



OAMK_KONE

WITH PASSION, VUODESTA 1894



TUOTEKEHITYS-
ERIKOISNUMERO

SISÄLLYSLUETTELO

- 3 Alkusanat
- 4 Opinnäytetyön kautta työelämään
- 6 Robotti iskusauvatestaajana SSAB:n tutkimuskeskuksella
- 8 Scara-robotista langaton?
- 10 Tyre Wash -järjestelmällä pyritään vähentämään parkkihallien pölyongelmia
- 12 Kokoonpanon automatisointi yhteistyörobotiikan keinoin
- 13 Cobotti ja CMM ne yhteen soppii
- 15 Oamkin koneautomaation opiskelijat suunnittelemassa tulevaisuuden kokoonpano ja pakkauslinjan automatisointia
- 19 UR-10 rieskapusseja pakkaamassa Haukiputaalla
- 21 Robotit ja niiden ominaisuudet
- 25 Yhteistoimintarobotti apuna hitsauksessa
- 27 Tuotekehitysprosessit ja Voice of Customer
- 30 Autonomisen työkoneen HIL-testauksesta

Toimituskunta

Helena Tolonen - koulutuspäällikkö
Timo Väyrynen - tutkintovastaava
Tuija Juntunen - lehtori
Mira Kekkonen - koulutussihteeri

Kansikuva ja taittaminen

Mira Kekkonen
Tuija Juntunen

Julkaisija

Oulun ammattikorkeakoulu konetekniikan koulutusohjelma

Alkusanat

Koulutusosastomme tekee merkittävää yritysten ja työelämän todellisista tarpeista lähtevää yhteistyötä alueemme elinkeinoelämän kanssa sekä opetuksessamme että TKI-toiminnassamme. Tämä edistää opetuksemme ajanmukaisuutta, tukee opiskelijoidemme ammatillista kasvua ja avaa heille ovia mahdollisiin työpaikkoihin, mutta myös kehittää ja edistää työelämää sekä alueen elinkeinoelämää. Tätä kaikkien osapuolien kannalta hyödyllistä yhteistyötä haluamme tällä lehdellä tehdä näkyväksi.

Ammattikorkeakoululaissa määritellään ammattikorkeakoulun tehtäviksi muun muassa antaa ammatillisiin asiantuntijatehtäviin tähtäävää korkeakouluopetusta, joka perustuu työelämän ja sen kehittämisen vaatimukseen sekä tutkimukseen ja sivistyksellisiin lähtökohtiin. Ammattikorkeakoulun tehtävänä on myös tukea opiskelijan ammatillista kasvua. Lisäksi ammattikorkeakoulun tehtävänä on harjoittaa ammattikorkeakouluopetusta palvelevaa sekä työelämää ja aluekehitystä edistävää ja alueen elinkeinorakennetta uudistavaa soveltavaa tutkimus-, kehittämis- ja innovaatiotoimintaa. Tehtäviään hoitaessaan ammattikorkeakoulun tulee tarjota mahdollisuuksia jatkuvaan oppimiseen. (Ammattikorkeakoululaki <https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2014/20140932#a932-2014>.)

Olemme koonneet tähän lehteen artikkeleja, jotka kuvaavat erityisesti konetekniikan tutkinto-ohjelman koneautomaation suuntautumisvaihtoehtoon liittyvää työelämäyhteistyötä eri muodoissa: opinnäytetöitä, opintojaksolla pienryhmissä opiskelijoiden yrityksiin tekemiä tuotekehitysprojekteja tuloksineen, robotiikan erikoistumiskoulutusjakson yritysprojekteja ja TKI-hanketyötä. Järjestämme syksyisin jo perinteisen Konetekniikan Pitching -tapahtuman, johon yritykset ovat tervetulleita jo useina vuosina esittelemään toimintaansa ja tarjoamiaan projektityöaiheita opiskelijoillemme. Halutessaan yritykset voivat jättää projektiaiheen myös Oamkin internetsivulla. Yritysyhteistyöprojekteissa opiskelijoiden tukena on koulutusosastomme ammattitaitoinen henkilökunta. Opiskelijat saavat itse valita, minkä projektityön he toteuttavat, ja mielenkiintoisista projekteista käydään kova kisa. Yritysten tarjoamien yhteistyöprojektien kautta opiskelijamme pääsevät ratkaisemaan oikeita ongelmia, toimivat oman alansa erilaisissa aidoissa työtehtävissä ja -ympäristöissä ja yritykset saavat mahdollisuuden tutustua mahdollisiin uusiin työntekijöihinsä.

Koulutusosastomme järjestää myös työelämää ja aluekehitystä edistävää ja alueen elinkeinorakennetta uudistavaa sekä jatkuvaa oppimista mahdollistavaa erikoistumiskoulutusta. Olemme konetekniikassa järjestäneet esimerkiksi robotiikan ja joustavan automaation erikoistumiskoulutuksia, joiden tavoitteena on antaa opiskelijoille valmiudet joustavan automaation suunnitteluun, käyttöönottoon ja käyttämiseen yritysten toiminnassa. Myös erikoistumiskoulutusten tavoitteena on, että opiskelijat työllistyvät koulutuksessamme hankkimansa osaamisen turvin. Koulutusosastollamme on tiivistä ja laajamittaista yhteistyötä teollisuuden sekä muiden yhteisöjen kanssa myös tekemämme TKI-hanketyön kautta. TKI-hanketyöllä olemme kehittäneet ja uudistaneet sekä opetustamme että työelämää ja alueen elinkeinorakennetta ja vahvistaneet hankkeisiin osallistuneiden yritysten, koulutusosaston henkilökunnan ja opiskelijoiden osaamista.

Oulun ammattikorkeakoulun visio on olla Suomen johtava, monialainen, yhteisöllinen ja kansainvälinen ammattikorkeakoulu, jonka tiivis yhteistyö yritysten ja yhteisöjen kanssa luo pohjan korkeatasoiseen ja ajantasaaiseen osaamiseen. Vision toteuttamiseksi konetekniikan tutkinto-ohjelmassa on yhdeksi strategiseksi tavoitteeksi nostettu se, että opiskelijat sekä valmistuvat mutta myös työllistyvät koulutustaan vastaavaan työpaikkaan. Konetekniikan opetussuunnitelmaa on kehitetty silmällä pitäen ammattikorkeakoululain määrittelemät tehtävät. Saavuttaaksemme myös strategiset tavoitteemme opiskelijoidemme valmistumisesta ja työllistymisestä oman alansa työhön on kaikissa konetekniikan tutkinto-ohjelman suuntautumisvaihtoehdoissa opintoja, jotka tehdään tiiviissä yhteistyössä alueen yritysten ja liike-elämän kanssa. Lisäksi konetekniikan opinnoissa opinnäytetyöt tehdään lähes poikkeuksetta teollisuuden toimeksiannosta.

Tässä lehdessä on artikkeleja, jotka läpileikkaavat nykyistä työelämäyhteistyötä sekä opetuksessamme että TKI-toiminnassamme. Toivomme tämän aidon kaikkia osapuolia hyödyttävän yritysten ja työelämän todellisista tarpeista lähtevän yhteistyön edelleen lisääntyvän ja kehittyvän. Mukavia lukuhetkiä työelämäyhteistyöstämme kertovien artikkelien parissa.

Opinnäytetyön kautta työelämään

Oamkin konetekniikassa on otettu tavoitteeksi, että opiskelija valmistuu neljän vuoden kuluttua opintojen aloittamisesta ja työllistyy koneinsinöörin tehtäviin. Opetusrakennetta on kehitetty ja toimintatapoja uudistettu niin, että tuo tavoite toteutuisi.

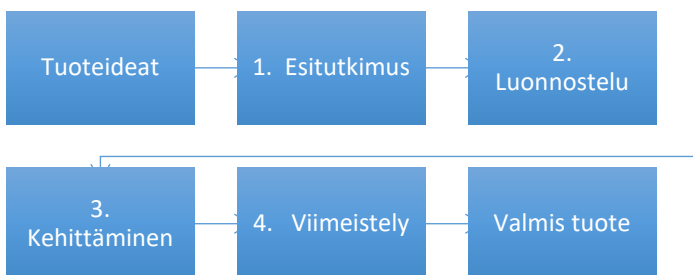
”Pyydämme opintojen alussa opiskelijaa hoitamaan omaa osuuttaan tuosta tavoitteesta. Aleksi Jolanki, toinen tämän artikkelin kirjoittajista, on todella ottanut haasteen vastaan. Hän saa tästä meiltä valmistuttuaan insinöörin tutkinnon myös saksalaisesta Technische Hochschule Ulmista”, kertoo Oamkin konetekniikan lehtori Timo Väyrynen.

”Aleksi tuli vaihto-opiskeluvuotensa jälkeen kertomaan kokemuksia vaihdosta ja samalla suunnittelemaan loppuja opintojaan. Ehdotin Aleksille Optoteciltä opinnäytetyötä, johon yritys oli aikaisemmin kysellyt suunnittelutaitoista tekijää. Kysyntä ja tarjonta kohtasivat, ja Aleksi teki sopimuksen opinnäytetyön tekemisestä Optotecin kanssa”, Väyrynen muistelee.

Opinnäytetyö tuotekehityksen parissa

Aleksin opinnäytetyössä tehtiin keväällä 2020 modulaarisen kuljetus- ja varastointijärjestelmän tuotekehitysprojekti (1). Tuoteidean laajuuden takia opinnäytetyön aiheeksi päätettiin rajata järjestelmän kahden kokonaisuuden, kuljetus- ja kiinnitys-järjestelmän suunnitteleminen.

”Suunnitteluun sisältyi esitutkimuksen tekeminen, konseptointi ja FEM-analyysejä tekeminen. Lisäksi suunnitelluille komponenteille tehtiin tuotepiirustukset ja selvitettiin järjestelmän tuotannon hintarakenne”, Aleksi muistelee. Tuotekehitysprosessin rakenne on esitetty kuvassa 1.



Kuva 1. Tuotekehitysprosessi (2, s. 10)

Tuotekehitys alkaa aina asiakastarpeesta

Opinnäytetyössä esitutkimuksen tekeminen aloitettiin perehtymällä järjestelmän kanssa kilpaileviin tuotteisiin. Samalla perehdyttiin myös järjestelmän asennus- ja käyttökohteisiin, joiden avulla saatiin määritettyä kuljetusjärjestelmän maksimileveys. Koska järjestelmä on asennettavissa ajoneuvoihin, myös järjestelmää koskevat säädökset ja standardit oli syytä selvittää. Niissä määritettiin voimat, jotka järjestelmän on kestävä.

”Näiden tietojen pohjalta sitten laadittiin vaatimuslista, johon kaikki vaatimukset listattiin ja järjestettiin eri kategorioihin”, Aleksi muistelee.

Luonnosteluvaiheessa tuoteideasta luodaan konsepti

Koska muovituotesuunnittelu eroaa merkittävästi metallituotteiden suunnittelusta, päätettiin opinnäytetyössä luonnosteluvaihe aloittaa perehtymällä muovituotteiden valmistusmenetelmiin: ruisku- ja rotaatiovaluun.

”Tuotteen valmistaminen olisi ollut mahdollista molemmilla valmistusmenetelmillä, mutta lopulliseksi valmistusmenetelmäksi valikoitui ruiskuvalu sen edullisempien valmistuskustannuksien takia”, kertoo Aleksi.

Valmistusmenetelmiin perehtymisen jälkeen luotiin järjestelmästä vaatimuslistan pohjalta kymmeniä konsepteja ennen kuin lopulliseen konseptiin päädyttiin.

”Kiinnitysjärjestelmän suunnittelussa eniten aikaa kului riittävän yksinkertaisen ja helppokäyttöisen kiinnitysratkaisun kehittämiseen. Kuljetusjärjestelmän suunnitteluun vaikutti eniten asennuskohteiden asettamat tilarajoitukset ja kaikkien suunniteltujen kokonaisuuksien integroiminen osaksi kuljetusjärjestelmää”, pohtii Aleksi.

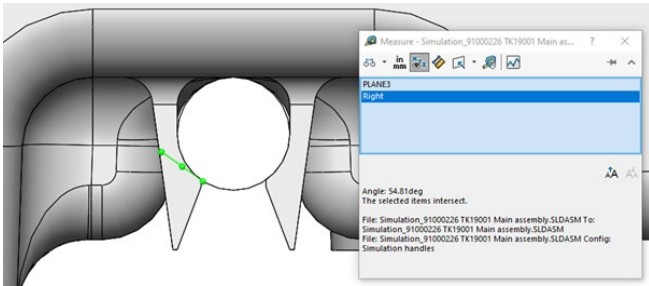
Kehittämävaiheessa konseptista kehitetään toimiva paketti

Opinnäytetyössä kehittämissivaihe aloitettiin valitsemalla järjestelmän komponenteille materiaalit.

”Materiaaleiksi valittiin polyeteeni HD-PE, ruostumaton teräs AISI 304 ja alumiini AW-5754, koska niiden mekaaniset ominaisuudet ovat sopivat, niiden saatavuus on hyvä ja työn tilaajalla on aiempaa kokemusta niiden käytöstä”, kertoo Aleksi.

Materiaalien ollessa selvillä voitiin järjestelmän kokonaispaino määrittää ja laskea järjestelmään kohdistuvat maksimivoimat säädöksiä ja standardien asettamalla kiihtyvyyksillä. Näitä voimia käytettiin FEM-analyyseihin tekemiseen. FEM-analyytit tehtiin Solidworks 2018 CAD -ohjelmistolla.

”Analyseistä selvisi, että kuljetusjärjestelmän rakennetta oli muokattava, jotta se kestäisi siihen kohdistuvat voimat. Samalla myös mitoitettiin tarkemmin esimerkiksi kuljetusjärjestelmään kuuluvat muoviset napsahdusliitokset (kuva 2)”, kertoo Alekski.



Kuva 2. Suunniteltu napsahdusliitos

Viimeistelyvaiheessa kokonaisuudesta tehdään markkinoille valmis tuote

Opinnäytetyössä viimeistelyvaiheessa tehtiin suunnitelluille komponenteille tuotepiirustukset. Lisäksi etsittiin valmistuspaikat ja kysyttiin komponenttien hinta-arviot. Saatujen hinta-arvioiden pohjalta voitiin selvittää järjestelmän tuotannon hintarakenne.

”Tuotannon hintarakennetta tarkasteltaessa selvisi, että yksi kiinnitysjärjestelmän kokonaisuus osoittautui odotettua kalliimmaksi valmistaa, mikä nostaa koko järjestelmän hinnan liian korkeaksi myyntiä ajatellen. Tätä ei voitu tietää siinä vaiheessa, kun konseptia vasta luonnosteltiin, sillä tuotantokustannuksien arvioiminen tarkasti ennen tarkempaa suunnittelua on todella vaikeaa. Virheitä sattuu, mutta kokonaisuuden tuotantokustannuksia on mahdollista alentaa jatkokehityksellä”, kertoo Alekski.

Vaikeuksien kautta voittoon

Aleksin opinnäytetyön tuloksena tuotekehitysprojektin esitutkimus saatiin tehtyä ja suunniteltua järjestelmästä konsepti. Järjestelmä tarvitsee vielä jatkokehitystä valmistuskustannuksien pienentämiseksi, mutta suunniteltu konsepti ja esitutkimuksen aikana tehty pohjatyö tarjoavat hyvän aloituspisteen tuotekehityksen jatkamiselle kohti valmista tuotetta.



Kuva 3. Alekski opiskeli vuoden Etelä-Saksassa Ulmissa, jonka seurauksena sai myös saksalaisen koneinsinöörin pätevyyden.

”Opinnäytetyössä oli yllättävän paljon tehtävää, ja aikaa sen tekemiseen kului paljon. Joitain haasteita kohdattiin opinnäytetyön aikana, mutta kaikista selvitettiin. Nyt se on kumminkin ohi, ja osaltaan hyvin tehdyn opinnäytetyön ansiosta sain va-kituisen paikan Optoteciltä koulutustani vastaa-vasta mekaniikkasuunnittelijan tehtävässä”.

Alekski kertoo. Oamkin konetekniikan tavoite on Aleksin kohdalla toteutunut kirjaimellisesti. Kaksoistutkinto neljän vuoden aikana ja pisteensä päällä työpaikka koulutusta vastaavissa töissä.

Lähteet

1. Jolanki, Alekski 2020. Modulaarisen kuljetus- ja varastointijärjestelmän tuotekehitysprojekti. Oulun ammattikorkeakoulu. Konetekniikan tutkinto-ohjelma. Opinnäytetyö. Hakupäivä 9.12.2020. <https://www.theseus.fi/handle/10024/341566>.
2. Björk, Timo, Hautala, Pekka, Huhtala, Kalevi, Kivioja, Seppo, Kleimola, Matti, Lavi, Markku, Martikka, Heikki, Miettinen, Juha, Ranta, Aarno, Rinkinen, Jari & Salonen, Pekka 2014. Koneosien suunnittelu. 6, uudistettu painos. Helsinki: Sanoma Pro Oy.

Robotti iskusauvatestaajana SSAB:n tutkimuskeskuksella

Oamkin tuotekehitysprojektissa pääsimme kokeilemaan kollaboratiivisen robotin suorituskykyä ja otimme selvää, onko niin kutsutuista coboteista nopeaan työtahtiin. Projektin tavoitteena oli integroida Universal Robotsin valmistama UR10-cobotti SSAB:n tutkimuskeskuksen Charpy-iskutestausvasaraan.

Tärkeä osa SSAB:n laadunvalvontaa ja kehitystyötä on teräksen kylmäsitkeyden ja -kestävyyden todentaminen Charpy-iskukokeella. Iskukokeessa testisauvat ensin jäähdytetään etanolialtaassa ja tämän jälkeen siirretään testauslaitteen alasimille ja rikotaan. Iskuvasaran pudotuksessa menettämä potentiaalienergia luetaan ohjelmistolla testaustulokseksi. Testausstandardi määrittelee tarkasti, miten koe on suoritettava. Testauksen on muun muassa tapahduttava 5 sekunnin sisällä siitä, kun testisauva on nostettu altaasta.

Työ vaatii tarkkuutta mutta on yksitoikkoista – unelmahomma robotille

SSAB:n tutkimuskeskuksella on käytössä puoliautomaattinen iskutestausvasara, johon testisauvat on nostettava käsin yksitellen. Työ on tarkkaa mutta yksitoikkoista, joten käyttäjien työtä helpottamaan onkin haaveiltu jonkinlaista robottia. Robotin soveltuvuudesta vähän vanhempaan testauslaitteeseen ei ole kuitenkaan ollut varmuutta. Tällaiseen kohteeseen Oamkin opiskelijoiden tuotekehitysprojekti soveltuikin erinomaisesti, ja päätimme tarttua tuumasta toimeen.



Kuva 2. Iskutestausvasara

Suunnittelu ja valmistelu

Projektin alussa sovimme tilaajan kanssa ne vaatimukset, jotka projektissa tulisi saavuttaa. Pää tavoitteena oli tietenkin, että testaus pystytään suorittamaan standardin edellyttämässä 5 sekunnin ajassa. Haasteena projektissa oli, että kollaboratiivisten robottien liikenopeutta ja voimaa on rajoitettu käyttäjän turvallisuuden huomioimiseksi.

Toisaalta niiden etuna on se, etteivät ne vaadi ympärilleen suojahäkkiä ja pystyvät toimimaan yhteistyössä käyttäjän kanssa.

Alusta asti tiesimme, ettei robotti tule pysyvästi kohteeseen vaan robottia lainataan Oamkilta testausta varten. Testauslaitetta käytetään jatkossakin käsin, joten sen takia testauslaitteeseen ei voinut tehdä kovin suuria muutoksia. Suojaovi täytyi kuitenkin suunnitella uudelleen niin, että se voidaan sulkea automaattisesti. Esisuunnittelussa päädyimme paineilmasylinterin avulla sulkeutuvaan liukuoveen. Pneumaattinen tarttuja oli myös hyvä valinta sen suuren liikenopeuden takia. Lisäturvaksi käyttäjille robotin liikealuetta valvomaan päätettiin asentaa laserskanneri.

Suunnitteluvaiheiden jälkeen aloitimme käytännön valmistelut tutkimuskeskuksessa uuden suojaoven asentamisella. Testausta varten iskusauvajigit ja tarttujan sormet valmistettiin 3D-tulostustekniikalla muovista. Tällä tavoin pienet suunnitteluvajeet tulivat esille ja olivat helppoja ja edullisia korjata. Järjestelmän hahmottuessa lopulliseen muotoonsa rakensimme kokoonpanosta mockup-mallin ja loimme robotille algoritmin koulun laboratoriossa.

Testaus tutkimuskeskuksessa

SSAB:n tiloissa robotti asennettiin varsinaiselle paikalleen ja sen liikeradat määriteltiin oikeaan ympäristöön sopivaksi. Robotin ja turvalaitteiden toiminta verifioitiin, ja aika, joka kesti sauvan nostamisesta jäähdytysaltaasta siihen, kun iskuvasara sen katkaisee, mitattiin likimääräisesti. Ajan todettiin jäävän hieman alle standardin vaatiman 5 sekunnin. Saavutimme siis projektin päätavoitteen: ”Urkki” kykenee urakkahommiin.



Kuva 2. Robotin koulutusta

Jatkokehitys

Robotti vaatii edelleen käyttäjältä apua testisauvojen lajittelussa, mutta tästä on hyvä jatkaa kehitystä. Robotin käyttöönotto iskuvasaratestaukseen tuotannossa vaatisi syvempää testausjärjestelmän integrointia SSAB:n tietojärjestelmiin. Täysin automaattinen iskutestausprosessi kyseisessä kohteessa ei ole kuitenkaan kovin kaukana ja olisi mahdollista toteuttaa nykyisilläkin testauslaitteilla.

Oamkin projektiryhmän opiskelijat kiittävät SSAB:n tutkimuskeskuksen henkilökuntaa yhteistyöstä ja mielenkiintoisesta tuotekehitysprojektin aiheesta.

Scara-robotista langaton?

Vääntömoottorin koteloinnilla ja läpiviennin suunnittelulla onnistut!

Onko Scara-robotista mahdollista saada sisäisesti johdotettu ilman korkeita valmistuskustannuksia tai monimutkaista kokoonpanoa? Voiko ryhmä opiskelijoita onnistua tekemään sen, minkä suurin osa näiden robottien valmistajista pyrkii välttämään? Tämä artikkeli selvittää Scara-robottien sisäiseen johdottamiseen liittyvät haasteet ja niiden ratkaisun.

Kokoonpanorobotit ovat nykyisin teollisuudessa hyvin suosittuja, ja onkin osoitettu käytännössä, kuinka robotit voivat parantaa kokoonpanon tarkkuutta, vähentää kokoonpanoaikaa ja tarjota kustannussäästöjä. Scara (Selective compliance assembly robot arm) -tyyppiset robotit ovat vuosia olleet yleisesti teollisuuden käytössä mekaanisten ja elektronisten komponenttien ja laitteiden kokoonpanossa tehdasolosuhteissa.

Scara-robotit ovat yleensä ulkoisesti johdotettuja, jolloin käyttöjännite, signaalijohdot ja pneumatiikkajohdot kulkevat putkessa robotin käsivarsien ulkopuolella. Syynä tähän ovat robottien valmistus- ja kokoonpanokustannukset: johtojen vienti robotin nivelissä sijaitsevien moottoreiden akselien läpi on huomattavasti monimutkaisempaa ja vaatii erityisiä lisäosia kuten liukurenkaita. Sisäisellä johdotuksella kuitenkin saataisiin näistä roboteista mahdollisimman hyvin toimivia ja johdot suojattua entistä paremmin ympäristöltä ja mekaaniselta rasitukselta sekä estettäisiin johtoputkien osuminen tai juuttuminen. Onko tällainen ratkaisu mahdollinen? Juuri tähän ongelmakohtaan ryhmämme onnistui löytämään toimivan ja kustannustehokkaan ratkaisun.



Kuva 1. Geneerinen Scara-robotti

Scara-robottien johdottaminen on hyvin ongelmallista niiden sisäisen rakenteen takia.

Läpivienti ei ole läpilyönti

Projektin lähtökohtana oli suunnitella asiakasyrityksen tarpeisiin soveltuva Scara-robotin olkanivelen vääntömoottorin kotelointi ja läpivientiratkaisu, jolla nivelen sisällä saataisiin kuljetettua muihin robotin osiin suuntaavat käyttöjännitteet, signaalit ja paineilmat. Toiveena oli myös, että nivel pystyy pyörimään vapaasti ympäri sekä pikaliikkeessä että hitaammassa liikkeessä. Tätä ratkaisua sovellettaisiin myöhemmässä vaiheessa robotin kyynär- ja ranneniveliin prototyyppivaiheen jälkeen. Tehtävässä tuli onnistua ilman minkäänlaisia ulkoisia johtoja tai kanavia. Heti alkuun oli selvää, että tässä onnistuminen vaatii sähköpneumaattisen liukurengaan, joko omavalmistaiseen tai valmiskomponenttiin. Sähkön ja paineilman välittäminen ei onnistu pyörivässä akselissa ilman liukurengasta.

Oman komponentin valmistusta sekä valmiskomponenttien tilaamista ja sovittamista haluttuihin vääntömoottoreihin ja enkodereihin alettiin selvittämään heti projektin alussa. Molemmista saatiin tehtyä varteenotettavat esisuunnitelmat, ja vaikka oman liukurengasratkaisun kehittäminen oli kiinnostavin ja haastavin vaihtoehto, päädyimme kehittämään valmiskomponentteihin perustuvaa ratkaisua asiakkaan halusta saada koteloinnista varmasti toimiva ja helposti huollettava

Kokoonpanon suunnittelua ja koneistuksen pohtimista

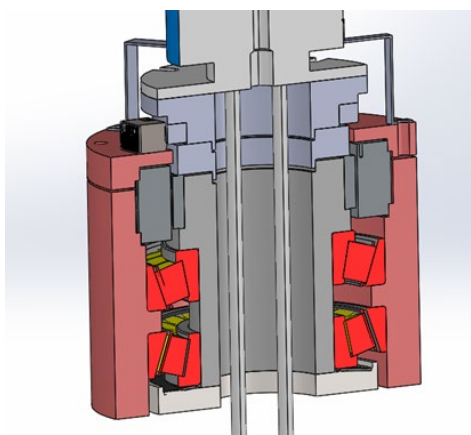
Sähköpneumaattinen liukurengas päätettiin hankkia Senringiltä, jolta sai helposti kustomoitavan ratkaisun sen mukaan, mikä oli käyttöjännitekaapeleiden, signaalikaapeleiden ja pneumatiikkajohtojen lukumäärä. Tällä saatiin sopiva komponentti, jossa on kaikki tarvittava ilman ylimääräistä. Tämä

kuitenkin toi kokoonpanon suunnitteluun aivan uuden haasteen: nivelen korkeus. Scara-robotin nivelen tulisi olla mahdollisimman matala, sillä nivelen korkeus tuo suunnitteluteknisiä ongelmia ja vaikuttaa osaltaan myös robotin käsivarren paksuuteen. Moottorikoteloinnin päälle sijoittuva liukurengas ei välitä mitään voimia, mutta sen korkeus aiheuttaa sen, että moottorikoteloinnin korkeudesta on pystyttävä tinkimään kokonaiskorkeuden rajoittamiseksi. Valitsemamme Senringin liukurengas oli korkeudeltaan 192 mm, joten painetta koteloinnin tiivistämiseksi oli reilusti.



Kuva 2. Senringin sähköpneumaattinen liukurengas

Usean suunnittelukierroksen jälkeen koteloinnin korkeus saatiin supistettua 144 mm:iin, ja se on mielestämme hyvä saavutus ottaen huomioon vääntömoottorin 130 mm halkaisija. Vääntömoottorin lisäksi pakettiin piti mahduttaa enkooderi, kaksi kartiorullalaakera ja kolme kiinnityslaippaa.



Kuva 3. Vääntömoottorikotelointikokoonpanon poikkileikkaus

Prototyypistä tuotteeseen

Koronavirustilanteen takia prototyypin valmistaminen viivästy merkittävästi, sillä osien toimitusajat pitenevät ja kohtuuhintaisen koneistuksen löytäminen Suomessa oli melkein mahdotonta. Projektiryhmä ei siis onnistunut todistamaan onnistumistaan toimivalla prototyypillä. Paperilla asiat

kuitenkin näyttävät erittäin hyvältä, ja alkukesällä 2020 on mahdollista, että myös toimiva prototyyppi näkee päivänvalon, vaikka sen kokoaminen ja testaus eivät enää kuuluneetkaan tuotekehitysprojektin sisältöön.

Mikäli prototyypin testaus on onnistunut, on mahdollista ruveta kehittämään kyynär- ja ranneniveliin samanlaisia ratkaisuja ja lopuksi saada suunniteltua täysin toimiva Scara-robotti, josta ei roiku ylimääräisiä johtoja. Tämä on projektiryhmän visio tulevalle.

Konetekniikan opiskelijat oikeiden ongelmien äärellä – antoisaa myös ohjaajalle

Tuotekehitysprojekti-opintojaksolla koneautomaatio-opiskelijat tekevät pienryhmissä opettajan ohjauksessa yritysaiheisen projektityön. Sen rinnalla opiskelijat opiskelevat Tuotekehitystoiminta-opintojaksolla systemaattisen tuotekehityksen prosessin ja siihen tarvittavien työkalujen käyttöä. Projektityön aikana he opiskelevat myös kokous-, neuvottelu- ja esimiesviestintää, soveltavaa 3D-mallinnusta sekä tuotteen elinkaaren ja tuotetiedon hallintaa. Aiheen opiskelijat valitsevat projektiinsa Konetekniikan Pitching -tilaisuudessa yritysten esittelemistä aiheista.

Tuotekehitysprojektien ohjaaminen on todella antoisaa. Ohjatessaan projektitoita näkee, kuinka opiskelijat pääsevät hyödyntämään koulutusohjelmamme opintoja ja kuinka opiskelijat kiteyttävät oppimansa tiedot ja taidot todellisten yritysten tarjoamien ongelmien ratkaisuksi ja kehittävät insinööriammattilaisuuttaan. Lisäksi yhteistyö yritysten kanssa takaa opintojemme ajanmukaisuuden ja vahvistaa myös opettajien ammattitaitoa. Viime vuosina projektitöiden aiheet ovat usein liittyneet joustavaan automaatioon ja robotiikkaan, mutta mukana on vuosittain myös puhtaasti mekaniikka- ja koneensuunnitteluun keskittyviä aiheita.

Artikkelissa esitetyssä opiskelijoiden Scara-projektissa ratkaistiin robotiikkaan liittyvä ongelma mekaniikkasuunnittelulla, ja tätä projektia oli erittäin mukava ohjata. Projektiryhmä oli todella aktiivinen, ja projektinhoito oli erittäin korkeatasoista. Projektikatselmoinnit hoidettiin hyvin, ja jokaisella projektin jäsenellä oli oma roolinsa. Projektin tuottama dokumentaatio oli erittäin selkeää ja hyvätasoista. Asiakasyritys on tyytyväinen projektiryhmän työpanokseen ja tulokseen. Projektityön tuloksena syntyi asiakkaan tarpeisiin soveltuva Scara-robotin olkanivelen vääntömoottorin kotelointi- ja läpivientiratkaisu.

Tyre Wash -järjestelmällä pyritään vähentämään parkkihallien pölyongelmia

Autojen mukana kulkeutuu parkkihallien sisätiloihin paljon erilaisia pölyjä ja muita epäpuhtauksia. Parkkihallien pölyongelmiin on löytynyt uusi ase, Tyre Wash! Järjestelmä asennetaan parkkihallin sisäänaajoväylän alkupäähän. Sillä voidaan vähentää huomattavasti pölyjen ja muiden epäpuhtauksien pääsyä parkkihallin sisätiloihin. Järjestelmällä saavutetaan huomattava säästö parkkihallin kunnossapitokustannuksissa. Tuotekehitysprojektin tavoitteena ja tarkoituksena oli tehdä systemaattisen tuotekehityksen periaatteilla esisuunnittelu toimeksiantajan ideoimaan auton renkaiden, pyöräkoteloiden ja helmojen pesulaitteeseen.

Keksijä Juha Karppinen esitteli ongelman ja alustavan ratkaisun, jonka hän haluaisi maailmanlaajuiseen jakeluun. Nimittäin katupölyn ja muiden epäpuhtauksien aiheuttamiin vaivoihin parkkihallien tasolla voidaan todellakin vaikuttaa.

Pölyttömien parkkihallien aikakausi on alkanut! Tämä on tulevaisuutta.



Kuva 1. Parkkihalliin kertyy autojen renkaista pölyä

Tyre Wash, nimestä ajatus

Tyre Washin tuoteidea ja toimintamalli perustuu työn tilaajan omiin kokemuksiin ja havainnointiin parkkihalleissa. Tuotekehitysprojektin ryhmälle esitettiin selkeä visio ja suunta tulevan tuotteen toiminnasta. Työn tilaaja esitteli jo pitkälle ideomansa tuotteen PowerPoint-esityksellä ja tekemälään pienoismalliprotolla. Ryhmän kesken alettiin soveltaa systemaattisen tuotekehityksen oppeja. Tavoitteena oli käydä läpi mahdolliset, mahdotomat ja utopistiset ratkaisuvaihtoehdot, joista arvioinnin jälkeen saataisiin todennäköisesti toimivin ratkaisumalli.

Ajatuksista kohti suunnittelua

Toimeksiantajan vahvat visiot ja toimintaratkaisut aiheuttivat alkuun hieman hämmennystä ryhmän jäsenissä. Tuotteelle oli haettu patenttia, mikä herätti kysymyksen, mitä suunniteltavaa projektissa olisi. Palaverien jälkeen ymmärsimme, miten patentissa määritellyt piirteet ja ominaisuudet täytyi muuttaa tuotteeksi. Alkuhämmennyksestä selvittyämme alkoi todellinen työskentäminen. Aloimme muodostaa dokumentteja tavoitteista ja käydyistä keskusteluista, jotta systemaattinen tuotekehitys toteutuisi. Dokumentteihin kuuluivat muun muassa toimintorakenne, jäsentelykaavio, esiarviointi ja pistearviointi.

Ajatus löytyi ja työ alkoi.

Tuotekehityksen asettama marssijärjestys tuntui alkuun hieman oudolta. Ajatukset karkasivat heti alkuun tuotteen yksityiskohtaisempiin toteutuksiin, vaikka todellisuudessa täytyi miettiä selkeä toimintasuunnitelma tuotekehitysprojektille. Selkeä aikatauluttaminen ja tavoitteiden asettaminen pieninä paloina siivittävät projektia itsestään eteenpäin, vaikka alkuun se saattoi tuntua turhautavalta. On helpompi tehdä muutoksia projektin edetessä, mikäli etenemisvaiheet ovat oikeassa suunnittelujärjestyksessä. Esimerkiksi tässä projektissa runkorakenteen hahmottaminen helpotti altaan geometrian mallintamista ja ajatasojen suunnittelua. Ilman ennalta määriteltyä suunnittelujärjestystä mallintaminen olisi ollut huomattavasti vaikeampi toteuttaa.

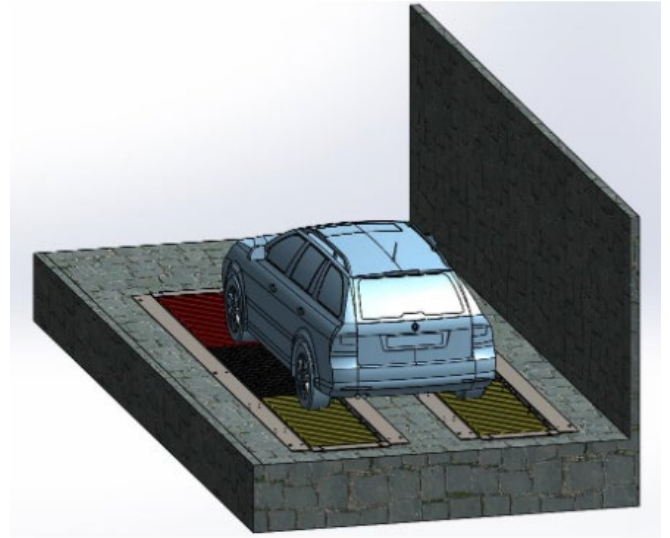
Uutta tuotetta ja toimintamallia suunniteltaessa ja suunnittelun eri vaiheissa on yleistä, että ajatukset muuttuvat ja elävät koko ajan. Hyvässä tuotekehityksessä vertaillaan eri vaihtoehtoja ja yhdistellään jo kokeiltuja sekä uusia että vanhoja ideoita.

Suunnittelusta tuotteeksi

Toimeksiantajan alkuvisiolla ja suunnittelun tuloksella oli onnistuneesti samoja piirteitä, mutta silti tuloksen näkeminen antoi visiosta uuden näkömänn. Se loi tarkemman kuvan siitä, millainen tuote olisi ja millaisilla lainalaisuuksilla tuotteen voisi valmistaa. Esisuunnittelun tuotoksena saimme ideat muutettua tuotteeksi, jonka pystyisi toteuttamaan. Suunnittelun valmistuttua ymmärsimme, kuinka paljon työstettävää projektissa todellisuudessa oli

Lopputulema

Onnistuimme loistavasti luomaan selkeän suunnitelman mahdollisesti valmistettavista osista ja tarvittavista komponenteista. Näiden pohjalta on hyvä lähtö viemään projektia eteenpäin esimerkiksi tarkempaan detaljisuunniteluun ja sitä kautta myös oikean prototyypin valmistukseen.



Kuva 2. Tyre Wash – ratkaisu parkkihallien pölyongelmiin

Kokoonpanon automatisointi yhteistyörobotiikan keinoin

JMC Engine Oy:llä on valmistettu työntötankoja kansainväliselle moottorivalmistajalle. Työntötangot on kokoonpantu aiemmin pitkälti käsityönä yksi kerrallaan työntekijän käyttämällä hydrauliprässillä. Työntötankoja tehdään vuodessa tuhansia, ja se on suhteellisen yksipuolinen työvaihe.

Projekti oli osa koulun Tuotekehitysprojekti-kurssia. Kurssi oli 10 opintopisteen kurssi, johon kuului lisäksi kokous-, neuvottelu- ja esimiesviestintää 2 opintopisteen verran. Kehitystyössä sovellettiin systemaattisen tuotekehityksen prosessia ja projektityön käytäntöjä. Projektityön tavoitteena oli tuottaa suunniteltavan kohteen suunnittelu- ja valmistusdokumentaatio, projektin dokumentaatio sekä toimiva prototyyppi suunnitellusta tuotteesta tai järjestelmästä.

Robottisolun toimintaperiaate

Projektityön tavoitteena oli saada suunniteltua ja kehitettyä automatisoitu kokoonpanosolu yhteistoimintarobotilla. Solussa yhteistoimintarobotti syöttää työntötangon ja pallotapit hydrauliprässille. Hydrauliprässillä puristetaan työntötangon molempiin päihin pallotapit. Valmiit työntötangot yhteistoimintarobotti latao trukkilavalle siistiin pinoon. Henkilökunta noutaa trukkilavat ja kuljettaa kokoonpannut työntötangot pakattavaksi kuljetusta varten.

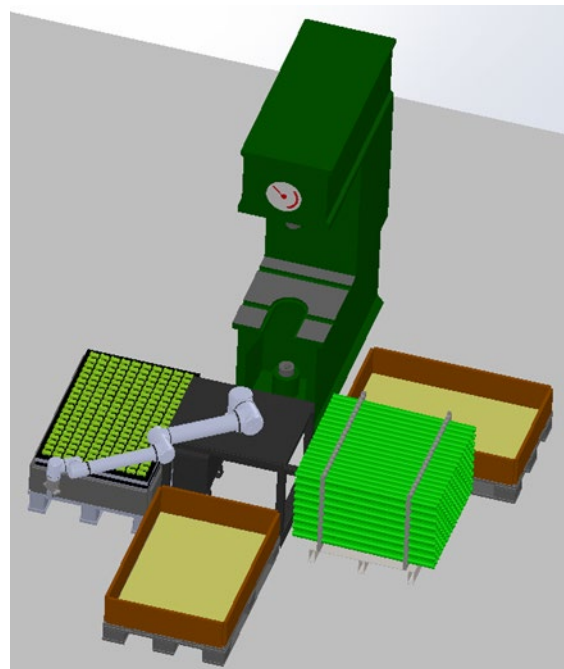
Jotta solusta saatiin toimiva, vaati se paljon muutakin suunnittelua kuin vain robotin ohjelmointia. Työntötangolle ja pallotapille suunniteltiin lavaalustat sekä valittiin robotin tarttuja ja suunniteltiin tarttujaan käpälät. Suunnitelluista lavaalustoista ja käpälistä tehtiin koululla prototyypit, jotta voitiin todeta lavaalustojen toimivuus käytännössä.

Alun perin tarkoituksena oli, että koululle olisi valmistettu solu valmiiksi. Solussa olisi käytetty itse valmistettuja lavaalustia sekä saatu todennettua robotin ulottuvuus ja voimien riittävyys. Koronan vuoksi solua ei päästy todellisuudessa toteuttamaan, joten toteutus tehtiin simuloimalla Visual Components -ohjelmalla.

Lopputulokset projektista

Saimme aikaiseksi asettelun, jossa robotti liikkuu ja toimii. Teimme Visual Components -simulaation asettelusta ja tarkastelimme liikeratoja sitä kautta. Teimme laskelmia riskien arvioinnissa ja otimme huomioon kokoonpanolinjassa. Teimme mallit ja lavaalustat SolidWorks- sekä Inventor-ohjelmistoilla. Kaikki meni suunnitelmien mukaan hyvin, kunnes maailmanlaajuinen pandemia iski ja muutti suunnitelmien suunnan. Emme enää voineet käydä labrassa, ja siksi siirryimme teoreettiselle pohjalle. Palaverit toteutimme Microsoft Teams- sekä Skype for Business -ohjelmien kautta.

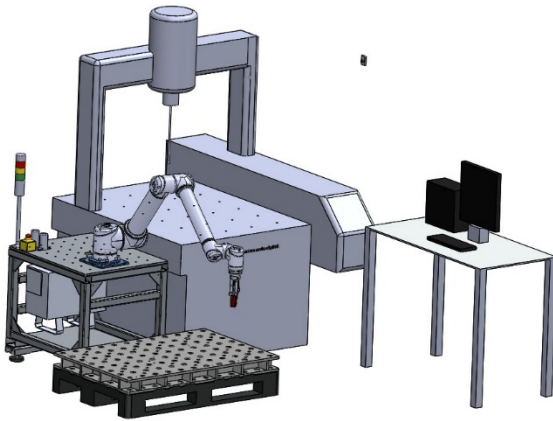
Projektin tulokset kokosimme yhteen ja välitimme ne JMC-Enginelle, jotta siellä päästään toteuttamaan rakentamamme ympäristö. Teimme valmiit ohjeet, joiden avulla yritys voi tehdä solun helposti ja turvallisesti.



Kuva 1. Robottisolun layout

Cobotti ja CMM ne yhteen soppii

Roboedu-ryhmän projektityönä JMC Engine Oy:lle toteuttama projekti Mittauspalvelu yhteistyörobotilla, joka sisälsi Universal Robots UR10E -cobotin ja Zeiss Eclipse -mittakoneen, yllätti kaikki käyttökelpoisuudellaan ja laiteyhdistelmän tasapainoisuudella. Molemmat laitteet ovat ominaisuuksiltaan, käyttöympäristöltään ja ohjaukseltaan hyvin samankaltaisia, ja huolimatta hieman kankeasta integroitavuudesta ne muodostavat hyvän parin. Tästä yhdistelmästä löytyy huomattavasti potentiaalia myös jatkokehitykseen.



Kuva 1. Projektissa Cobotti valjastettiin mittaamaan kappaleita Zeiss Eclipse -mittakoneella.

Kollaboratiivinen robotiikka ja Roboedu

Kollaboratiivinen eli yhteistoiminnallinen robotiikka tarkoittaa joustavan automaation robottia, jossa robotti on suunniteltu siten, että se voi toimia ihmisten parissa. Turvallinen yhteistoiminta on toteutettu yhteistoiminnalliseen robottiin eli cobottiin siten, että liikenopeudet ja voimat ovat pieniä. Robotti tunnustelee tietään suorittaessaan tehtäviä ja pahimmassakin tapauksessakin pysähtyy aiheuttamatta vaurioita havaitessaan osuman esimerkiksi ihmiseen.

Lisäksi cobotti voidaan varustaa lidar-skannereilla, valoverhoilla ja muilla vastaavilla turvalaitteilla. Silloin cobotti voidaan ohjelmoida hidastamaan suoritusnopeutta tai pysähtymään ihmisen tullessa työalueelle. Ihmisen poistuttua robotti jatkaa normaalisti suoritusta. Näin teollisuusrobotti, joka muistuttaa häkissään riehuvaa sokeaa gorillaa, on muuttunut Pelle Pelottoman Pikkuapulaisen kaltaiseksi työkaluksi. Siitä on tullut ihmisen työpari.

Ei sokea gorilla, vaan ihmisen työpari.

Myös cobotin ohjelmoiminen ja käyttö on tehty hyvin intuitiiviseksi ja helpoksi. Esimerkiksi UR10E mahdollistaa opettamisen kädestä pitäen. Toisin sanoen cobottia voi ottaa ranteesta kiinni ja

näyttää sille liikeradan: ”Siirrä tämä kappale tästä tähän.” Tämä poikkeaa melkoisesti perinteisestä robotin ohjelmoinnista ja käytöstä. Suurin hyöty joustavasta automaatiosta on sen helppo käyttöönotto ja siirrettävyys työpisteeltä toiselle. Näin sama laite voi palvella useassa tehtävässä ja käytöste nousee huomattavasti.

Yrityksillä on luonnollisesti herännyt kiinnostusta joustavan automaation ja cobottien käyttöön, jolloin on syntynyt tarvetta tuottaa uusia alan tuntevia suunnittelijoita. Oulun ammattikorkeakoulun kone-tekniikan tutkinto-ohjelma on vastannut tähän tarpeeseen muun muassa opetus- ja kulttuuriministeriön rahoittamalla Roboedu-täydennyskoulutuksella. Koulutuksessa täydennetään opiskelijoiden aiempia teknisiä korkeakoulututkintoja vastaamaan nykyajan haasteita joustavan automaation parissa. 120 opintopisteen laajuinen koulutus huipentui oikean robottisolun suunnitteluun, rakentamiseen ja koekäyttöön yrityksissä.

Tehoa ja mielekkyyttä mittaukseen

Projektin lähtötilanteessa mittakonetta panostettiin ja operoitiin manuaalisesti. Tässä ongelmana oli työkappaleiden mittauksen kesto, joka on noin 10 minuuttia. Kesto on hankala operaattorin kannalta, koska se on hyvin pitkä aika odottaa keskittyen pelkästään mittaukseen, mutta se sitoo operaattoria kohtuuttomasti muilta tehtäviltä keskeytyksillään. Ongelmaan pyrittiin löytämään ratkaisu cobotilla toteutettavasta sarjamittauksesta. Cobotti soveltuu tehtävään hienosti, koska se on mittakoneen tavoin hiljainen, puhtaaseen tilaan soveltuva, lähes riskitön sekä käytettävyydeltään helppo ja intuitiivinen.

Saavutetulla ratkaisulla robotti voi työskennellä itsenäisesti yli 10 tuntia. Näin operaattori voi yhdellä panostuksella hoitaa täyden vuoron tehokasta mitausta ja keskittyä itse myös muihin tehtäviin. Hyödyllisenä lisänä myös tuottamaton yöaika työpäivien välillä saadaan hyödynnettyä illalla tapahtuvalla panostuksella. Manuaalinen paletin panostus

ei tässä tapauksessa ollut haitta, koska työkappaleet vaativat operaattorilta lyhyen työvaiheen ennen ja jälkeen mittauksen.

Käytön helppoutta ja kustannustehokkuutta yksinkertaisuudesta ja joustavuudesta

Suunnittelun kantavana teemana käytettiin pyrkimystä mahdollisimman helppokäyttöiseen, muokautuvaan ja yksinkertaiseen rakenteeseen. Tällöin laitteisto on helposti omaksuttavissa, edullinen, luotettava, herättää vähän vastustusta operaattoreissa ja sen käyttö usean tehtävän hoitamiseen helpottuu. Joustavassa järjestelmässä mittakoneita voidaan käyttää kesken automaattisen sarja-ajon myös manuaalisesti eri tehtävään ajon häiriintymättä. Cobotti itsessään on suunniteltu juuri edellä mainittuja ominaisuuksia silmällä pitäen, joten se on erinomainen valinta tehtävään.

Esimerkkeinä yksinkertaisesta ja helposta rakenteesta voidaan mainita yhdistelmän käyttöliittymä, joka sisältää pelkästään kolme painiketta tietokoneen näytöllä. Lisäksi cobotin paikoittaminen työpisteelle tehdään helppokäyttöisten nollapistekiinnittimien avulla ja paletin paikoitus työpisteelle tehdään cobotin omalla voimatunnustelulla.

Joustavuus ja yksinkertaisuus mahdollistavat noin yhden päivän aikana tapahtuvan järjestelmän käyttöönoton sisältäen operaattorien koulutuksen. Cobotti voidaan ottaa työpisteessä käyttöön ensiasennuksen jälkeen vain 15 minuutissa sen saatavuutta paikalle.

Robottiautomaatio työpisteellä vartissa käyttöön

Yksinkertaisuus, edullisuus ja tehokkuus jatkuivat myös tarvittavien komponenttien suunnittelussa. Uudet komponentit valmistettiin muovista ja esimerkiksi tarttujan sormia voidaan helposti tuottaa tarpeen mukaan 3D-tulostimella.

Ei pelkkää onnea ja autuutta

Kuten alussa mainittiin, cobotin ja mittakoneen integroiminen ei ole aivan yksinkertaista. Tämän aiheuttaa mittakoneen suljettu rakenne, joka ei ole laajennettavissa vakiokomponenteilla ja menetelmillä. Mittakoneen valmistaja tosin tarjoaa hyvää optiota integraatioon, mutta hinta on kansanomaisesti ilmaistuna vähintäänkin suolainen näin opiskelijaprojektin demonstraation mittakaavassa. Todennäköisesti mittakoneen valmistaja tekisi itselleen palveluksen, mikäli se tarjoaisi edullisemmän tavan toteuttaa vastaavia projekteja tuotteidensa

ympärille. Ongelma on kuitenkin kierrettävissä, ja pienellä mielikuvituksen käytöllä sekä kohtuullisella määrällä ohjelmointia voidaan muodostaa cobotin ja mittakoneen rajapinnasta uusi ohjauksen kevyt versio. Luonnollisesti kevennetty versio ei kata kaikkia tuotannossa esiintyviä erikoistilanteita, ja vaatimukset työkierron lähtötilanteelle ovat tiukemmat kuin valmistajan tarjoamassa versiossa.

Toisena haasteena integraatiossa oli mittakoneen ja käsiteltävien työkappaleiden herkkyys. Mitattaviin kappaleisiin ei saanut käsittelyssä tulla lainkaan naarmuja tai kolhuja, ja robotin törmäys samalla työalueella toimivaan mittakoneeseen olisi ollut katastrofi. Kaikki kappaleisiin koskevat osat jouduttiin valmistamaan näin ollen muovista, ja kappaleen hellävaraiseen käsittelyyn piti kiinnittää huomiota läpi koko suunnittelun.

Robotin ja mittakoneen synkronoinnin sekä yhteentörmäyksen eston täytyi olla aukotonta, varmistusten moninkertaisia ja vikaantumisen täytyi toimia aina turvallisesti. Hiukan lisämaustetta sopaan lisäsi projektin toteuttamisen ajankohta Covid-19-pandemian aikana, kun koulu ja koko Suomi olivat suljettuina. Tilanteesta selvitettiin perustamalla robottilaboratorio tiimiläisen kotiin. Tällainen on käytännössä mahdollista vain cobottisovelluksia kehitettäessä.



Kuva 2. Projekti toteutettiin JMC Engine Oy:lle

Tavoitteet saavutettiin

Mikä on projektin lopputulos? Laitteisto on jo kerännyt alustavasti kiitosta sidosryhmiltä ja kehitysideoita on alkanut virrata. Suunnitelma on kustannustehokas, toteuttamiskelpoinen ja demonstraatio toimii vakaasti tuotantoympäristössä. Näillä näkymin projektin tuotos päättyy tuotantokäyttöön ja loppukäyttäjätkin hyväksyvät laitteiston. Suunnitelmissa on käyttää cobottia noin viidellä eri työpisteellä erilaisiin tehtäviin.

JMC Engine Oy:n kehityspäällikkö **Jukka Savela** kommentoi projektia seuraavasti: ”Koneinsinöörin näkökulmasta pidin projektin alussa haastavimpana cobotin ja mittakoneen kommunikoinnin ja

yhteisohjauksen rakentamista. Tiimistä löytyi onneksi paljon osaamista erilaisista ohjelmointitöistä. Cobotin ja mittakoneen keskusteluyhteyden rakentaminen onnistui todella hyvin. Robotin siirto kotilaboratoriosta JMC Enginelle tuotantokäyttöön sujui ammattimaisesti. Robotti oli tuotantokäytössä yhdessä päivässä! Tämä kertoo sen, että asiat oli oikeasti mietitty valmiiksi ennen robotin siirtoa tuotantoon. Olen erittäin tyytyväinen lopputulokseen.”

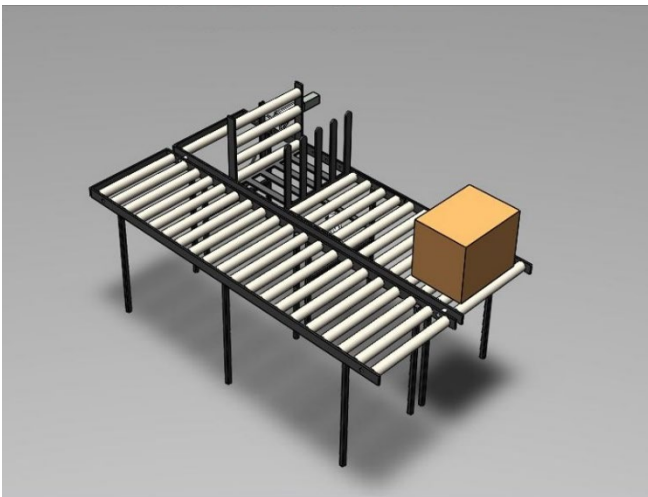
Lopputulos on hyvä, mutta tärkein saavutus lienee kuitenkin, että tiimin opiskelijat saivat hyvää oppia laitteistosta ja prosessin kehittämisestä. He tulivat kouluun herättämään henkiin vanhat uinuvat insinööritutkintonsa, ja nyt maailmalle suuntaa neljä innokasta uutta kollaboratiivisen robotiikan osajaa. Tavoite on saavutettu.

Oamkin koneautomaation opiskelijat suunnittelemassa tulevaisuuden kokoonpano- ja pakkauslinjan automatisointia

Tämä artikkeli esittelee Oulun ammattikorkeakoulun (Oamk) opintojakson Ohjausjärjestelmät projektin, jonka toteuttivat Oamkin koneosaston koneautomaatio-opiskelijat. Opintojaksolla perehdytään logiikkaohjelmointiin Asisys 1.5 -ympäristössä ja tuotetaan toimiva ohjelma, joka kääntää kappaleen automaattisesti rullakkopöydällä ja siirtää sen toiselle rullakkopöydälle tulosuuntaa vastaan.

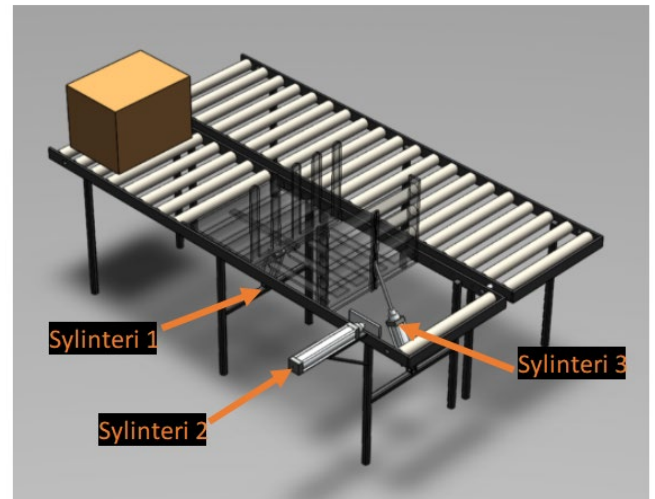
Projektityössä tutustutaan logiikkaohjelmoinnin saloihin, opitaan luomaan oma Ladder Diagram -ohjelma ja suunnitellaan sopiva anturointi tehtävänannon mukaiseen laitteistoon. Tehtävänä on myös laatia järjestelmästä pneumatiikka-, sekvenssi- ja sähkökaaviot.

Lähtötilanteena on laitteisto (kuva 1), jossa on rullakko ja kääntölaitteisto. Tehtävänä oli saada kuvassa näkyvä laatikko liikkumaan täysin automaattisesti. Laitteisto voi olla osa kokoonpano- ja pakkauslinjaa.



Kuva 1. Kappale lähtöpisteessään rullakkopöydällä 3D-mallina.

Laitteiston tarkoituksena on kääntää sille saapuva laatikko 180° ja siirtää se toiselle kuljettimelle. Laitteisto sisältää kaksi vierekkäistä vastakkaisiin suuntiin pyörivää kuljetinta, kaksi laatikkokippiä ja kolme paineilmasylinteriä, jotka näkyvät kuvassa 2. Kaksi sylinteriä ohjaa laatikkokippejä ja yksi sylinteri työntää laatikon toiselle kuljettimelle. Kaikilla liikkeillä tulee olla erillinen nopeudensäätömahdollisuus, ja laitteisto tulee varustaa hätäseis-kytkennällä.



Kuva 2. Kappale liikkuneena rullakkopöydällä

Ohjelman tulee toimia niin, että kun laatikko saapuu kääntöasemalle, automaattinen työnkierto käynnistyy. Työnkierto alkaa ensimmäisen sylinterin plus-liikkeellä, joka kääntää ensimmäisen kipin ja sen päällä olevan laatikon 90°. Tämän jälkeen kolmas sylinteri tekee miinus-liikkeen, joka kääntää toisen kipin laatikoineen toiset 90°. Käännön jälkeen toinen sylinteri tekee plus-liikkeen työntäen laatikon viereiselle kuljettimelle. Lopuksi kaikki liikkeet toistetaan toiseen suuntaan päinvastaisessa järjestyksessä ja seuraava työnkierto voi alkaa.

Laitteiston komponentit ja toiminta

Pneumatiikkakomponentteihin kuuluvat sylinterit, vastusvastaventtiilit ja suuntaventtiilit. Kaikki sylinterit ovat kaksitoimisia, molempiin suuntiin säädettävällä päätyvaimennuksella varustettuja. Sylinterit ovat kaksitoimisia siksi, että niillä laitteisto on yksinkertaisin ja helpoin toteuttaa. Päätyvaimennuksen avulla liikkeiden loput saadaan vaimennettua siten, että laatikko kääntyy hallitusti ja mekaanisia rasituksia syntyy mahdollisemman vähän. Jokainen sylinteri on varustettu sisäänrakennetulla magneetilla anturointia varten. Sylintereiden koot valitaan laitteiston koon mukaan.

Liikkeiden nopeudensäätö toteutetaan vastusvastaventtiileillä siten, että niillä rajoitetaan sylinteriin saapuvaa ilmavirtaa. Ratkaisu on järkevää, jotta

laitteisto saadaan pidettyä mahdollisemman toimintavarmana ja yksinkertaisena. Vastusvastaventtiilit asetetaan siten, että ne rajoittavat ilmavirtaa molempiin suuntiin 1. ja 3. sylinterille eli kipppejä ohjaaville sylintereille. Laatikon työntäjäsynterinin nopeudensäätö on tarkoituksenmukaista asettaa vain plus-liikkeelle. Sen miinus-liike on järkevää tapahtua pikaliikkeenä, jolloin ohitetaan vastusventtiilin vaikutus. Lisäksi synterinin päätyvaimennuksella saadaan estettyä turhan voimakas paluuliike. Näin estetään laatikon rikkoontuminen.

Jokaista sylinteriä ohjaa oma 5/2-suuntaventtiilinsä, joita asennetaan koko laitteistoon yhteensä kolme. Suuntaventtiilit ovat sähköisesti ohjattuja, ja ohjaus niille tulee logiikkaohjelmoinnilla. Valittu suuntaventtiilityyppi aiheuttaa sen, että kullakin sylinterillä on aina paine jommassakummassa päässä. Tällöin kipit pysyvät tarkoitetussa asennossa.

Sähkökomponentit ja anturit automatiikkaa ohjaamassa

Suuntaventtiileitä ohjaa logiikka, ja logiikkaa ohjaa antureilta saatu tieto. Laitteisto varustetaan kuudella magneettikytkimellä ja yhdellä optisella lähestymiskytkimellä eli valosilmällä. Magneettikytkimet asetetaan paineilmasylintereille siten, että kunkin sylinterin molempiin päätyihin asetetaan yksi anturi. Koska sylintereissä on sisäänrakennettuna magneetit, saadaan magneettikytkimillä tieto, kummassa asennossa sylinteri on, ulkoasennossa vai sisäasennossa.

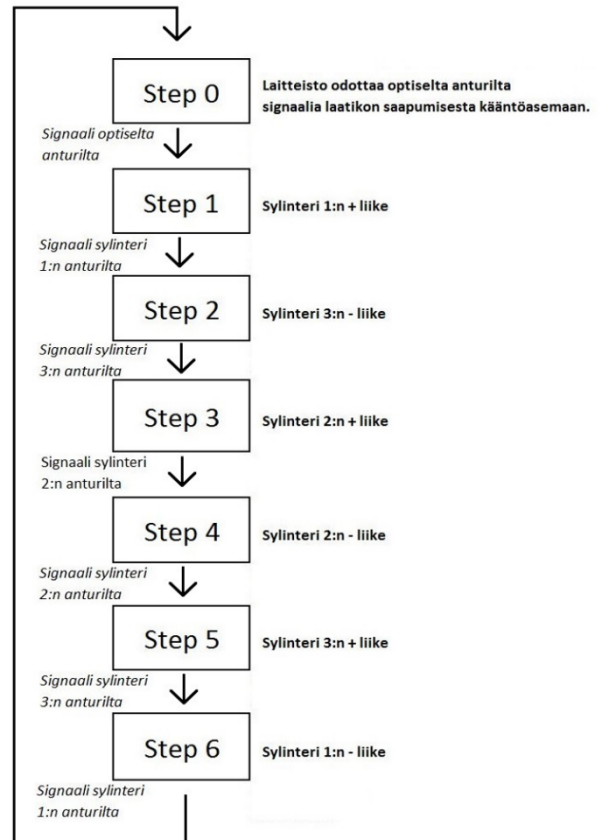
Optinen lähestymiskytkin asetetaan ensimmäisen kipin kulmaan siten, että toiselle puolelle tulee anturi, joka lähettää toiselle puolelle heijastimeen valoa. Heijastin peilaa valon anturin vastaanottiin. Kun laatikko saapuu kääntöasemalle, valonsäde katkeaa ja työnkierto alkaa. Optinen anturi on järkevä valinta muun muassa siksi, että se toimii laatikon materiaalista riippumatta ja on muutenkin varmatoiminen. Sen aiheuttama vika, esimerkiksi valosilmän likaantuminen, on helppo paikallistaa näin yksinkertaisessa laitteistossa.

Laitteisto vaatii toimiakseen ohjelmoidun logiikan, jonka tuloliitännöihin on kytketty anturit. Logiikan lähtöliittimistä saadaan ohjaus suuntaventtiileille.

Hätäseis-toimintaan on varauduttu siten, että kun ihminen painaa hätäseis-painiketta, tulee logiikalle käsky pysäyttää kaikki liikkeet. Suuntaventtiilit on varustettu mekaanisella vivulla niin, että sylintereiden liikkeet voidaan palauttaa lähtötilanteeseen.

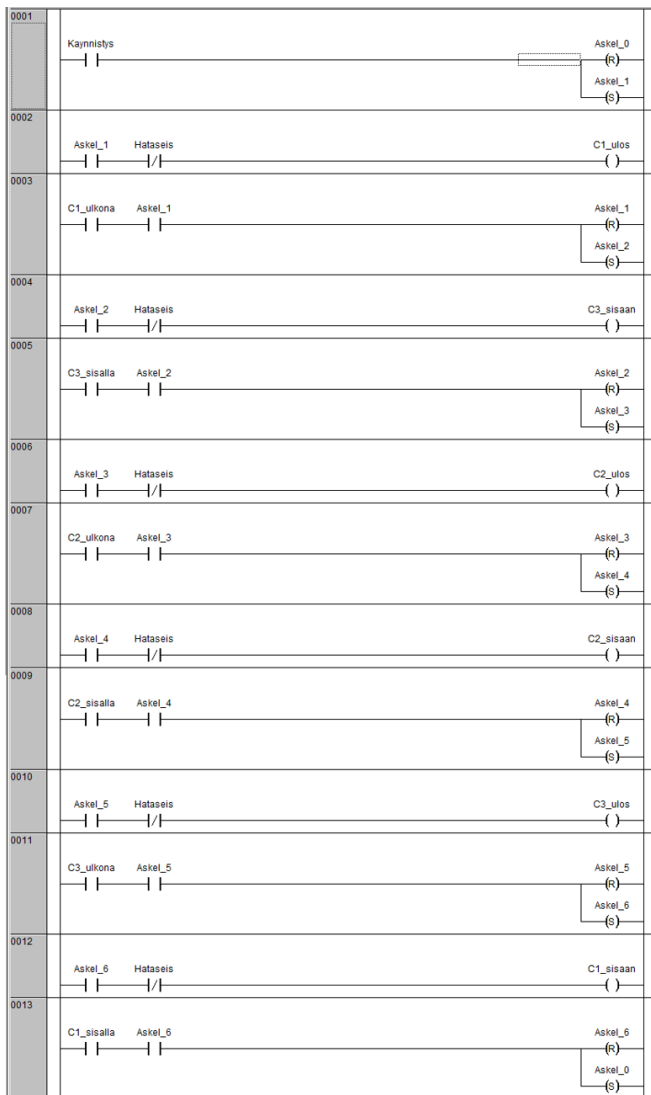
Kaavioita ja ohjelmointia

Sekvenssikaavio esittää laitteiston toiminnan havainnollisesti (kuva 3). Kuvassa näkyvät kaikki anturin tulot ja lähdöt. Tulot ovat antureita, ja lähdöt ovat sylintereille meneviä plus- ja miinus-liikkeiden kuvauksia.



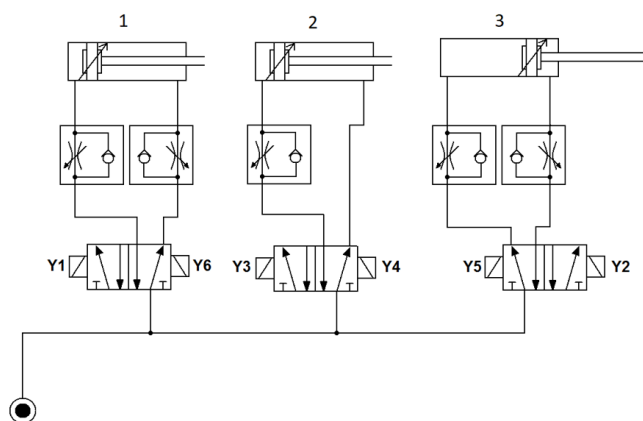
Kuva 3. Sekvenssikaavio

Laatikonkääntölaitteiston automaatio toimii Ladder Diagram -ohjelman avulla (kuva 4). Ladder Diagram on tikapuukaavio, jonka vasemmassa reunassa ovat tulot ja oikeassa reunassa lähdöt. Tulot ovat anturituloja ja lähdöt magneettikeloja.



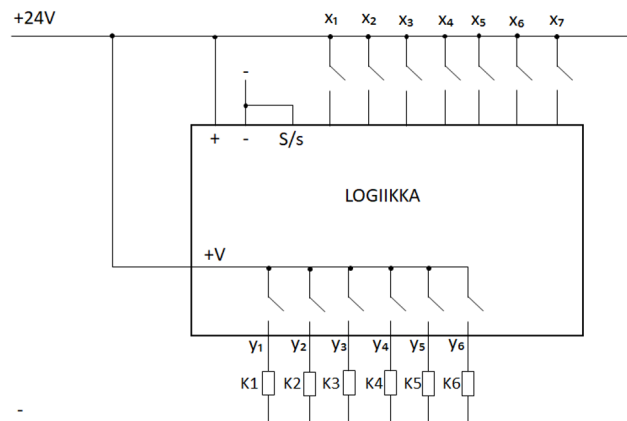
Kuva 4. Kuvakaappaus Ladder Diagram -ohjelmasta

Pneumatiikkakaaviossa (kuva 5) on numeroitu sylinterit ja kaavio on piirretty muotoon, jossa komponentit ovat lähtöasennoissaan. Komponentit on valittu suunnitteluvaiheessa. Suuntaventtiileitä ohjaavat logiikkalähdöt on merkattu kuvaan. Kuvassa 5 näkyy, mitä logiikalla ohjataan ja mihin lähdöt on kytketty.



Kuva 5. Pneumatiikkakaavio

Sähkökaaviosta (kuva 6) näkee, miten anturit on kytketty logiikkaan ja mitä lähtöjä logiikassa on. $X_1 - X_7$ ovat antureiden tuloja ja $Y_1 - Y_6$ lähtöjä. Suuntaventtiilien magneettikeloja ovat K1 - K6.



Kuva 6. Sähkökaavio

Optinen anturi on kytketty ensimmäiseen tuloon (X_1). Toiseen tuloon on liitetty ensimmäisen sylinterin yläpään magneettikytkin. X_3 :n tulossa on 3. sylinterin alapään magneettikytkin. Neljänteen tuloon tulee signaali toisen sylinterin yläpään anturilta, ja alapään anturi on kytketty viidenteen tuloon. X_6 :n tulossa on 3. sylinterin yläpään magneettikytkin ja viimeiseen tuloon signaali tulee 1. sylinterin alapään anturilta.

Lopputulos

Harjoitustyön tavoitteena oli tutustuttaa opiskelija logiikkaohjelmoinnin saloihin, opettaa luomaan oma Ladder Diagram -ohjelma ja suunnitella sopiva anturointi tehtävänannon mukaiseen laitteistoon. Harjoitustyössä pääsi myös käyttämään pneumatiikan oppeja kaaviota laadittaessa ja komponentteja valittaessa. Harjoitustyö niputtaa melko hyvin kurssilla käydyn teorian ja antaa opiskelijalle mahdollisuuden soveltaa opittuja asioita käytännössä.

Uskon, että tästä harjoitustyöstä tulee olemaan paljon apua tulevaisuuden koneautomaatiotekemiisiin.

UR-10 rieskapusseja pakkaamassa Haukiputaalla

Artikkeli on Oulun ammattikorkeakoulussa toteutetun 120 op:n Roboedu-koulutuksen projektityön esittely. Toimeksi-antajana oli Haukiputaalla toimiva leipomoyritys Putaan Pulla, jonka toimitusjohtaja on Antti Tyykiluoto. Tehtävä oli yksinkertaisuudessaan pakata rieskapusseja 2 sekunnin tahtiajalla kuljetuslaatikkoon.

Esisuunnitteluvaihe

Tuotantoautomaatiossa kovien ja kiinteiden kappaleiden käsittely on useimmiten suhteellisen ongelmallista, koska mitat ja toleranssit ovat ennakolta tiedossa ja mitattavissa ja joka kerta ne pysyvät samoina. Silloin tuotetta pystytään käsittelemään tarkasti halutulla tavalla ja haluttuun asentoon.

Nyt olimme massatuotannon äärellä, jossa rieskapusseja tulisi 2 sekunnin välein UR-10-robotisolun käsiteltäväksi. Asiakaslähtöisen toimintatavan tavoitteena niitä tulisi kyetä pakkaamaan siististi kuljetuslaatikkoon ja asiakkaille toimitettaviksi. Rieskapussit eivät ole kovin helppoja käsiteltäviä tuotantoautomaatiossa varsinkin, kun suurin koko oli 170 x 170 mm, jolloin ominaisuuksista korostuivat notkeus, taipuisuus, rullautuminen, pussin koko ja materiaali. Näitä asioita tutkiessamme ja pohtiesamme kävimme läpi useita erilaisia käsittelyvaihtoehtoja siitä, miten ja missä me otamme UR-10-robotisolulla tuotteen haltuun ja pakkaamme sen kuljetuslaatikkoon.

Erilaisia käsittelytapoja mietimme niin linjan sivulla tapahtuvaan käsittelyyn kuin linjan päähän sijoittuvaan robotisoluyksikköönkin. Kuljetuslaatikkoon voidaan suhteellisen vähän kappalemäärällisesti sijoittaa rieskapusseja kokonaisuudessaan, jolloin laatikon vaihtoajan tulisi olla mahdollisimman pieni tai mielellään 0. Alusta asti siinä oli mukana myös käsipakkausasema, johon laatikon vaihdon tai muun häiriön yhteydessä rieskapussit ohjataan automaattisesti.

Valintojen tekemisen vaihe

Esisuunnitteluvaiheen pitkittyminen ja tuotteen hankaluus aiheuttivat aikataulullisesti haasteita. Lisäksi maailman vallannut koronapandemia laittoi aikatauluja monelta osin uusiksi. Putaan Pullan laajennusprojektina ollut uuden linjaston rakentaminen ei edennyt odotetusti. Koulun sulkeutuminen ja työn muuttuminen etätyöksi vaikeuttivat merkittävästi projektia.

Projektia alettiin viedä eteenpäin linjan päähän sijoittuvalla robotisolulla. Siinä toimintatapana on käsitellä UR-10-robotin omalla tarttujalla suoraan kuljetuslaatikkoa rieskapussilinjan päässä. Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että roboti ottaa tyhjiä laatikoiden pinosta laatikon, vie sen linjan päähän, siirtelee laatikkoa halutulla tavalla ja irrottaa laatikon kuljettimen pois vietäväksi. Tätä robotisolun demoamista, rakentamista ja testaamista teki koulun laboratorioissa työskentelevät projekti-insinöörit.

Tässä vaiheessa projektityötä olisi pitänyt päästä tekemään Putaan Pullan tiloihin oikeaan ympäristöön ja uunituoreiden rieskojen ääreen testaamaan ja havainnoimaan, miten rieskapussien asemointi ja tahti aika oikeassa ympäristössä toteutuvat. Uunista tullessaan rieskapussit ovat kovempia heti kuin se materiaali, joka projektityössä oli käytettävissä. Siinä on ero tuotantoautomaatiossa, että toimintaprosessi saadaan toimimaan halutusti.

Tulosten esittely ja jatkotoimenpiteet

Projekti tuotti UR-10-robotisolukehityksen laboratorioympäristöön (kuva 1).



Kuva 1. Oamkin koneautomaation laboratorioissa UR-10-robotisolu valmiina tehtävään

Projektista saatiin paljon tietoa ja kokemusta elintarviketeollisuuden vaativuudesta. Tiettynä hankaluutena oli saada pehmeä ja notkea elintarviketuote 100-prosenttisesti laatikoitua, joka projektin edetessä saatiin onnistuneesti ratkaistua. Tämän kevään koronapandemia esti projektiryhmää tekemästä demoesittelyä Putaan Pullan tiloissa. Demoesittelyssä olisimme näyttäneet, miten UR-10-robottisoluyksikköä voidaan käyttää apuna massatuotannossa eli rieskapussit saadaan kuljetuslaatikkoon halutulla tavalla onnistuneesti.

Kunhan Putaan Pullan laajennus- ja rakennustyöt valmistuvat, UR-10-robottisolu voidaan ottaa käyttöön mahdollisen opinnäytetyön muodossa tilaajan haluamassa ympäristössä.

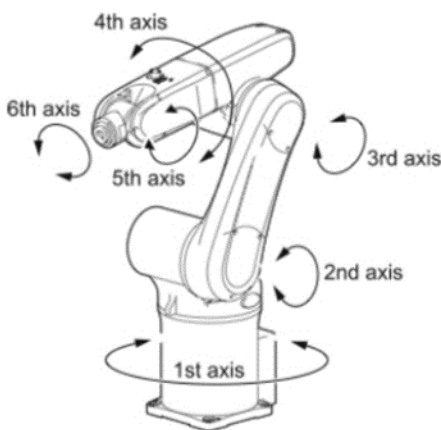
Robotit ja niiden ominaisuudet

Tässä artikkelissa käsitellään yleisimpiä robottimalleja, joita vertaillaan eri valmistajien kesken. Vertailtavat robottimallit ovat yhteistoimintarobotti, kiertyvänivelinen robotti, Scara-robotti ja Delta-robotti. Vertailu tehtiin helpottamaan tiedonhakua eri robottimalleista hankinnan yhteydessä.

Yhteistoimintarobotti

Vertailtaviin yhteistoimintarobottien rajaamiseksi käytettiin ulottuvuutta ja hyötykuormaa. Ulottuvuuden minimiarvoksi määritettiin 900 mm ja hyötykuorman minimiarvoksi 5 kg. Hyötykuorman avulla voidaan laskea, kuinka suuria taakkoja cobotilla tai yleensä roboteilla voidaan käsitellä. Hyötykuormaa laskettaessa tulee ottaa huomioon tarttujan paino, joka vähennetään hyötykuormasta. Mikäli cobotin valmistaja ilmoittaa hyötykuormaksi 7 kg ja cobotin käyttämä työkalu painaa 2 kg, voidaan cobotilla käsitellä 5 kg:n painoisia taakkoja.

Vertailtavia cobotteja olivat Omron TM 12, Fanuc Cr-7iA/L, Universal Robot UR 10e ja Motoman HC10DT. Vertailun pohjana käytettiin valmistajien antamia tietoja, jotka löytyivät cobottien teknisistä tiedoista. Kuvassa 1 on esitetty 6-akselisen käsivarsirobotin akselit.



Kuva 3. 6-akselisen käsivarsirobotin akselit (1)

Taulukossa 1 näkyvät eri cobottien ulottuvuus, hyötykuorma, eri akselien toimintasäteet, nopeudet ja toistotarkkuus.

Taulukko 1. Cobottien vertailu (2; 3; 4; 5)

		Omron TM 12	Fanuc CR- 7iA/L	Universal Robot UR 10 e	Motoman HC10DT
	Ulottuvuus	1 300 mm	911 mm	1 300 mm	1 200 mm
	Hyötykuorma	12 kg	7 kg	10 kg	10 kg
	Toistotarkkuus	± 0,1 mm	± 0,01 mm	± 0,05 mm	± 0,1 mm
Liikematka	Akseli 1	270°	340°	360°	± 180°
	Akseli 2	180°	166°	360°	± 180°
	Akseli 3	166°	383°	360°	± 355°
	Akseli 4	180°	380°	360°	± 180°
	Akseli 5	180°	240°	360°	± 180°
	Akseli 6	270°	720°	360°	± 180°
Liikenopeus	Akseli 1	120 °/s		120 °/s	130 °/s
	Akseli 2	120 °/s		120 °/s	130 °/s
	Akseli 3	180 °/s		180 °/s	180 °/s
	Akseli 4	180 °/s		180 °/s	180 °/s
	Akseli 5	180 °/s		180 °/s	250 °/s
	Akseli 6	180 °/s		180 °/s	250 °/s

6-akselinen käsivarsirobotti koostuu nimensä mukaan kuudesta eri akselistä. Käsivarsirobotia voidaan verrata ihmisen käsivarteen. Osat voidaan myös nimetä käsivarren nimillä seuraavasti (6):

- Akseli 1 on robotin alusta, joka mahdollistaa robotin liikkeen oikealta vasemmalle. Kyseisellä liikeradalla voidaan laajentaa työaluetta molemmin puolin käsivartta ja käsivarren taakse.
- Akseli 2 liikuttaa robotin alavartta eteen ja taaksepäin. Sitä kutsutaan myös olkavarreksi.
- Akseli 3 nostaa ja laskee robotin ylempää vartta. Sitä kutsutaan myös kyynärvarreksi.
- Akseli 4 kiertyy ylempää vartta.
- Akseli 5 nostaa ja laskee rannetta.
- Akseli 6 kiertyy rannetta.

Yhteistoimintarobotin edut ja haitat

Kappaleen poimintatehtäviin yhteistoimintarobotti soveltuu hyvin, koska se voi työskennellä ihmisen kanssa samassa tilassa ilman suoja-aitoja. Cobotin viemä tila on pieni ja kulku esimerkiksi kuljettimen molemmin puolin sijaitseviin oviin on mahdollista. Lisäksi cobotti voidaan liikuttaa halutessaan toisaalle, minkä ansiosta samalla käsivarrella voidaan hoitaa useita eri tehtäviä. Cobotin heikkoutena voidaan pitää liikenopeuksia, mutta tavallisesti se ei koidu ongelmaksi.

Kiertyvänivelinen robotti

Kiertyvänivelinen robotti (kuva 2) koostuu yleensä kuudesta eri vapausasteesta.



Kuva 4. 6-akselinen kiertyvänivelrobotti (7)

6-akselisessa robottirakenteessa liitoksia voi olla aina kymmeneen asti. Varret on kytketty toisiinsa pyörivillä nivelillä. Jokaista niveltä kutsutaan omaksi akseliksi, jonka avulla voidaan pyörittää varsia tai jolla saadaan lisää ulottuvuutta robotille. Teollisuudessa käytettävissä kiertyvänivelisissä roboteissa on yleensä neljä tai kuusi akselia. (7.)

Taulukossa 2 vertaillaan 6-akselisia kiertyvänivelrobotteja. Vertailuun valittiin Kukan KR 12 R1810, ABB 2600-20/1.65, Yaskawan GP25 ja Fanucin M-20iA/20M.

Taulukko 2. 6-akselisten kiertyvänivelrobottien vertailu (9; 10; 11; 12)

		Kuka KR 12 R1810	ABB IRB 2600-20/1.65	Yaskawa GP25	Fanuc M- 20iA/20M
	Ulottuvuus	1 813 mm	1 650 mm	1 730 mm	1 813 mm
	Hyötykuorma	23,9 kg	20 kg	25 kg	20 kg
	Toistotarkkuus	± 0.04 mm	0.04 mm	± 0.06 mm	± 0.03 mm
Liikematka	Akseli 1	± 185°	±180°	±180°	370°
	Akseli 2	-185° to 65°	+155° to -95°	+155° to -	260°
	Akseli 3	-138° to 175°	+75° to 180°	+160° to -86°	460,6°
	Akseli 4	±350°	±400°	±200°	400°
	Akseli 5	±130°	±120°	±150°	280°
	Akseli 6	±350°	±400°	±455°	900°
Liikenoisuus	Akseli 1	200 °/s	175 °/s	210 °/s	195 °/s
	Akseli 2	175 °/s	175 °/s	210 °/s	175 °/s
	Akseli 3	190 °/s	175 °/s	265 °/s	180 °/s
	Akseli 4	430 °/s	360 °/s	420 °/s	405 °/s
	Akseli 5	430 °/s	360 °/s	420 °/s	405 °/s
	Akseli 6	630 °/s	500 °/s	885 °/s	615 °/s

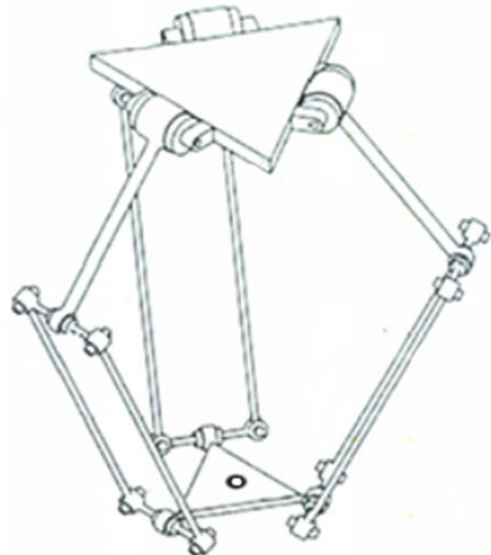
Kiertyvänivelrobottien edut ja haitat

Kappaleen poimintasovelluksessa kiertyvänivelrobotin haittana on robottimallin vaatima turvallistaminen. Ihmisen pääsy robotin toiminta-alueelle tulee rajoittaa joko fyysisillä rakenteilla tai valoverhoilla. Valoverhojen aktivoituessa tulee robotin liikkeen lakata täysin.

Kiertyvänivelisen robotin etuina yhteistoimintarobottiin ovat ulottuvuus, hyötykuorma ja liikenoisuus.

Delta-robotti

Delta-robotin (kuva 3) rakenne on yksinkertainen ja perusajatus on suunnikkaiden käyttö. Delta-robotit koostuvat yleensä kolmesta raajasta. Raajojen yläpää on kiinni alustassa, jossa on yksi moottori jokaista raajaa kohden. Raajan alapäässä on kaksi rinnakkain sijoitettua vartta, jotka on kiinnitetty ala-alustaan. Ala-alusta liikkuu ainoastaan x-, y- ja z- suuntiin. Joidenkin valmistajien Delta-roboteihin on saatavissa neljäs akseli, jonka avulla työkalun kierto on myös mahdollista. Delta-robotit ovat teollisuusrobotteja, ja niiden turvallistaminen tulee tehdä asianmukaisella tavalla. (13.)



Kuva 5. Delta-robotin rakenne (14)

Delta-robottien yleisimpiä käyttökohteita ovat poimi ja aseta -tyyppiset tehtävät, koska rakenteiden ansiosta liikkumisnopeudet ovat suuret. Yleensä Delta-robotia käytetään keveiden kappaleiden liikutteluun, painoltaan 10 grammasta 1 000 grammaan. Toimintaympyrä Delta-roboteilla on yleensä noin 1 000 mm, ja z-akselin toimintakorkeus on 200 mm. (15.)

Delta-robotteja valmistavat useat eri valmistajat. Taulukossa 3 vertaillaan kolmen eri valmistajan robotteja. Vertailuun on valittu robotit, joiden hyötykuorma on vähintään 3 kg. Vertailussa verrataan hyötykuormaa, toimintasädettä, z-akselin suuntaista liikettä ja toistotarkkuutta.

Taulukko 3. Delta-robottien vertailu (16; 17; 18)

	ABB IRB 360-3/1130	Yaskawa MPP3H	Kawasaki YF003N
Hyötykuorma	3 kg	3 kg	3 kg
Toimintasäde	1 130 mm	1 300 mm	1 300 mm
Z-akselin suuntainen liike	350 mm	600 mm	500 mm
Toistotarkkuus	± 0.1 mm	± 0.1 mm	± 0.1 mm

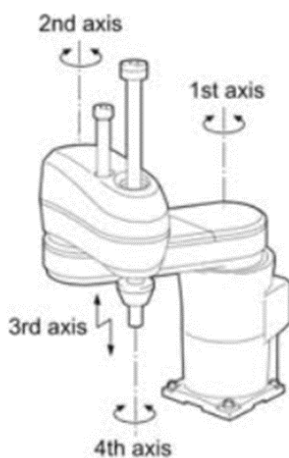
Delta-robotin edut ja haitat

Delta-robotin etuina poiminnassa voidaan pitää kappaleiden poiminta-aikaa. Lisäksi Delta-robotit tulee yleensä sijoittaa poimintatehtävässä kohtisuoraan kuljettimen kanssa, joten se vie fyysisesti vähän tilaa.

Delta-robotin haittoina yhteistoimintarobottiin on robotin toiminta-alueen turvallistaminen. Delta-robotin toiminta-alue tulee rajata siten, ettei ihminen pääse sen toiminta-alueelle, kun robotti on toiminnassa. Lisäksi haittana on z-akselin suuntainen liike.

Scara-robotti

Scara-robotti (kuva 4) on lyhenne sanoista Selective Compliance Assembly Robot Arm, joka vapaasti suomennettuna tarkoittaa tiettyyn suuntaan joustavaa kokoonpanorobottia. Scara-robotit ovat 4-akselisia, ja niiden liikkeet ovat verrattavissa ihmisen käsivarren liikkeisiin, koska nivelten avulla käsivarsi voi liikkua pysty- ja vaakasuoraan. Käsivarren liikkeet X- ja Y-akselin suhteen toteutetaan kolmella kiertonivelellä ja Z-akselin liikkeet toteutetaan yhdellä lineaarinivelellä. Scara-robotilla voidaan toteuttaa ranteen pyörimisliike, mutta sen kallistaminen ei ole mahdollista. (19.)



Kuva 4. Scara-robotin havainnekuva (20)

Taulukossa 4 vertaillaan eri valmistajien Scara-robotteja. Vertailuun valittiin robotit, joiden hyötykuorma on maksimissaan 6 kg. Vertailussa verrataan hyötykuormaa, toimintasädettä, iskunpituutta ja toistotarkkuutta eri akseleilla.

Taulukko 4. Scara-Robotin vertailu (21; 22; 23, s. 14)

	FANUC SR-6iA	ABB IRB 910SC - 3/065	EPSON G6-65x
Hyötykuorma	6 kg	6 kg	6 kg
Ulottuvuus	650 mm	650 mm	650 mm
Iskunpituus	210 mm	180 mm	180 mm
Toistotarkkuus	Akselit 1 ja 2	±0.015 mm	±0.015 mm
	Akseli 3	±0.01 mm	±0.01 mm
	Akseli 4	±0.004 °	±0.005 °

Scara-robotin edut ja haitat

Scara-robotin etuina poimintatehtävässä voidaan pitää kappaleiden poiminta-aikaa. Scara-robotin liikkeet verrattuna yhteistoimintarobottiin ja käsi-robotteihin ovat todella nopeita.

Scara-robotin haittoina verrattuna yhteistoimintarobottiin on robotin toiminta-alueen turvallistaminen. Robotin toiminta-alue tulee rajata siten, ettei ihminen pääse sen toiminta-alueelle. Lisäksi haittana on iskunpituuden vaikeahko hallinta.

Lähteet

1. Bélanger-Barrette, Mathieu 2014. Robotiq. How to Choose the Right Industrial Robot. Hakupäivä 4.2.2020. <https://blog.robotiq.com/bid/70408/How-to-Choose-the-Right-Industrial-Robot>.
2. TM Series. 2020. Omron Industrial Automation. Hakupäivä 4.2.2020. <http://www.ia.omron.com/products/family/3739/specification.html>.
3. FANUC Robot CR-4iA, 7iA, 7iA/L Fanuc Robot CR-14iA/L. 2019. FANUC corporation. Hakupäivä 4.2.2020. https://www.fanuc.co.jp/en/product/robot/f_r_col-labo.html.
4. UR10e technical details. 2019. Universal robots. Hakupäivä 4.2.2020. <https://www.universal-robots.com/products/ur10-robot/> (vaatii kirjautumisen).
5. Motoman HC10, HC10DT. 2019. Yaskawa. Hakupäivä 4.2.2020. <https://www.yaskawa.eu.com/en/products/robotics/motoman-robots/productdetail/product/hc10/>.
6. 6-Axis Robots Articulated Robots. 2020. Robotisc Automation Systems. Hakupäivä 8.2.2020. <https://www.robotiscautomationsystems.com/6-axis-robots.html>.
7. What Are The Main Types Of Robots. 2020. RobotWorx. Hakupäivä 7.3.2020. <https://www.robots.com/faq/what-are-the-main-types-of-robots>.
8. Detailed information for IRB 2600. 2020. ABB. Hakupäivä 7.3.2020. <https://new.abb.com/products/3HAC020536-018/irb-2600>.

9. Kuka KR 20 R1810. 2019. KUKA. Hakupäivä 8.2.2020. <https://www.kuka.com/en-de/products/robot-systems/industrial-robots/kr-cybertech>.
10. Robotics IRB 2600. 2019. ABB. Hakupäivä 8.2.2020. <https://new.abb.com/products/robotics/industrial-robots/irb-2600/irb-2600-data>.
11. GP25 Efficient, High-Speed Robot. 2019. Yaskawa America. Hakupäivä 8.2.2020. <https://www.yaskawa.com/products/robotics/robots-with-iec/articulated-robots/gp25>.
12. M-20iA/20M. 2019. FANUC. Hakupäivä 8.2.2020. <https://www.fanuc.eu/fi/en/robots/robot-filter-page/m-20-series/m-20ia-20m?returnurl=https%3A%2F%2Fwww.fanuc.eu%2Ffi%2Fen%2Frobots%2Frobot-filter-page%23%3Ft%3Dc1494f783e1f441a8472ab688bf9ca08%2C1fc42cb423f2445bb0da1ea4a885389a>.
13. Illian, Bonev. 2001. Affordable Academic Parallel Robots. Hakupäivä 15.2.2020. <http://www.parallemic.org/Reviews/Review002.html>.
14. Danielle, Collins. 2016. What do delta robots have in common with spiders. Hakupäivä 17.2.2020. <https://www.linearmotiontips.com/what-do-delta-robots-have-in-common-with-spiders/>.
15. Viera, Poppeová – Juraj, Uriček – Vladimir, Bulej – Peter, Šindler. 2011. Delta robots – robots for high speed manipulation. Hakupäivä 17.2.2020. https://www.researchgate.net/publication/298131573_Delta_robots_-_robots_for_high_speed_manipulation.
16. Robotics IRB 360 FlexPicker. 2017. ABB. Hakupäivä 22.2.2020. <https://new.abb.com/products/robotics/industrial-robots/irb-360/irb-360-data>.
17. MPP3H MPP3S. 2015. YASKAWA. Hakupäivä 22.2.2020. <https://www.yaskawa.com/products/robotics/robots-with-iec/delta-robots/mpp3h>.
18. Kawasaki Robot Y series. 2019. Kawasaki Robot. Hakupäivä 25.2.2020. <https://robotics.kawasaki.com/en/1/products/robots/pick-place/YF003N/>.
19. Scara. 2006. Robot hall of fame. Hakupäivä 25.2.2020. <http://www.robothalloffame.org/inductees/06inductees/Scara.html>.
20. Bouchard, Samuel. 2016. Robotiq. Industrial robots What are the different types. Hakupäivä 24.2.2020. <https://blog.robotiq.com/bid/63528/what-are-the-different-types-of-industrial-robots>.
21. SR-12iA Product Information. 2020. FANUC. Hakupäivä 1.3.2020. <https://www.fanucamerica.com/products/robots/series/Scara>.
22. Robotics IRB 910SC Scara. 2020. Hakupäivä 1.3.2020. <https://new.abb.com/products/robotics/industrial-robots/irb-910sc/irb-910sc-data>.
23. Epson Robots Product Specifications Catalog. 2017. Epson. Hakupäivä 1.3.2020. https://epson.com/Support/Robots/SCARA-Robots/SCARA-G-Series/Epson-G10-SCARA-Robots/s/SPT_RG10-651ST13#manuals.

Yhteistoimintarobotti apuna hitsauksessa

Projektin tilaaja oli Scanfil EMS Oyj. Projektissa suunniteltiin hitsausrobottisolu tilaajalle. Tilaaja valitsi työssä käytettäväksi robotiksi UR10e-yhteistoimintarobotin.

Projektin tavoitteena oli luoda hitsausrobottisolun layout-suunnitelma sekä solussa käytettävän yhteistoimintarobotin ja hitsauslaitteiston valinnan mahdollistava teknologiaselvitys tilaajan käyttöön. Kokonaisuuden tavoitteena oli tutkia, miten yhteistoimintarobotti soveltuu hitsauksessa tilaajan tarkoituksiin.

Esisuunnittelu

Projektin ensimmäinen vaihe oli esisuunnittelu. Esisuunnittelu aloitettiin etsimällä tietoa erilaisista hitsausrobottisovelluksista ja -kokonaisuuksista. Tiedot kerättiin Excel-taulukkoon vertailua varten. Vaihtoehtoja verrattiin toisiinsa ja ominaisuuksiltaan ja käytettävyydeltään parhaat valittiin tarkempaan vertailuun. Tarkempaan vertailuun otettiin robottien UR10 ja UR10e kanssa yhteensopivia järjestelmäkokonaisuuksia.

Valittuja järjestelmäkokonaisuuksia vertailtiin ja ne pisteytettiin Excel-taulukossa eri arviointikriteerien avulla. Arviointikriteerit ja niiden painokertoimet määriteltiin tilaajan edustajien kanssa. Hitsausjärjestelmien vertailussa eniten pisteitä sai Fsk Industriesin valmistama SmartArc, ja se valittiin tilaajalle tulevaan hitsausrobottisoluun.

Aluksi etsittiin tietoa myös erilaisista olemassa olevista hitsausrobottisoluista. Projektiryhmä suunnitelti monenlaisia solulayouteja, joista valittiin kehityskelpoisimmat jatkoa varten. Olemassa olevia ja projektiryhmän suunnittelema solukokonaisuuksia myös vertailtiin keskenään. Solulayoutien arvioinnissa eniten pisteitä sai Fsk Industriesin valmistama SmartCell. (Kuva 1.) SmartCell valittiin tilaajalle robottisoluksi. Toiseksi eniten pisteitä sai projektiryhmän suunnittelema kahden hitsauspöydän layout, jota alettiin tilaajan toiveesta suunnitella tarkemmin.

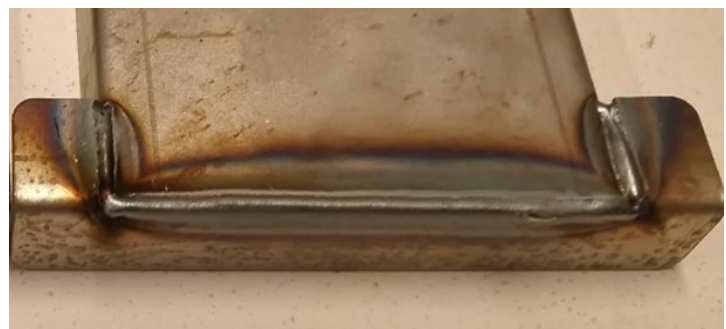


Kuva 1. Fsk Industries – SmartCell

Yksityiskohtainen suunnittelu

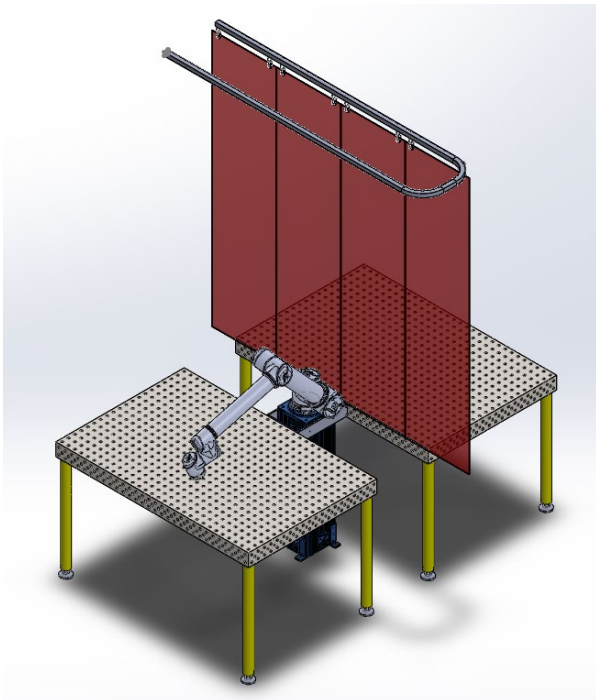
Tässä projektin vaiheessa perehdyttiin valittuun hitsausjärjestelmään tarkemmin ja aloitettiin yksityiskohtainen suunnittelu. Alkuperäinen suunnitelma oli, että valittua järjestelmäkokonaisuutta päästäisiin testaamaan ja tarkastelemaan käytännössä. Tämä ei kuitenkaan ollut mahdollista, koska kyseistä järjestelmäkokonaisuutta ei ollut Suomessa saatavilla. Tämän vuoksi robottihitsaustestit tehtiin Oulun ammattikorkeakoulun laitteistolla, josta oli käytössä UR10e-yhteistoimintarobotti ja Kempin A7 MIG-welder -järjestelmäkokonaisuus.

Testihitsauksien tarkoitus oli selvittää, voisiko tilaajan valitsemia nimikkeitä hitsata yhteistoimintarobottiikkaa hyödyntäen. Testihitsaukset menivät hyvin, ja voitiin todeta, että tilaajan nimikkeitä voi hitsata robotiikkaa hyödyntäen. (Kuva 2.)



Kuva 2. Yhteistoimintarobotilla aikaan saatua hitsaussaumaa

Kahden pöydän layoutiin valittiin valmiit komponentit. Hitsauspöydiksi valittiin Demmelerin valmistamat hitsauspöydät. Yleiskiinnittimet valittiin myös Demmeleriltä. Robottijalusta valittiin Ventionista ja hitsausverhot valittiin Painepisteeltä. Robottijalustan paikoituskokoontaminen suunniteltiin itse. Sen tarkoitus olisi pitää hitsauspöydät ja robottijalusta oikealla etäisyydellä toisistaan sekä tukea jalustaa robotin liikkuesssa. Layout mallinnettiin SolidWorks-sovelluksella. (Kuva 3.)



Kuva 3. Kahden pöydän layout

Lopputulos

Projektissa luotiin hitsausrobotisolun layout-suunnitelma sekä solussa käytettävän yhteistoimintarobotin ja hitsauslaitteiston valinnan mahdollistava teknologiaselvitys tilaajan käyttöön. Testihitsausten avulla todettiin yhteistoimintarobotin soveltuvuus hitsaukseen. Projektin tavoitteisiin siis päästiin. Ongelmia projektissa aiheutti koronaviruspandemia. Se vaikeutti suunnittelua ja muuta työskentelyä. Tämän lisäksi testihitsaukset piti keskeyttää koulun sulkeutumisen vuoksi.

Tuotekehitysprosessit ja Voice of Customer

Työskennellessäni suuren tuotekehitysorganisaation jäsenenä sain johtaakseni projekteja hyvin vahvan ja muodollisen kehitysprosessin ohjaamana. Nykyisessä työssäni konetekniikan lehtorina olen päässyt tutustumaan myös pk-yritysten tapaan ohjata kehitystyötä. Erilainen lähestymistapa tuotekehitystyön ohjaukseen on todellakin tarjonnut tervetullutta vaihtelua ja rikastuttanut näkökulmaani aiheeseen, johon luulin jo täysin kyllästyneeni!

Tuotekehitysprosessi on ennalta määriteltujen tehtävien systeemi, jonka tarkoituksena on varmistaa kilpailukykyisten tuotteiden tai palvelujen kehitys. Tämän prosessin tulee kattaa kaikki tarvittavat vaiheet alkaen tuoteidean kehittelystä tuotteen toimitamiseen asiakkaalle. Moderni prosessi ulottuu itse kehittämisvaiheen yli. Esimerkiksi tuotteen elinkaaren ajan tapahtuva systemaattinen asiakaspalautteen kerääminen mahdollistaa tuotteen kenttäkelpoisuuden laadukkaan arvioinnin ja mahdollistaa tarkasti kohdennettujen inkrementaalisten tuoteparannuksien lanseerauksen.

Vieraillessani pk-yrityksissä olen huomannut, että useilla organisaatiolla ei ole käytössä muodollista kehitysprosessia. Kehitystiimit luovat prosessin tai toimintamallit projektikohtaisesti. Suuryritysten ongelmana voi toisaalta olla jatkuvasta prosessin parannuspyrkimyksistä aiheutunut prosessin fragmentoituminen.

Tyypillisiä tuotekehitysprosessin ongelmia

Työurani aikana olen havainnut seuraavia syitä käytössä olevien prosessien kriittiseen tarkasteluun: pk-yrityksissä olen huomannut, että useilla organisaatiolla ei ole käytössä muodollista prosessia ja kehitystiimit luovat prosessin tai toimintamallit projektikohtaisesti.

Suuryritysten ongelmana voi olla jatkuvasta prosessin parannuspyrkimyksistä aiheutunut fragmentoituminen. Prosessi on olemassa, mutta se on monimutkainen, pirstaloitunut ja siitä puuttuu myös keskeisiä elementtejä. Sama pirstaloituminen ja monimutkaistuminen voidaan nähdä myös organisaatorakenteiden evoluution epämieluisana sivutuotteena, jonka organisaatio aika-ajoin siivoaa organisaatiomuutoksen muodossa. Toimintaprosessien kriittinen tarkastelu on sekin tärkeää, ja pirstaloituneen prosessin modernisaatioon olisi-kin reagoitava samalla päättäväsyydellä kuin tärkeiksi nähtyihin organisaatiomuutoksiin.

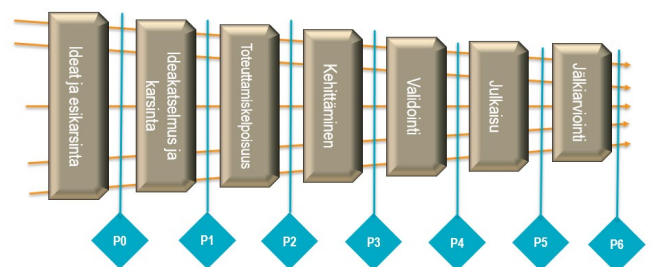
Käytössä oleva prosessi voi myös pohjautua liian vahvasti funktionaaliseen organisaatiomalliin ja on siitä syystä heikosti integroitu kokonaisuuteen. Nykyaikaiset, eri osastoja, yksiköjä ja osaamisalueita edustavat (cross-functional) kehitystiimit vaativat rinnalleen vertaisensa prosessin toimiakseen tehokkaasti.

Varsin tyypillinen ongelma on myös muodollinen, kattava prosessi, joka on hyvin jäykkä ja jonka toteuttaminen kuluttaa paljon aikaa. Usein samaa prosessia sovelletaan suuruusluokaltaan hyvin erilaisiin kehitystehtäviin.

Esimerkkejä muodollisista tuotekehitysprosesseista

Yleisesti ns. gate-prosessilla tarkoitetaan kehitysmallia, jossa tavoitteeseen pääseminen on jaettu selkeästi havaittaviin ja toisistaan eroaviin vaiheisiin. Loogista järjestystä noudattavia gate-prosesseja kutsutaan myös englanninkielisellä termillä waterfall-prosessiksi. Ideaalisesti näissä malleissa kehitys etenee vaiheesta toiseen kuin vesi joessa: virtausta tapahtuu vain yhteen suuntaan, kohti ennalta määrättyä lopputulosta.

Gate-malleissa jokainen vaihe on erotettu toisistaan päätöksentekopisteillä (etappi tai milestone), joille on ennalta määritellyt selkeät hyväksyntäkriteerit. Lyhyesti kiteytettynä malli tarkoittaa sitä, että kehitystiimi siirtyy vaiheesta toiseen vasta kun edellinen vaihe on suoritettu kriteeristön mukaisesti.



Kuva 1. Esimerkki gate-prosessista (Stage gate, mukaillen Cooper 2017)

Iteratiiviset prosessimallit taas lähestyvät kehitystehtävää hieman toisesta lähestymis suunnasta. Kehitettävä kokonaisuus jaetaan pienempiin osakokonaisuuksiin ja toiminnallisuutta lisätään kehityksen jatkuessa. Kehitettävää tuotetta siis rakennetaan paloittain inkrementaalaisesti, kunnes kaikki toiminnallisuudet on kehitetty, validoitu ja kaikki ominaisuudet sisältävä tuotos voidaan toimittaa asiakkaille. Iteratiivisen mallin etuna voidaan pitää sitä, että se nopeuttaa kehitysprosessin alkupäätä ja pieniä konkreettisia toiminnallisuuksia voidaan esitellä aikaisemmin. Mallin mukaisesti ei ole odotettava porttikriteeristön täydellistä täyttymistä esimerkiksi siirryttäessä vaativuusmäärittelyvaiheesta kehitystyöhön. Iteratiiviset mallit mielletään yleisesti ohjelmistokehitykseen, jossa kokonaisuuteen on helppo lisätä toiminnallisuutta paloittain.



Kuva 3. AGILE-kiertoprosessi

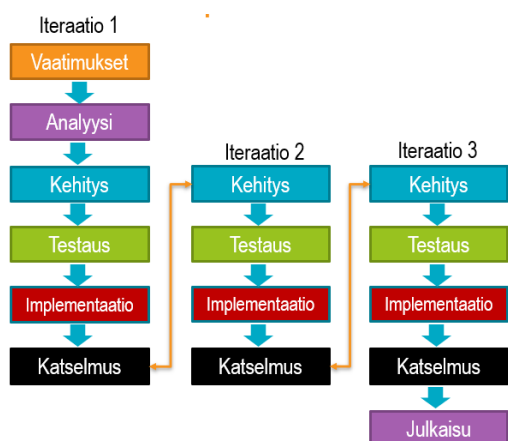
Asiakaslähtöisyys prosessin osaksi

Kehitysprosessi olisi rakennettava tunnistamaan asiakkaan toiminnan tavoitteet, asiakkaan toimintaympäristöt ja tuotteen käyttötavat ja -tilanteet. Aktiviteetteina tämä voi tarkoittaa esimerkiksi asiakasprofiilin määrittelyä ja asiakkaan tehtävien systemaattista analysointia. Esimerkiksi asiakastyytyvyyden mittaaminen tai johdon palaverit asiakkaiden kanssa kuuluvat tietysti liiketoimintaan, mutta asiakaslähtöisyys on tätä laajempi käsite. Toimintaprosessin tulisi sisältää kriteeristöä päämäärätietoiselle asiakkaan osallistamiselle ja korostettava asiakkaan tapaamista oikeassa käyttöympäristössä. Toimintamallin tulisi pyrkiä edistämään jatkuvaa iteraatiota käyttäjien kanssa, jolloin ratkaisuja voitaisiin arvioida käyttäjien kanssa ennen niiden julkaisua.

Asiakas voi harvoin olla kehitystiimin jäsen, joten kehitystiimillä on oltava vahva Voice of Customer -valtakirja.

Asiakaslähtöisyydessä ensimmäisten prosessivaiheiden merkitys on vahvasti korostunut, oli prosessimalli mikä tahansa. Kehittäjien olisi osattava kävellä asiakkaan kengissä, tunnistaa tarpeet ja kehittää niihin ratkaisut. Asiakaskin voi tarjota ratkaisuja, ominaisuuksia tai spesifikaatioita, tuotekehittäjän on kuitenkin päästävä näiden yli ymmärtämään asiakkaan ydintarve.

Oli konseptointi ja esisuunnitteluvaihe tehty kuinka hyvin tahansa, toteutusvaihe on täynnä päivittäisiä päätöksiä ja kompromisseja. Varsinainen asiakas voi harvoin olla kehitystiimin jäsen, joten kehitystiimillä on oltava vahva Voice of Customer -valtakirja. VoC-ajattelutapa olisi oltava kehitysprosessiin sisäänrakennettua, muodollista ja koko organisaation omaksumaa jatkuvaa toimintatapaa. Yksi helposti käsitettävä nopea parannus asiakaslähtöisyyteen voisi olla esimerkiksi käytettävyystavoitteiden vahva korostaminen suunnittelukriteereissä.

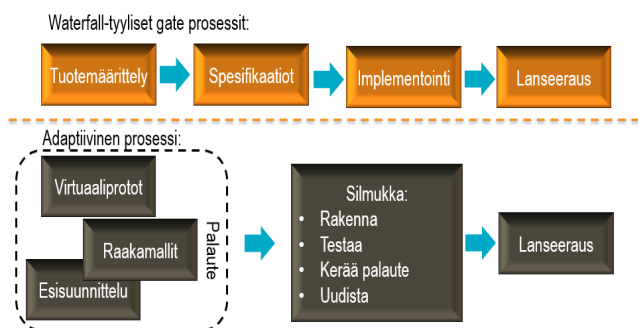


Kuva 2. Iteratiivinen prosessi

Agile-malli on toinen ohjelmistokehityksessä yleisesti sovellettu prosessimalli. Agile-malli korostaa eri osaamisalueita edustavien tiimien hyväksikäytön ja itseohjautuvuuden merkitystä tuotekehitystä tehostavina osatekijöinä. Yksilöt ja vuorovaikutus nähdään prosesseja ja työkaluja tärkeämpänä, konkreettinen lopputulos arvostetaan dokumentaation edelle ja asiakaskeskeisyys on avainasemassa. Tämäkin malli on iteratiivinen eikä siten tähtää yhdellä prosessin vaiheiden läpiviennillä lopulliseen tuotteeseen. Agile-mallissa kehitys- ja testausvaiheet ovat enemmän rinnakkaisia, ja malli pyrkii parantamaan kommunikaatiota kehittäjien, asiakkaiden, testaajien ja projektinhallinnasta vastaavien henkilöiden välillä. Agile-mallin sanotaankin tarjoavan mukautuvuutta ja joustavuutta gate-tyyppisiin malleihin verrattuna.

Kuinka rakentaa asiakaslähtöisempi lähestymistapa?

Asiakaslähtöisen kehitysprosessin olisi oltava mukautuva, ketterä ja varmistettava tehokas ajankäyttö. Mukautuvuus edesauttaisi tuotteen kehittymistä prosessin edetessä ennalta määrätyn lopputuloksen asemasta. Agile-ajattelun mukainen tuotekehityksen aikajako ja suuremman painoarvon asettaminen konkreettisille tuloksille dokumentaation asemasta mahdollistaisi aikaisemman asiakaspalautteen kuin mihin puhtas gate-kehitysmalli kykenee. Nykyaikaiset virtuaali-, simulointi- ja pikamallinnusmenetelmät mahdollistavat adaptiivisen rakenna, testaa, kerää palaute, uudista -silmukan tehokkaan integroinnin myös gate-tyylisiin prosesseihin.



Kuva 4. Perinteinen gate-prosessi ja sen adaptiivisempi malli

Kehityssyklin kiihdyttämiseen voidaan pyrkiä vaiheiden limityksellä, sisällyttämällä prosessiin vain lisäarvoa tuottavia prosessiosia ja kriteeristöä, keskittymällä kontekstipohjaisuuteen ja tietysti lisäämällä automaation astetta. Esimerkiksi Lean Six Sigma -johtamisfilosofia tarjoaa käyttökelpoisia työkaluja prosessin virtaviivaistamiseen.

Muodollinen prosessi vai intuitiivinen kehittäminen?

Tuotekehittäminen ilman muodollista prosessia voi johtaa satunnaisiin onnistumisiin ja epäonnistumisiin. Intuitiivinenkin kehittäminen sisältää usein menestystekijöiden ja virheiden analysointia. Mikäli tunnistetut virheet pyritään jatkossa välttämään ja toisaalta parhaat käytännöt standardoimaan toiminnan osaksi, ollaankin rakentamassa prosessia intuitiivisen toiminnan pohjalta! Jos onnistuu kehittämään organisaatiolleen hyvän tavan tunnistaa menestystekijöiden juurisyyt, on se avain todelliseen jatkuvaan kehittämiseen ja kilpailukykyiseen toimintaprosessiin. Ilman prosessia toimintamalleja on vaikea kehittää!

Kirjallisuutta

Cooper, Robert G. 2017. *Winning at New Products*. New York: Basic Books.

Coppenhaver, Robert 2018. *From Voices to Results –Voice of Customer Questions, Tools and Analysis*. Birmingham: Impact Publishing Ltd.

Denove, Cris & Power, James D. 2007. *Satisfaction: How Every Great Company Listens to the Voice of the Customer*. New York: Penguin Books.

Autonomisen työkoneen HIL-testauksesta

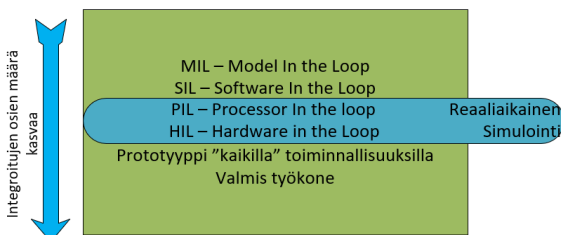
Interreg Nordin rahoittama NUVE-hanke (Nordic Platform for Development of Autonomous Utility Vehicle) käynnistyi loppuvuodesta 2019. Hankkeen toteuttajina toimivat Oamk, Oulun yliopisto, Luulajan teknillinen yliopisto ja Sintef-tutkimuslaitos Norjasta. Hankkeen tavoitteena on kehittää virtuaalinen testausympäristö autonomisille työkoneille Mobilab-hankkeessa rakennettavan aktiividynameetrilla varustetun testauslaboratorion yhteyteen. Yhteenliittymän testaustapaa kutsutaan yleisesti HIL- (Hardware in the loop) testaukseksi.

Erilaiset testaukset ovat erottamaton osa työkoneen kehittämistä. Parhaassa tapauksessa hyvin organisoitu ja kattava testaus varmistaa eheän ja toimivan lopputuotteen lisäksi tuotetta kehittäneen insinöörin häiriöttömät yöunet. Testaukseen ja sen vaihtoehtoihin kannattaakin paneutua huolella jo tuotekehitysprosessin alkuvaiheessa, jotta lopputuotteen korkea laatu voidaan varmistaa.

Yksi huomattavasti yleistynyt testauksen muoto on ns. HIL-testaus. HIL-testauksessa kehitettävä fyysinen laite kytketään osaksi simulointijärjestelmää, joka tuottaa laitteelle todellisuutta vastaavia vasteita esimerkiksi anturisygnaleista tai fyysisistä vastuksista. HIL-testausta tehdään yleisesti ennen lopulliseen kenttätestaukseen päätyvän prototyypin rakentamista, mutta kun konsepti on olemassa, voi sitä käyttää myös laitteen jatkokehityksessä.

Dynaamiset testausmenetelmät

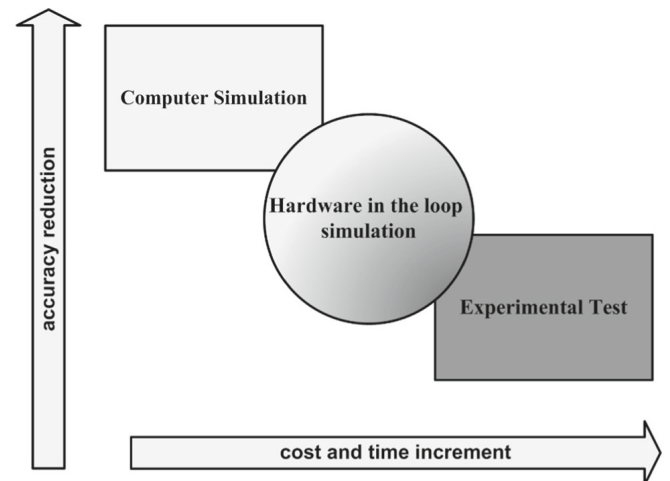
HIL on osa dynaamisia testausmenetelmiä (kuva 1). Yksinkertaistetusti dynaamisen testauksen menetelmissä järjestelmälle annetaan jokin syöte (input) ja järjestelmän vastetta (output) syötteesen tutkitaan. Jotta testausta voidaan pitää dynaamisena, tulee muuttuvien sisääntuloarvojen aiheuttaa aito reaktio järjestelmän ulostuloissa. Lisäksi testausta suoritetaan diskreetisti (askeleittain) joko aidossa tai simuloitussa ympäristössä. Testauksen aikana järjestelmälle annetaan jokin syöte tietyllä ajanhetkellä ja sen oletetaan reagoivan odotetulla tavalla seuraavien säätökierrosten aikana. Jos simulointimallin reaktiot eivät vastaa todellisuutta, täytyy sen parametreja muuttaa. (1.)



Kuva 1. Dynaamiset testausmenetelmät työkoneen eri kehitysvaiheissa (2)

Dynaamisen testauksen alkuvaiheen menetelmillä testausta tehdään puhtaasti tietokoneen simulointiympäristössä. Kun konsepti saadaan ensin toimimaan puhtaassa simulointiympäristössä, voidaan testaukseen ottaa mukaan laitteistoa, kuten työkoneen ohjausyksikkö tai hydraulijärjestelmä.

Erialaisten testausmenetelmien suhteutumista tarvittavaan aikaan ja kustannuksiin voi hahmottaa kuvasta 2. Kun alkupään konseptitestausta tehdään puhtaasti tietokoneella virtuaalisesti, on testaus suht nopeaa ja halpaa, mutta saatavien tulosten tarkkuus ja sitä kautta luotettavuus eivät ole kovin korkealla tasolla. Myöhemmän vaiheen testausmenetelmät, joissa oikeaa laitteistoa on mukana, parantavat tulosten luotettavuutta mutta tekevät testauksessa samalla kalliimpaa ja enemmän aikaa vievää.



Kuva 2. Tulosten tarkkuuden, tarvittavan ajan ja kustannusten linkittyminen toisiinsa (3)

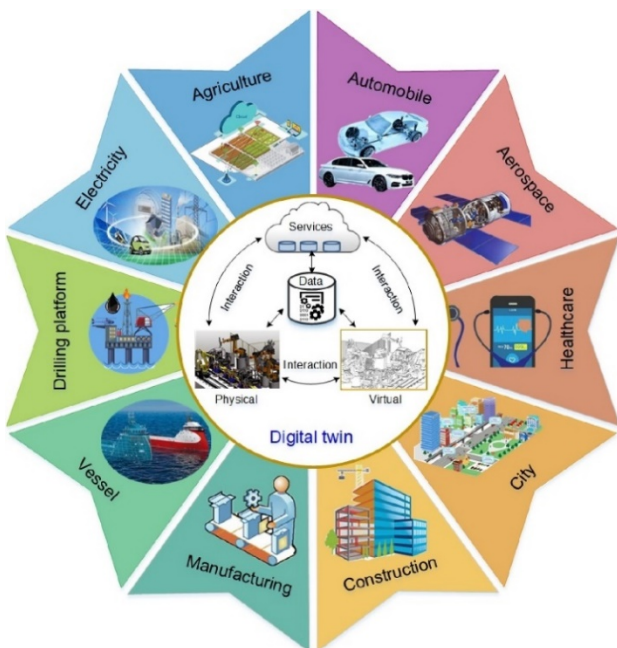
Digitaalinen kaksonen virtuaalimaailmassa



Kuva 3. Pyöräkuormaaja virtuaalimaailmassa (Mevea Solver)

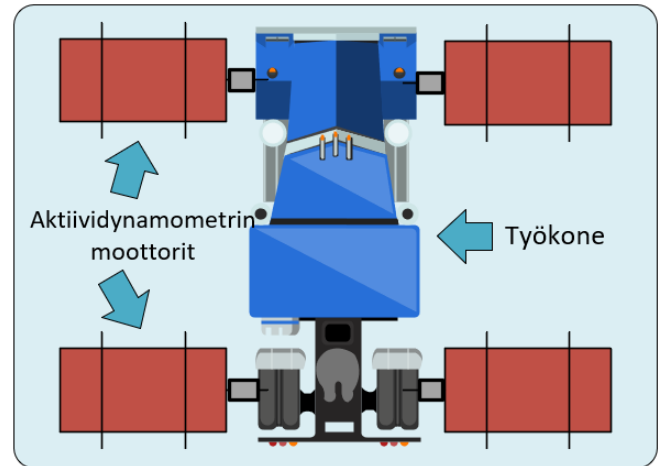
NuveLab-järjestelmän luotettavan toiminnan kannalta kriittisessä roolissa on työkonteen digitaalinen kaksonen. Digitaalinen kaksonen on käytännössä testattavan työkonteen virtuaalinen kopio, eli se käyttäytyy virtuaalimaailmassa samalla tavalla kuin varsinainen kone autenttiossa ympäristössä. Digitaalisen kaksonen mallintaminen on ymmärrettävästi haastava tehtävä, mutta valmistuttuaan se tarjoaa tuotekehitykseen joustavuutta, jota muuten on vaikea saavuttaa. (4.)

Työkonteen digitaalista kaksosta voidaan myös käyttää esimerkiksi käyttäjäkoulutuksessa tai markkinoinnissa. Virtuaaliympäristö mahdollistaa myös tulevaisuuden laitteen konseptitestaamisen jo ennen kuin mitään fyysistä on rakennettu. On huomattava, että tässä yhteydessä digitaalista kaksosta on katsottu hyvin kapeasta näkövinkkeleistä keskittyen vain työkonteen kehittämiseen. Digitaalisia kaksosia tehdään nykyään laajalla rintamalla avaruusteknologiasta maatalouden simulointiin, ja niiden merkitys vain kasvaa tulevaisuudessa (kuva 4).



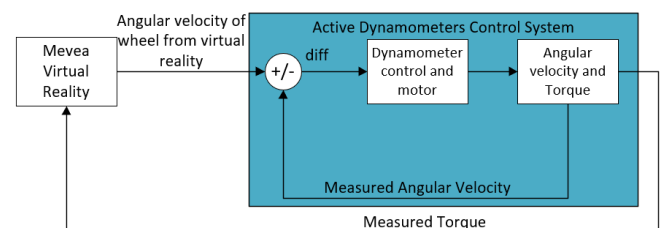
Kuva 4. Esimerkkejä toimialoista, joissa digitaalista kaksosta käytetään (4)

NuveLabin aktiividymanometrin ja fysiikkamallinnuksen välinen kytkentä



Kuva 5. Työkonteen kiinnitys dynamometriin

NuveLabin HIL-järjestelmä tulee koostumaan aktiividymanometriin, siihen kytketystä työkonteesta ja niihin molempiin kytkeytyvästä virtuaaliympäristöstä. Testattavan työkonteen voimalinja kiinnitetään pyöränavoista aktiividymanometriin, jonka suuret servomoottorit vastustavat pyörännapojen pyörimistä ja käytännössä määräävät, millä nopeudella navat pyörivät milläkin ajan hetkellä. Työkonteen kulloinkin tuottama vääntömomentti mitataan ja lähetetään virtuaaliympäristöön Mevean fysiikkamoottorille, joka reaaliaikaisesti laskee mitatuista vääntömomenteista kullekin renkaalle fyysistä kuormitustilannetta vastaavan pyörimisnopeusasetuksen. Fysiikkamallinnuksen laskemat pyöräkohtaiset pyörimisnopeusasetukset lähetetään aktiividymanometrille, joka säätelee pyörännapojen nopeudet saamiinsa arvoihin. Tämä loputon kiertokulku jatkuu niin kauan, kunnes testausytki lopetetaan.



Kuva 6. Aktiividymanometrin pyöräkohtaisen säädön takaisinkytkentä

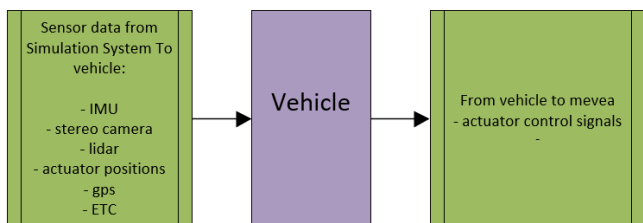
Ajoneuvon voimalinja kokee maastonmuodot renkaiden pyörimisnopeuksien muutoksina. Otetaan esimerkiksi kaksi tilannetta, jossa koneen tuottama vääntömomentti on renkaalla sama, mutta alustana toimii toisessa tapauksessa metsämaasto ja toisessa asfaltti. Tällöin erilaisten fyysisten vastuksien seurauksena pehmeässä maastossa ajavan ajoneuvon pyörä voi pyöriä aivan eri nopeudella kuin asfaltilla liikkuvan.

Esimerkki autonomisen työkoneen kytkennästä NuveLab-ympäristöön

Autonomisen työkoneen ohjauksen kannalta kriittisiä tietoja ovat koneen sijainti ja asento maailmassa sekä koneen ympäristön luotettava havainnointi. Koneen täytyy pystyä reagoimaan muuttuvaan ympäristöön hallitusti niin, että sen läheisyydessä olevat ihmiset ja muut laitteistot eivät ole vaarassa. Tällaiseen havainnointiin on jo tarjolla erilaisia ratkaisuja, mutta niiden täysin luotettava toiminta tilanteessa kuin tilanteessa on vielä kyseenalaista. Ympäristöä voidaan havainnoida muun muassa tutkilla, erilaisilla kameroilla tai lidar-antureilla. (5.)

Jotta ympäröivästä maailmasta saadaan mahdollisimman luotettava yleiskuva, joudutaan eri menetelmien mittaustietoja käytännössä yhdistelemään esimerkiksi todennäköisyyslaskennan avulla. On myös syytä pitää mielessä sääolosuhteiden vaikutukset mittausten luotettavuuteen esimerkiksi sakan lumisateen aikana. (6.)

NuveLab-järjestelmään kytketty ajoneuvo saa ympäristön havainnointiin liittyvän kamera-, tutka- ja lidar-anturidatan virtuaaliympäristössä toimivilta antureilta. Myös gps-, asento- ja toimilaitteanturien signaalit tulevat tarpeen mukaan virtuaaliympäristöön mallinnetuilta antureilta. Autonomisen työkoneen ohjausyksikön sisällä toimivan tekoälyn tehtävä on, näiden mittaustietojen pohjalta, tuottaa tilanteeseen sopivat ohjausratkaisut.



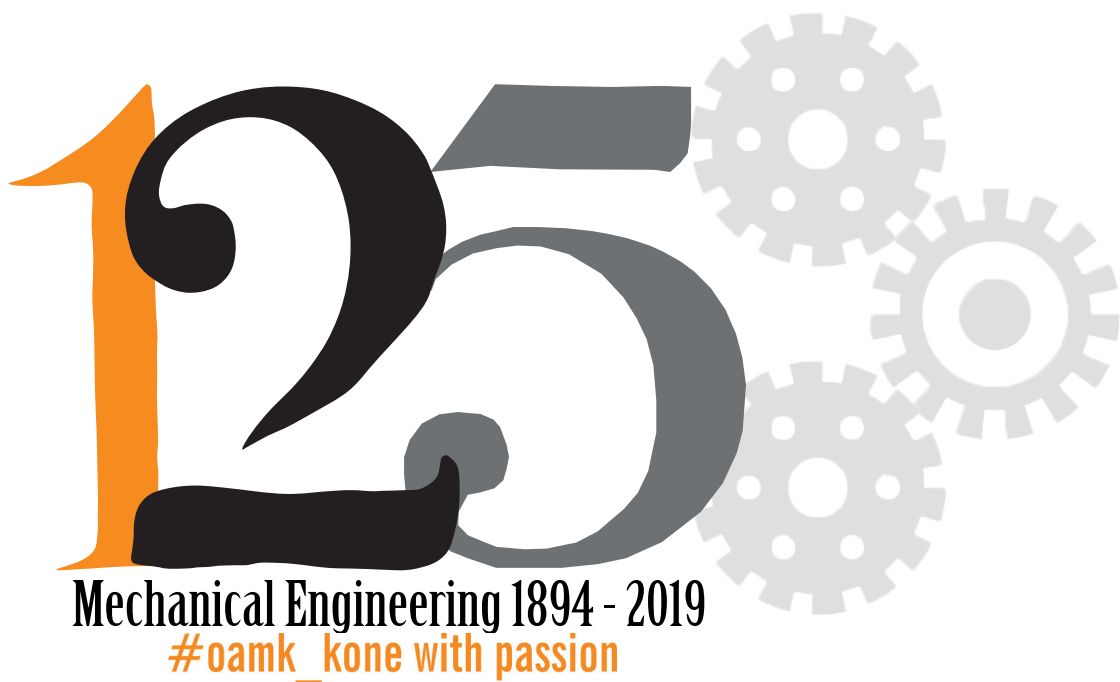
Kuva 7. Esimerkkejä työkoneelle menevästä ja sieltä lähtevästä informaatiosta

Loppusanat

Autonomisten ajoneuvojen kehitys etenee huimaa vauhtia, ja on tärkeää, että pysymme pienenä kansakuntana mukana tässä kehityksessä. Suomessa on merkittävää työkoneiden valmistusta, ja pyrimme NuveLab-konseptilla tarjoamaan yrityksille paikan, jossa ne voivat kehittää avustuksellamme työkoneitaan entistä kilpailukykyisemmiksi globaaleilla markkinoilla. NuveLabin virtuaaliympäristö tulee mahdollistamaan eri tuotekehitysvaiheissa tapahtuvat monipuoliset dynaamiset testaukset. Autonomisten ominaisuuksien kehittäminen on turvallista aloittaa virtuaalisessa ympäristössä ja suorittaa kalliit kenttätestaukset vasta sitten, kun algoritmien ja tekoälyjen toiminnallisuudet on kattavasti testattu ensin digitaalisten kaksosten avulla.

Lähteet

1. Navet, Nicolas & Simonot-Lion, Françoise 2008. The Automotive Embedded Systems Handbook. Taylor & Francis / CRC Press.
2. Hyvönen, Mika, Multanen, Petteri, Mantere, Petri, Kolu, Antti, Vallas, Arvi, Alanen, Jarmo & Rantala, Seppo 2009. Towards Automatic Testing of Control Systems for Intelligent Mobile Machines. The 11th Scandinavian International Conference on Fluid Power, SICFP'09. Linköping, Sweden.
3. Sarhadi, Pouria & Yousefpour, Samereh 2014. State of the art: hardware in the loop modeling and simulation with its applications in design, development and implementation of system and control software. International Journal of Dynamics and Control 3.
4. Qi, Qinglin, Tao, Fei, Hu, Tianliang, Anwer, Nabil, Liu, Ang, Wei, Yongli, Wang, Lihui & Nee, A. Y. C. 2019. Enabling technologies and tools for digital twin. Journal of Manufacturing Systems.
5. Van Brummelen, Jessica, O'Brien, Marie, Gruyer, Dominique & Najjaran, Homayoun 2018. Autonomous vehicle perception: The technology of today and tomorrow. Transportation Research Part C: Emerging Technologies 89, 384 - 406.
6. Cunneen, Martin, Mullins, Martin, Murphy, Finbarr, Shannon, Darren, Furxhi, Irini & Ryan, Cian 2020. Autonomous Vehicles and Avoiding the Trolley (Dilemma): Vehicle Perception, Classification, and the Challenges of Framing Decision Ethics. Cybernetics and Systems 51, 59 - 80 Taylor & Francis.



ISSN 2490-2012 (painettu)
ISSN 2490-2020 (verkkajulkaisu)

**Voit seurata Oamkin konetekniikan
koulutusohjelmaa myös somessa**



@Oamk_Kone



@OamkKone



@Oamk_Kone