



SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU
SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Asko Alinen

Robotin hankkimisen kannattavuus piensarjatuotantoa valmistavassa PK-yrityksessä

Opinnäytetyö

Kevät 2023

Insinööri (ylempi AMK), Teknologiaosaamisen johtaminen



SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU

Opinnäytetyön tiivistelmä

Tutkinto-ohjelma: Insinööri (ylempi AMK), Teknologiaosaamisen johtaminen

Tekijä: Asko Alinen

Työn nimi: Robotin hankkimisen kannattavuus piensarjatuotantoa valmistavassa PK-yrityksessä

Ohjaaja: Jussi Yli-Hukkala

Vuosi:2023

Sivumäärä:42

Liitteiden lukumäärä:

Tässä opinnäytetyössä tutkittiin robotin hankkimisen kannattavuutta UH-Koneistus Oy:lle, missä ei entuudestaan ollut yhtään teollisuus- tai yhteistyörobottia. UH-Koneistus Oy on Koivulahdessa oleva teollisuuden alihankintaan keskittynyt yritys, jolla on toimipisteet lisäksi Oravaisissa ja Seinäjoella. Tämä työ tehtiin Seinäjoen yksikköön, minne yritys on keskittänyt piensarjavalmistuksen.

Yritys oli mukana RoboValmis-hankkeessa, jonka kautta UH-Koneistus Oy:n oli tarkoitus saada yhteistyörobotti tehtaan tiloihin tutkimuksia varten. Yhteistyörobotti oli tarkoitus liittää yhteen CNC-sorviin, jolla koneistetaan useita erilaisia tuotteita erinäisiä määriä. Tässä työssä tarkoitus oli löytää tapa hyödyntää robotin apua valmistuksessa ja tutkia, onko valmistus edelleen kannattavaa. Tutkimukseen kuului lisäksi, onko valmistaminen robotilla eri valmistusmenetelmillä kannattavaa.

Saatujen tietojen perusteella tehtiin investointilaskelmia eri vaihtoehtoista. Laskelmia tehtiin sekä CNC-sorville, että työstökeskukselle. CNC-sorville olleista vaihtoehtoista suurin osa osoittautui kannattavaksi. Työstökeskukselle olleista vaihtoehtoista ei yksikään, sillä investointi kasvaisi niin suureksi, että se ei lopulta olisi kannattava. Saatujen tuloksien perusteella yrityksen johto tulee tekemään ratkaisuja robotisoinnista.

¹ Asiasanat: robotit, investoinnit, kannattavuus, konepajateollisuus, pieni ja keskisuuri teollisuus

SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Thesis abstract

Degree programme: Master's Degree Programme in Technology Competence Management

Author: Asko Alinen

Title of thesis: Profitability of investing in a robot in a small and medium-sized company manufacturing small-series production

Supervisor: Jussi Yli-Hukkala

Year:2023

Number of pages:42

Number of appendices:

In the thesis, the profitability of investing in a robot was studied for UH-Koneistus Oy, a metal industry subcontractor that had no prior experience with industrial or collaborative robots. UH-Koneistus Oy is headquartered in Koivulahti and has factories in Oravainen and Seinäjoki. The thesis focuses on the Seinäjoki factory, where the company engages in small-series production.

The company participated in the RoboValmis project, which aimed at providing a collaborative robot to the factory premises for research purposes. The collaborative robot was intended to be integrated with one of the CNC lathes that produces multiple different items in various quantities. The purpose of the research was to find ways to benefit from the robot in manufacturing and to determine if manufacturing with the robot was still profitable. The research also included examining whether different production methods with the robot were profitable.

Based on the information obtained, investment calculations for different options were conducted, including both the CNC lathe and the machining center. Most of the options for the CNC lathe were found to be profitable, while none of the options for the machining center were profitable, due to the investment required being too large to generate a profitable return. Based on the results obtained, the company's management will make decisions regarding the adoption of robotics.

¹ Keywords: robots, investments, profitability, mechanical engineering industry, small and medium-sized industry

SISÄLTÖ

Opinnäytetyön tiivistelmä	2
Thesis abstract	3
SISÄLTÖ	4
Kuva-, kuvio- ja taulukkoluetelo	5
Käytetyt termit ja lyhenteet.....	7
1 JOHDANTO	8
1.1 UH-Koneistus Oy.....	8
1.2 Tutkimuksen tarve	10
1.3 Tutkimuksen tarkoitus, tutkimuskysymykset ja tutkimusmenetelmät	10
2 TUTKIMUKSESSA KÄYTETTÄVÄ TIETO.....	13
2.1 Robotiikka	13
2.2 Investointi-, kannattavuus- ja takaisinmaksuaikalaskelmat	17
3 COBOTIN KÄYTTÖÖNOTTO JA TUTKIMINEN	22
3.1 Cobotin kannattavuuden tutkiminen CNC-sorvilla	22
3.1.1 Cobotin nostokyky.....	23
3.1.2 Kartoitetut tuotteet ja niiden valmistukseen kuluva aika	26
3.1.3 Cobotin liikenopeus ja vaihtoaika CNC-sorvilla.....	26
3.1.4 Kappaleen vaihtonopeuden vaikutus	27
3.2 Cobotin kannattavuus työstökeskuksella.....	30
4 Investointilaskelmat	33
4.1 Cobotin hankkimisen kannattavuuslaskelmat CNC-sorville.....	33
4.2 Cobotin hankinnan kannattavuuslaskelmat työstökeskukselle	36
5 TULOKSET JA YHTEENVETO	41
LÄHTEET	42

Kuva-, kuvio- ja taulukkoluetelo

Kuva 1. UH-Koneistus Oy:n Koivulahden yksikkö.....	9
Kuva 2. UH-Koneistus Oy:n Oravaisten yksikkö.	9
Kuva 3. UH-Koneistus Oy:n Seinäjoen yksikkö.	10
Kuva 4. Robotti. (Jarmoluk, 2017).	14
Kuvio 1. UR16e maksimi nostokyky, kun kappaleen painopiste siirtyy cobotin kiinnityslaipan päästä.....	24
Kuvio 2. Kappaleiden asettamisaika.	31
Taulukko 1. Kappaleiden maksimi pituudet.....	25
Taulukko 2. Cobotin ja ihmisen valmistamien kappaleiden määrä, kun käytössä vain yksi tarttuja.....	28
Taulukko 3. Cobotin ja ihmisen valmistamien kappaleiden määrä, kun käytössä kaksoistarttuja.....	28
Taulukko 4. Valmistuneet kappaleet, kun asetusajat huomioidaan.....	29
Taulukko 5. Valmistuneet kappaleet kaksoistarttujalla, kun asetusajat huomioidaan.	30
Taulukko 6. Kappaleen asettamisaika työstökeskukseen.	31
Taulukko 7. Hankintakustannukset.	33
Taulukko 8. Arvioidut nettotulot.....	34
Taulukko 9. Nettonykyarvo.	35
Taulukko 10. Sisäinen korkokanta.	35

Taulukko 11. Takaisinmaksuaika.....	36
Taulukko 12. Diskontattu takaisinmaksuaika.....	36
Taulukko 13. Pääoman tuottoastemenetelmä.....	36
Taulukko 14. Vaihtoehdot ja niiden kustannukset.....	37
Taulukko 15. Arvioidut nettotulot.....	37
Taulukko 16. Työstökeskuksella tehtävien töiden nettonykyarvo.....	38
Taulukko 17. Sisäinen korkokanta.....	38
Taulukko 18. Takaisinmaksuaika.....	39
Taulukko 19. Diskontattu takaisinmaksuaika.....	39
Taulukko 20. Pääoman tuottoastemenetelmä.....	40

Käytetyt termit ja lyhenteet

Robot interface Koneeseen tuleva käyttöliittymä, mihin robotti voidaan kytkeä. Mahdollistaa tiedon kulkemisen molempiin suuntiin.

1 JOHDANTO

Teollisuusrobotin (jatkossa robotti) tai yhteistyörobotin (jatkossa cobotti) hankinta yritykselle, jolla ei ole entuudestaan yhtään robottia tai cobottia, vaatii aina enemmän selvitystyötä kuin yrityksissä, joilla sellainen on. Soveltuuko robotti tai cobotti yrityksen valmistamiin tuotteisiin? Onko hankinta pelkkä tarpeeton kuluerä vai onko se yrityksen tuottavuutta parantava kustannus? Se, miten robotti tai cobotti saadaan toimimaan kannattavasti yrityksen tarpeita vastaavissa toiminnoissa, on suunniteltava hyvin ennen hankinnan päättämistä.

Tämä tutkimus kartoittaa cobotin käytön mahdollisuuksia piensarjatuotantoa valmistavassa yrityksessä. Yrityksellä ei ole aiempaa kokemusta roboteista, mutta se on alkanut miettiä robotin hankkimista, ja siksi se haluaa vielä saada varmuuden hankkimisen kannattavuuden puolesta. UH-Koneistus Oy:llä on muutama kone, joilla voidaan tehdä tarkistuksia robotin käytöstä. Tutkimusta on tarkoitus edistää RoboValmis-hankkeella, missä cobotti tuodaan asiakkaan, tässä tapauksessa UH-Koneistus Oy:n tiloihin, ja testataan cobotin soveltuvuutta töiden valmistamisesta. Hankkeen päätyttyä robotin kannattavuudesta on saatu enemmän tietoa töiden valmistuksesta robotin avulla.

Opinnäytetyö on rakenteeltaan seuraava. Aluksi esitellään yritys, johon opinnäytetyö tehdään, tästä jatketaan tutkimuskysymyksiin. Tutkimuskysymyksien jälkeen esitetään kirjallisuudesta saatu tieto robotiikasta sekä investointilaskennasta. Viimeisenä lukuna käydään läpi saatuja tuloksia ja näistä tehdään yhteenveto.

1.1 UH-Koneistus Oy

UH-Koneistus Oy on perheyritys, joka on aloittanut toimintansa Vaasan Osatyö Ky:nä 1979. Vuonna 1995 UH-Koneistus Oy perustettiin, ja vuonna 2004 se siirtyi nykyisiin tiloihinsa Koivulahteen. Yritys on kasvanut vuosien varrella, ja tällä hetkellä yrityksellä on kolme eri toimipistettä, Koivulahti, Oravainen ja Seinäjoki. Yrityksellä ei ole omaa tuotetta, vaan valmistus on täysin alihankintavalmistusta. Yrityksellä on useita eri palveluita: hitsaus, kokoonpano, koneistus, pintakäsittely, leikkaus, teollisuusasennukset.

Yksiköissä valmistettavat kappaleet on jaettu niiden koon ja valmistusmäärän mukaisesti. Koivulahti on keskittynyt yksittäiskappaleiden ja prototyyppien valmistamiseen (kuva 1).

Koivulahdessa valmistetaan lisäksi asiakkaan suunnittelemat nostoapuvälineet, joilla pystytään nostamaan esimerkiksi osakokoonpanoja 20–400 000 kg asti.



Kuva 1. UH-Koneistus Oy:n Koivulahden yksikkö.

Oravaisissa on hitsausta, koneistusta sekä yrityksen märkämaalaamo (kuva 2). Oravaisten yksikössä valmistetaan suuret kappaleet sekä suoritetaan toisten yksiköiden valmistamien kappaleiden maalaus. Maalauslinja perustettiin yksikön laajennustyön yhteydessä 2018.



Kuva 2. UH-Koneistus Oy:n Oravaisten yksikkö.

Seinäjoella, johon tämä opinnäytetyö tehdään, tehdään pien- ja keskiraskaiden tuotteiden sarjatuotantoa (kuva 3). Seinäjoen tarjoamat palvelut ovat hitsaus, koneistus sekä kokoonpanotyöt. Seinäjoen yksikkö on henkilöstöltään UH-Koneistus Oy:n suurin yksikkö. Seinäjoen yksiköstä tuli osa UH-Koneistus Oy:tä vuonna 2012, kun UH-Koneistus Oy osti Komas Oy:n Seinäjoen yksikön. Henkilöstö siirtyi vanhoina työntekijöinä UH-Koneistus Oy:lle.



Kuva 3. UH-Koneistus Oy:n Seinäjoen yksikkö.

1.2 Tutkimuksen tarve

UH-Koneistus Oy etsii jatkuvasti tapoja parantaakseen tuottavuuttaan. Yrityksellä ei ole aiempaa kokemusta omasta robotista ja sen mahdollisista tuottavuutta parantavista ominaisuuksista. RoboValmis-hanke on helppo lähestymistapa yrityksen saada parempi kuva robotin tuomista mahdollisuuksista ennen oman robotin mahdollista hankkimista. Haasteen yrityksessä tuo erilaisten tuotteiden määrä ja vaihtuva valmistusmäärä. Koska yrityksellä ei ole omia tuotteita, kaikki valmistettavat tuotteet ja niiden valmistusmäärä tulee asiakkaan tarpeiden mukaisesti. Seinäjoella valmistettavia tuotteita on noin 5000 kappaletta. Näiden valmistusmäärä vaihtelee riippuen valmistettavasta tuotteesta 1–2000 kappaleen välillä.

Kappaleen vaihto koneella, johon robotti kytketään, on suoritettu käsin. Tuotteet ovat kuitenkin sellaisia, että niiden vaihto onnistuu robotin avulla. Koneella valmistettavia tuotteita on useita, mutta kappalemäärät eivät ole suuria, joten asetuksia uuden tuotteen koneistamiseksi joudutaan tekemään noin kolmesta neljään kertaa viikossa. Työn yksi tutkimuskohde on selvittää, pystytäänkö valmistaminen tekemään kannattavaksi. Tällä hetkellä koneenkäyttäjällä on kolme muutakin konetta, joita hän käyttää töille suunniteltujen aikataulujen mukaisesti. Tuotteiden koneajasta ja vaativuudesta johtuen pystytään käyttämään enintään kahta konetta samanaikaisesti.

1.3 Tutkimuksen tarkoitus, tutkimuskysymykset ja tutkimusmenetelmät

Tämän tutkimuksen tarkoituksena on tutkia teollisuusrobotin toimivuutta ja investoinnin kannattavuutta kappaleiden valmistuksen apuna. Työssä selvitetään CNC-sorvilla valmistettavien tuotteiden valmistamista käyttäen apuna teollisuusrobotia. Teollisuusrobotti siirtäisi kappaleen koneelle, sekä siirtäisi valmiin kappaleen koneelta valmiille tuotteille tarkoitettuun

paikkaan. Tutkimuksessa saaduista tuloksista koostetaan päätelmä siitä, onko teollisuusrobotilla valmistus kustannustehokkaampaa. Yrityksestä on valikoitunut yksi CNC-sorvi, johon teollisuusrobotti liitetään kiinni. Kyseisellä CNC-sorvilla valmistetaan noin 50:tä erilaista tuotetta. Tällä hetkellä koneella ei ole vakituista työntekijää, vaan koneella on kiertävä koneistaja. Robotin ollessa koneella voidaan nykyistä menettelyä jatkaa. Kiertävä koneistaja varmistaisi jatkossa koneella olevan robotin valmistamien tuotteiden olevan piirustusten mukaisia, sekä tarkistaisi aiheiden riittävyuden ja tarvittaessa vaihtaisi koneelle uuden ohjelman sekä asetukset uuden tuotteen koneistamista varten. Tutkimuskysymys on *Palveleeko yrityksen tarpeita parhaiten robotti vai cobotti?* Tutkimusmenetelmänä selvitetään valmistettavat tuotteet sekä robotin ja cobotin vaatimukset ja rajoitteet.

Tutkimuksen alussa selvittää, kumpi vaihtoehdoista on yritykselle kannattavampi vaihtoehto. Robotin liikkeet ovat nopeammat, sekä sillä pystytään nostamaan raskaampia kuormia. Lisäksi robotin toiminta-alue on suurempi. Nykyisien suojamekanismien kehityttyä robotin ympärille ei tarvitse rakentaa suuria turva-aitoja rajoineen, jotta se toimisi turvallisesti. Turva-aitojen tilalle on tullut valoverho, jolla pystytään rajaamaan robotin toiminta-alueita, ja robotin liikkeet pysähtyvät, kun alueelle siirrytään (SICK, 2002). Robotin toiminta jatkuu, kun ihminen on siirtynyt pois alueelta ja kuittaa hälytyksen rajan ylityksestä pois. Cobotti ei tarvitse suoja-alueita. Cobotti on liikkeiltään hitaampi kuin robotti. Cobotin raajoihin on liitetty sensorit. Sensorit havaitsevat cobotin tekemän liikkeen vastustusta, esimerkiksi cobotin osuessa ihmiseen liike pysähtyy. Cobotti on edullisempi kuin robotti. Tutkimusta tarkistetaan koneella valmistettavien tuotteiden koon ja määrän perusteella. Koska valmistettavien tuotteiden määrä ja koko vaihtuu. Tutkimuskysymys on *Pystytäänkö valmistettavista tuotteista rakentamaan kannattava valmistusketju?* Tutkimusmenetelmänä etsitään valmistettavista tuotteista yhteneväisyyksiä, joilla valmistuksen alkua pystytään nopeuttamaan.

Yhden haasteen tutkimuksessa aiheuttaa valmistettavien tuotteiden määrä ja tuotteiden kappalemäärä. Onko asetuksen teko liian pitkä cobotin kannattavuuteen nähden? Ajaisiko ihminen kappaleet siinä ajassa valmiiksi, kunnes kaikki asetukset cobotin työskentelyä varten olisivat valmiina? Voidaanko koneistettavista tuotteista rakentaa valmistusketju, millä pystytään vähentämään asetusten tekoon kuluvaa aikaa? Työssä tutkitaan teollisuusrobotin tai cobotin kannattavuutta eri koneilla. Tutkimuskysymys on *Onko robotilla valmistaminen kannattavaa piensarjatuotannossa vain tietyissä valmistusmenetelmissä, kuten sorvauksessa tai*

työstökeskuksella kappaleen vaihtajana? Tutkimusmenetelmänä tutkitaan robotin tai cobotin toimintaa lisäksi toisenlaisella koneella.

2 TUTKIMUKSESSA KÄYTETTÄVÄ TIETO

Tutkimuksen apuna käytetään kerättyä tietoa investointilaskelmoinnista, roboteista ja niiden lisäosista. Tietoa on haettu kirjallisuudesta, verkkolähteistä sekä haastattelujen kautta.

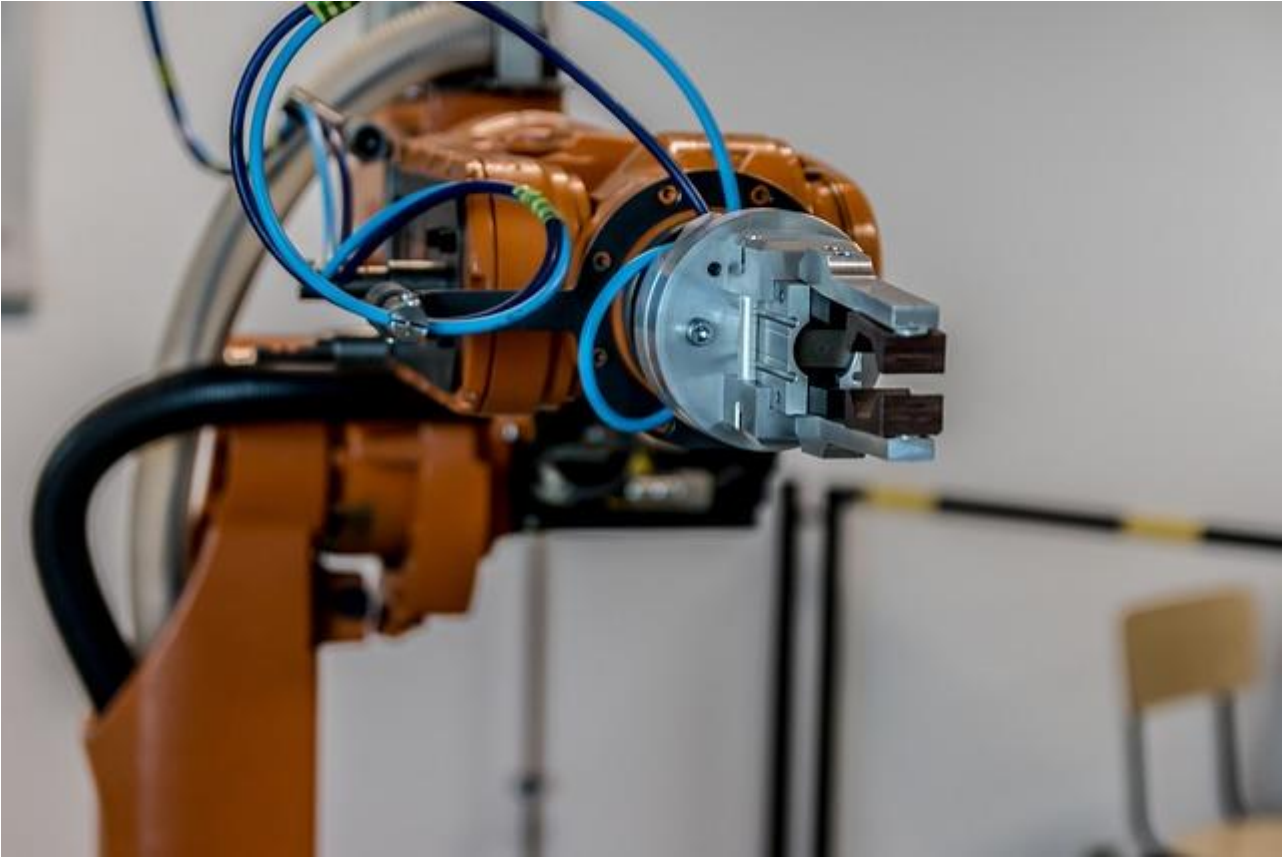
Kooste kerätyistä tiedoista löytyy opinnäytetyön tästä luvusta.

2.1 Robotiikka

George C. Devol haki patenttia teollisuusroboteille vuonna 1954, ja vuonna 1959 ensimmäinen robotti myytiin teollisuuteen (Malm ym., 2008, s. 1). Vuosi myynnin jälkeen Devol yhdessä Joseph F. Engelbergin kanssa suunnitteli Unimate-robotin. Teollisuusrobottien vallankumoksen katsotaan alkavan tästä.

Vaikka yritys harkitsee robotin hankkimista sillä ei ole tarkoituksena työntekijöiden vähentäminen. Vaikka robotti on itsenäinen työskentelijä, se kuitenkin tarvitsee henkilön, joka tarkkailee työn jälkeä sekä määrittää, mitä työtä robotti kulloinkin tekee (kuva 4) (Andersson ym., 2016, s. 14–15). Robotit luokitellaan yleisemmin seuraavasti (Alho ym., 2018, s. 10):

- Karteesiset robotit
- Sylinterimäiset ja SCARA-robotit
- Delta-robotit
- Antropomorfiset robotit (käsivarsivarsirobotit)



Kuva 4. Robotti. (Jarmoluk, 2017).

Robotit ovat kehittyneet vuosien saatossa eritoten siksi, että robotteja on tehty asiakkaiden ehtojen mukaisesti (Chrysostomou, 2019, s. 469). Robottivalmistajia on ollut useita, mutta osa niistä on vuosien saatossa lopettanut toimintansa, koska vaikka valmistajilla on ollut hyvä idea roboteista, se ei ole vastannut asiakkaan tarvetta.

Turvallisuus. Robottien turvallisuusvaatimukset valmistuksesta ja käytöstä on määritelty EN ISO 10218-1 ja EN ISO 10218-2 standardeissa (SFS, 2011). Yrityksen tulee tehdä standardin vaatimat suojaavat toimenpiteet taatakseen turvallisen käytön. Standardit määrittävät tarkasti suoja-alueen. Cobotit ovat laitteita, joiden kanssa ihminen pystyy työskentelemään turvallisesti (Wiredworkers, i.a.). Cobotti on varusteltu sensoreilla, joiden avulla ne tunnistavat törmäyksen ja lopettavat liikkeensä välittömästi.

Ohjaus. Robotin ohjaus on PLC (programmable logic controller), eli robotin toiminta perustuu I/O rajoihin (Manesis & Nikolakopoulos, 2018, s. 395–396). Rajan kuitaantuessa seuraava vaihe aloittaa toimintansa. I/O:n kautta saadut tulevat ja lähtevät tiedot ohjaavat robotin toimintaa. Robotin saadessa signaalin tekee se logiikkaan määritellyt seuraavat toiminnot. Robotti lähettää signaaleja siihen kytkettyyn laitteeseen operoidakseen sitä.

Liikeradat ja ohjelmointi. Roboteissa on kolme tai useampi nivel, joilla jokaisella on oma vapausasteensa. Vapausaste on luku, joka kuvaa robotin liikesuuntia, mikä vaihtelee riippuen robotin rakenteesta (Alho ym., 2018, s. 10). Vapausasteita voidaan ohjata vapaasti liikeratojen sisällä käyttäen servomoottoreita (Aalto ym., 1999, s. 19). Robotin ohjelmointi voi tapahtua joko etänä, mitä kutsutaan off-line-ohjelmoinniksi, tai robotin vieressä on-line-ohjelmoinnalla (Buller ym., 2018, s. 62–63). Off-line-ohjelmointi on nopeampi tapa ohjelmoida, sillä ajettavaa ohjelmaa pystytään testaamaan ennakkoon, täten paikan päällä tehtävää ohjelmointia ei tarvitse testata. Ohjelma voidaan ladata robottiin langattomasti, langallisesti tai muistikortin avulla. Robotin ohjelmointiin on olemassa omia robottisimulaattoreita, joiden avulla pystytään mallintamaan tehtävät toiminnot ja laitteet. Ohjelma näyttää, tapahtuuko liikeratojen aikana törmäyksiä tai muita turvallisuusriskejä. On-line-ohjelmointitavat ovat seuraavat:

- Koneen liikkeiden määrittäminen käsiohjaimen avulla.
- Ohjelmoinnalla käsiohjaimen kautta.
- Siirtämällä käsin robotin käsivarsi oikeaan kohtaan ja määrittämällä tämän avulla robotin tekemä liike.
- Robotin ohjelmointi konenäköä hyväksi käyttäen.

Off-line-ohjelmointitavat ovat seuraavat (Malm ym., 2008 s. 95–99):

- Ohjelman kirjoittaminen tietokoneella.
- Ohjelmointi käyttäen graafista ohjelmistoa.
- Tietokoneavusteinen ohjelmointi.

Tarraimet. Robottiin on kytkettävissä erilaisia tarraimia (Aalto ym., 1999, s. 60–64). Tarraimien suunnittelussa ja valinnassa tulisi muistaa, että niiden kohdalla ei tulisi matkia ihmisen toimintoja vaan miettiä kokonaisuutta. Tarraimet luokitellaan omiin päälohkoihinsa, jotka ovat seuraavat:

- Mekaaniset tarraimet
- Imu- ja tyhjiötarraimet
- Magneettitarraimet
- Erikoistarraimet
- Vakiotarraimet

Käytettävyys. Cobottien luvataan tehostavan monia työvaiheita, mutta nämä ovat yleensä myyntipuheita (Nortio, 2020). Paras tapa todeta cobotin toimivuus on laittaa se tekemään sille tarkoitettua työtä, jolloin yritys pystyy toteamaan laitteen kannattavuuden. Cobotin kapasiteetin lisäyksen pystyy toteamaan vasta, kun cobotti on suorittanut työvaiheensa ja tästä on saatu tiedot kirjattua ylös. Kirjattua tietoa verrataan aiempiin tietoihin. Cobotti lisää laadullista hyötyä, sillä sen voi laittaa tekemään töitä, jotka ovat raskaita tai joissa on mahdollisuus altistua myrkyllisille aineille. Cobotit ovat kokonsa puolesta helposti liikuteltavissa paikasta toiseen (Wiredworkers, i.a.). Cobotin jokainen liike on tehty samalla voimalla, joten toistotarkkuus on hyvä. Riippuen mallista cobotin nostokyky on 3–20 kg, toimintasäde 500–1730 mm ja liikenopeus säädettävissä 0–375 mm/s (Machine Tool, 2022). Cobotti on kevyempirakenne kuin teollisuusrobotti, eikä sen liikkeet, toimintasäteet ja nostokyky ole yhtä suuria. Yrityksen valmistamat tuotteet kuitenkin soveltuvat täysin cobotin nostettaviksi.

Lisäosat. Coboteihin on saatavilla erilaisia tarttujia, työkaluja sekä hitsaussuojia (Wiredworkers, i.a.). Tarttujat ovat pikakiinnitteisiä, joten vaihtamiseen ei kulu aikaa. Coboteihin on saatavilla pikakiinnitysadaptereita, tällöin cobottiin saadaan kaksi tarttujaa samanaikaisesti. Tämä nopeuttaa kappaleen vaihtoa koneella. Kun toinen kappale on irrotettu koneesta cobotin pää kääntyy ja uusi aihio voidaan kiinnittää koneeseen. Pitää kuitenkin muistaa, että tällöin aihion paino voi olla maksimissaan noin puolet cobotin nostokyvystä. Cobottiin on mahdollista saada kamera, jonka avulla cobotti tunnistaa noudettavan esineen muotojen mukaan.

Kustannukset. Cobotin hintaluokka liikkuu 20 000–50 000 euron välillä riippuen haluttavista ominaisuuksista. Lisäosien hinnat ovat muutamista sadoista tuhansiin euroihin. Machine Tool (2022) sekä Wisematic (2022) esittelevät omilla kotisivuillaan roboteihin saatavia vaihtopäitä sekä lisäosia, joilla on mahdollista saada useampi tarrain kiinni cobottiin samanaikaisesti.

Vaatimustenmukaisuusvakuutus. Koneen valmistaja merkitsee koneeseen CE-merkinnän, mikä tarkoittaa, että tuotteen on arvioitu täyttävän turvallisuus-, terveys- ja ympäristönsuojeluvaatimukset (Euroopan komissio, i.a.). Valmistajan on tehtävä EU-vaatimuksenmukaisuusvakuutus, mikä on asiakirja millä valmistaja vakuuttaa tuotteen olevan vaatimustenmukainen (Turvallisuus- ja kemikaalivirasto (Tukes, i.a.). Vaatimustenmukaisuusvakuutuksessa ilmoitetaan kaikki direktiivit ja asetukset, joiden vaatimukset tuote täyttää. Vaatimustenmukaisuusvakuutuksessa ilmoitetaan seuraavat:

- Tuotteen valmistaja.

- Itse tuote tai tuotteet yksilöitynä, jota tämä vaatimustenmukaisuusvakuutus koskee.
- Direktiivi(t) minkä mukainen tuote on. Mitä standardeja sovellettu.
- Vaatimuksenmukaisuusvakuutuksen antaja.
- CE-merkin käyttöön oikeuttavat direktiivit ja standardit.

Jokaisesta koneesta on tällöin olemassa oma vaatimustenmukaisuusvakuutus, kuitenkin kun eri koneista kootaan koneryhmä, tulee tehdä uusi vaatimuksenvakuutus (Euroopan komissio, 2010. s. 36). Koneryhmä kootaan käyttäen EN ISO 16111 standardia, missä riskienarvioinnit sekä muut suojaukset on määritelty (Saarola, i.a.). Euroopan parlamentin ja neuvoston asetuksen (EU) 2006/42/EY mukaan henkilön, joka kokoaa koneryhmän, katsotaan olevan koneen valmistaja.

2.2 Investointi-, kannattavuus- ja takaisinmaksuaikalaskelmat

Investointi on varojen käyttöä kohteisiin, jotka tuottavat tuloa pitkällä aikavälillä (Järvenpää ym., 2017, s. 373). Aikaväli on yleensä yli vuoden mittainen. Investointeja voidaan ryhmitellä hyötyjen mukaisesti. Ryhmillä on erilaisia tuottovaatimuksia.

Tuottovaatimukset suuntaa antavilla arvoilla voivat olla esimerkiksi seuraavat (Neilimo & Uusi-Rauva, 2005, s. 210):

- Pakolliset investoinnit, kuten laki ja viranomaismääritysten alaiset. Ei tuottovaatimusta.
- Markkina-aseman turvaaminen. 6 %:n tuottovaatimus.
- Kustannusten alentaminen. 15 %:n tuottovaatimus.
- Tuottojen kasvattaminen. 20 %:n tuottovaatimus.
- Koneiden ja laitteiden uusiminen ja korjaamien. 12 %:n tuottovaatimus.
- Uudelle markkina-alueelle lähteminen. 25 %:n tuottovaatimus.

Investointeja voidaan määritellä niiden ohjaustason mukaan operatiivisiin ja strategisiin investointeihin tai luonteen mukaisesti aineellisiin ja aineettomiin investointeihin (Ikäheimo ym., 2019, s. 176, 178). Jotkut investoinnit ovat sellaisia, että niitä ei laskentatoimen kautta pysty näkemään. Tällaisia ovat esimerkiksi ympäristövaikutukset, työntekijöiden viihtyvyys ja työllisyysvaikutukset.

IDC-malli on Simonin kehittämä työkalu, missä investoinnit jaetaan neljään eri vaiheeseen. Työkalun ensimmäinen vaihe on investointimahdollisuuksien etsiminen ja karsiminen (Ikäheimo ym., 2019, s.178–179). Tässä vaiheessa määritellään, mitkä investoinnit tehdään ja miten niissä edetään. Toisessa vaiheessa arvioidaan vaihtoehtoja ja tehdään päätökset. Tässä vaiheessa selvitetään kassavirrat ja epävarmuustekijät, lisäksi tehdään investointiehdotus päätöksentekoa varten. IDC-mallin kolmas vaihe on toteuttaa investointi. Projektin hallinta on keskeisessä roolissa, sillä huono toteutus voi pilata suunnitelman. Viimeinen vaihe on investoinnin hallinnointi ja arviointi toteutuneen investoinnin jälkeen. Tässä vaiheessa tarkistetaan, kuinka hyvin investointi on toteutunut. Saadulla tiedolla pystytään kehittämään toimintaa tulevaisuudessa tehtävien investointien läpiviemisessä.

Investoinnin on tarkoitus parantaa yrityksen toimintaa useita vuosia (Jormakka ym., 2021, s. 256–258). Kannattavuutta arvioitaessa on suotavaa tehdä herkkyysoanalyysyjä, joilla tarkistetaan muutosten vaikutuksia. Tämä tehdään siksi, että lähtötiedot eivät aina ole paikkaansa pitäviä. Investointiprojektin seuranta on tärkeää, sillä vaikka laskelmia olisi tehty, voi silti projekti edetä tavalla, jota ei alun perin olla suunniteltu.

Investoinnin ajankohta tulee määrittää riittävän hyvin (Neilimo & Uusi-Rauva, 2005, s. 206–207). Väärään aikaan tehty investointi voi heikentää yrityksen toimintaa, sillä investointi sitoo yrityksen varoja pitkäksi aikaa. Yksi investoinnin kriteereistä on, että se olisi yhteensopiva yrityksen yritysstrategiaan. Tulevaisuus on aina epävarma, joten investoinnin oikeaa aikaa on todella vaikea määrittää.

Investoinnin kannattavuuslaskentaan, jotka ovat mitattavissa, tarvitaan seuraavia tietoja (Jyrkkiö & Riistama, 2004, s. 206–207):

- Juoksevat tuotot.
- Juoksevat kustannukset.
- Hankintakustannus.
- Investointiajanjakso.
- Kohteen jäännösarvo.
- Laskentakorkokanta.

Nettonykyarvo lasketaan vähentämällä investoinnista diskontatut nettotuotot, jäännösarvo (Suomala ym., 2011, s. 155–156). Investointi on kannattava tuloksen ollessa positiivinen. Maksuperusteista tapaa käytettäessä lisätään laskentaan vapautuva käyttöpääoma. Nettonykyarvon laskentakaava on seuraava:

$$NNA = -Inv + \frac{NT_{t_1}}{(1+k)^{v_1}} + \frac{NT_{t_2}}{(1+k)^{v_2}} + \frac{NT_{t_3}}{(1+k)^{v_3}} + \dots \quad (1)$$

Missä

NNA on nettonykyarvo

Inv on investoitu summa

NT_t on nettotuotot vuosittain

k on laskentakorkokanta

v on vuosi

Sisäisen korkokannan laskennassa verrataan saatua tulosta asetettuun tuotto prosenttiin (Suomala ym., 2011, s. 157–158). Arvon ollessa sama tai suurempi, hanke on kannattava. Useista vaihtoehdoista valittaessa kannattavin vaihtoehto on investointi, jonka sisäinen korkokanta on suurin. Laskennan kanssa tulee olla tarkka, sillä sisäisiä korkokantoja saattaa löytyä enemmän kuin yksi. Tämän lisäksi sisäinen korkokanta ja nettokykyarvo voivat antaa toisistaan poikkeavat päätösuositukset. Sisäisen korkokannan laskukaava, mistä ratkaistaan R, on seuraava:

$$INV + \frac{NT_{t_1}}{(1+R)^{v_1}} + \frac{NT_{t_2}}{(1+R)^{v_2}} + \frac{NT_{t_3}}{(1+R)^{v_3}} + \frac{NT_{t_4}}{(1+R)^{v_4}} + \dots = 0 \quad (2)$$

Missä

INV on investoitusumma

NT_t on nettotuotot vuosittain

R on sisäinen korkokanta

v on vuosi

Investointi jaetaan annuiteettimenetelmässä ajanjaksolle yhtä suuriksi arvoiksi (Suomala ym., 2011, s. 160–161). Annuiteetin laskukaavasta saatua tulosta verrataan kyseisen vuoden nettotuottoon. Arvon ollessa positiivinen, on investointi kannattava. Annuiteetti lasketaan seuraavalla kaavalla:

$$PMT = \left(\frac{1}{(1+k)^v} + \frac{1}{(1+k)^v} + \dots \right)^{-1} \quad (3)$$

$$\text{Annuiteetti} = PMT * \text{Investointisumma}$$

Missä

PMT on annuiteettitekijä

k on laskentakorkokanta

v on vuosi

Pääoman tuottomenetelmässä lasketaan ROI (return on investment), eli tuottoaste (Suomala ym., 2011, s. 161). Arvon ollessa positiivinen, on investointi kannattava. ROI:n laskukaava on seuraava:

$$ROI = \frac{\text{Tulot} - \text{Myytyjen tuotteiden kustannukset}}{\text{Myytyjen tuotteiden kustannukset}} \quad (4)$$

Takaisinmaksuajanmenetelmässä kannattavuuden osalta seurataan aikaa, kun hankintahinta on katettu sen tuottamilla nettotuloilla (Järvenpää ym., 2017, s. 388). Investointi on sitä parempi, mitä nopeammin hankintahinta on katettu. Takaisinmaksuajanmenetelmän kaava on seuraava:

$$\text{Takaisinmaksuaika} = \frac{\text{Investoinnin hankintameno}}{\text{Vuotuiset nettokassavirrat}} \quad (5)$$

Takaisinmaksuajan menetelmä voidaan laskea korollisena, joten rahan aika-arvo on huomioitu (Suomala ym., 2011, s. 159–160). Takaisinmaksuajan menetelmä, missä rahan aika-arvo on huomioitu, lasketaan kaavalla:

$$T = \frac{I}{N_d} \quad (6)$$

Missä

T Takaisinmaksuaika

I Viimeinen erä investoinnin kattamatta olevasta osasta

N_d Diskontattu nettotulo viimeisen investoinnin kattamattoman erän kohdalta

3 COBOTIN KÄYTTÖÖNOTTO JA TUTKIMINEN

Yrityksellä ei ole CNC-koneissa robot interfacea, mikä on liitäntä robotin ja CNC-koneen välille. Robotti pääsee tällöin muuttamaan koneelle ohjelman sekä saa tiedon koneelta, kun kappale on valmis. Tämän lisäksi, kun koneelta tulee virheilmoitus robotille, robotti lopettaa liikkeensä. Robotti on kuitenkin mahdollista liittää koneeseen, mutta kaikkia tietoja ei pystytä CNC-koneen ja robotin välillä tällä tavalla saamaan, koska liitäntä tapahtuisi signaalien haulla koneen sähkökaapista. Kytkennän pystyy tekemään automaatioasentaja, jolle on annettu tarkat tiedot kytkennästä, mutta Seinäjoen ammattikorkeakoululla ei ole automaatioasentaa, jolla olisi lupa tai vakuutus kyseisen kytkennän suorittamiseen. Liittäminen muulla tavalla kuin robot interfacen kautta aiheuttaa suuren riskin koneiden rikkoutumiselle sekä vaaratilanteiden aiheutumiselle. Riski kasvoi liian suureksi, joten sen takia RoboValmis-hanketta ei pystytty jatkamaan ja yritys ei saanut cobottia toimitiloihinsa. Työtä kuitenkin jatketaan Machine Toolilta saaduilla tiedoilla. Työssä yritys sai tietoa Machine Toolilla työskenteleviltä Juho Liljalmolta (henkilökohtainen tiedonanto, 17.3.2023) sekä Niko Nevalaiselta, jotka tekivät UH-Koneistus Oy:n pyytämän simuloinnit cobotilla vaiheajojen määrittämiseksi.

3.1 Cobotin kannattavuuden tutkiminen CNC-sorvilla

Kannattavuutta tutkittaessa vertaillaan cobotin tekemää työtä ihmisen tekemään työhön. Koneen, tässä tapauksessa CNC-sorvin, tekemä työstöaika pysyy vakiona. Ihmisen tekemäksi työksi valmistuksen aikana luetellaan asetuksen teko, kappaleiden syöttö koneelle, kappaleiden poisto koneelta, sekä kappaleen tarkistus. Asetuksen teko sisältää oikean ohjelman valitsemisen, tarvittavien työkalujen laittamisen koneeseen, sekä pakan leukojen vaihton. Jokainen kappale on erilainen, joten koneelle pitää määrittää oikea työstöohjelma. Valmistetun kappaleen työkaluilla ja leuoilla ei välttämättä pysty koneistamaan seuraavaksi työn alle tulevaa kappaletta. Yrityksellä on tapana tarkistaa, riippuen kappaleesta, joko koko valmistettu tuotantoerä tai ensimmäinen, keskimäinen sekä viimeinen kappale. Jokaista ihmisen tekemää työtä ei voida korvata tässä tapauksessa cobotilla. Valmistettava kappale olisi mahdollista tarkistaa koneessa olevalla anturilla, ulkoisella skannerilla. Yrityksellä ei kuitenkaan ole kyseisiä laitteita, joten tarkistus on tehty käyttäen mittavälineitä. Cobotille tällöin jäisi kappaleen syöttö koneelle ja kappaleen poisto koneelta. Kokonaisuutena tämä vie eniten aikaa kappale-erän valmistuksen aikana.

Yrityksellä on tällä hetkellä kaksi henkilöä, jotka kiertävät neljän sorvin välillä, riippuen millä koneella on aikataulullisesti seuraava tuote valmistettava. Koneet eroavat toisistaan sen verran, että kaikkia töitä ei voida eikä ole järkevää yhdellä koneella tehdä. Työn määrän lisääntyessä lisäresurssin tarpeen määrä on tullut ajankohtaiseksi. Cobotti voisi toimia kappaleen vaihtajana, ja työntekijä voisi käyttää toista konetta sillä aikaa, kun cobotti olisi saanut työnsä tehtyä. Työntekijä kuitenkin joutuisi tietyn väliajoin käymään tarkistamassa valmistetut kappaleet ja tekemään tarvittaessa muutokset koneelle.

Universal Robotsin Miika-Pekka Jokinen (henkilökohtainen tiedonanto, 6.2.2023) kertoo UR16E cobotin suositushinnan olevan 39 830 €. UR16E on malli, joka riittäisi yrityksen tarpeisiin. Vertailuksi otettiin kokoluokkaa suurempi malli UR20, jonka hinta on 48 900 €. Cobotin mukana on mahdollista ostaa lisäksi RoboDK-sovelluksen, jonka kertamaksu on 4 000 €. RoboDK-sovelluksen avulla on mahdollista suunnitella robotin suorittama rata ja viedä tämä tieto suoraan robotille. Olemassa on muita vastaavanlaisia ohjelmistoja.

Miika-Pekka Jokinen (henkilökohtainen tiedonanto, 9.3.2023) kertoi Robotiq-yrityksestä, joka tekee CNC-koneiden ja robottien integraatioita. Häneltä saadulla Robotiq-yrityksen toiminnan esittelyvideolla yhdistäminen suoritettiin ilman koneen sähköihin kytkentää. Kytkennässä liitännä koneen ja cobotin välille tehtiin sensoreiden sekä pneumaattisten painikkeiden avulla. Joissakin koneissa on koneen käyntiin perustuvat koneen ulkopuolella sijaitsevat valot. Valot ilmoittavat koneen työstön, työstön valmistumisen ja vikatilan joko palamalla jatkuvasti tai vilkkumalla. Koneita tulitisiin kuitenkin yksittäisten kappaleiden aikana käyttämään ilman cobottia, sillä tämä on ajallisesti ja kustannusten kannalta kannattavampaa, joten tämä vaihtoehto jätettiin tutkimuksessa pois. Tieto tuotiin yrityksen käyttöön, mikäli tutkimuksen jälkeen todettaisiin tarvetta myös useammalle cobotille ja kytkennät haluttaisiin tehdä ilman robot interfacen hankintaa.

3.1.1 Cobotin nostokyky

Universal Robotsin kotisivuilta tutkitun käyttäjän ohjekirjan mukaan UR16e cobotin nostokyky on 16 kg sen koko työskentelyalueella ja UR20 cobotin nostokyky on 20 kg sen koko työskentelyalueella. Kappaleen ollessa epäsymmetrinen ja käsiteltävän kappaleen painopisteen sijainnin meneessä kauaksi kiinnityslaipasta cobotin nostokyky vähenee. Käsiteltävät kappaleet tulee sijoittaa lähelle koneen karaa, että suurin mahdollinen nostokyky on käytettävissä.

UR16e nostokyvyn muutokset ovat nähtävillä kuviosta 1. Cobotin ulottuvuus on 900 millimetriä. Ulottuvuus on määritelty cobotin kiinnityslaipasta cobotin keskipisteeseen. Tarttuja tuo ulottuvuutta lisää 60 millimetriä. Nostokyvyssä tulee huomioida, että nostettavaan taakkaan tulee lisätä tarttujasta sekä kamerasta tuleva paino, mikä vaihtelee eri valmistajilla. UR20 cobotin käyttäjän ohjekirjaa ei ollut saatavilla, joten nostokyvyn muutoksista ei pystytty tekemään kuviota.



Kuvio 1. UR16e maksimi nostokyky, kun kappaleen painopiste siirtyy cobotin kiinnityslaipan päästä.

Kappaleen vaihtoa nopeuttaakseen cobotin käsivarren päähän on ostettavissa kaksoistarttuja, millä pystytään viemään uusi aihio koneen sisälle ja vaihtaamaan se heti valmiin kappaleen koneesta irrotuksen jälkeen. Tällä tavalla pystytään vähentämään useampi sekunti vaihto-operaatiosta. Kaksoistarttuja painaa yhteensä noin 2.2 kilogrammaa ja kamera 0.2 kilogrammaa, tämä tulee huomioida, kun lasketaan yrityksen valmistamien tuotteiden aihoiden paino ja pituus.

Materiaalien painoille tehtiin taulukko 1, josta pystyttiin tarkistamaan, kuinka pitkä aihio voi olla eri halkaisijoilla. Maksimi painoksi valittiin UR16e nostokyky jaettuna kahdelle kappaleelle. Tässä huomioitiin, että kaksoistarttujan jälkeen aihion painokeskipiste ylittäisi 150 millimetriä cobotin kiinnityslaipan, sekä käytössä olisi kamera. Maksimi painoksi määriteltiin 5 kilogrammaa, mikä on tarttujan maksimi nostokyky. Yrityksessä olevilla CNC-koneella on useita erilaista valmistettavaa kappaletta. CNC-koneeseen, johon cobotti on tarkoitus kytkeä, pystytään valmistamaan noin 80 % valmistettavista tuotteista.

Taulukko 1. Kappaleiden maksimi pituudet.

Teräs			Alumiini		
Halkaisija	Paino/m (kg)	5 kg max, joten pituuden pitää olla maksimissaan (mm)	Halkaisija	Paino/m (kg)	5 kg max, joten pituuden pitää olla maksimissaan (mm)
10	0,2	25478	10	0,1	71429
12	0,3	17693	12	0,1	49603
13	0,3	15076	13	0,1	42265
15	0,4	11323	15	0,2	31746
16	0,5	9952	16	0,2	27902
18	0,6	7863	18	0,2	22046
20	0,8	6369	20	0,3	17857
22	0,9	5264	22	0,3	14758
25	1,2	4076	25	0,4	11429
28	1,5	3250	28	0,5	9111
30	1,8	2831	30	0,6	7937
32	2,0	2488	32	0,7	6975
35	2,4	2080	35	0,9	5831
36	2,5	1966	36	0,9	5511
38	2,8	1764	38	1,0	4947
40	3,1	1592	40	1,1	4464
45	4,0	1258	45	1,4	3527
50	4,9	1019	50	1,8	2857
55	5,9	842	55	2,1	2361
60	7,1	708	60	2,5	1984
65	8,3	603	65	3,0	1691
70	9,6	520	70	3,4	1458
75	11,0	453	75	3,9	1270
80	12,6	398	80	4,5	1116
85	14,2	353	85	5,1	989
90	15,9	315	90	5,7	882
95	17,7	282	95	6,3	791
100	19,6	255	100	7,0	714
105	21,6	231	105	7,7	648
110	23,7	211	110	8,5	590
115	26,0	193	115	9,3	540
120	28,3	177	120	10,1	496
125	30,7	163	125	10,9	457
130	33,2	151	130	11,8	423
135	35,8	140	135	12,8	392
140	38,5	130	140	13,7	364
145	41,3	121	145	14,7	340
150	44,2	113	150	15,8	317
155	47,1	106	155	16,8	297
160	50,2	100	160	17,9	279

3.1.2 Kartoitetut tuotteet ja niiden valmistukseen kuluva aika

Tutkimusta varten kartoitettiin jokainen valmistettava tuote, niiden arvioitu vuosimäärä, aihio, josta tuote on tarkoitus valmistaa, valmistettavien tuotteiden työstöaika sekä asetukseen kuuluva aika. Aika mikä kului kappaleen aihion viemiseen koneeseen ja valmiin kappaleen poistamiseen kirjattiin ylös.

Kartoitetut tuotteet kerättiin listaan ja niiden työstöaika otettiin järjestelmästä. Kappaleiden lukumäärän takia asetusten tekemiseen määriteltiin 15–40 minuuttia tuotetta kohti. Työstöajaksi vuositasolla kappaleiden valmistamiseen koneella kuluu kokonaisuudessaan 1400 tuntia, laskennoissa ei otettu huomioon yksittäisiä tuotteita, joita saattaa vuodessa esiintyä useita, ja näistä ei ole saatavilla ennustetta. Asetuksia koneella tehdään vuodessa 270 tuntia laskennassa huomioituihin kappaleisiin. Kannattavuuslaskemaa tehtäessä tulee siis huomioida, että operaattorille kertyy 270 tuntia asetusten tekoa.

3.1.3 Cobotin liikenopeus ja vaihtoaika CNC-sorvilla

Cobotin liikenopeus on määriteltävissä 0–375 mm/s riippuen turvallisuudesta. Nopeutta voidaan pienentää vaaratilanteiden minimoimiseksi, kun ihminen työskentelee cobotin kanssa. Suojausta voidaan parantaa käyttämällä valoverhoja sekä turvaskannereita. Cobotille voidaan määritellä turvanopeus, joka kytkeytyy ihmisen tullessa työskentelyalueelle, tai cobotin liike voidaan pysäyttää kokonaisuudessaan. Kappaleen koon sekä työntekijän oman nopeuden mukaan vaihtoaika työntekijän tekemänä on 10–30 sekuntia. Aika sisältää koneen oven avaamisen, kappaleen poiston koneesta pöydälle, leukojen puhdistuksen mahdollisista lastuista, uuden kappaleen asettamisen koneeseen ja koneen oven sulkemisen. Etäisyys koneen karan ja pöydän välillä on 1500 millimetriä. Machine Toolin tekemän kellotuksen mukaisesti cobotin ajat ovat yksittäistarttujalla käyttäen nopeutta 250 mm/s 35 sekuntia. Korotettua nopeutta 375 mm/s käyttämällä vaihtoajaksi saadaan 26 sekuntia. Kaksoistarttujalla 250 mm/s nopeudella vaihtoaika on 24 sekuntia. Kaksoistarttujalla 375 mm/s nopeutta käyttämällä vaihtoajaksi tuli 18 sekuntia. Ajat on kellotettu niin, että seuraava kappale on valmiina tiettyssä paikassa ja cobotti tietää poimia sen samasta paikasta. Käytettäessä kameraa kappaleiden poimimiseen, yksittäistarttujalla vaihtoaika kasvaa muutamia sekunteja pidemmäksi, sillä kone joutuu etsimään oikean poimimiskohdan, joten yksittäistarttujan aikoihin lisättiin 3 sekuntia. Syöttölaite poistaisi tämän lisätyn ajan. Osa syöttölaitemalleista perustuu painovoimaan, missä ensimmäisen kappaleen noudettua uusi kappale työntyy esiin.

Liukuhihnamallissa anturi tunnistaa, kun kappale on kohdalla ja pysähtyy niin, että uusi kappale on määritellyssä kohdassa, mistä robotti sen noutaa. Tämä vaihtoehto jätettiin kuitenkin laskelmista pois, koska nostaisi investoinnin kustannuksia, vaatisi operaattorilta enemmän käyntejä koneella sekä aiheuttaisi suuremman layout-muutoksen kuin alkuaan on suunniteltu.

3.1.4 Kappaleen vaihtonopeuden vaikutus

Nopeuden vaikutus valmistuneisiin kappaleisiin päivän aikana yksittäis- ja kaksoistarttujalla on nähtävillä taulukoista 2 ja 3. Laskennat tehtiin siten, että työntekijän vaihtoajaksi määriteltiin 20 sekuntia. Koneistusajaksi määriteltiin 2.5, 5, 10 ja 15 minuuttia. Taulukoista on nähtävillä, että cobotti pystyy päivän aikana valmistamaan enemmän kappaleita käyttämällä korotettua nopeutta, kun cobotilla ei ole päivän aikana ruoka- tai kahvitaukoja. Ainoastaan lyhyen koneistusajan tuotteita valmistuu vähemmän, kun käytetään nopeutta 250 mm/s.

Taulukko 2. Cobotin ja ihmisen valmistamien kappaleiden määrä, kun käytössä vain yksi tarttuja.

Vaihtoaika cobotilla (sekuntia)	Vaihtoaika ihmisellä (sekuntia)	Valmistusaika (minuuttia)	Valmistuneet kappaleet päivän aikana cobotilla	Valmistuneet kappaleet päivän aikana ihmisellä	Ero %
38	20	2,5	153	158	3,3 %
29	20	2,5	160	158	-1,3 %
38	20	5	85	84	-1,2 %
29	20	5	87	84	-3,4 %
38	20	10	45	43	-4,4 %
29	20	10	45	43	-4,4 %
38	20	15	30	29	-3,3 %
29	20	15	31	29	-6,5 %

Taulukko 3. Cobotin ja ihmisen valmistamien kappaleiden määrä, kun käytössä kaksoistarttuja.

Vaihtoaika cobotilla (sekuntia)	Vaihtoaika ihmisellä (sekuntia)	Valmistusaika (minuuttia)	Valmistuneet kappaleet päivän aikana cobotilla	Valmistuneet kappaleet päivän aikana ihmisellä	Ero %
24	20	2,5	165	158	-4,2 %
18	20	2,5	171	158	-7,6 %
24	20	5	88	84	-4,5 %
18	20	5	90	84	-6,7 %
24	20	10	46	43	-6,5 %
18	20	10	46	43	-6,5 %
24	20	15	31	29	-6,5 %
18	20	15	31	29	-6,5 %

Koneelle tehtävän asetuksen kestoajaksi arvioitiin 15–40 minuuttia. Asetusten kesto kasvaa, sillä cobotille on tehtävä asetukset näiden lisäksi. Aluksi asetusten teko kestää kauemmin, kun cobotin ohjelmat sekä tarttujat valmistetaan, mutta laskennassa arvioitiin cobotin asetusten kestoksi 15 minuuttia. Vaikutusta tarkastettiin valmistuneiden tuotteiden määrään päivän aikana, kun huomioidaan asetuksiin kuluva aika alla olevissa taulukoissa 4 ja 5. Asetukseen kuluvan ajan huomioiminen laskennassa osoittaa sen, että cobotti, missä on yksittäistarttuja ei pysty valmistamaan samaa määrää kappaleita 8 tunnin työpäivän aikana kuin pitkän koneistusajan tuotteissa käyttämällä korotettua nopeutta. Kaksoistarttujalla cobotti on nopeampi ja pystyy valmistamaan enemmän kappaleita kuin työntekijä, vaikka asetuksiin kuluu päivässä enemmän aikaa.

Taulukko 4. Valmistuneet kappaleet, kun asetusajat huomioidaan.

Vaihtoaika cobotilla (sekuntia)	Vaihtoaika ihmisellä (sekuntia)	Valmistusaika (minuuttia)	Valmistuneet kappaleet päivän aikana cobotilla	Valmistuneet kappaleet päivän aikana ihmisellä	Ero %
38	20	2,5	138	148	7,2 %
29	20	2,5	145	148	2,1 %
38	20	5	77	78	1,3 %
29	20	5	79	78	-1,3 %
38	20	10	40	40	0,0 %
29	20	10	41	40	-2,4 %
38	20	15	27	27	0,0 %
29	20	15	28	27	-3,6 %

Taulukko 5. Valmistuneet kappaleet kaksoistarttujalla, kun asetusajat huomioidaan.

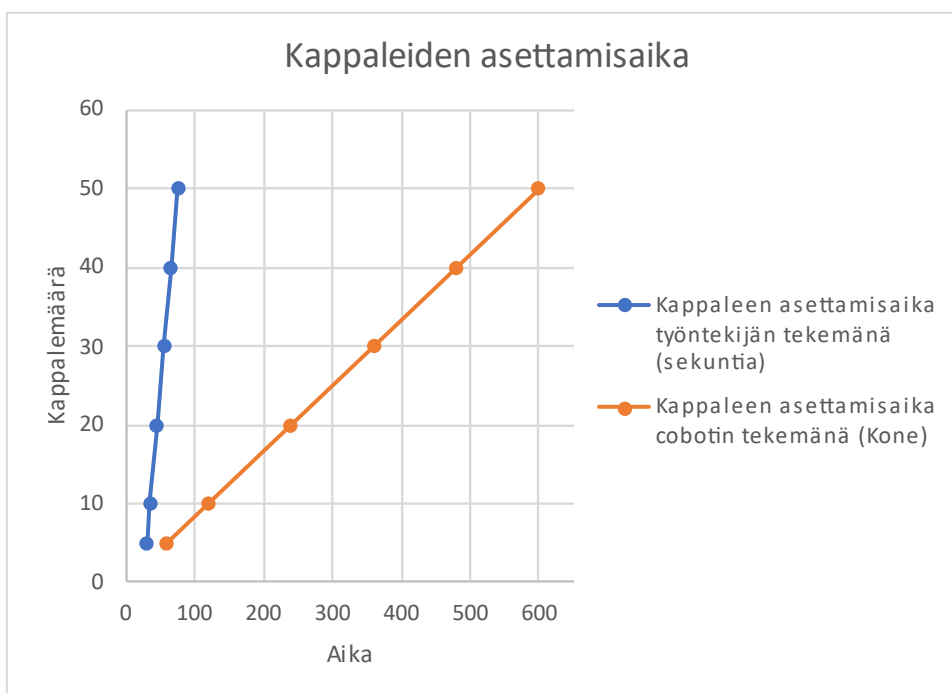
Vaihtoaika cobotilla (sekuntia)	Vaihtoaika ihmisellä (sekuntia)	Valmistusaika (minuuttia)	Valmistuneet kappaleet päivän aikana cobotilla	Valmistuneet kappaleet päivän aikana ihmisellä	Ero %
24	20	2,5	150	148	-1,3 %
18	20	2,5	155	148	-4,5 %
24	20	5	80	78	-2,5 %
18	20	5	82	78	-4,9 %
24	20	10	41	40	-2,4 %
18	20	10	42	40	-4,8 %
24	20	15	28	27	-3,6 %
18	20	15	28	27	-3,6 %

3.2 Cobotin kannattavuus työstökeskuksella

Seuraavaksi tutkittiin cobotin kannattavuutta työstökeskuksella. Työstökeskuksilla tehdään osia, jotka ovat kooltaan 0.02–1000 kg, kappaleet on jaettu koneille niiden kokonsa mukaisesti. Tässä vaiheessa voidaan jättää isommat koneet tutkimatta, sillä cobotin nostokyky ei tule niihin riittämään. Kappaleita ajetaan koneella niin, että koneen sisällä on useampi aihio samanaikaisesti, yksittäiskappaleita ei ajeta. Aihiot ovat jokainen erilaisia, joten koneelle tulee tehdä jokaiselle tuotteelle oma asetuksensa. Valmistusmäärät ovat 20–500 kappaletta. Koneessa olevien kappaleiden määrä vaihtelee 5–50 kappaletta jaettuna viidelle puristimelle. Taulukosta 6 ja kuviosta 2 on nähtävillä, mikä ero on kappaleiden asettamisessa koneeseen cobotin tekemänä verrattuna kappaleiden asettamiseen koneeseen työntekijän tekemänä. Taulukon perusteella yksittäisten kappaleiden asettaminen koneeseen on koneellisesti huomattavasti hitaampaa cobotilla kuin työntekijän tekemänä.

Taulukko 6. Kappaleen asettamisaika työstökeskukseen.

Kappalemäärä	Kappaleen asettamisaika työntekijän tekemänä (sekuntia)	Kappaleen asettamisaika cobotin tekemänä (Kone)
5	30	60
10	35	120
20	45	240
30	55	360
40	65	480
50	75	600



Kuvio 2. Kappaleiden asettamisaika.

Suurimman eron asettamisaikaan tekee se, että ihminen pystyy ottamaan enemmän kappaleita kerralla mukaansa ja toimimaan joustavammin. Cobotin kappaleen asettamiselle tulee huomioida, että kappaleen kiinnittäminen koneistuksen ajaksi tulee tehdä muulla tavalla kuin ruuvipuristimen avulla, koska tämä hidastaisi vaihtoa vielä entisestään. Vaihtoa voidaan nopeuttaa rakentamalla paletteja, jotka nostetaan koneeseen. Kappaleita pystyttäisiin kasamaan ja tyhjentämään paletti samanaikaisesti, kun työstökone työstää kappaleita. Vastavanlaisia tuotteita on monia, joten palettien tulisi valmistua helposti muokattaviksi. Palettien koneeseen asettamiseen kuluisi tällöin 60 sekuntia. Työntekijän toimiessa myös palettien kanssa, vaihto tapahtuisi nopeammin.

Vertailuksi tarkistettiin robotin hankintaa cobotin sijasta CNC-sorville. Hinnaltaan robotti tulisi käytettynä maksamaan saman verran kuin uusi cobotti. Robotti olisi suuremmalla nopeudellaan ja nostokyvyllään cobottia parempi ratkaisu. Robotin hankinta aiheuttaisi kuitenkin layout muutoksen, sillä nykyisessä layoutissa yrityksen koneet on sijoitettu niin lähelle toisiaan, että robottia suojausineen ei mahduta asentamaan. Cobotti on kuitenkin mahdollista siirtää tarvittaessa koneelta toiselle, huomattavasti nopeammalla aikataululla ja kustannuksella kuin robotti.

Robotin tai cobotin käyttö kahden CNC-sorvin solussa oli yksi tutkimuksen aihe. Tällöin molemmille tulisi investointilaskelmaan myös koneiden siirto sekä toisen robot interface hankinta toiseen koneeseen. Robotti jää tässä tapauksissa pois, sillä koneilla valmistettaisiin silti yksittäiskappaleita ilman robottia tai cobottia, koska tällöin robotin toiminta pitäisi pysäyttää tuoksi ajaksi. Cobotti jatkaisi toimintaansa, ainoastaan nopeutta pitäisi vaaratilanteiden ehkäisemiseksi hidastaa.

4 Investointilaskelmat

Investointilaskelmat tehdään cobotille, mikä palvelee CNC-sorvia, sekä cobotille, mikä palvelee työstökeskusta. Laskelmat tehdään käyttäen eri vaihtoehtoja saaduista tiedoista, joilla pystytään kartoittamaan cobottien kannattavuus erilaisilla lisävarusteilla.

4.1 Cobotin hankkimisen kannattavuuslaskelmat CNC-sorville

Laskennat aloitetaan keräämällä tiedot, minkä kokoluokan cobotti tarvitaan, mitä lisävarusteita tarvitaan, sekä mitä kustannuksia niiden lisäksi muodostuu. Asennukselle materiaaleineen ja opetukselle lasketaan jokaiselle 15 000 € kustannus. Lisäksi laskennassa huomioidaan robot interfacen lisäys koneeseen jälkikäteen, mikä tuo 10 000 € lisäkustannuksen. Tiedot viedään taulukkoon 7, missä niitä pystytään vertaamaan toisiinsa helpommin. Vaihtoehdot millä laskennat suoritetaan, on seuraavat:

- Vaihtoehto 1:
 - UR16e + kamera + yksittäistarttuja + ohjelmisto.
- Vaihtoehto 2:
 - UR16e + kamera + kaksoistarttuja + ohjelmisto.
- Vaihtoehto 3:
 - UR20 + kamera + yksittäistarttuja + ohjelmisto.
- Vaihtoehto 4:
 - UR20 + kamera + kaksoistarttuja + ohjelmisto.

Taulukko 7. Hankintakustannukset.

Vaihtoehdot	Cobotin hankintahinta	Kamera	Tarttuja	Ohjelmisto	Robot interface	Asennus ja koulutus	Yhteensä
1	39 830,00 €	5 325,00 €	3 000,00 €	4 000,00 €	10 000,00 €	15 000,00 €	77 155,00 €
2	39 830,00 €	5 325,00 €	7 100,00 €	4 000,00 €	10 000,00 €	15 000,00 €	81 255,00 €
3	48 900,00 €	5 325,00 €	3 000,00 €	4 000,00 €	10 000,00 €	15 000,00 €	86 225,00 €
4	48 900,00 €	5 325,00 €	7 100,00 €	4 000,00 €	10 000,00 €	15 000,00 €	90 325,00 €

Kannattavuutta tulisikin tällöin tarkistella lisäksi siten, että tarkistetaan, kuinka kallis uusi työntekijä on yritykselle. Teknologiateollisuuden 10.1.2022-30.11.2023 voimassa olevan työehtosopimuksen mukaisesti työntekijän aloituspalkka yritykselle kyseiselle koneelle on TVR 6 plus hko 5 % mukaisesti 12.46 € / h. Palkkakulut vuodessa ovat tällöin 25 717.44 €. Palkkakulu kerrotaan sivukuluilla käyttäen kertoimena 1.8, mikä sisältää lomarahat, sairausvakuutusmaksun, TyEL-maksun, työttömyysvakuutusmaksun, tapaturmavakuutusmaksun, ryhmähenkivakuutusmaksun, sekä tarvittavien työkalujen ja suojavälineiden kustannukset. Yrityksen maksettavaksi vuodessa uudesta työntekijästä tulee tällöin 46 291.39 €, mikä on tuntihintana 22.43 € / h. Cobotti on liikkeiltään hitaampi kuin ihminen, saatujen tietojen perusteella cobotin tuntihinnaksi määriteltiin 12.62 € / h. Tuntihinta perustuu sähkönkulutukseen, operaattorista johtuviin kuluihin sekä mahdollisiin huolloista johtuviin kuluihin.

Yrityksen nettotuloksi arvioitiin kaksi vaihtoehtoa riippuen siitä, onko käytössä yksittäis- tai kaksoistarttuja taulukon 8 mukaisesti. Valmistus on yritykselle edullisempaa, koska kappaleiden vaihto tapahtuu kaksoistarttujalla nopeammin ja mahdollisuus työmäärän kasvattamiselle kasvaa. Investoinnin ajanjaksoksi on määritely 3 vuotta.

Taulukko 8. Arvioidut nettotulot.

Vuosi	Yksittäistarttuja	Kaksoistarttuja
1.	29 331,12 €	31 622,45 €
2.	34 219,64 €	36 892,86 €
3.	39 108,16 €	42 163,26 €
4.	39 108,16 €	42 163,26 €

Tämän jälkeen voidaan laskea kaavalla (1) yrityksen nettokykyarvo kyseisille vaihtoehdoille, käyttäen 10 % korkoa. Nettokykyarvo on nähtävillä taulukosta 9. Tuloksen perusteella vaihtoehdot 1, 2 ja 4 ovat yritykselle kannattavia kolmen vuoden investoinnin ajanjaksolla.

Taulukko 9. Nettonykyarvo.

Nettonykyarvo				
	Vaihtoehto 1	Vaihtoehto 2	Vaihtoehto 3	Vaihtoehto 4
Investointi	-77155	-81255	-86225	-90325
1. v. tuotto	29331,12	31622,45	29331,12	31622,45
2. v. tuotto	34219,64	36892,86	34219,64	36892,86
3. v. tuotto	39108,16	42163,26	39108,16	42163,26
Nettonykyarvo	6 520,81 €	8 782,30 €	-1 724,65 €	536,85 €

Kannattavuutta tarkistetaan myös sisäisen korkokannan menetelmällä, käyttäen kaavaa (2). Sisäinen korkokanta on nähtävillä taulukosta 10. Yrityksen sisäiseksi koroksi määritellään 10 %, tällöin vaihtoehdot 1, 2 ja 4 ovat kannattavia.

Taulukko 10. Sisäinen korkokanta.

Sisäinen korkokanta				
	Vaihtoehto 1	Vaihtoehto 2	Vaihtoehto 3	Vaihtoehto 4
Investointi	-77155	-81255	-86225	-90325
1. v. nettotulo	29331,12	31622,45	29331,12	31622,45
2. v. nettotulo	34219,64	36892,86	34219,64	36892,86
3. v. nettotulo	39108,16	42163,26	39108,16	42163,26
R	15,0 %	16,3 %	8,8 %	10,4 %

Takaisinmaksuaika tarkistetaan kaavalla (4). Taulukosta 11 on nähtävillä, että jokainen vaihtoehto on maksettu kolmen vuoden sisällä. Lasketaan vielä diskontattu takaisinmaksuaika kaavalla (5). Taulukosta 12 on nähtävillä, että vaihtoehdot 1, 2 ja 4 pystytään maksamaan kolmen vuoden investointiajanjakson sisällä, kun käytetään 10 % korkoa.

Taulukko 11. Takaisinmaksuaika.

	Vaihtoehto 1			Vaihtoehto 2			Vaihtoehto 3			Vaihtoehto 4		
	Nettotulo	Velan määrä	Takaisinmaksuaika	Nettotulo	Velan määrä	Takaisinmaksuaika	Nettotulo	Velan määrä	Takaisinmaksuaika	Nettotulo	Velan määrä	Takaisinmaksuaika
Investointi		- 77 155,00 €	2 v 5 kk		- 81 255,00 €	2 v 4 kk		- 86 225,00 €	2 v 7 kk		- 90 325,00 €	2 v 7 kk
1. vuosi	29 331,12 €	- 47 823,88 €		31 622,45 €	- 49 632,55 €		29 331,12 €	- 56 893,88 €		31 622,45 €	- 58 702,55 €	
2. vuosi	34 219,64 €	- 13 604,24 €		36 892,86 €	- 12 739,69 €		34 219,64 €	- 22 674,24 €		36 892,86 €	- 21 809,69 €	
3. vuosi	39 108,16 €	- €		42 163,26 €	- €		39 108,16 €	- €		42 163,26 €	- €	
4. vuosi	39 108,16 €	- €		42 163,26 €	- €		39 108,16 €	- €		42 163,26 €	- €	

Taulukko 12. Diskontattu takaisinmaksuaika.

	Vaihtoehto 1			Vaihtoehto 2			Vaihtoehto 3			Vaihtoehto 4		
	Diskontattu nettotulo	Velan määrä	Takaisinmaksuaika	Diskontattu nettotulo	Velan määrä	Takaisinmaksuaika	Diskontattu nettotulo	Velan määrä	Takaisinmaksuaika	Diskontattu nettotulo	Velan määrä	Takaisinmaksuaika
Investointi		- 77 155,00 €	2 v 10 kk		- 81 255,00 €	2 v 9 kk		- 86 225,00 €	3 v 1 kk		- 90 325,00 €	3 v
1. vuosi	26 664,65 €	- 50 490,35 €		28 747,68 €	- 52 507,32 €		26 664,65 €	- 59 560,35 €		28 747,68 €	- 61 577,32 €	
2. vuosi	28 280,69 €	- 22 209,65 €		30 489,97 €	- 22 017,35 €		28 280,69 €	- 31 279,65 €		30 489,97 €	- 31 087,35 €	
3. vuosi	29 382,54 €	7 172,89 €		31 677,88 €	9 660,53 €		29 382,54 €	- 1 897,11 €		31 677,88 €	590,53 €	
4. vuosi	26 711,40 €	33 884,29 €		28 798,07 €	38 458,60 €		26 711,40 €	24 814,29 €		28 798,07 €	29 388,60 €	

Pääoman tuottoaste lasketaan kaavalla (4). Taulukosta 13 on nähtävillä, että jokainen vaihtoehto on kannattava.

Taulukko 13. Pääoman tuottoastemenetelmä.

	Pääoman tuottoastemenetelmä			
	Vaihtoehto 1	Vaihtoehto 2	Vaihtoehto 3	Vaihtoehto 4
Hankintakustannus	77155	81255	86225	90325
Jäännösarvo	27 231,50 €	29 547,27 €	27 964,87 €	30 108,33 €
Investointiaika	2 v 10 kk	2 v 9 kk	3 v 1 kk	3 v
Vuotuinen tuotto	33 931,62 €	36 413,73 €	34 351,72 €	36 892,86 €
Poisto	17 620,27 €	18 802,81 €	18 895,18 €	20 072,22 €
Vuotuinen nettotuotto poistojen jälkeen	16 311,35 €	17 610,92 €	15 456,54 €	16 820,64 €
ROI	21,1 %	21,7 %	17,9 %	18,6 %
Investointiin sidottu pääoma	52 193,25 €	55 401,14 €	57 094,93 €	60 216,67 €
Keskimääräinen investoinnin tuotto	31,3 %	31,8 %	27,1 %	27,9 %

4.2 Cobotin hankinnan kannattavuuslaskelmat työstökeskukselle

Kannattavuuslaskelma tehtiin myös cobotille, joka liitettäisiin työstökeskukseen. Kustannuksia tulee enemmän, koska kappaleiden kiinnitys on erilainen kuin CNC-sorvissa. Kannattavuuslaskennassa otetaan siis huomioon seuraavat kustannukset:

- Cobotti
- Kamera

- Tarttijat, magneettinen ja kolmisormitarttuja
- Asennus ja koulutus
- Palettien teko
- Paineilmakäyttöiset puristimet
- Robot interface
- Asennus ja koulutus

Laskennassa käytetään UR10e ja UR20 malleja, koska koneenpöytä on 1000 mm leveä, eli tarvitaan ulottuvuutta sekä kykyä nostaa 10 kg:n taakkoja. Laskentoja varten vaihtoehdot kirjattu taulukkoon 14.

Taulukko 14. Vaihtoehdot ja niiden kustannukset.

Vaihtoehdot	Cobotin hankintahinta	Kamera	Tarttijat	Palettien teko	Puristimet	Ohjelmisto	Robot interface	Asennus ja koulutus	Yhteensä
UR10e	38 165,00 €	5 325,00 €	6 430,00 €	9 600,00 €	14 855,00 €	4 000,00 €	10 000,00 €	15 000,00 €	103 375,00 €
UR20	48 900,00 €	5 325,00 €	6 430,00 €	9 600,00 €	14 855,00 €	4 000,00 €	10 000,00 €	15 000,00 €	114 110,00 €

Vuotuisten nettotulojen työstökeskuksella arvioidaan olevan taulukon 15 mukaiset. Investointi on aiempaa suurempi, täten määriteltiin nettotulot pidemmälle ajanjaksolle.

Taulukko 15. Arvioidut nettotulot.

Vuosi	Nettotulot
1.	22 135,72 €
2.	30 252,15 €
3.	34 573,87 €
4.	34 573,87 €
5.	34 573,87 €

Nettonykyarvotulokset nähtävillä taulukosta 16. Tuloksien perusteella investointi osoittautuu yli nelivuotiseksi.

Taulukko 16. Työstökeskuksella tehtävien töiden nettonykyarvo.

Nettonykyarvo		
	Vaihtoehto 1	Vaihtoehto 2
Investointi	-103375	-114110
1. v. tuotto	22135,72	22135,72
2. v. tuotto	30252,15	30252,15
3. v. tuotto	34573,87	34573,87
4. v. tuotto	34573,87	34573,87
5. v. tuotto	34573,87	34573,87
Nettonykyarvo	11 643,72 €	1 884,63 €

Sisäinen korkokanta investoinnille viiden vuoden ajanjaksolle on nähtävillä taulukosta 17. Investointi on pitkäaikainen, mutta viiden vuoden ajanjaksolla vaikuttaa sisäisen korkokannan perusteella olevan kannattava.

Taulukko 17. Sisäinen korkokanta.

Sisäinen korkokanta		
	UR10e	UR20
Investointi	-103375	-114110
1. v. nettotulo	22135,72	22135,72
2. v. nettotulo	30252,15	30252,15
3. v. nettotulo	34573,87	34573,87
4. v. nettotulo	34573,87	34573,87
5. v. nettotulo	34573,87	34573,87
R	14,4 %	10,7 %

Takaisinmaksuaika ja diskontattu takaisinmaksuaika on nähtävillä taulukoista 18 ja 19.

Taulukko 18. Takaisinmaksuaika.

UR10e			UR20		
Nettotulo	Velan määrä	Takaisinmaksuaika	Nettotulo	Velan määrä	Takaisinmaksuaika
	- 103 375,00 €	3 v 6 kk		- 114 110,00 €	3 v 10 kk
22 135,72 €	- 81 239,29 €		22 135,72 €	- 91 974,29 €	
30 252,15 €	- 50 987,14 €		30 252,15 €	- 61 722,14 €	
34 573,87 €	- 16 413,26 €		34 573,87 €	- 27 148,26 €	
34 573,87 €	18 160,61 €		34 573,87 €	7 425,61 €	

Taulukko 19. Diskontattu takaisinmaksuaika.

UR10e			UR20		
Diskontattu nettotulo	Velan määrä	Takaisinmaksuaika	Diskontattu nettotulo	Velan määrä	Takaisinmaksuaika
	- 103 375,00 €	4 v 5 kk		- 114 110,00 €	4 v 11 kk
20 123,38 €	- 83 251,62 €		20 123,38 €	- 93 986,62 €	
25 001,78 €	- 58 249,85 €		25 001,78 €	- 68 984,85 €	
25 975,86 €	- 32 273,98 €		25 975,86 €	- 43 008,98 €	
23 614,42 €	- 8 659,56 €		23 614,42 €	- 19 394,56 €	
21 467,66 €	12 808,09 €		21 467,66 €	2 073,09 €	

Pääoman tuottoastemenetelmä on nähtävillä taulukosta 20. ROI-arvot ovat tyydyttävät tai todella heikot kyseiselle investoinnille.

Taulukko 20. Pääoman tuottoastemenetelmä.

	Pääoman tuottoastemenetelmä	
	UR10e	UR20
Hankintakustannus	103375	114110
Jäännösarvo	23 405,66 €	23 208,81 €
Investointiaika	4 v 5 kk	4 v 11 kk
Vuotuinen tuotto	23 470,26 €	23 666,85 €
Poisto	18 106,27 €	18 488,38 €
Vuotuinen nettotuotto poistojen jälkeen	5 363,99 €	5 178,47 €
ROI	5,2 %	4,5 %
Investointiin sidottu pääoma	63 390,33 €	68 659,41 €
Keskimääräinen investoinnin tuotto	8,5 %	7,5 %

Kannattavuuslaskentojen perusteella investointi ei ole kannattava suunnitellulla tavalla. Kannattavuuslaskenta voidaan tulevaisuudessa tehdä kohteelle, missä cobotti on kytkettynä kahteen työstökeskukseen.

5 TULOKSET JA YHTEENVETO

Työssä tutkittiin kannattavuutta robotin tai cobotin hankkimiselle. Saatujen tietojen perusteella yrityksen olisi kannattavampi hankkia cobotti robotin sijasta, sillä cobotti on joustavampi ratkaisu yrityksen tuotteiden valmistamiseen. Cobotti olisi mahdollista siirtää koneelta toiselle huomattavasti nopeammin kuin robotti. Robotin hankkimisen kannattavuutta voidaan lähteä tarkastamaan siinä vaiheessa, kun yritys haluaa tarkastella kannattavuuden parantamista isojen ja painavien kappaleiden valmistuksessa. Tämä vaatii kuitenkin todella suuret investoinnit, sillä tuotteet isoilla koneilla ovat hyvinkin poikkeavia toisistaan.

Tarkastelun aiheena olleet eri tyyppin ja eri osien cobot paketit osoittautuivat melkein kaikki kannattavaksi investoinniksi. UR20 kaksoistarttujalla olisi yritykselle kannattavin vaihtoehto, sillä tämän nostokyky ja ulottuvuus ovat asioita, joiden kanssa tulisi ongelmatilanteita pienemmän laitteen kanssa. Laskelmissa käytettiin todella varovaisia lukemia, koska kokemusta aiemmista coboteista ei ollut, eikä päästy cobottia testaamaan oikeassa ympäristössä.

Cobotin hankkimista myös työstökeskukselle tutkittiin kannattavuuslaskemien kautta. Investointi tulisi olemaan suurempi kuin CNC-sorville laskennassa olevalle kokonaisuudelle. Tämä johtui siitä, että työstökoneelle tarvitsisi hankkia myös uudet kiinnittimet sekä rakentaa omat helposti muokattavissa olevat paletit, että vaihto aika kappaleille ei tulisi niin suureksi. Tästä tullaan tekemään vielä tulevaisuudessa uudet laskelmat, missä cobotti vaihtaisi kappaleita kahdelle työstökeskukselle.

Saadut investointilaskelmat luovutettiin yrityksen johdolle tarkastelua varten, sekä tiedot työstökeskukselle tutkitusta robosointiratkaisusta. Yrityksen johto tekee päätöksen, lähteekö yritys investoimaan tulevaisuudessa robotisointiin.

LÄHTEET

- Aalto, H., Heilala, J., Hirvelä, T., Kuivanen, R., Laitinen, M., Lehtinen, H., Lempiäinen, J., Lyylynoja, A., Renfors, J., Selin K., Siintoharju, T., Temmes, J., Tuovila, T., Veikkolainen, M., Vihinen, J., & Virtanen, A., (1999), *Robotiikka*. Talentum.
- Alho, T., Neittaanmäki, P., Hänninen P., & Tammilehto, O. (2018). *Palvelurobotiikka*. https://www.jyu.fi/it/fi/tutkimus/julkaisut/tekes-raportteja/tekoaly_ja_palvelurobotiikka.pdf
- Andersson, C., Haavisto, I., Kangasniemi, M., Kauhanen, A., Tikka, T., Tähtinen, L., & Törmänen, A. (2016). *Robotit töihin: Koneet tulivat – Mitä tapahtuu työpaikoilla?* Taloustieto.
- Saarola, J. (i.a). Vaatimustenmukaisuusvakuutus, miten tulkitsen? *Blueplan*. <https://www.blueplan.fi/miten-tulkitsen-vaatimustenmukaisuusvakuutusta/>
- Buller, L., Gifford, C., & Mills, A. (2018). *Robotti: tulevaisuuden koneet*. (I. Rekiaro käänt.). Otava. (Alkuperäinen teos julkaistu 2018).
- Chrysostomou, D. (2019). *Industrial Robot: The international journal of robotics research and application*. Emerald Publishing.
- Euroopan komissio. (i.a.). *CE-merkintä*. https://single-market-economy.ec.europa.eu/single-market/ce-marking_fi
- Euroopan komissio. (2010). *Konedirektiivin 2006/42/EY soveltamisopas. (2. painos)* https://dio.fi/wp-content/uploads/2014/10/Konedirektiivin_soveltamisopas.pdf
- Ikäheimo, S., Malmi, T., & Walden, R. (2019). *Yrityksen laskentatoimi*. (8. uudistettu painos). Alma Talent.
- Nortio, J. (2020). *Cobotti tehostaa tuotantoa*. <https://www.automaatiovayla.fi/cobotti-tehostaa-tuotantoa/>
- Jarmoluk. (27.9.2017). Robot. [valokuva]. Pixabay. https://cdn.pixabay.com/photo/2017/09/27/10/30/robot-2791671_960_720.jpg
- Jormakka, R., Koivusalo, K., Lappalainen, J., & Niskanen, M. (2021). *Laskentatoimi*. (7. painos). Edita.
- Jyrkkiö, E., & Riistama, V. (2004). *Laskentatoimi päätöksenteon apuna*. (18. uudistettu painos). WS Bookwell.
- Järvenpää, M., Lämsiluoto, A., Partanen, V., & Pellinen, J. (2017). *Talousohjaus ja kustannuslaskenta*. (2.–4. painos). Sanoma Pro.

- Neilimo, K., & Uusi-Rauva, E. (2005). *Johdon laskentatoimi*. (6.–7. uudistettu painos). Edita.
- Machine Tool, (2022). *Onrobot tarttumat ja työkalut*.
<https://www.machinetool.fi/robotiikka/tarttumat-ja-tarttumatvarusteet>
- Malm, T., Viitaniemi, J., Marstio, I., Toivonen, S., Koskinen, J., Venho, O., Salmi, T., Laine, E., & Latokartano, J., (2008). *Vuorovaikutteisen robotiikan turvallisuus*. Suomen Robotiikkayhdistys.
- Manesis, S., & Nikolakopoulos, G. (2018). *Introduction to Industrial Automation*. CRC Press.
- Pyyskänen, S. (2013). *Teollisuuden automaatio- ja ohjausjärjestelmät: Standardien valinta ja käyttö*. Suomen Automaatioseura.
- SICK. (2022). *Turvavaloverhot*.
https://www.sick.com/fi/fi/turvavaloverhot/c/g184853?q=:Def_Type:ProductFamily/
- Suomala, P., Manninen, O., & Lyly-Yrjänäinen, J. (2011). *Laskentatoimi johtamisen tukena*. Edita.
- Suomen Standardisoimisliitto (SFS). (2011). *Robotit ja robotiikkalaitteet. Turvallisuusvaatimukset, osa 1: Teollisuusrobotit* (SFS-EN ISO 10218-1).
- Suomen Standardisoimisliitto (SFS). (2011). *Robotit ja robotiikkalaitteet. Turvallisuusvaatimukset, osa 2: Robotijärjestelmät ja niiden yhdistelmät* (SFS-EN ISO 10218-2).
- Turvallisuus- ja kemikaalivirasto (Tukes). (i.a.) *EU-vaatimustenmukaisuusvakuutus*.
<https://tukes.fi/tuotteet-ja-palvelut/vaatimustenmukaisuus/eu-vaatimustenmukaisuusvakuutus#70d6e169>
- Universal Robots. (2022). *Collaborative robots*.
https://www.universal-robots.com/fi/tuotteet/ur20-ro-bot/?_gl=1*eo-zqqh*_up*MQ..&qclid=CjwKCAiAhKycBhAQEiwAgf19evUi25IFp8OcbA_oNzKS-fjJLhTjA0qjuO-w20h6AG2XJYLOTr897RoCeREQAvD_BwE
- Wiredworkers. (i.a.). *Cobot*.
<https://wiredworkers.io/cobot/>
- Wisematic. (2017). *Onrobot tarttumat ja työkalut*.
<https://www.wisematic.com/fi/project/onrobot-tarttumat/>