Lisäksi tuoteperheeseen kuuluu UR3-malli, joka on roboteista pienin. Jotta vasta-alkajakin voisi ohjelmoida robotin, on käyttöliittymä tehty käyttäjäystävälliseksi ja helpoksi oppia. Robotteihin voidaan asentaa erilaisia apulaitteita kuten tarttujia ja konenäkölaitteita. Edullisen hinnan ja monikäyttöisyyden vuoksi UR-robottimallit sopivat pienten ja keskisuurten yritysten tuotantolinjoille. Opinnäytetyössä suunniteltava työasema suunniteltiin käytettäväksi UR10- ja UR5-mallien kanssa. Taulukossa 1 on esitelty robottimallien teknisiä tietoja.



KUVA 1. Universal Robots UR3, UR5 ja UR10 (3, linkki products)

TAULUKKO 1. Universal Robots UR10:n ja UR5:n tekniset tiedot (1; 2)

	UR10	UR5
Akseleiden liikerata	±360°	±360°
Toistotarkkuus	±0,1 mm	±0,1 mm
Maksimi kuorma	10 kg	5 kg
Ulottuvuus	1300 mm	850 mm
Runkomateriaali	Alumiini	Alumiini
Massa	28,9 kg	18,4 kg
Käyttäjännite	240 V	240 V

### 2.3 Yhteistoimintarobottien lisälaitteet

Yhteistoimintarobottien valmistajat useimmiten tarjoavat asiakkaalle ainoastaan robottikäsivarren, ohjelmiston ja ohjelmointipäätteen. Markkinoiden kasvaessa useat vanhat ja uudetkin yritykset ovat alkaneet valmistamaan robottien lisälaitteita useisiin eri käyttötarkoituksiin. Lisälaitteita on saatavilla robottien yksinkertaisista suojahupuista 3D-konenäkölaitteisiin.

Yleisimpiä lisälaitteita ovat tarttujat, joilla robotit voitavat käsitellä eli manipuloida erilaisia kappaleita. Tarttujissa vaihtelevat sormien lukumäärä, liikeradat ja otevoiman tuotto, joka tuotetaan sähköisellä, hydraulisella tai pneumaattisella toimilaitteella. Näitä ominaisuuksia vaihdellessa voidaan tehdä erittäin kappalespesifejä tarttujia. (6, linkit Accessories.)

Tarttujen lisäksi yhteistoimintarobotteihin voidaan asentaa antureita ja konenäkölaitteita, joilla robottien käyttöalueita ja soveltuvuutta voidaan kasvattaa entisestään. Anturit ja konenäkö mahdollistavat muun muassa voimien ja osien tunnistamisen sekä robotin omien päätösten teon. (3, linkit UR+ Solutions -> Accessories.)

Yhteistoimintarobottien joustavuutta ja soveltuvuutta erilaisiin työtehtäviin voidaan edelleen parantaa käyttämällä siirrettäviä työasemia, joihin asennettuna robotti voidaan helposti siirtää työasemalta toiselle (3, linkit UR+ Solutions -> Accessories). Toistaiseksi siirrettäviä työasemia on saatavilla vain muutamia

malleja, jotka eivät ole käytännöllisyyden kannalta riittävällä tasolla tai muuten kannattava investointi pitkän takaisinmaksuajan vuoksi. Kuvassa 2 on UR5-mallille tehty siirrettävä työasema. Kyseinen laite on myös TEHOJA-hankkeen käytössä.



*KUVA 2. Easy Robotics ER5 siirrettävä työasema (7, linkki products -> ER5 Mobile Cobot platform)*

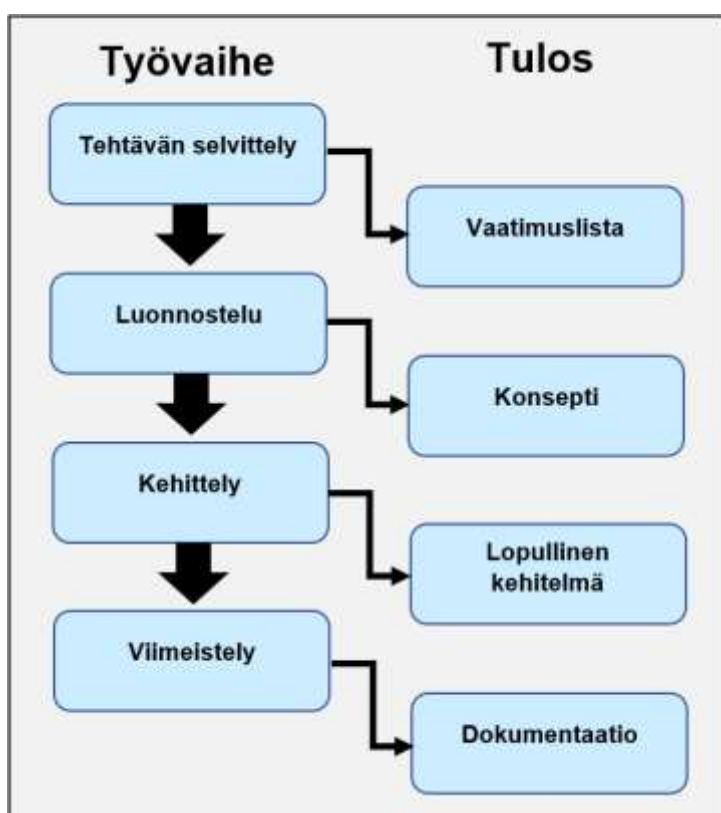
## **2.4 Yhteistoimintarobotiikan standardit**

Robottistandardi ISO 10218 uudistettiin ja päivitettiin vuonna 2011. Se on laadittu perinteisille teollisuusroboteille, mutta sisältää myös yhteistoimintarobotiikalle annettuja turvallisuusvaatimuksia ja suosituksia. Robotteihin asennettavat lisälaitteet ovat myös oltava ISO 10218 -standardin mukaisia. Päivitetyyn standardin julkaisuhetkellä yhteistoiminnalliset robotit eivät olleet vielä kuitenkaan kehittyneet nykyiselle tasolle, joten annetut suositukset ovat osittain vanhentuneita. Kansainvälinen standardisoimisliitto on laatinut ja julkaissut vuonna 2016 uusia yhteistoimintarobotteja varten teknisen spesifikaation ISO/TS 15066:2016. (8.)

Teknisen spesifikaation tarkoitus on täydentää ja tukea ISO 10218 -standardia. Se antaa ohjeita yhteistoimintarobottien käyttöön, määrittelee, millaisia riskejä yhteistoimintarobottijärjestelmissä on ja millaisia ominaisuuksia yhteistoimintaroboteissa voi olla (8, s. 4–7). Teknisen spesifikaation keskeisimpiä asioita on, että robotin ja ihmisen kontaktitilanne ei saa aiheuttaa ihmiselle kipua tai vammoja. Vahinkojen välttämiseksi ISO/TS 15066 tarjoaa kvantitatiivista tietoa voiman ja paineen suuruudesta, jota ihmiskehon eri osiin voi kohdistaa tuottamatta kipua tai vammoja.

### 3 TUOTEKEHITYSMENETELMÄT

Koneen suunnittelu eli konstruointi on tieteisiin, kuten matematiikkaan ja fysiikkaan perustuvaa monipuolista toimintaa. Usein siinä joudutaan hyödyntämään tieteenalojen eri osa-alueiden kuten mekaniikan, valmistustekniikan, termodynamiikan, materiaalitekniikan, koneenosien, yritystalouden ja viestinnän oppeja (9, s. 20). Suunnitteluprosessin tarkoituksena on mahdollistaa tuotteen kehitys olemassa olevaa tuotetta parannellen tai luomalla kokonaan uusi tuote. Kuvassa 3 on esitelty kehitystyön päävaiheet ja vaiheiden tulokset karkeasti jaoteltuna.



KUVA 3. Tuotekehitysprosessin työnkulku (9, s. 51, muokattu)

#### 3.1 Tehtävän selvittely

Suunnittelu aloitetaan tehtävän selvittelyllä, jonka tarkoituksena on hankkia informaatiota pysyvistä, yleisistä reunaehdoista ja niiden merkityksestä sekä ratkaisulle asetetuista vaatimuksista (9, s. 48). Jotta optimaaliseen ratkaisuun voidaan päästä, on suunnittelijan ymmärrettävä täysin tehtävän reunaehdot. Tästä syystä tehtävän selvittely olisi jo alusta alkaen tehtävä mahdollisimman täydellisesti,

jotta suunnittelutyön aikana muutokset rajoittuisivat vain välttämättömpiin. (9, s. 62–63.)

Selvittelyvaiheen tuloksena saadaan vaatimuslista, joka toimii pohjana tuleville työvaiheille. Siinä otetaan huomioon konstruktivisen kehittämisen tarve ja seuraavat työvaiheet ja lisäksi siitä on käytävä ilmi tuotteelle asetetut vaatimukset ja toiveet. Vaatimukset pitää ilmoittaa mahdollisuuksien mukaan täsmällisinä lukuvoina tai tarkasti muotoiltuina sanallisina kuvauksina, jotta ne olisivat mahdollisimman yksiselitteisiä ja näin välttyttäisiin virheellisiltä kehitelmiltä seuraavissa työvaiheissa. (9, s. 64.)

### **3.2 Luonnostelu**

Luonnosteluvaiheessa tarkoituksena on vahvistaa ratkaisun periaatetta muodostamalla vaatimuslistan pohjalta periaatteellinen ratkaisu eli konsepti. Työvaihe voidaan jakaa seuraaviin askeliin: abstrahointi, toimintorakenteen laatiminen ja vaikutusperiaatteiden sekä niiden yhdistelmien etsintä. (9, s. 71.)

#### **3.2.1 Abstrahointi**

Abstrahoinnilla pyritään laatimaan ongelmalle selkeä määrittely ja tunnistamaan oleelliset ongelmat analysoimalla vaatimuslistaa. Siinä ei oteta huomioon yksilöllisyyttä, tilapäisyyttä ja toiveita, vaan yritetään korostaa yleispätevyyttä ja oleellista. Abstrahointi suoritetaan seuraavilla työvaiheilla:

1. jätetään ajatuksissa toivomukset pois
2. jätetään sellaiset vaatimukset pois, jotka eivät ole oleellisia
3. muutetaan määrälliset toteamukset laadullisiksi
4. laajennetaan mielekkäästi tähän asti tunnettua
5. muotoillaan ongelma ratkaisuun nähden neutraalisti.

Abstrahoinnin tuloksena saadaan ongelma yleisluonteisessa lauseen muodossa. (9, s. 73–74.)

#### **3.2.2 Toimintorakenteen laatiminen**

Toimintorakenne laaditaan abstrahoinnin avulla saadulle ongelmalle jakamalla kokonaistoiminto osatoimintoihin. Jako tehdään, jotta tehtävän asettelua



saadaan yksinkertaistettua ja havainnollistettua. Annetun tehtävän kompleksisuuden mukaisesti osatoimintoja voidaan kehittää erikseen osasysteemeinä. (9, s. 81–83.)

### **3.2.3 Vaikutusperiaatteiden haku ja yhdistäminen**

Osatoimintojen toteuttamista varten on löydettävä vaikutusperiaatteita. Vaikutusperiaatteet sisältävät osatoimintojen toteuttamista varten tarpeelliset fysikaaliset ilmiöt sekä geometriset ja aineelliset tunnusmerkit eli ominaispiirteet. Vaikutusperiaatteiden löytämiseksi voidaan käyttää menetelmiä kuten esimerkiksi kirjallisuustutkimukset, teknisten systeemien analyysit, analogiatarkastelu, aivoriihi, metodi 365, systemaattinen etsintä jäsentelykaavioiden avulla ja konstruktiolueteloiden käyttö. (9, s. 99–125.)

Kun vaikutusperiaatteiden avulla on laadittu osatoiminnoille luonnokset, ne yhdistetään kokonaisuudeksi, jotta saadaan aikaiseksi kokonaistoiminto. Osatoimintoja voidaan yhdistellä esimerkiksi järjestelmällisesti yhdistellen tai matemaattisia menetelmiä hyväksi käyttäen. Valittaessa sopivien yhdistelmien kokonaisuutta on otettava huomioon osatoimintojen fysikaaliset yhteensopivuudet. Ratkaisuja tulee konkretisoida, jotta ne olisivat vertailukelpoisia eikä niistä muodostu sellaisia, ettei niitä voida toteuttaa. Parhaan ratkaisuvaihtoehdon löytämiseksi eri yhdistelmiä voidaan arvioida pisteyttämällä ja antamalla arviointikohteille painokertoimet eli tärkeysarvo vaatimuslistan pohjalta. (9, s. 129–150.)

### **3.3 Kehittely**

Kehittely on se osa tuotekehitysprosessia, jossa teknisen tuotteen kokoonpanorakenne kehitetään täydellisesti vaikutusrakenteesta tai periaatteellisesta ratkaisusta lähtien teknisten ja taloudellisten edellytysten mukaan. Kehittelyssä pääpaino on konkreettisesti rakennemuotoilussa, jossa valitaan valmistusmateriaalit ja valmistusmenetelmät sekä vahvistetaan päämitat ja yhteensopivuus. (9, s. 176.)

Kehittelyvaihe päättyy lopullisen rakennemuodon valintaan, kun se on asianmukaisesti läpikäyty ja teknistaloudellisesti arvioitu. Arvostelun jälkeen on tyypillistä, että jokin ratkaisuyhdistelmä näyttää muihin verrattuna selvästi edullisemmalta,

mutta sitä voidaan kuitenkin vielä parannella huonompien ratkaisuyhdistelmien osaratkaisuita hyväksi käyttämällä. Heikkouksia poistamalla ja eri yhdistelmien soveltamisella voidaan viimein päästä lopulliseen päätökseen kokonaiskehittelyn rakennemuotoilusta. (9, s. 49.)

### **3.4 Viimeistely**

Tuotekehitysprosessin viimeinen vaihe on viimeistely, jossa lopullisen kehitelmän kokoonpanorakenne täydennetään lopullisilla määrityksillä, jotka koskevat kaikkien yksittäistoimintojen muotoa, mitoitusta, pinnan laatua ja työaineksia. Lisäksi harkitaan valmistus- ja käyttömahdollisuudet sekä lopulliset kustannukset ja laaditaan sitovat piirustukset ja dokumentit kehitelmän aineellista toteuttamista varten. (9, s. 458.)

## 4 TYÖASEMAN SUUNNITTELUPROSESSI

### 4.1 Lähtötiedot

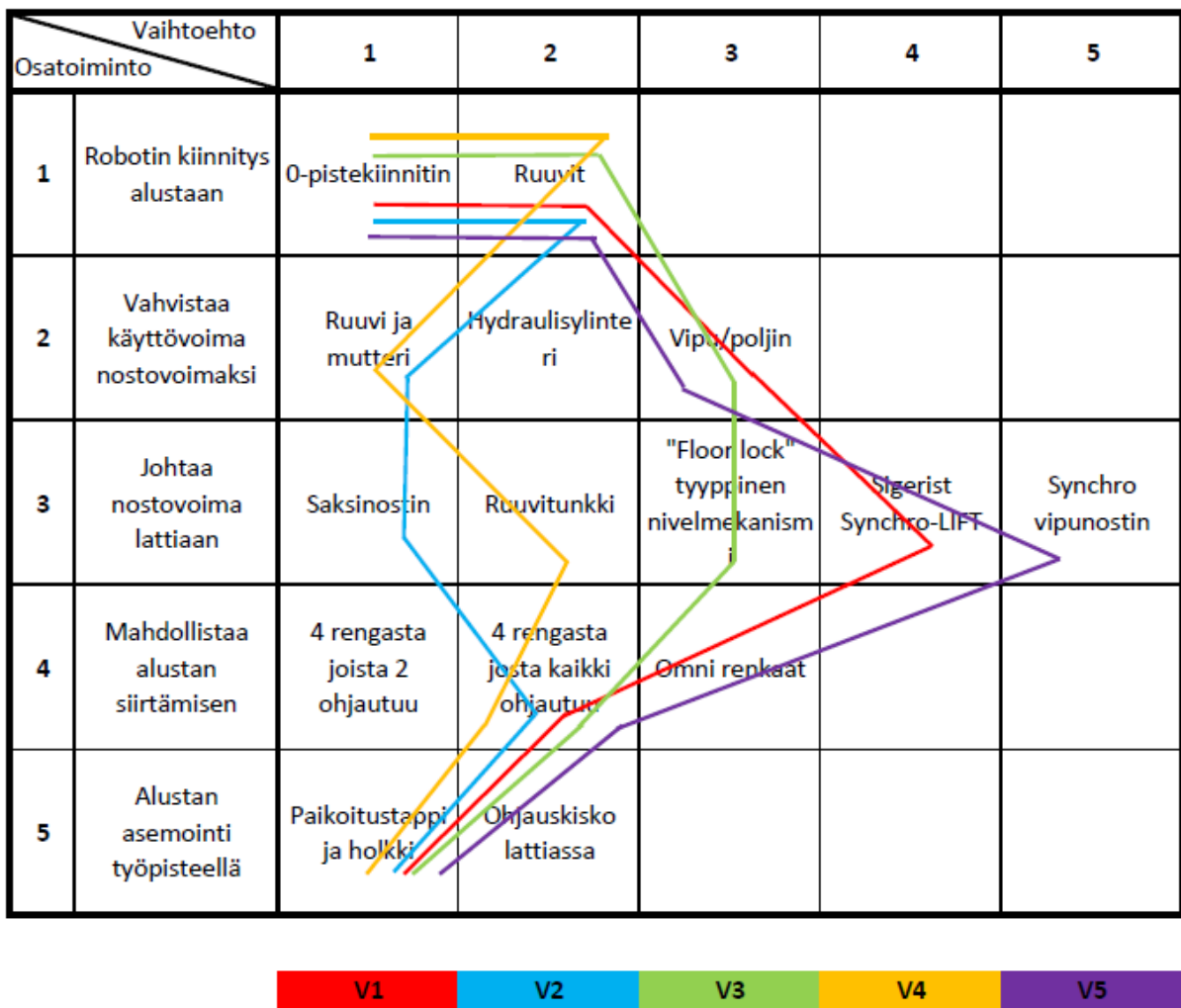
Tehtävän selvittely aloitettiin tutustumalla jo olemassa oleviin kaupallisiin ratkaisuihin. Suunniteltava tuote haluttiin toteuttaa niin, että se olisi siirrettäessä nostettavissa renkailleen ja halutulla työasemalla laskettavissa alas runkonsa vaaraan. Työn tilaajan kanssa luotiin seuraavaksi vaatimuslista, jossa suunniteltavalle työasemalla asetettiin vaatimuksia ja toiveita. Taulukossa 2 on suunnittelun kohteelle laadittu vaatimuslista, jossa vaatimukset on jaettu kolmeen eri luokkaan: kiinteät vaatimukset (KV), vähimmäisvaatimukset (VV) ja toiveet (T). Kiinteät vaatimukset on saavutettava ja vähimmäisvaatimukset on täytettävä vähimmäisarvoonsa.

TAULUKKO 2. Suunniteltavalle työasemalle laadittu vaatimuslista

KV, VV, T	Vaatus
	<b>Geometria</b>
KV	Alustan ulkomitat enintään 600x700x800 mm (LxKxS).
KV	Alustassa oltava tasomainen pohja, jotta pysyy tukevasti lattialla.
	<b>Voimat</b>
VV	Pysyttävä pystyssä UR10 robotin 10 kg kuormalla ja 1 m/s liikenopeudella.
	<b>Energia</b>
T	Sisäänrakennettu paineilmajärjestelmä.
	<b>Aine ja materiaalit</b>
VV	Perus rakenneteräkset, alumiinit ja muovit.
	<b>Turvallisuus</b>
KV	Laitetta laskiessa/nostaessa litistymisen vaara huomioitava.
KV	ISO/TS 15066:2016 standardin mukaiset turvallisuusvaatimukset.
KV	Konedirektiivin mukainen.
	<b>Kuljetus</b>
VV	Laitteen on oltava joustavasti yhden henkilön liikuteltavissa.
KV	Laite on pystyttävä siirtämään pumppukärryllä.
	<b>Ergonomia</b>
KV	Konedirektiivin mukainen.
	<b>Asennus ja käyttöönotto</b>
KV	Asemoituna pysyy paikallaan.
KV	Paikoittuu aina tarkasti työasemalleen.
	<b>Aikataulu</b>
T	Alustan suunnittelu, valmistuspiirustukset ja toiminnan kuvaus valmiina vk 18
	<b>Kustannukset</b>
KV	Valmistuskustannukset <5000 €
	<b>Kunnossapito</b>
KV	Helppo huoltaa.

## 4.2 Esisuunnittelu

Luonnostelu aloitettiin jakamalla kokonaistoiminto osatoimintoihin ja ideoimalla niille ratkaisuita. Ideoiminen aloitettiin pitämällä työn tilaajan edustajien kanssa lyhyt aivoriihi ja selvittelemällä kuinka olemassa olevat nostopöydät ja yhteistoimintarobottityöasemat toimivat. Kuvassa 4 on ideoinnin tuloksena syntyneet osatoimintojen ratkaisut morfologisessa kaaviossa. Osatoimintojen ratkaisuita yhdistellen on luotu viisi eri yhdistelmää V1, V2, V3, V4 ja V5, joita tullaan myöhemässä vaiheessa arvioimaan tarkemmin.



KUVA 4. Osatoimintojen ratkaisuvaihtoehtoja ja kokonaistoimintovaihtoehtoja väreillä morfologisessa kaaviossa

#### **4.2.1 Yhdistelmien arviointi**

Ennen vaihtoehtojen tarkastelua morfologisesta kaaviosta nähdään, että robotin kiinnittämiseksi alustaan on valittu kaikissa yhdistelmissä sekä 0-pistekiinnitin että ruuvikiinnitys. Molemmat vaihtoehdot valittiin, sillä TEHOJA-hankkeella on robotteja varten käytössään 0-pistekiinnittimiä ja ruuvikiinnityksen mahdollistaminen oli helppo toteuttaa. Työaseman siirtämisen mahdollistamiseksi on katsottu neljä kääntyvää pyörää parhaaksi vaihtoehdoksi ketteryyden ja monikäyttöisyyden vuoksi. Työaseman paikoittaminen on myös päätetty kaikissa tapauksissa toteuttaa paikoitustapeilla, sillä ne ovat hyvin yleisesti käytettyjä standardiratkaisuita. Paikoitustappeja käytetään useimmiten pareittain.

Jäljelle jääneet osatoiminnot liittyvät työaseman nostamiseen. Parhaan yhdistelmän löytämiseksi kaikki viisi vaihtoehtoa käydään läpi osatoiminto kerrallaan, jolloin myös ratkaisuvaihtoehdot esitellään tarkemmin. Tällainen tarkastelu yleensä helpottaa lopullista valintaa, koska vaihtoehtojen hyvät ja huonot puolet tulevat esiin ja niiden käyttö perustellaan. Lopullinen valinta on tehty pisteyttämällä valitut ratkaisuvaihtoehdot.

#### **4.2.2 Vaihtoehto V1**

Vaihtoehdossa 1 työaseman nostamiseksi on valittu polkimella tai vivulla toimiva kaupallinen alusta, joka koostuu neljästä kääntöpyörästä ja tasosta, jonka päälle robottityöasema voidaan rakentaa. Kääntöpyörissä on sisään rakennettu mekanismi, joka mahdollistaa alustan laskeutumisen runkoon vasten. Kaikki kääntöpyörät ovat yhdistettynä toisiinsa, joten jokainen pyörä laskeutuu samaan aikaan vipua tai poljinta käyttämällä. Toimivaksi todettu kaupallinen valmis alusta mahdollistaisi keskittymisen uusia ideoita vaativiin kohteisiin.

#### **4.2.3 Vaihtoehto V2**

Vaihtoehdossa 2 työaseman nostamiseen on valittu saksinostin, jonka nostovoima tuotetaan ruuvi-mutteri yhdistelmällä. Ruuvien käyttö voiman muuntajana on halpa ja yleinen tapa, vaikkakin sillä on huono hyötysuhde. Ruuvi on sellaiseen käytettyynä itsepidättävä. Huono hyötysuhde ja itsepidättävyys johtuvat ruuvien geometriasta. Ruuvilla toteutetut saksinostimet ovat yleisiä ja sellainen

löytyykin lähes jokaisen autosta vararenkään vierestä. Niillä voidaan nostaa suuriakin kuormia, mutta nostimen ollessa ala-asennossa nostovoima on pienempi verrattuna käyttövoimaan, sillä nivelsuunnikkaan välityssuhde riippuu korkeusasemasta. Tähän työhön se ei soveltunut sen vaatiman tilan vuoksi ja koska nostamisen haluttiin olevan kevyt alusta alkaen.

#### **4.2.4 Vaihtoehto V3**

Vaihtoehdossa 3 poljin muuttaa ihmisvoiman nostovoimaksi ja nivelmekanismi johtaa sen lattiaan. Nivelmekanismiksi valittiin jo olemassa oleva ratkaisu, joita yleensä käytetään kääntöpyörien kanssa. Nivelmekanismia polkaisemalla se nostaa työasemaa muutaman senttimetrin ylöspäin, jolloin kääntöpyörät eivät enää ylety lattiaan. Kyseiset floor lock -nimellä kulkevat mekanismit ovat edullisia ja niitä on saatavilla useilta valmistajilta. Niillä voidaan nostaa suuriakin kuormia, mutta niiden liikematka on rajoittunut muutamiin senttimetreihin. Tähän työhön se ei soveltunut, sillä robottityöaseman tapauksessa jokainen kääntöpyörä vaatisi oman nostomekanismin, eikä niitä voisi tällöin käyttää yhtä aikaa, vaan jokainen kulma pitäisi korottaa erikseen.

#### **4.2.5 Vaihtoehto V4**

Vaihtoehdossa 4 voiman muuntajaksi on vaihtoehdon 2 tavoin valittu ruuvi-mutteri -yhdistelmä ja voiman johtamiseksi lattiaan on valikoitunut ruuvinostin. Ruuvinostimet antavat monipuoliset mahdollisuudet kuormien tarkkaan nostamiseen ja välityssuhteet oikein valitsemalla niillä voidaan nostaa suuriakin taakkoja haluttuun korkeuteen helposti. Nostimia ja niiden lisävarusteita on saatavilla runsaasti useilta eri valmistajilta. Useimmiten ruuvinostimia voidaan liittää toisiinsa laajemmiksi nostinjärjestelmiksi, jolloin kaikki nostimet toimivat yhtä aikaa.

#### **4.2.6 Vaihtoehto V5**

Vaihtoehdossa 5 on voiman muuntamiseen valittu poljin- tai vipukäyttöinen valmis nostin, joka koostuu kääntöpyörästä ja alustasta. Vaihtoehdon 1 tavoin valmis alusta mahdollistaisi keskittymisen uusia ideoita vaativiin kohteisiin.

#### 4.2.7 Vaihtoehtojen pisteytys ja ratkaisuvaihtoehdon valinta

Parhaan ratkaisun löytämiseksi jäljelle jääneet kokonaistoimintovaihtoehdot V1, V4 ja V5 on pisteytetty taulukossa 3. Arvostelukriteerit ja painokertoimet on luotu vaatimuslistan pohjalta.

TAULUKKO 3. Kokonaistoimintovaihtoehtojen pisteytys

Arvostelukriteeri	Painokerroin	V1		V4		V5	
		Arvosana	Painotettu arvosana	Arvosana	Painotettu arvosana	Arvosana	Painotettu arvosana
Alhainen hinta	0,15	3	0,45	7	1,05	6	0,90
Valmistettavuus	0,10	8	0,80	7	0,70	5	0,50
Liikuteltavuus	0,25	8	2,00	8	2,00	8	2,00
Helppokäyttöisyys	0,20	9	1,80	7	1,40	9	1,80
Toimintavarmuus	0,20	7	1,40	8	1,60	6	1,20
Huollettavuus ja kunnossapito	0,10	4	0,40	8	0,80	7	0,70
	Σ Painokerroin	Σ Arvosana	Painotettu arvosana	Σ Arvosana	Painotettu arvosana	Σ Arvosana	Painotettu arvosana
	1,00	39,00	6,85	45,00	7,55	41,00	7,10

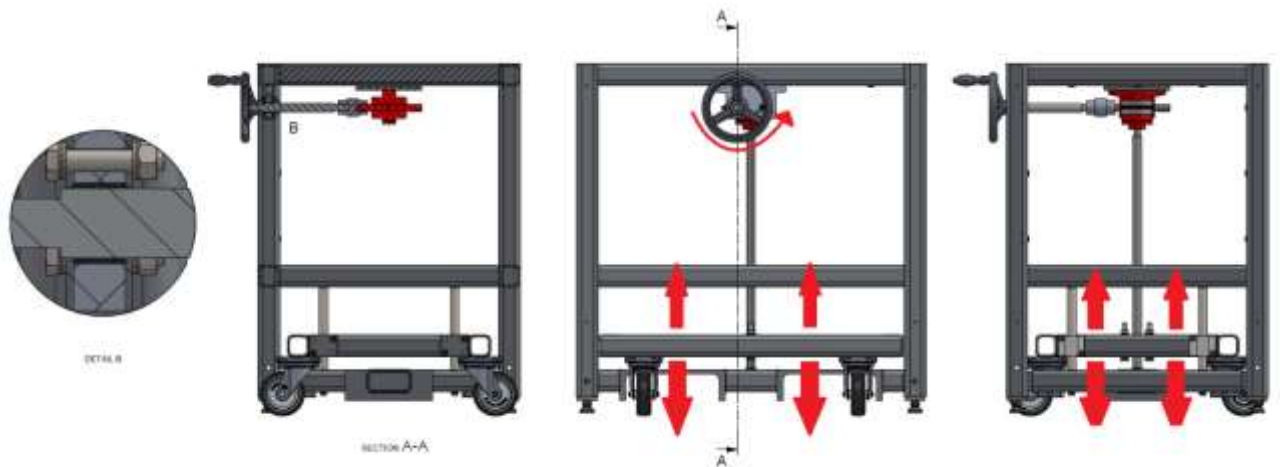
Taulukosta 3 nähdään, että vaihtoehto V4 sai eniten pisteitä. Ratkaisumalli on ruuvinostimella nostettava ja neljällä kääntyvällä pyörällä liikkuva työasema, joka paikoitetaan paikoitustapeilla ja johon yhteistoimintarobotti voidaan kiinnittää joko 0-pistekiinnittimellä tai ruuveilla. Työaseman ala-asennossa se seisoo jalkojensa varassa lattialla ja siirrettäessä se voidaan nostaa ruuvinostimen avulla renkaille. Tämä ratkaisu myös mahdollistaa sen, että paikoitustapit on mahdollista sijoittaa lattialle, jolloin työasemaa paikoitettaessa laskeutuu tappien päälle.

#### 4.3 Suunnittelu

##### 4.3.1 Rungon ja nostomekanismin suunnittelu

Työaseman mallintaminen aloitettiin rungosta ja nostomekanismista. Ruuvinostimella nostamiseen toteutustapoja oli useita, mutta se päätettiin toteuttaa niin, että käsipyörää pyörittämällä ruuvinostin liikuttaa kelkkaan kiinnitettyjä kääntöpyöriä

ylös- ja alaspäin. Kelkan sivuttaisliikkeet on estetty käyttämällä johteita ja niille sopivia laakereita. Kuvassa 5 on havainnollistettu nostomekanismin toimintaa.

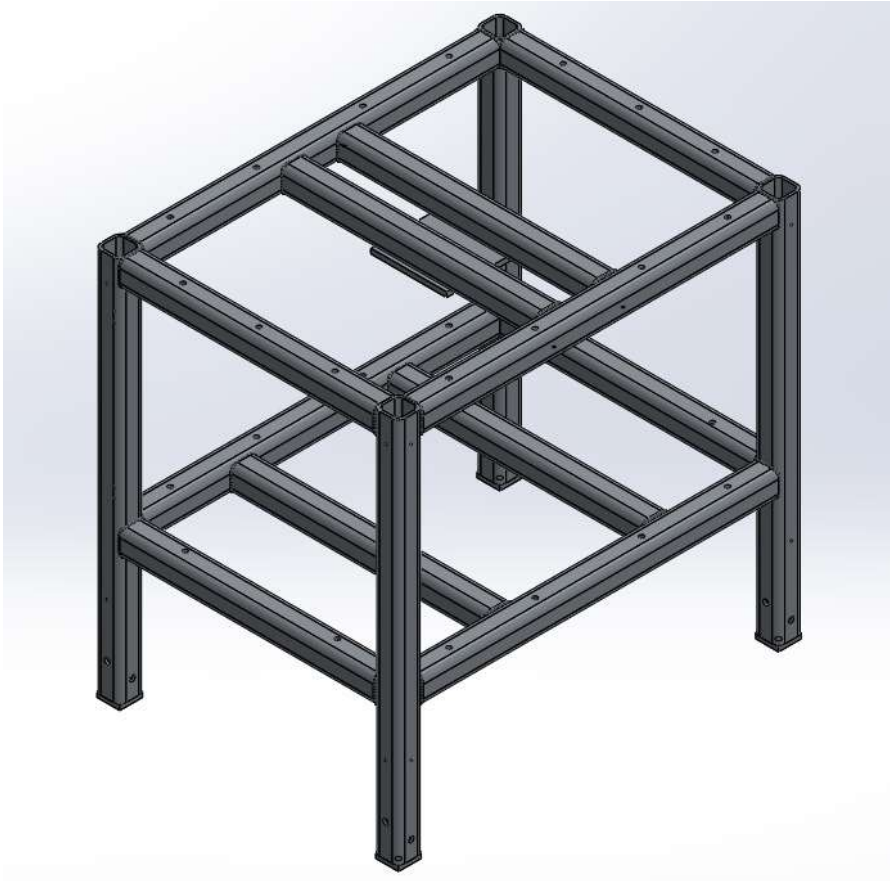


*KUVA 5. Työaseman nostaminen havainnollistettuna*

Runko ja nostomekanismi koostuu neljästä osasta: ruuvinostin, runko, kelkka ja pohjaosa.

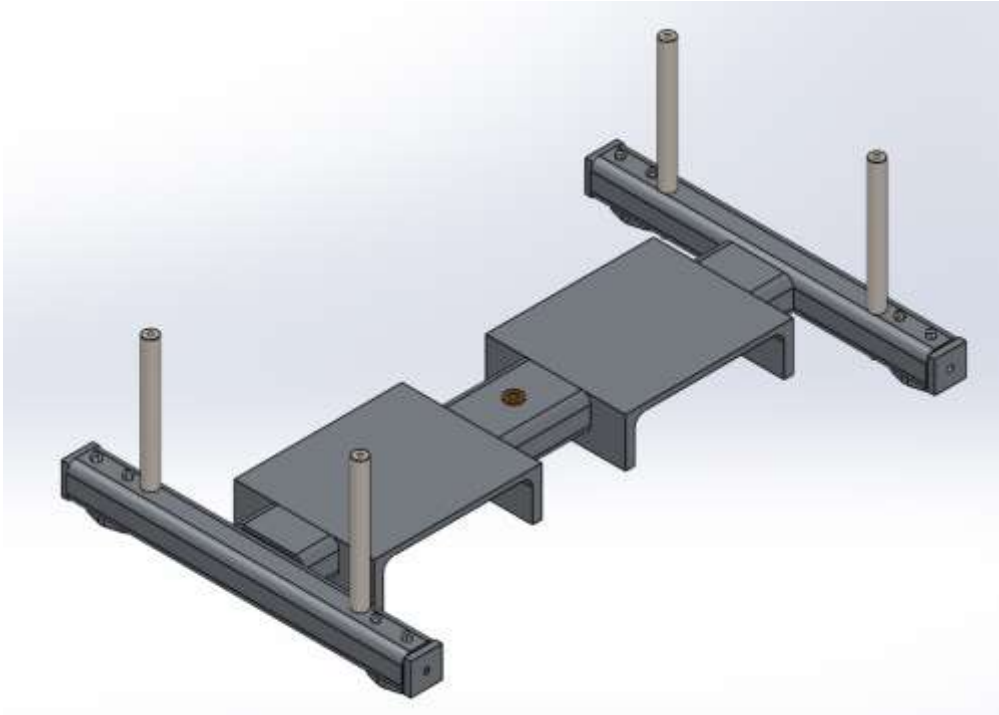
Rungon (kuva 6) materiaaliksi valittiin S355-teräksestä valmistettu 50x50 mm:n neliöputkipalkki 5 mm:n paksuisella seinämällä, koska työasemasta haluttiin tarpeeksi painava työaseman tukevoittamiseksi ja lisäksi 5 mm:n teräkseen on mahdollista tehdä pieniä kierrereikiä. Runkoon suunniteltiin ylätason lisäksi alataso, jossa yhteistoimintarobotin ohjainyksikköä on tarkoitus säilyttää. Rungon yläpalkkien alapuolelle ja jalkojen pohjiin lisätiin 10 mm:n vahvuiset teräslaput, jotta säätöjalat ja ruuvinostin voidaan kiinnittää runkoon tukevasti. Säätöjaloilla voidaan säätää työaseman perustasoa tarvittaessa.





*KUVA 6. Hitsaamalla valmistettava runko*

Pohjaosan (kuva 7) mallintaminen aloitettiin valitsemalla tarpeeksi tukevat johteet. Johteiksi valittiin 20 mm:n teräksiset pyörötangot ja niille sopivat laakeripe-sät, jotka kiinnitetään kelkkaan. Ruuv nostimen trapetsikierretangon päätä varten pohjaosaan valittiin laipallinen öljypronssilaakeri. Näin trapetsikierretankoa ja sa-malla liikkuvaa kelkkaa saatiin tukevoitettua. Pohjaosan materiaaliksi valittiin jäl-leen teräsprofiileja 5 mm:n seinämällä. Jotta työasemaa voitaisiin tarvittaessa siirtää pumppukärryllä tai trukilla, pohjaosaa muokattiin lisäämällä siihen palaset UPE240 -profiilista pumppukärryn haarukoille sopivalle leveydelle toisistaan.



*KUVA 7. Työaseman pohjaosa*

Kelkan (kuva 8) suunnittelu aloitettiin luomalla kehikko, johon johteille sopivat laakeripesät ja trapetsimutteri kiinnitetään pultein ja mutterein. Kelkan materiaaliksi valittiin sama teräsprofiili, kuin rungossa ja pohjaosassa oli käytetty. Kehikon pohjaan lisättiin neljä hitsattavaa teräslevyä, joihin kääntöpyörät kiinnitetään ruuveilla.



*KUVA 8. Kelkka, kääntöpyörät ja trapetsimutteri*

Ruuvinostimen käyttöakselin tuentaa varten suunniteltiin yksinkertainen alumiininen laakeripesä, joka on nähtävissä kuvassa 5. Pesän molemmilla puolilla on kaksi laippaa, jotka pitävät POM-komposiitista valmistetun liukulaakerin paikoillaan.

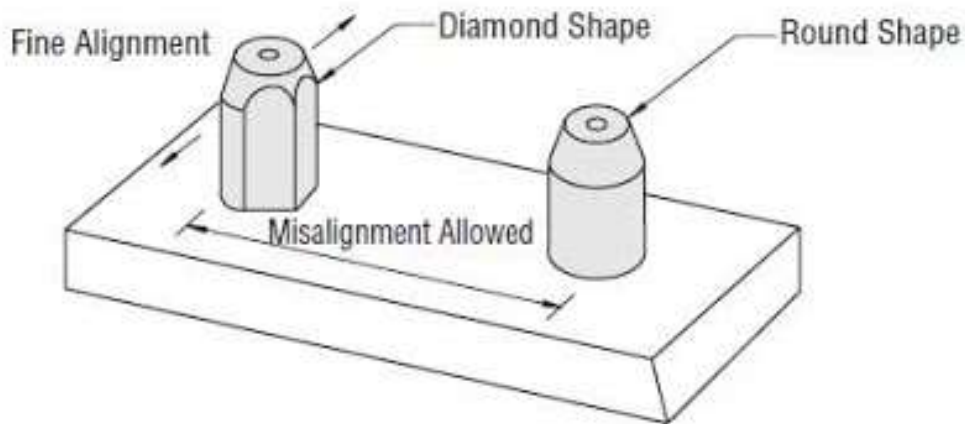
Kun ruuvinostin, pohjaosa, kelkka ja runko kootaan hampurilaismalliin alhaalta ylöspäin, saadaan kuvan 5 mukainen nostomekanismi. Työasemaa nostettaessa ruuvinostin painaa kelkkaan kiinnitettyjä kääntöpyöriä lattiaa vasten nostaen rungon ilmaan.

#### **4.3.2 Paikoituksen suunnittelu**

Työaseman paikoittamisen toteutukseen oli alusta asti idea toteuttaa se kahden lattiaan kiinnitetyn paikoituselementin avulla. Paikoituselementtien vastakappalet ovat kiinni rungon pohjaosassa.

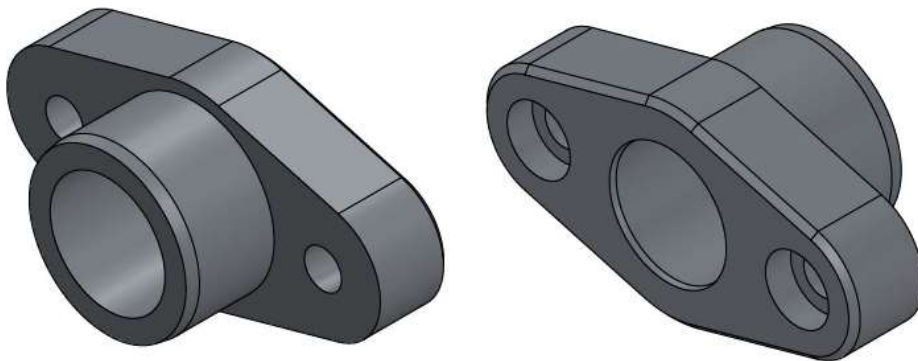
Paikoituselementeiksi valittiin timantin muotoinen ja pyöreä paikoitustappi. Pyöreä paikoitustappi pitää työaseman paikoillaan ja timantin muotoinen paikoitustappi estää pyörähtämisen pyöreän tapin ympäri. Kun tappeja käytetään tähän tapaan, työasema saadaan paikoitettua tarkasti, mutta pienet kohdistusvirheet on

sallittu vastakappaleiden asemoinnissa. Kuvassa 9 on havainnollistettu kahden eri muotoisen tapin käyttöä.



*KUVA 9. Pyöreän ja timantin muotoisen paikoitustapin käyttö*

Paikoitustappien vastakappaleet päätettiin valmistaa S355-teräksestä koneistamalla (kuva 10). Koska vastakappaleet kuluvat ja paikoitustarkkuus huononee ajan mittaan, suunniteltiin ne kiinnitettäväksi työaseman pohjaosaan ruuveilla ja muttereilla.

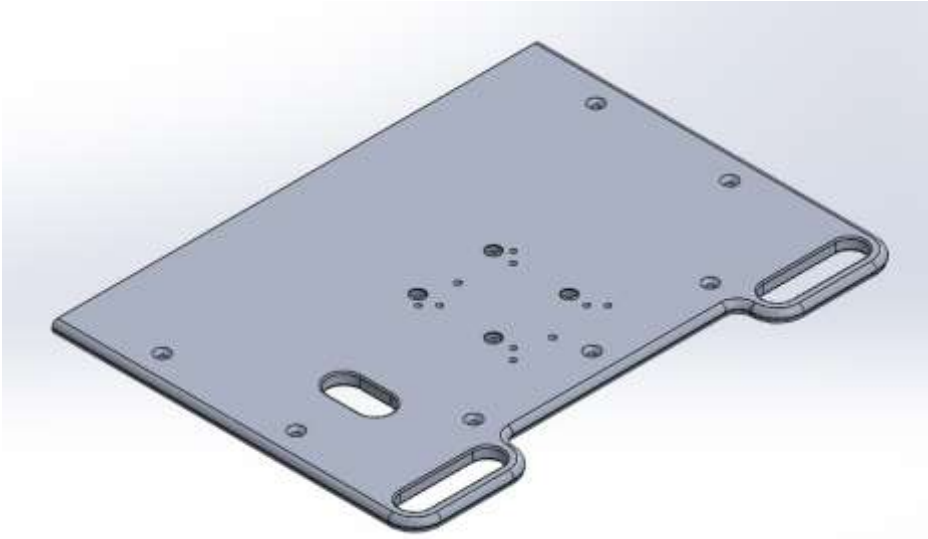


*KUVA 10. Paikoitustappien vastakappale*

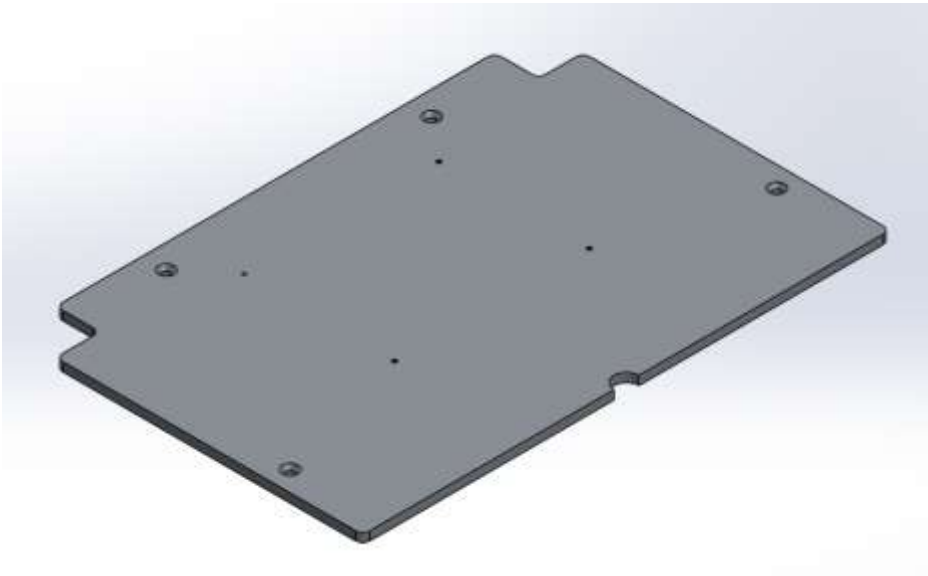
### **4.3.3 Tasojen suunnittelu**

Työtason massakeskipisteen haluttiin olevan mahdollisimman alhaalla, jotta yhteistoimintarobotin liikkuessa työasema olisi tukeva, eikä keikkuisi. Tästä syystä

ylemmän tason (kuva 11) materiaaliksi valittiin alumiini ja alemman tason (kuva 12) materiaaliksi S355-teräs.



*KUVA 11. Alumiininen ylätaso*



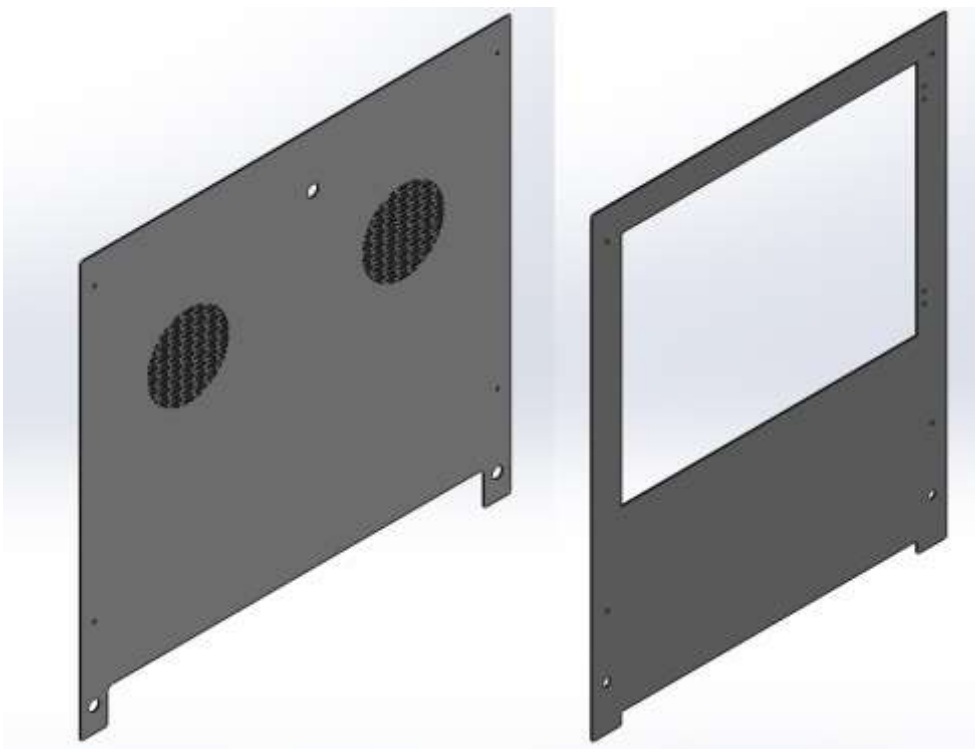
*KUVA 12. Teräksinen alataso*

Alumiinisen ylätason muoto vaihtui suunnitteluprosessin aikana muutamaan kertaan, mutta lopulta päädyttiin malliin, jossa kahvat työtason siirtämiseen ovat koneistettuna suoraan tasoon irrallisten kahvojen sijaan, ja robotin vaatima kaapelointi tuodaan ohjausyksikölle tasoon koneistetun reiän läpi. Koko irrotettavaksi suunniteltu ylätaso koostuu kahdesta identtisestä palasesta, jotta ne olisivat

helpompia käsitellä ja valmistaa. Myös alataso suunniteltiin kahdesta kappaaleesta, jotta alusta olisi kokoonpantavissa.

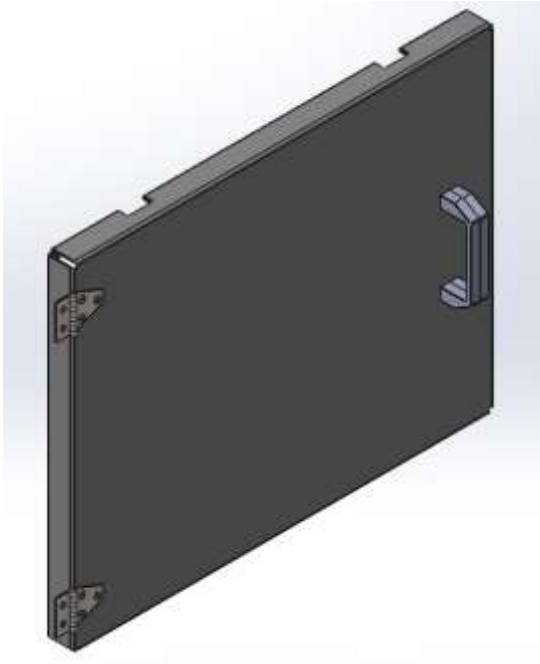
#### 4.3.4 Ulkokuoren suunnittelu

Työaseman ulkokuori päätettiin toteuttaa ohuesta teräslevystä laser- tai vesileikkaamalla. Levyt (kuva 13) kiinnitetään runkoon sormiruuveilla, jotta ne olisivat helposti irrotettavissa ja tarpeelliset huolto- ja asennustyöt työaseman sisällä olisi helpompi suorittaa. Robotin ohjausyksikön vaatima ilmanvaihto otettiin huomioon suunnittelemalla sivulevyihin ilmanvaihtoaukot.



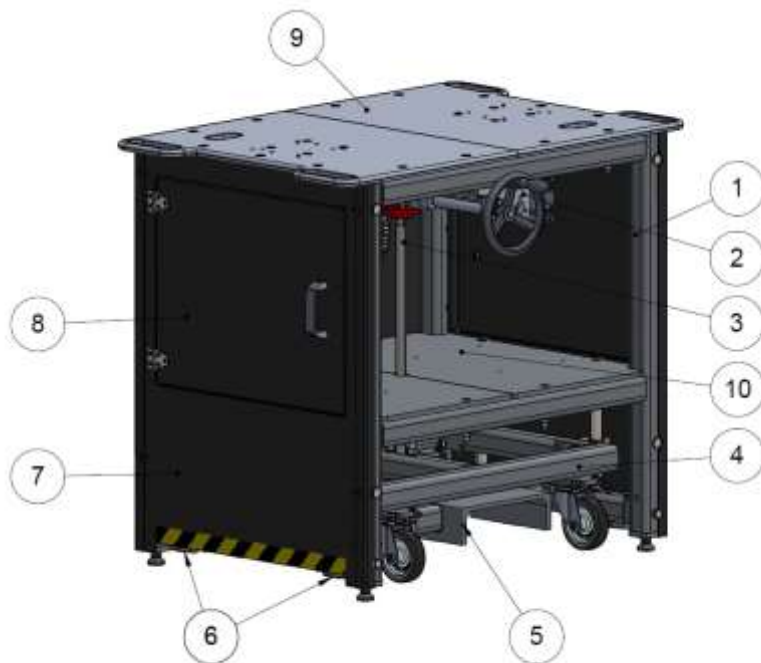
*KUVA 13. Ohutlevystä valmistettavat ulkokuoren osat*

Työaseman päätyihin suunniteltiin teräksisestä ohutlevystä särmäämällä valmistettavat luukut (kuva 14). Näin mahdollistettiin, että työaseman sisälle on helppo päästä käsiksi ilman sivulevyjen irrottamista normaali käytössä.



*KUVA 14. Särmättävä luukku*

Osat muodostavat yhdistettynä yhtenäisen tuotekokonaisuuden. Työasema ja sen osat näkyvät kuvassa 15.



*KUVA 15. Yhteistoimintarobottityöaseman osat: 1. runko, 2. käyttöakselin laakeripesä, 3. ruuvinostin, 4. kelkka, 5. pohjaosa, 6. paikoitustappien vastakappaleet, 7. ulkokuori, 8. luukku, 9. ylätaso ja 10. alataso*

#### **4.3.5 Viimeistely**

Suunnittelun ollessa muuten valmiina jouduttiin tuotteeseen tekemään joitakin muutoksia työaseman tukevan kiinnittämisen ja turvallisuusseikkojen vuoksi. Esimerkiksi kiinnityksen parantamiseksi jalkoihin lisättiin levystä taivuttamalla valmistettavat kiinnityskorvat, jotta työasema voidaan tarvittaessa kiinnittää lattiaan ruuveilla.

#### **4.3.6 Tuotedokumentit**

Yhteistoimintarobottityöaseman osista tehtiin valmistusta varten piirustukset, jotta TEHOJA-hanke pystyy valmistamaan työaseman. Valmiit piirustukset käytiin läpi ja hyväksyttiin työn tilaajan edustajilla suunnitteluprosessin jälkeen. Valmistukseen liittyvistä dokumenteista ainoastaan pääkoonpanopiirustus (liite 1) julkaistaan. Muita työasemasta luotuja dokumentteja ovat riskianalyysi ja käyttö- ja huolto-ohjeet.



## 5 YHTEENVETO

Opinnäytetyön tavoitteena oli suunnitella TEHOJA-hankkeelle tuote, jolla UR10- ja UR5-yhteistoimintarobotteja voidaan siirtää työpisteeltä toiselle vaivattomasti. Tuotteen tarkoituksena oli parantaa robottien joustavuutta ja tuotannollista tehokkuutta.

Suunnitteluprosessi toteutettiin systemaattisen tuotekehityksen oppeja soveltaen. Työn esisuunnitteluvaiheessa tuotteen kokonaistoiminto jaettiin osatoimintoihin, joille etsittiin ratkaisuita olemassa olevista tuotteista ja ideoimalla uusia. Tuotekehitystyökalujen avulla osatoimintoja yhdistellen luotiin kokonaistoimintovaihtoehtoja, joista paras vaihtoehto valittiin pisteyttämällä. Esisuunnittelutyön pohjalta työaseman osista luotiin 3D-mallit SolidWorksilla. Opinnäytetyön lopputuloksia olivat kattavat 3D-mallit, käyttöohje, riskiarvio ja valmistuspiirustukset työaseman valmistamista varten.

Suunnittelutyö sujui joitain vastoinkäymisiä lukuun ottamatta hyvin. Suurimmat ongelmat olivat sopivan ruuvinostimen löytäminen ja nostomekanismin sekä pumppukärryllä nostamisen yhdistäminen, koska tila oli hyvin rajallinen. Lopullinen työasema täytti useimmat sille vaatimuslistassa asetetut vaatimukset, ja työn tilaaja oli tyytyväinen lopputuloksiin.

Tuotteistamista varten työasema vaatii vielä jatkokehittämistä. Kustannusten optimoimiseksi rungon, pohjaosan ja kelkan hitsausliitoksia tulisi vähentää ja korvata ne esimerkiksi ruuveilla ja muttereilla. Sisäänrakennettu sähkö- ja paineilmajärjestelmä tulisi myös suunnitella, jotta robotin ja sen apulaitteiden käyttö olisi entistä helpompaa. Lisäksi tuotteen ulkonäköön tulisi kiinnittää enemmän huomiota.

## LÄHTEET

1. Tuottavuutta joustavalla automaatiolla - Tehoja. 2016. Powerpoint-diasarja. Sisäinen dokumentti. Oulun Ammattikorkeakoulu Oy.
2. Ihmisen ja robotin yhteistyö, haasteita ja mahdollisuuksia. 2014. Powerpoint-diasarja. VTT.
3. Universal Robots. Saatavissa: <https://www.universal-robots.com/>. Hakupäivä 14.6.2018.
4. UR10 Technical specifications. Saatavissa: [https://www.universal-robots.com/media/50880/ur10\\_bz.pdf](https://www.universal-robots.com/media/50880/ur10_bz.pdf). Hakupäivä 17.6.2018.
5. UR5 Technical specifications. Saatavissa: [https://www.universal-robots.com/media/50588/ur5\\_en.pdf](https://www.universal-robots.com/media/50588/ur5_en.pdf). Hakupäivä 17.6.2018.
6. Cobots Guide. Saatavissa: <https://cobotsguide.com/>. Hakupäivä 23.6.2018.
7. Easy Robotics. Saatavissa: <https://www.easyrobotics.biz/>. Hakupäivä 23.6.2018.
8. EN ISO/TS 15066. 2016. Robots and robotic devices. Collaborative robots. Itävalta: Kansainvälinen standardisoimisliitto ISO.
9. Pahl, Gerhard – Beitz, Wolfgang – Konttinen, Uolevi 1990. Koneensuunniteluoppi. Porvoo: Springer Verlag ja Metalliteollisuuden Kustannus Oy.

