



Karelia-ammattikorkeakoulu
Insinööri (AMK)

Älykkäät paikoittimet osavalmis- tuksessa

Elmeri Möttönen

Opinnäytetyö, joulukuu 2023

www.karelia.fi



OPINNÄYTETYÖ
Joulukuu 2023
Konetekniikan koulutus

Tikkarinne 9
80200 JOENSUU
+358 13 260 600

Tekijä
Elmeri Möttönen

Nimeke
Älykkäät paikoittimet osavalmistuksessa

Toimeksiantaja
John Deere Forestry Oy

Tiivistelmä

Tässä opinnäytetyössä tutkittiin irrallisen hitsauspaikoittimen kehitysmahdollisuuksia sähköisten sekä mekaanisten järjestelmien avulla. Saatujen tietojen pohjalta suunniteltiin paikoittimeen integroitava apulaite, joka indikoi visuaalisesti hitsattavien kappaleiden paikoituksen asianmukaisuudesta. Kyseisellä kehitystyöllä on tarkoitus parantaa laatua, tuottavuutta ja varmuutta hitsauskappaleiden paikoituksessa.

Suunnittelussa käytettiin apuna VDI 2221 -ja VDI 2206 -tuotekehitystyön prosessimalleja, joihin tutustutaan työn teoriaosuudessa. Suunnittelutyössä keskityttiin paljon erilaisiin antureihin ja sähköturvallisuuteen. Suunnittelu painottui mekaniikan ja pienoisjännitejärjestelmän suunnitteluun ja lopuksi kyseiset elementit yhdistettiin toisiinsa muodostaen toimivan kokonaisuuden. Opinnäytetyön tulokset ja esitetyt dokumentit ovat todellisuudesta poiketen yksinkertaistettuja malliesimerkkejä.

Tutkimuksissa läpikäydyistä vaihtoehtoista kyseiseen laitteeseen valittiin sähköiset järjestelmät, jotka mahdollistavat tarvittaessa edelleen jatkokehityksen. Opinnäytetyön tuloksena muodostui standardien ja vaatimuksien mukainen prototyyppi toimeksiantajan tarpeisiin.

Kieli
suomi

Sivuja 40

Asiasanat
osavalmistus, paikoitus, anturit



THESIS
December 2023
Degree Programme in Mechanical Engineering

Tikkarinne 9
80200 JOENSUU
FINLAND
+ 358 13 260 600

Author
Elmeri Möttönen

Title
Intelligent Positioners in Part Manufacturing

Commissioned by
John Deere Forestry Oy

Abstract

In this thesis, the development possibilities of a separate welding positioner were investigated with the help of electronic and mechanical systems. Based on the information obtained, an auxiliary device was designed to be integrated into the positioner, which visually indicates the appropriateness of the positioning of the parts to be welded. The development work in question was intended to improve quality, productivity and reliability in the positioning of work pieces.

VDI 2221 and VDI 2206 process models were used in the planning, which are introduced in the theory part of the work. The design work focused a lot on different sensors and electrical safety. The design was based on the design of the mechanics and extra low-voltage system and finally the elements in question were connected to each other to form a functional system. The results of the thesis and the presented documents are simplified model examples, deviating from the reality.

From the alternatives examined in the studies, electronic systems were chosen for the device in question, which enables further development if necessary. As a result of the thesis, a prototype in accordance with the standards and requirements was formed for the client's needs.

Language
Finnish

Pages 40

Keywords
part manufacturing, positioning, sensors

Sisältö

1	Johdanto	5
1.1	Opinnäytetyön aihe	5
1.2	John Deere Forestry Oy Joensuun tehdas	6
1.3	Toimeksianto	8
1.4	Opinnäytetyön rajaus	8
1.5	Opinnäytetyön tavoitteet	9
2	Tuotekehitys	9
2.1	Yleistä tuotekehityksestä	10
2.2	Tuotekehityksen työvaiheet	11
2.3	Tuotekehityksen prosessimallit ja tyypit	12
2.3.1	VDI 2221	13
2.3.2	Ulrich & Eppinger	14
2.3.3	Stage-Gate	15
3	Mekatroniikka	16
3.1	Mekatroniikan luokat	16
3.2	VDI 2206	17
4	Anturitekniikka	19
4.1	Signaalit	19
4.2	Signaalin käsittely	20
4.3	Visuaaliset indikaattorit	22
4.4	Anturi vaihtoehdot	23
4.4.1	Mekaaniset anturit	23
4.4.2	Induktiiviset	24
4.4.3	Ultraääni	25
5	Sähkö ja koneturvallisuus	26
5.1	Pienoisjännite	26
5.2	Maallikon määrittely	27
5.3	Sähköiskulta suojaus	27
5.4	IP- luokitukset	28
5.5	Valtioneuvoston asetus 400/2008	30
6	Mekaaniset indikaattorit	30
7	Suunnittelu	31
7.1	Vaatimukset	31
7.2	Ratkaisuvaihtoehdot	32
7.3	Luonnostelu	34
7.4	Toteutus	34
7.5	Koekäyttö	36
8	Pohdinta	37
	Lähteet	39

Lyhenteet

CTL	Cut To Length; mittaan katkottu tavaralajimenetelmä puunkorjuussa
A/D	Analog To Digital; analogisen signaalin muuntaminen digitaaliseksi
BCD	Binary Coded Decimal; kymmenjärjestelmän lukujen binäärikoodattu esitystapa
IP	International Protection; luokitukset sähkölaitteiden ja koteloiden tiiviiden määrittämiseksi
PTC	Parametric Technology Corporation; 1985 perustettu ohjelmisto sekä palveluyritys
IOT	Internet Of Things; esineiden internet, fyysisten laitteiden liittäminen verkkoon
ELV	Extra-Low Voltage; pienoisjännite, korkeintaan 50Vac tai 120Vdc

1 Johdanto

Hitsattavien kappaleiden oikeanlainen paikoitus on ensimmäinen vaihe onnistuneen hitsaustapahtuman suorittamisessa. Paikoitusvirheet voivat olla joskus hyvinkin pieniä ja ne huomataan liian myöhään. Hitsattavien kappaleiden paikoitus vaatii huolellisuutta mutta myös liialliseen mittaamiseen ja tarkasteluun kuluu yllättävän paljon aikaa.

Silloitushitsauksen helpottamiseksi on sarjatuotannossa käytössä yleensä erilaisia kiinteitä apulaitteita eli jigejä tai erillisiä paikoittimia, kullekin tuotteelle omansa. Jigien avulla paikoitetaan yleisimmin suurempia osakokonaisuuksia, kun taas paikoittimien avulla jokin tietty osa tai osaryhmä. Nämä eivät kuitenkaan aina täysin poissulje virheiden mahdollisuutta, ja riskit virheiden syntymiselle ovat usein suuremmat irrallisia paikoittimia käytettäessä.

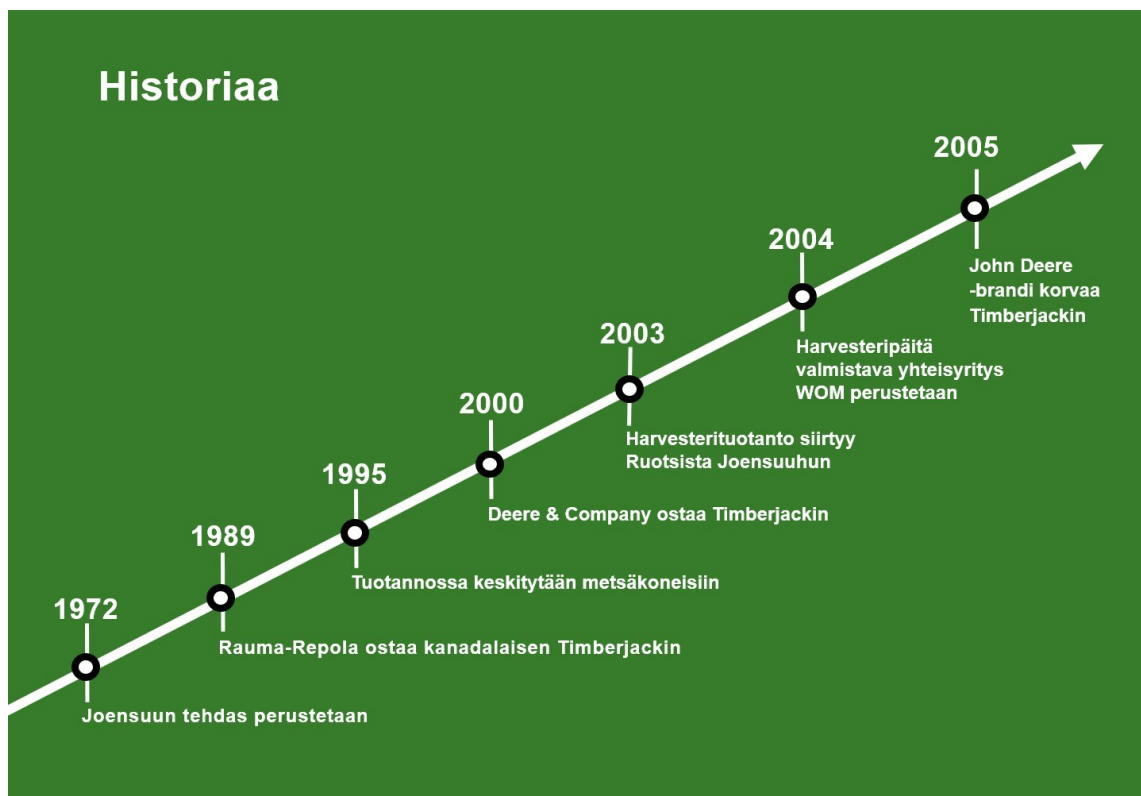
1.1 Opinnäytetyön aihe

Tämä opinnäytetyö käsittelee metsäkonetuotannossa käytettävän irrallisen hitsauspaikoittimen kehitystyötä toimeksiantajan tarpeisiin, joka tässä työssä on John Deere Forestry Oy. Toimeksianto kyseiselle opinnäytetyölle tuli syyskuun alussa 2023. Aikataulutus määrättiin olevan kyseisestä ajankohdasta joulukuun loppuun.

Opinnäytetyön teoriaosuudessa käsitellään tuotekehitystä, anturitekniikkaa ja anturivaihtoehtoja sekä tutkitaan niiden soveltuvuutta kyseisessä kehitystyössä vaadittaviin käyttötarkoituksiin. Lisäksi käydään läpi paikoittimen rakenteen suunnittelussa ja ratkaisuvaihtoehdoissa huomioitavia asioita.

1.2 John Deere Forestry Oy Joensuun tehdas

Rauma-Repola perusti konepajan Joensuuhun vuonna 1972. Lokomo-metsäkoneiden valmistus alkoi jo seuraavana vuonna 1973. 1990-luvulle tultaessa koneet muuttuivat Timberjack-merkkisiksi ja vuodesta 1995 tuotanto keskittyi pelkästään metsäkoneisiin. Vuonna 2000 Deere & Company osti metsäkoneliiketoiminnan, kun Rauma-Repola ja Valmet fuusioituivat 1999 ja tästä syntynyt Metso Oy päätti luopua metsäkoneliiketoiminnasta. Vuonna 2005 yhtiön nimi muuttui John Deere Forestry Oy:ksi ja tuotemerkki John Deereksi. Yrityshistoria esitettynä kuviossa 1. (John Deere 2023a.)



Kuvio 1. John Deeren metsäkoneliiketoiminnan historian merkittävimmät tapahtumat. (John Deere 2023, Powerpoint, Yritysesittely.)

John Deere Forestry Oy:n päätoimipisteet sijaitsevat Tampereella ja Joensuussa. Tuotannollinen pääpaino on Joensuun tehtaalla, jossa metsäkoneet valmistetaan. Tuotantovaiheita ovat esimerkiksi runkojen hitsaus, koneistus, maalaus ja kokoonpano. Joensuussa valmistettavien metsäkoneiden

mallisto koostuu pyöräalustaisista kuormatraktoreista ja harvestereista, CTL (engl. Cut To Length), mittaan katkotun tavaralajimenetelmän metsäkoneista. Kuormatraktori ja harvesteri esitettynä kuvissa 1 ja 2.



Kuva 1. John Deere 1910g kuormatraktori (John Deere 2023b).



Kuva 2. John Deere 1270g harvesteri (John Deere 2023c).

1.3 Toimeksianto

Opinnäytetyön toimeksianto koski älykkään hitsauspaikoittimen suunnittelua, joka helpottaa erillisten hitsauskappaleiden paikoitusta ja parantaa laatua manuaalihitsauksessa sekä koko tuotannossa. Paikoitusvirheet käyvät sitä kalliimmiksi mitä korkeammalle tuotteen jalostusaste tuotannossa nousee, ennen kuin virhe huomataan.

Älykkään paikoittimen avulla epävarmuus vähenee ja laatu paranee osien paikoituksessa huomattavasti. Onnistuessaan käyttöä voisi tulevaisuudessa laajentaa muihinkin työpisteisiin ja yksinkertaistaa työohjeita merkittävästi.

1.4 Opinnäytetyön rajaus

Opinnäytetyö määrättiin koskevan vain laitteen prototyyppiä ja sille asetettiin tiettyjä rajoituksia sen ominaisuuksiin ja toimintaan liittyen heti projektin alkuvaiheessa. Rajaukset määrittivät suunnittelussa huomioitavia asioita koko opinnäytetyön suorittamisen ajan sekä kyseinen työ osoitettiin myös koskevan vain yhtä paikoitinta yhdessä hitsaussolussa testauksen helpottamiseksi.

Laitteiston tulisi olla akku/paristokäyttöinen liikuteltavuuden helpottamiseksi eikä laitteisto saa kasvaa fyysisesti liian suureksi, painavaksi tai monimutkaiseksi. Virtalähteen ollessa paristo tai akku, anturien käyttöjännitteet eivät saa olla enemmän kuin 12 volttia kompaktin kokonaisuuden mahdollistamiseksi.

Jännitteen jäädessä näin pieneksi, sähköiskuilta suojaaminen ja siihen liittyvien määräysten noudattaminen helpottuu. Laitteiston riittävästä koteloinnista on huolehdittava myös liian ja laitteisiin kohdistuvien iskujen varalta mutta sen olisi oltava myös helposti huollettavissa.

Mekaaniset vaihtoehdot paikoittimen indikaattoreille pidettiin avoinna, jos sopivia anturiratkaisuja ei pystyittäisi toteuttamaan reunaehtojen mukaan halutulla tavalla. Toimeksiantaja myös rajasi tutkittavien antureiden olevan mekaanisia, induktiivisia ja ultraääniantureita. Näistä oletettiin löytyvän sopivin vaihtoehto, jos kyseisessä työssä päädyttäisiin antureilla varustettuun vaihtoehtoon. Laitetta koskevat valmistusdokumentit ja osa suunnitteludokumenteista rajattiin opinnäytetyöhön kuulumattomaksi ja siksi ne jätettiin opinnäytetyön ulkopuolelle.

1.5 Opinnäytetyön tavoitteet

Opinnäytetyön tavoitteeksi John Deere forestry Oy:n toimesta asetettiin hitsauskappaleiden paikoituksen laatuun liittyviä asioita. Keskeisimpänä asiana oli paikoituksen luotettavuus ja riittävä tarkkuus, jotka olivat huomioitava suunnittelussa sekä komponenttien valinnoissa. Ulkoisten tekijöiden haittavaikutukset laitteiston toimintaan oli pyrittävä minimoimaan tavoitteisiin pääsemiseksi riittävällä suunnittelulla esimerkiksi huomioimalla lika, pöly, paikoitettavien kappaleiden materiaali sekä magneettisuus.

Suurimmat tekijät tavoitteiden keskiössä olivat myös käyttäjäystävällisyys ja turvallisuus. Tarkoituksena oli pystyä yksinomaan helpottamaan hitsausoperaattorin työtä hitsauskappaleiden paikoittamisessa. Myös vähentyneen koulutustarpeen, mittaamisen ja tarkastelun avulla säästetty aika pystyittäisiin käyttämään tuotantoon.

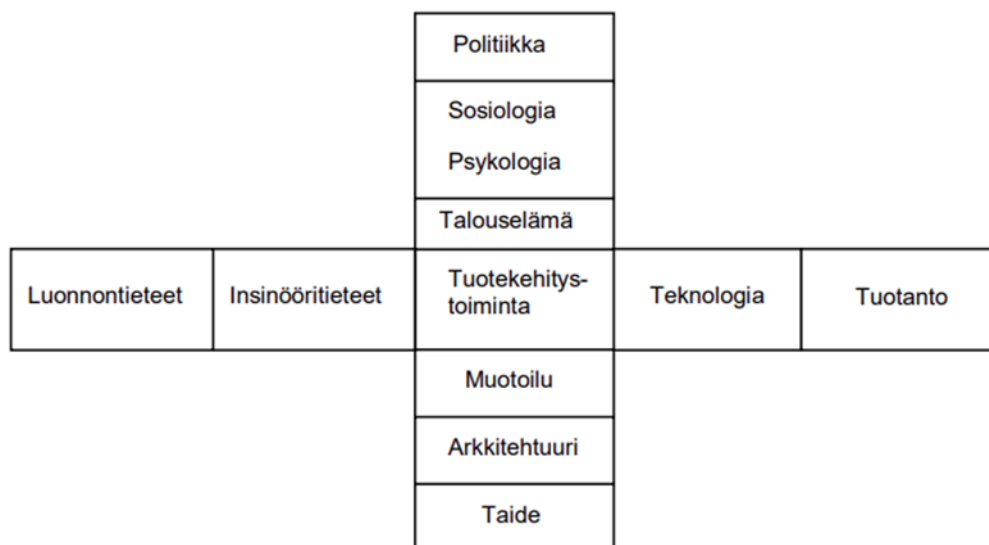
2 Tuotekehitys

Tuotekehitystoiminta on vääjäämätön edellytys yrityksen menestymisen kannalta ja sen tulee olla jatkuvaa. Tuotekehitystoimintaa voi olla täysin uuden tuotteen valmistaminen tai jo olemassa olevan tuotteen kehittäminen ominaisuuksiltaan paremmaksi. Tuotteen jatkokehitystä voi olla esimerkiksi tunnetun

järjestelmän valjastaminen uuteen käyttötarkoitukseen. (Jokinen 2010, 9–10.)
 Itse tuote on teollisen toiminnan aikaansaannos. Tuote voi olla tarvike, raaka-
 aine, palvelu tai jokin tieto. (Hietikko 2021, 19.)

2.1 Yleistä tuotekehityksestä

Tuotekehitys on monivaiheinen tapahtumaketju, jonka avulla pyritään ratkaise-
 maan jokin haaste kehittämällä täysin uusi tuote tai parantamalla olemassa ole-
 via ratkaisuja mahdollisimman kustannustehokkaasti. Monivaiheisena proses-
 sina tuotekehitys pitää sisällään vaiheet ideoinnista valmistusdokumentointiin ja
 yhdistää eri aihepiirin ammattilaisia, kulttuureita sekä ihmiselämän osa-alueita
 hyvin laajasti (kuvio 2). (Jokinen, 2010, 9–10.)

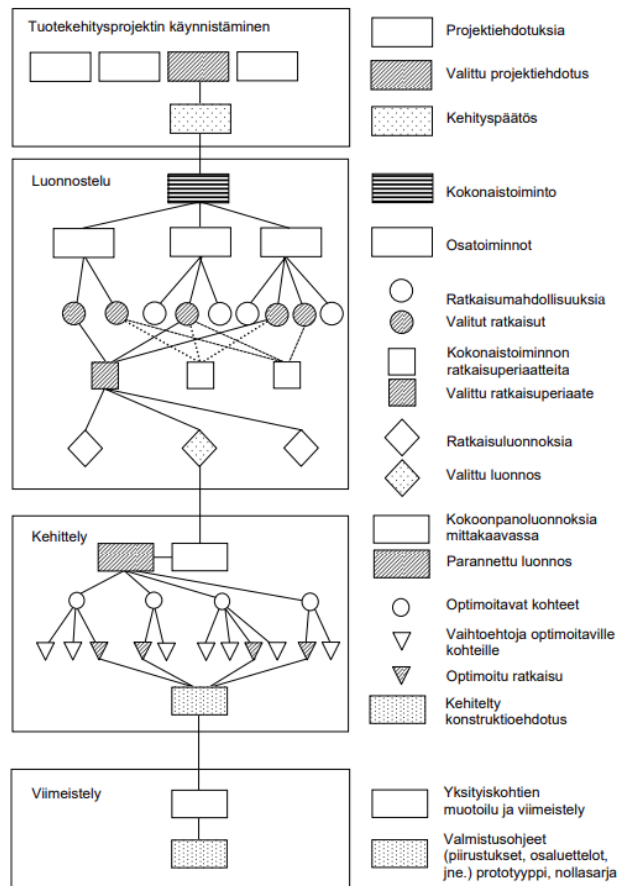


Kuvio 2. Tuotekehitystoimintaan vaikuttavat eri ihmiselämän osa-alueet (Joki-
 nen 2010, 10).

Kehityskohteita voivat olla kaupallisilla markkinoilla olevat tuotteet, palvelut, toi-
 mintamallit, organisointi- tai strategiset toimintatavat. Yleisimmin kyseessä on
 kuitenkin konkreettisiin tuotteisiin liittyvät innovaatiot. (Hietikko 2021, 13.)

2.2 Tuotekehityksen työvaiheet

Tuotekehitysprojekti ja sen vaiheet voidaan jakaa neljään osioon: käynnistäminen, luonnostelu, kehittäminen ja viimeistely (kuvio 3). Käynnistämisen edellytyksenä on tarve, siihen liittyvät ideat ja niiden toteuttamismahdollisuudet. Näiden havaitseminen voi tapahtua sattumalta tai tarkoituksenmukaisesti tutkimustuloksien kautta. (Jokinen 2010, 14–16,18.)



Kuvio 3. Tuotekehitysprojektin vaiheet (Jokinen 2010, 16).

Tuotekehitystoiminta voi olla hyvinkin laaja-alaista ja projektit joskus hyvinkin suuria, jonka takia projekteja jaotellaan eri vaiheisiin. Tuotekehitysprojekteja pyritään käymään läpi järjestelmällisesti toiminnan selkeyttämiseksi ja onnistumisen takaamiseksi.

2.3 Tuotekehityksen prosessimallit ja tyypit

Tuotekehitystoiminnan ollessa hyvin monimuotoista, on toiminnan selkeyttämiseksi olemassa prosessimalleja. Kehitettävän tuotteen sekä käytössä olevien tuotantotapojen ja resurssien kannalta on mietittävä, mitä mallia tai prosessityyppiä olisi parasta käyttää tai miten niitä olisi mahdollista soveltaa. Prosessit sisältävät kuitenkin yleensä aina seuraavat vaiheet:

- tarpeen tunnistaminen
- ongelman määrittely
- synteesi
- analyysi
- optimointi
- testaus
- tuotannon käynnistäminen
- arviointi.

Kyseisissä vaiheissa edetään järjestyksessä niin kutsutun vesiputousmallin mukaan, jossa edellisessä vaiheessa luodaan edellytykset siirtyä seuraavaan vaiheeseen. (Hietikko 2021, 46–47.)

Erilaisia prosessityyppejä ovat:

- Markkinavetoinen prosessi, jossa kehitys alkaa markkinoilla havaitusta ongelmasta, joka pyritään korjaamaan olemassa olevilla ratkaisuilla.
- Teknologiatyöntöprosessi, jossa kehitys alkaa teknologiainnovaatiosta, jolle etsitään markkinat.
- Paranteluprosessi, jossa parannetaan olemassa olevaa tuotetta.
- Räätelöintiprosessi, kertaluonteinen asiakastilaukseen perustuva toteutus.

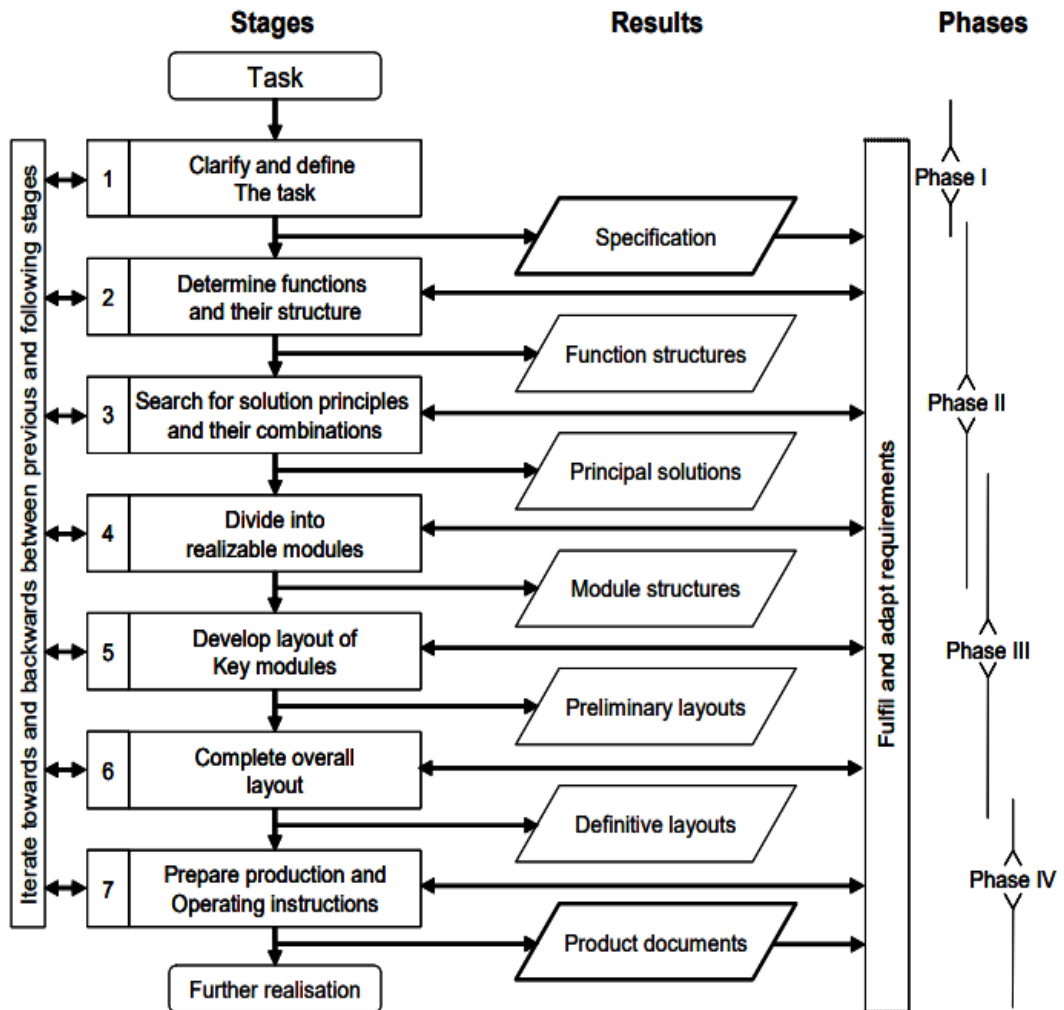
(Hietikko 2021, 45.)

Tunnettuja ja paljon käytettyjä tuotekehityksen prosessimalleja ovat muun muassa VDI 2221, Ulrich & Eppinger ja Stage- Gate, jotka ohjaavat systemaattiseen prosessin läpivientiin.

2.3.1 VDI 2221

Alun perin Saksan insinööriliitto kehitti vuonna 1973 systemaattisen ja tehokkaan kehitystoiminnan ajattelumallin VDI 2222:n, josta päivitettiin VDI 2221 versio vuonna 1993. VDI 2221 on kehitetty käytettäväksi apuna teknisten järjestelmien ja tuotteiden kehityksessä sekä suunnittelussa. (Jänsch & Birkhofer 2006, 49.)

VDI 2221:n mukainen toiminta ja dokumentointitulokset esitetty kuviossa 4. Prosessi jaetaan osioihin ja välivaiheisiin, joiden suorittamisen jälkeen kehitysprosessissa voidaan siirtyä eteenpäin.



Kuvio 4. VDI 2221 prosessimalli (Jänsch & Birkhofer 2006, 49).

VDI 2221- prosessin dokumentointituloksia aikajärjestyksessä ovat vaatimuslista, toimintorakenne, periaatteellinen ratkaisu, modulaarinen rakenne, esisuunnitelma, konstruktioehdotus ja tuotedokumentaatio.

2.3.2 Ulrich & Eppinger

Kyseinen prosessimalli on jaoteltu kuuteen päävaiheeseen, jotka ovat:

1. Tuoteohjelman suunnittelu= Asetetaan projektin tavoitteet ja reunaehdot. Tarvittaessa arvioidaan toteuttamiskelpoisuutta.
2. Konseptisuunnittelu= Alkaa asiakastarpeen selvittämisestä ja haluttujen tuoteominaisuuksien spesifioinnilla, jotka ovat tuotteelle asetettuja mitattavia raja-arvoja.
3. Systemisuunnittelu= Pohditaan kokonaisuuden arkkitehtuuria ja ratkaisuja, sekä sopivia komponentteja.
4. Detaljisuunnittelu= Varsinaisen suunnittelu osuuden viimeinen vaihe. Tässä vaiheessa on tiedossa kappaleen komponentit, materiaalit, valmistusvaiheet ja menetelmät, sekä kappaleen muoto.
5. Testaus= Tuotteesta on olemassa toimiva prototyyppi, jonka avulla voidaan todentaa tuotteen toiminta. Prototyypin ei kuitenkaan tarvitse olla täysin yhteneväinen tuotteen lopullisen version kanssa.
6. Tuotannon käynnistäminen= Ensimmäinen sarja eli 0- sarja on ensimmäisten tuotteiden sarja, jolla testataan tuotantoa ja koulutetaan henkilöstöä.

(Hietikko 2021, 47–49.)

Edellä mainittu prosessi on esitetty kuviossa 5.

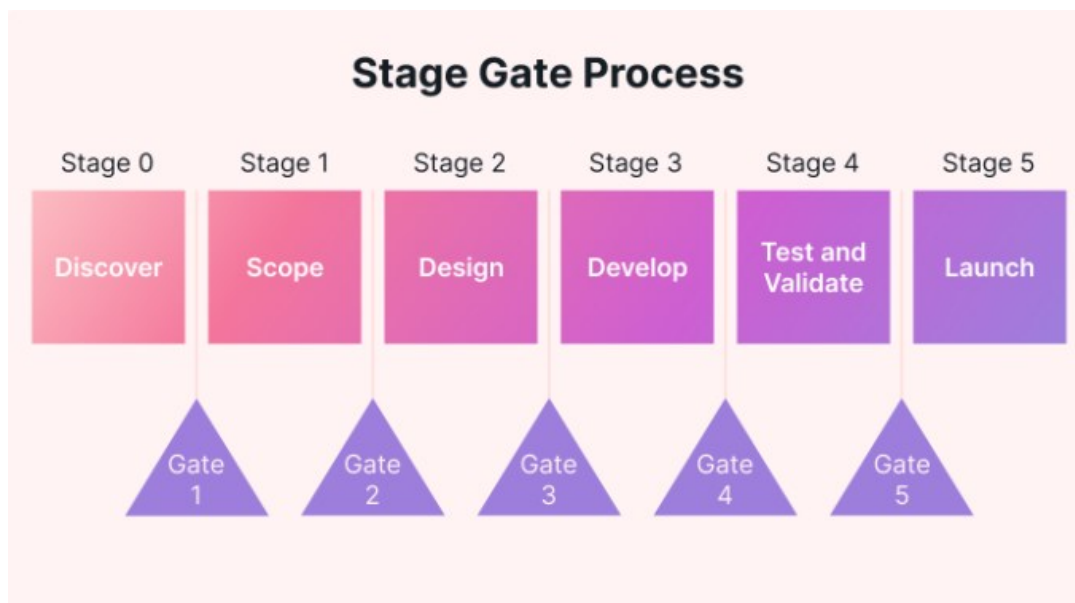


Kuvio 5. Ulrich & Eppinger prosessimalli. (Hietikko 2021, 47. Mukailleen)

Prosessimallina Ulrich & Eppinger -metodin voidaan huomata olevan hyvinkin virtaviivainen ja toiminnallinen.

2.3.3 Stage-Gate

Vesiputousmalliin pohjautuva prosessimalli, jossa edetään vaiheittain eteenpäin ja vaiheiden välissä on ikään kuin ”portteja”. Kyseiset portit toimivat päätöksenteko sekä tarkastuspisteinä, joissa varmistutaan edellytyksistä siirtyä projektin seuraavaan vaiheeseen. Epäkohtia tai poikkeamia huomattaessa on palattava edelliseen vaiheeseen tai keskeytettävä projekti. Tämä on sitä kalliimpaa mitä pidemmälle projektissa on edetty. Kyseinen prosessimalli esitettynä kuviossa 6. (Hietikko 2021, 46.)



Kuvio 6. Stage-gate prosessimalli (Usemotion 2023).

Stage-Gate prosessimalli on hyvin samankaltainen edellä mainitun Ulrich & Eppinger prosessimallin kanssa mutta vaiheiden välissä on tarkastuspisteinä toimivia portteja.

3 Mekatroniikka

Tieteenalaa, jossa tiettyä innovaatiota yhdistää mekaniikka, elektroniikka ja tietotekniikka, kutsutaan mekatroniikaksi. Mekatroniikkaan kuuluvat laitteistot ovat yleisesti monimutkaisempia, kuin esimerkiksi pelkästään mekaaninen tai sähköinen järjestelmä. Mekatroniikka yhdistää useamman kuin yhden alan järjestelmän yhdeksi kokonaisuudeksi. (Gausemeie & Moehringer 2003, 1.)

3.1 Mekatroniikan luokat

Mekatroniikkaa jaotellaan erilaisiin luokkiin riippuen siitä, kuinka paljon järjestelmä sisältää elektroniikkaa tai mekaniikkaa ja miten ne vaikuttavat järjestelmän toimintaan.

Mekatroniikan neljä luokkaa:

Luokka I: Pääasiassa mekaaniset ratkaisut, jossa elektroniikka parantaa toimivuutta. Esimerkiksi numeerisesti ohjatut työstökoneet ja säätölaitteet valmistustekniikassa.

Luokka II: Perinteiset mekaaniset ratkaisut huomattavalla määrällä lisättyä elektroniikkaa, muun muassa automatisoidut valmistusjärjestelmät.

Luokka III: Järjestelmän käyttö ei muutu, vaikka mekaniikka on korvattu elektroniikalla. Esim. digitaalikello.

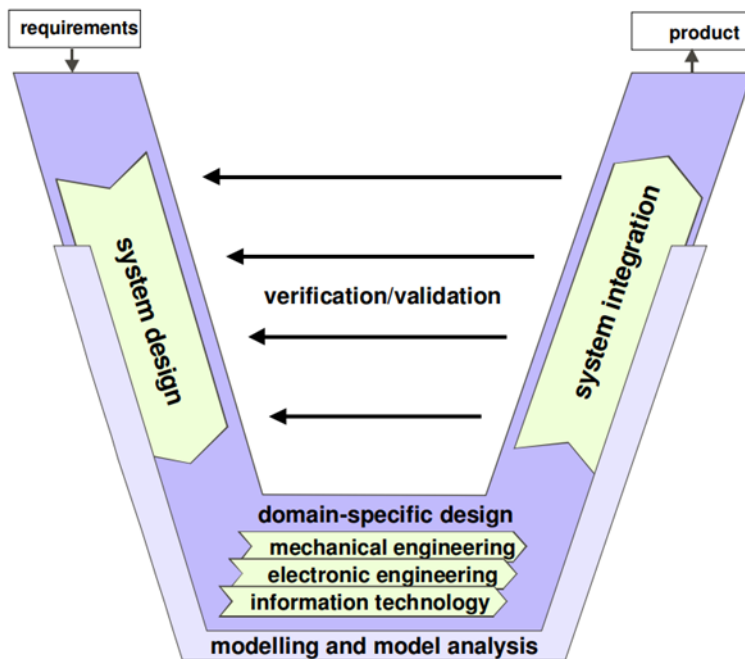
Luokka IV: Synergisiä järjestelmiä, jotka sisältävät integroituja mekaanisia ja elektronisia sovelluksia. Esimerkiksi kopiokoneet, pesukoneet ja automaattiset uunit.

(Tutunji 2013, 9–10.)

3.2 VDI 2206

Mekatroniikan eroavaisuuden takia verrattuna yksinkertaisempiin järjestelmiin, löytyy sille täysin omia ohjeistuksia ja ajattelumalleja suunnittelun helpottamiseksi. VDI 2221 ei ota kantaa mekatroniikan suunnitteluun, vaan se toimii enemmänkin yleisenä prosessimallina teknisten laitteiden suunnittelussa. Tätä varten on kehitetty VDI 2206, joka täydentää VDI 2221 ajattelumallia mekatroniikan osalta sekä tarjoaa adaptiivisempia työkaluja joustavuutta vaativissa projekteissa erityyppisten järjestelmien yhdistämisessä. (Gausemeie & Moehringer 2003, 1–2.)

VDI 2206 pyrkii tarjoamaan menettely ja tutkimustapoja joustavasti ja tilannekohtaisesti mekatroniikan suunnittelussa. Kyseistä toimintamallia havainnollistaa V-malli (kuvio 7). V-mallin läpikäynti muodostaa kaksi prosessin läpivientitapaa nuolten suuntaisesti: ylhäältä alas ja alhaalta ylös. (Gausemeie & Moehringer 2003, 1, 5.)



Kuvio 7. VDI 2206 prosessin V-malli (Gausemeie & Moehringer 2003, 5).

Ylhäältä alas: Käsittää vaatimusten määrittämisen ja järjestelmäsuunnittelun, joka jaotellaan pienempiin alatoimintoihin (engl. subfunctions) suunnittelun helpottamiseksi. Alkupään tuloksia käytetään myöhemmissä vaiheissa toimintojen tarkasteluun ja validointiin.

Alhaalta ylös: Menetelmien vaiheet muodostuvat järjestelmien integroinnista yhdeksi kokonaisuudeksi. (Gausemeie & Moehring 2003, 5.)

Vaatimukset: Suunnittelun alussa tehtävää selkeytetään ja määritetään vaatimusten avulla.

Järjestelmäsuunnittelu: Tavoitteena määritellä ratkaisukonsepti, jolla saadaan selville tulevan tuotteen tärkeimmät fyysiset ja loogiset ominaisuudet.

Osakohtainen suunnittelu: Ratkaisukonseptin eri osa-alueita tutkitaan yksilöllisesti tarkemman suunnittelun mahdollistamiseksi ja toiminnan takaamiseksi.

Järjestelmän integrointi: Eri osa-alueiden suunnittelun tulokset yhdistetään kokonaisuudeksi.

Tarkastelu/validointi: Tarkastelua on tehtävä jatkuvasti suunnittelun edetessä ja varmistaa, että todellinen järjestelmä vastaa sille asetettuja vaatimuksia.

Mallinnus ja analyysit: Kuvattuja vaiheita reunustaa mallinnus ja järjestelmän ominaisuuksien tutkiminen mallien ja simuloinnin pohjalta.

Tuote: Tuote on onnistuneen prosessin lopputulos. Tuote ei välttämättä ole tässä vaiheessa vielä valmis, riippuen onko kyseessä konseptimalli vai toimiva malli.

(Gausemeie & Moehring 2003, 5–6.)

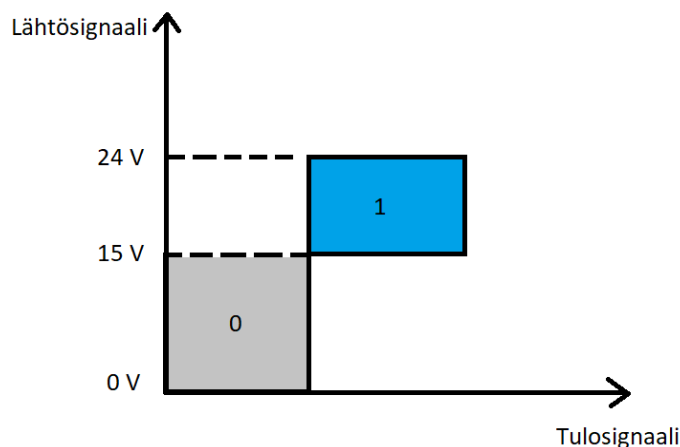
4 Anturitekniikka

Anturit ovat mittalaitteita, jotka reagoivat vallitsevasta ympäristöstään havaitsemaansa syötteeseen. Syöte (engl. Input) voi olla esimerkiksi valoa, lämpöä, liikettä, kosteutta tai painetta. Havaittu syöte saa anturin lähettämään sähköisen lähtösignaalin (engl. Output), jota hyödynnetään käyttötarkoituksen mukaan halutulla tavalla ja muutetaan havaittavaan muotoon. (Sheldon, 2022.)

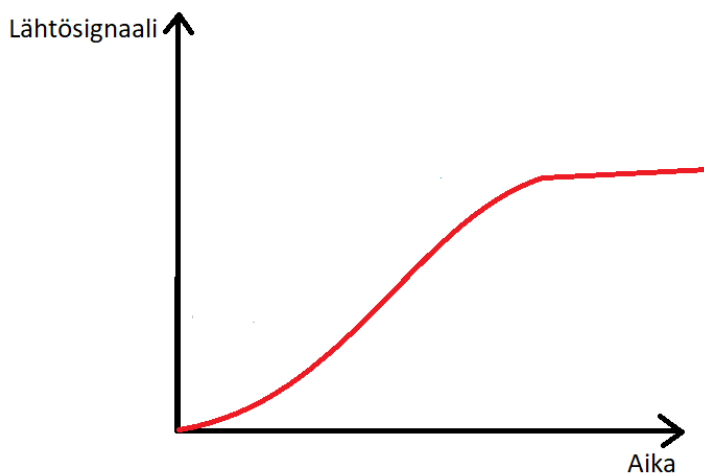
4.1 Signaalit

Signaalit voidaan jakaa anturityyppien mukaan analogisiin ja digitaalisiin pääryhmiin. Analoginen anturi on anturityyppi, joka mittaa fyysisiä määriä tai ympäristöolosuhteita ja antaa lähtösignaalin analogisessa muodossa. Analogiset signaalit ovat jatkuvia ja ne voivat olla vaihtelevia.

Digitaaliset signaalit ovat niin kutsuttuja diskreettejä signaaleja, joita edustavat binääriarvot ovat 0 tai 1, eli jokin asia havaitaan tai ei havaita. (Hardwarebee, 2023.) Signaalityypit havainnollistettuna kuvioissa 8 ja 9.



Kuvio 8. Diskreetti eli binäärisignaali. (Keinänen & Sumujärvi 2019, 206. Mukailen)



Kuvio 9. Analoginen signaali ja signaalin muutokset aikaan nähden. (Keinänen & Sumujärvi 2019, 206. Mukaillen)

Signaalit voivat olla joko jatkuvasti muuttuvaa tietoa, jota voidaan kerätä jatkuvasti tai 0 ja 1 tyyppistä tietoa. 0 ja 1 tyyppisessä signaalissa jokin asia havaitaan tai ei havaita, eikä näiden raja-arvojen väliltä saada tietoa.

4.2 Signaalin käsittely

Ohjelmoitavat ohjauslaitteet käsittelevät tietoa digitaalisesti, siksi analoginen signaali on muutettava digitaaliseen muotoon A/D muunnoksen avulla. A/D-muunnos esitettyinä taulukossa 1. (Keinänen & Sumujärvi 2019, 207.)

Jännitealue 1-100 V	Bitti n:0 1	Bitti n:0 2	Digitaalinen signaali
1-25 V	0	0	0 0
26-50 V	0	1	0 1
51-75 V	1	0	1 0
76- 100V	1	1	1 1

Taulukko 1. Analogisen signaalin A/D-muunnos 2-bittiseksi digitaaliseksi signaaliksi. (Keinänen & Sumujärvi 2019, 207. Mukaillen)

Ohjaustehtävissä voidaan käyttää vaihtoehtoisia menetelmiä. Näitä ovat esimerkiksi BCD (engl. Binary Coded Desimal). BCD-koodaustapoja on useita mutta näistä yleisin on NBCD (engl. Natural BCD), jota kutsutaan yleensä pelkästään BCD-koodiksi. Kyseisessä menetelmässä koodataan luvut numeroittain väliltä 0-9, jotka kaikki voidaan esittää neljällä bitillä.

Esimerkkinä desimaaliluvun 162 muuttaminen NBCD-koodiksi ja vastaavaksi binääriluvuksi: $162 = 001\ 0110\ 0010_{\text{NBCD}} = 1010\ 0010_2$

Heksadesimaalijärjestelmässä kantalukuna on 16, jota käytetään muun muassa ohjelmoitavissa ohjausjärjestelmissä ja tietotekniikassa. Kyseisessä järjestelmässä on lukujen 0–9 lisäksi käytössä kirjaimet A, B, C, D, E ja F. Heksadesimaaliluku muunnetaan kymmenkantaiseen lukujärjestelmään kertomalla luvun paikkaa vastaava numero vastaavalla potenssilla nolasta alkaen, joka on ensimmäinen paikka oikealla. Esimerkkinä luku "FE₁₆" muutetaan kymmenjärjestelmän desimaaliluvuksi seuraavalla tavalla: $16^1 \cdot 15 + 16^0 \cdot 14 = 254_{10}$

Esimerkistä ilmenee, että yksittäinen tavu (8 bittiä) voidaan esittää kahdella merkillä heksadesimaalijärjestelmässä: $254_{10} = 1111\ 1110_2$

Näiden tapojen lisäksi eräänä koodaustapana on Gray-koodi. Gray-koodilla puolestaan pyritään pienentämään anturin virhetulkinnasta johtuva virhe mahdollisimman vähäiseksi. Kyseisessä menetelmässä koodisanasta seuraavaan siirryttäessä vain yksi bitti muuttuu. Joissakin antureissa signaali on valmiiksi Gray-koodattu ja kyseistä koodaustapaa käytetään muuttuvien suureiden mittauksessa analogisten signaaleiden digitalisoinnissa. Erilaiset koodaustavat esitettyinä taulukossa 2. (Keinänen & Sumujärvi 2019, 207.)

Desimaaliluku	NBCD-koodi	Binäärikoodi	Gray-koodi
0	0000	0000	0000
1	0001	0001	0001
2	0010	0010	0011
3	0011	0011	0010
4	0100	0100	0110
5	0101	0101	0111
6	0110	0110	0101
7	0111	0111	0100
8	1000	1000	1100

Taulukko 2. Desimaaliluvut eri koodausmenetelmillä. (Keinänen & Sumujärvi 2019, 207. Mukailten)

Koodaustavan valintaan vaikuttaa millaisella tietokoneella tai laitteella tietoa käsitellään ja mihin tai miten tietoa käytetään.

4.3 Visuaaliset indikaattorit

Visuaaliset indikaattorit toimivat visuaalisina viestintävälineinä, jotka eivät yleensä vaadi erillisiä toimenpiteitä antaessaan tietoa joistakin huomionarvoisista asioista. Indikaattorit ovat joko sähköisiä tai mekaanisia, eivätkä välttämättä aina ole koko ajan havaittavissa mutta aktivoituvat tietyn tapahtuman yhteydessä. Esimerkkinä tästä vaikkapa auton polttoainevalo, joka syttyy vasta polttoainemäärän ollessa riittävän alhainen. Indikaattorit voivat olla yksinkertaisimmillaan liikkumattomia ja paikoillaan pysyviä, tekstiä ja värejä hyödyntäviä, kuten esimerkiksi tuotteiden alennustarrat kaupoissa. Liikkuvien indikaattoreiden viestintä perustuu fyysiseen liikkeeseen, liikkeen suuntaan ja väreihin, eivätkä yleensä sisällä tekstiä. (Winter 2018.)

4.4 Anturi vaihtoehdot

Tutkittavat anturivaihtoehdot olivat toimeksiantajan puolesta rajattu mekaanisiin, induktiivisiin ja ultraääniantureihin. Näiden uskottiin olevan realistisimmat vaihtoehdot mahdollisille valinnoille ja työtehokkuuden vuoksi muut anturit rajattiin työn ulkopuolelle.

4.4.1 Mekaaniset anturit

Mekaanisia antureita käytetään luotettavuutensa ansiosta usein myös turvakytkiminä. Mekaanisten antureiden, eli rajakytkimien toiminta perustuu mekaaniseen kosketukseen, joka sulkee tai avaa anturin kosketinpinnat. Rajakytkin joko tunnistaa, tai ei tunnista haluttua asiaa. (Metropolia 2023a.) Mekaanisen anturin tunnistuseliimiä eri käyttökohteisiin voi olla esimerkiksi:

- tappi
- tappi + rulla
- vipu + rulla
- teräs- tai muovisauva
- lenkki vaijerille.

(Keinänen & Sumujärvi 2019, 212.)

Kuvassa 3 mekaaninen anturi, tunnistuselimenä tappi + rulla yhdistelmä.

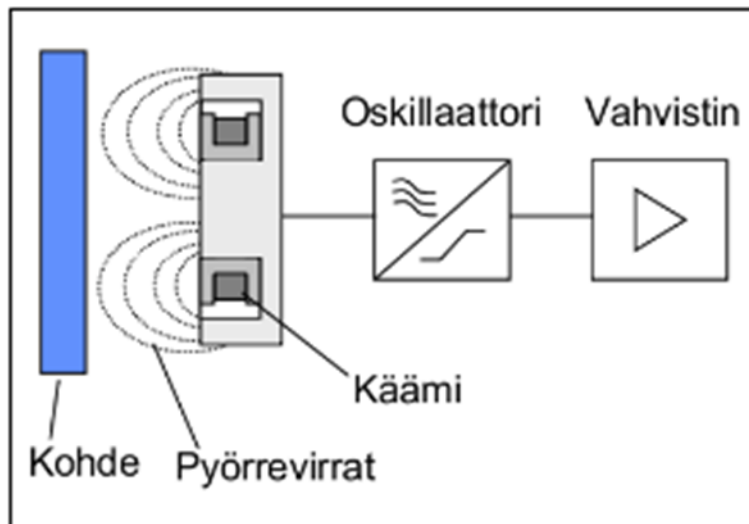


Kuva 3. Mekaaninen anturi tapilla ja rullalla varustettuna (OEM 2023).

Tunnistuselimen valintaan vaikuttavat asennuskohde, fyysinen koko sekä millaisia kappaleita tai positiota on tarkoitus tunnistaa.

4.4.2 Induktiiviset

Induktiivisen anturin toiminta perustuu induktanssiin. Anturi lähettää lähtösignaalin metallin tai hyvin sähköä johtavan materiaalin saapuessa tunnistusetäisyydelle (kuva 4). Tunnistusetäisyyden pituuteen vaikuttavat tunnistettava materiaali sekä tuntopään halkaisija. Pieniä kappaleita tunnistettaessa anturin tuntopää ei saa olla liian suuri, jolloin anturin magneettikenttä on laajempi ja pienet kappaleet osuvat kenttään vain vähäisesti. (Metropolia 2023b.)



Kuva 4. Induktiivisen anturin rakenne (Metropolia 2023b).

Koska induktiivinen anturi tunnistaa hyvin metallisia ja sähköä johtavia kappaleita, on asennuksessa huomioitava, ettei näitä ole anturin välittömässä läheisyydessä. Käyttöjännitteet induktiivisilla antureilla ovat yleensä 10-40V. (Metropolia 2023b.)

Induktiivisia antureita on saatavilla myös eristettyinä tai ne voidaan eristää erillisillä koteloratkaisuilla, jolloin metallikappaleiden läheisyys ei haittaa anturin normaalia toimintaa.

4.4.3 Ultraääni

Ultraäänianturin toiminta perustuu lähetetyn äänen ja sen takaisin heijastumiseen kuluneen ajan mittaamiseen. Tunnistusetäisyydet vaihtelevat muutamista senteistä jopa kymmeneen metriin ja mitattavat rajat ovat tarkasti asetettavissa. Ultraäänianturin rakenne koostuu lähettimestä ja vastaanottimesta sekä signaalinmuodostusyksiköstä ja vahvistimesta. Toimintaperiaatteensa vuoksi asennuksessa on huomioitava, ettei lähistöllä ole muita heijastavia kappaleita, kuin tunnistettava esine. Jos lähistöllä on muita ultraääniantureita, on huolehdittava, ettei äänikeila vaikuta niihin. Ultraääniantureita esitettynä kuvassa 5. (Metropolia 2023c.)



Kuva 5. Ultraääniantureita (Metropolia 2023c).

Ultraäänianturit soveltuvat hyvin vaikeisiin olosuhteisiin, koska ne eivät ole arkoja ilman epäpuhtauksille, esimerkiksi pölylle. (Metropolia 2023c.)

5 Sähkö ja koneturvallisuus

Yleistä sähkötyöturvallisuutta, sähkölaitteiden käyttötoimenpiteitä ja huoltotöitä säädellään turvallisuuden vuoksi lakien, säädösten ja standardien avulla. Sähkölaitteiden suunnittelussa on otettava huomioon laitteen turvallisen käytön mahdollistaminen sekä laitteen ominaisuuksien ja käyttäjäkunnan asettamat vaatimukset.

Kyseiset määräykset liittyvät suunnittelun kannalta laajasti sähkölaitteen suojaukseen. Laitteiston käyttöjännitteen ollessa pienoisjännitteelle asetetuissa rajoissa, perussuojaus riittää. Suomessa yleinen sähkötöitä ohjaava standardi SFS 6002 sallii maallikoiden suorittaa kaikkia käyttötoimenpiteitä pienoisjännitelaitteisiin niiden ollessa kosketussuojattuja, eikä kyseistä standardia sovelleta maallikoille suunniteltuihin sähkölaitteisiin ja niitä käytäviin maallikoihin. Sähkölaitteita koskevia vaatimuksia asettaa SFS 6000. (Koulutusmaailma 2023.)

5.1 Pienoisjännite

Pienoisjännitelaitteita ovat esimerkiksi kaikki erilaiset akkukäyttöiset laitteet. Pienoisjännitteen määritelmänä on korkeintaan 50 voltia vaihtojännitettä ja 120 voltia tasajännitettä ja siksi sitä pidetään kaikkein turvallisimpana ratkaisuna vaativiin olosuhteisiin. (Stek 2023.)

5.2 Maallikon määrittäminen

Sähkötöihin liittyen maallikolla tarkoitetaan henkilöä, jolla ei ole erillistä sähköalan koulutusta. Tarvittavan tiedon vähäisien riskien sähkötöihin maallikko voi kuitenkin saavuttaa perehdytyksellä tai perehtymällä itse suoritettavaan työhön ja sitä koskeviin ohjeisiin.

Maallikko saa tehdä muun muassa seuraavia sähkötöitä:

- Enintään 50 voltin vaihtosähkö tai 120 voltin tasasähkölaitteistoihin liittyviä sähkötöitä.
- Sähkölaitteiden käyttötöitä sähkölaitteistossa, kun sen jännitteiset osat ovat suojattuja koskettamiselta.

(Työsuojelu 2023.)

5.3 Sähköiskulta suojaus

SFS 6000-4-41 määrittää tarvittavat suojausmenetelmät ja määräykset pienisjännitteelle. Perussuojaus ja vikasuojaus saavutetaan pienisjännitelaitteelle, kun jännite ei voi ylittää pienisjännitteelle määritettyjä raja-arvoja (50VAC/120VDC). Syöttö tapahtuu sähkökemiallisesta jännitelähteestä ja pienisjännitejärjestelmä on suojattujen ja toisistaan eroteltujen johtimien lisäksi eristetty koteloinnilla, jonka IP- luokitus on vähintään IP2X tai IPXXB, ellei alhaisemman kotelointiluokan käyttäminen ole perusteltua. Järjestelmän on oltava erotettuna mahdollisista muista pienis- tai suurempijännitteisistä piireistä sekä peruseristys jännitteisten osien ja maan välillä. (SFS 6000-4-41 2022, 19–23, 27.)

5.4 IP- luokitukset

Lyhenne IP tulee sanoista ”International Protection”. IP-luokitusten tarkoituksena on säädellä vieraiden esineiden, pölyn ja veden sisäänpääsyä sähkölaitteissa. Laitteiden käyttöympäristö ja olosuhteet ovat merkittävä tekijä IP-luokan määrittämisessä.

IP-luokituksen koodin ensimmäinen numero kertoo, kuinka laite on suojattu vieraita esineitä ja pölyä vastaan. Koodin toinen numero kertoo suojauksesta vedeltä ja mitä suuremmat kyseiset numerot ovat, sen paremmin kyseinen laite on suojattu. IP-luokitukset esitettynä taulukoissa 3 ja 4. (Stek 2023a.)

Numero	Kuvaus	Selitys
0	Ei suojausta	Ei erityistä suojausta kiinteiden kappaleiden tunkeutumista vastaan.
1	Suojaus suurempia vierasesineitä vastaan.	Suojaus kiinteitä kappaleita vastaan, joiden halkaisija on yli 50 mm.
2	Suojaus keskikokoisia kappaleita vastaan	Suojaus kiinteitä kappaleita vastaan, joiden halkaisija on yli 12,5 mm.
3	Suojaus pieniä kappaleita vastaan	Suojaus kiinteitä kappaleita vastaan, joiden halkaisija on yli 2,5 mm.
4	Suojaus pyöreitä vierasesineitä vastaan	Suojaus kiinteitä esineitä vastaan, joiden halkaisija on suurempi kuin 1 mm.
5	Pölysuojattu	Täydellinen suojaus pölyä vastaan ei ole tarpeen, mutta tunkeutuminen on estettävä riittävän hyvin sen varmistamiseksi, että laitteen toiminta ja turvallisuus eivät heikkene.
6	Pölytiivis	Täydellinen suojaus pölyn tunkeutumista vastaan.

Taulukko 3. IP-luokitukset pölylle ja vieraille esineille (Mitutoyo 2023).

Numero	Kuvaus	Selitys
0	Ei suojausta	Ei erityistä suojausta veden tunkeutumista vastaan.
1	Suojaus pystysuoraan tippuvalta vedeltä	Pystysuoraan tippuvalla vedellä ei ole haitallista vaikutusta laitteelle.
2	Suojaus kaltevasti tippuvalta vedeltä	Pystysuoraan tippuvalla vedellä aina 15 ° kulmaan asti ei saa olla haitallista vaikutusta laitteelle.
3	Suojaus vesisuihkulta	Suojaus vesisuihkua vastaan aina 60 ° kulmaan asti ylhäältä katsottuna.
4	Suojaus vesiroiskeita vastaan	Mistä tahansa suunnasta tulevilla vesiroiskeilla ei saa olla haitallista vaikutusta laitteelle.
5	Suojaus vesisuihkua vastaan	Koteloon mistä tahansa suunnasta tulevilla vesisuihkulla ei saa olla haitallisia vaikutuksia.
6	Suojaus voimakasta vesisuihkua vastaan	Mistä tahansa suunnasta laitteeseen tulevilla voimakkaalla vesisuihkulla ei saa olla haitallista vaikutusta.
7	Suojaus hetkellisesti upotettuna	Vesi ei saa tunkeutua merkittävässä määrin laitteeseen aiheuttaen vahinkoa sen ollessa upotettuna 1 metrin syvyyteen laitteen alareunasta mitattuna.
8	Suojaus pysyvästi upotettuna	Laitte soveltuu pysyvään veteen upotukseen. Ehdosta on sovitettava erikseen valmistajan ja käyttäjän välillä, mutta koteloinnin on ylitettävä vähintään numeron 7 vaatimukset.

Taulukko 4. IP-luokitukset veden vaikutuksia vastaan (Mitutoyo 2023).

Lisäksi seuraavilla vapaaehtoisilla lisäkirjaimilla voidaan täsmentää, millaiselta kosketukselta laite on suojattu:

- A= suojattu nyrkiltä
- B= suojattu sormelta
- C= suojattu työkalulta
- D= suojattu langalta.

(Stek 2023b.)

Kirjaimella osoitetun lisätiedon on tarkoitus selkeyttää entisestään IP-luokitusta ja helpottaa komponentti sekä laitevalintoja erikoisvaatimuksia asettaviin käyttöolosuhteisiin.

5.5 Valtioneuvoston asetus 400/2008

Kyseisessä asetuksessa (12.6.2008/400) säädetään koneiden ja laitteiden suunnitteluun sekä rakentamiseen liittyvistä olennaisista terveysturva- ja turvallisuusvaatimuksista, vaatimustenmukaisuudesta, markkinoille saattamisesta ja käyttöönnotosta.

Valtioneuvoston asetuksen ensimmäisen luvun 3 §:ssä säädetään lain soveltamisesta ja rajauksista. Kyseisen pykälän 8. momentissa todetaan tilapäiseen tutkimuskäyttöön tulevien koneiden ja laitteiden jäävän tämän asetuksen ulkopuolelle. (Oikeusministeriö 2008.)

Opinnäytetyötä koskeva laite on rajattu jo projektin alussa tulevaksi vain yrityksen omaan käyttöön. Ensimmäisellä prototyypillä kerättäisiin käyttäjäkokemuksia ja selvitetäisiin laitteen soveltuvuutta, jonka jälkeen päätettäisiin, laajennetaanko kyseisen laitteen valmistusta ja käyttöä. Näillä perusteilla kyseisen kehitystyön tulos on tulkittu olevan kyseisen valtioneuvoston asetuksen 8. momentin mukainen.

6 Mekaaniset indikaattorit

Tässä opinnäytetyössä oli myös tarkoitus punnita mekaanisia ratkaisuja kehitystyön toteuttamiseksi. Mekaanisten indikaattoreiden etuina verrattuna sähköisiin järjestelmiin on yksinkertaisuus, toimintavarmuus sekä kestävyys. Laitteisto olisi toteutettavissa yksinkertaisesti. Myös toimintaperiaatteen ja visuaalisten indikaattoriratkaisujen suunnittelemiselle on helposti toteutettavia vaihtoehtoja. Mekaanistenkin indikaattoreiden antama tieto voi olla jatkuvaa, eli analogista mutta myös "0 ja 1", joko- tai tyyppistä tietoa. Esimerkiksi heittokello, joka viisarillaan antaa tietoa koko ajan sitä käytettäessä. Lipulla varustetun postilaatikon lippu toimii joko- tai tyyppisenä indikaattorina. Lippu ylhäällä tarkoittaa, että laatikossa on postia= 1 ja lippu alhaalla, ettei laatikossa ole postia= 0.

7 Suunnittelu

Siirryttäessä toiminnalliseen vaiheeseen oli kartoitettava tarkemmin kehitystarpeen nykytilannetta, haasteita ja mahdollisuuksia. Vaikka paikoitusvirheet ovat tuotantovolyymiin nähden hyvin harvinaisia, voivat ne käydä erittäin kalliiksi, jos virhettä ei huomata ajoissa. Koska poikkeamat eivät ole säännöllisiä eivätkä työpistekohtaista, päädyttiin kehitystyötä lähestymään yleisesti jatkuvan parantamisen näkökulmasta. Tämä mahdollistaa laaja-alaisemmat kehitysmahdollisuudet kehitysratkaisun suunnittelussa. Tämän innovaation avulla toimeksiantaja halusi parantaa laatua sekä varmuutta silloitushitsauksessa. Testauksen ja käyttökokemusten keräämisen vuoksi kehitystyön ensimmäinen versio rajattiin yhteen paikoittimeen yhdessä hitsaussolussa, eikä sitä ole suunnattu markkinoille. Projektia päädyttiin viemään eteenpäin VDI 2221 prosessimallin mukaisesti tukeutuen VDI 2206 toimintamalliin pitäen prosessi mahdollisimman yksinkertaisena juuri tätä kehitystyötä ajatellen.

7.1 Vaatimukset

Suunnittelutyö aloitettiin vaatimuksien kartoittamisesta ja niistä luotiin vaatimuslista. Halutut vaatimukset asetettiin koskevaksi laitteen fyysisiä mittoja, käyttöjännitettä ja helppokäyttöisyyttä. Rajauksia ei kuitenkaan haluttu heti alussa liian tiukoiksi, mahdollistaen monipuolisen vertailun eri ratkaisuiden välillä. Osa vaatimuksista oli tiedossa jo työn aloitushetkellä, mikä helpotti vaatimuslistan kartoittamista.

Pääkriteereiksi laitteelle osoittautuivat enimmäkseen käytettävyyteen ja sen fyysiseen olemukseen liittyviä asioita seuraavan listauksen mukaan:

- pieni koko
- kevyt
- yksinkertainen rakenne
- modulaarisuus
- helppo kiinnitys ja irrotus asennuskohteesta

- käyttöjännite max. 12V
- kestävyys
- paikoitus kahteen suuntaan.

Modulaarisuus, yksinkertaisuus sekä pieni koko olivat avainasemassa, koska laitteesta haluttiin mahdollisimman yleiskäyttöinen jatkokehitystä ajatellen. Prototyyppiä koskeva vaatimuslista esitettyä taulukossa 5.

Muutos pvm.	KV, VV, T	Vaatusus	Tärkeys
		Geometria	
	KV	Mahdollisimman pieni ja yksinkertainen rakenne	1
		Kestävyys	
	KV	Kestettävä paikoittimen normaalia käyttöä	1
	T	Kemikaalien kesto (puhdistus)	2
		Materiaali	
	KV	Ei johda sähköä	1
	VV	Ei magneettinen	
	T	Mahdollisimman kevyt	2
		Turvallisuus	
	VV	Säädösten ja määräysten mukainen rakenne	1
		Valmistus	
	T	Mahdollisimman vähän osia	1
	T	Omavalmistus mahdollista	2
		Käyttö	
	KV	Ei vaadi käyttäjältään erillisiä toimenpiteitä	1
	VV	Hyvä huollettavuus	
	KV	Ei vaadi kalibrointia	2

KV= Kiinteä vaatimus, VV= Vähimmäisvaatimus, T= Toivomus 1--> 3 Tärkeä--> Ei tärkeä

Taulukko 5. Vaatimuslista.

7.2 Ratkaisuvaihtoehdot

Ratkaisuvaihtoehdoissa huomioitiin komponentteja sekä vaihtoehtoja, jotka parhaiten vastaisivat asetettuja vaatimuksia. Kyseisiä vaihtoehtoja tutkittiin ja pisteytettiin soveltuvuuksiensa mukaisesti. Pienimmän kokonsa ja yksinkertaisuuden vuoksi valittiin taulukossa 6 esitetyt vaihtoehdot 3.

Ratkaisuperiaate → ↓ osatoiminto	1	2	3	4	5
Laitteen kiinnitys	SNAP- liitos	Ruuviliitos	Muotosulkeinen+ruuvi		
Kannen kiinnitys	Ruuviliitos	Liukukansi	Magneetti	SNAP-liitos	Muotosulkeinen+ruuvi
Virtalähde	9V paristo	12V paristo	3V paristo	Lithium akku	Ei virtalähdettä
Indikaattori	Led valo	Mekaaninen	Ääni		
Anturit	Mekaaninen	Ultraääni	Induktiivinen		Ei antureita

Vaihtoehdot 1 Vaihtoehdot 2 Vaihtoehdot 3

Taulukko 6. Ratkaisuvaihtoehdot.

Vaihtoehtojen 1 hyviä puolia olisi ollut, että kiinnitysratkaisut laitteelle ja kannelle eivät vaatisi ruuveja. Näiden liitosten kuitenkin todettiin olevan vallitseviin olosuhteisiin ja käyttötarkoituksiin lyhytikäisiä. Saatavilla olevista vaihtoehdoista 12 voltin paristolla ei ollut riittävää kapasiteettia, eikä äänimerkin toimivuuteen indikaattorina uskottu, koska olosuhteet ovat meluisat. Induktiiviset ja ultraääni-anturit ovat fyysisesti suurempia muihin vaihtoehtoihin verrattuna sekä laitteelle ei sallittu määräaikaista kalibroinnin tarvetta tässä vaiheessa.

Vaihtoehtojen 2 kiinnitysratkaisuissa hyvänä puolena olisi kestävyys, mutta ruuvien määrä todettiin liialliseksi. Tämä myös aiheuttaa riskejä ruuvien katoamiselle huoltotöiden yhteydessä. Indikaattorin ollessa täysin mekaaninen ei virtalähdettä ja antureita tarvittaisi. Järjestelmä olisi hyvin yksinkertainen mutta fyysinen koko aiheutti haasteita sekä täysin mekaanisena laitteena kehitystyölle kaavailut mahdollisuudet ja jatkokehitys eivät olisi mahdollisia.

Vaihtoehtojen vertailussa valintaan päätyivät vaihtoehdot 3. Muotosulkeiset kiinnitysratkaisut ruuvivarmistuksella todettiin kestäviksi ja riittävän yksinkertaisiksi, eikä ruuvien määrä ollut liiallinen. Kolmen voltin paristossa yhdistyivät pieni koko sekä riittävä kapasiteetti, joka mahdollisti laitteelle tarpeeksi pitkän toiminta-ajan. Indikaattoriksi valittiin led-valo, jonka todettiin olevan helpoiten havaittavissa kyseisistä vaihtoehdoista sekä fyysiseltä kooltaan hyvin pieni. Antureiksi valittiin mekaaniset mikrokytkimet erittäin pienen kokonsa ja toimintavarmuutensa takia. Lisäksi ne eivät vaadi kalibroitua, koska niiden toiminta perustuu fyysiseen kosketukseen. Myös 0 ja 1 tyyppinen signaali todettiin prototyyppiin riittäväksi paikoituksen asianmukaisuuden havaitsemiseksi, koska tietoa tarvitaan vasta paikoitettavien osien ollessa kohdallaan.

Toiminta-aika selvitettiin kaavassa 1 osoitetulla tavalla, kun tiedettiin led-valon virrankulutus ja pariston kapasiteetti. Virtalähteen keston laskeminen (kaava 1):

$$B_l = \frac{B_c}{I_l}$$

missä:

B_l = Virtalähteen kesto (h)

B_c = Virtalähteen kapasiteetti (mAh)

I_l = Toimilaitteen virrankulutus (mA)

Tulokseksi saatiin 15 tuntia ja 40 minuuttia. Kyseinen aika on yhtäjaksoista toiminta-aikaa. Kun tämä jaettiin edelleen paikoitukseen kuluvalle ajalle sekä huomioitiin paikoitusten määrä päivässä, saatiin pariston kestoksi noin 4,5 kuukautta. Pariston vaihto suunniteltiin olevan 4 kuukauden välein mahdollistaen huoltojen ennakoinnin ja jättäen riittävästi pelivaraa pariston loppumiseen.

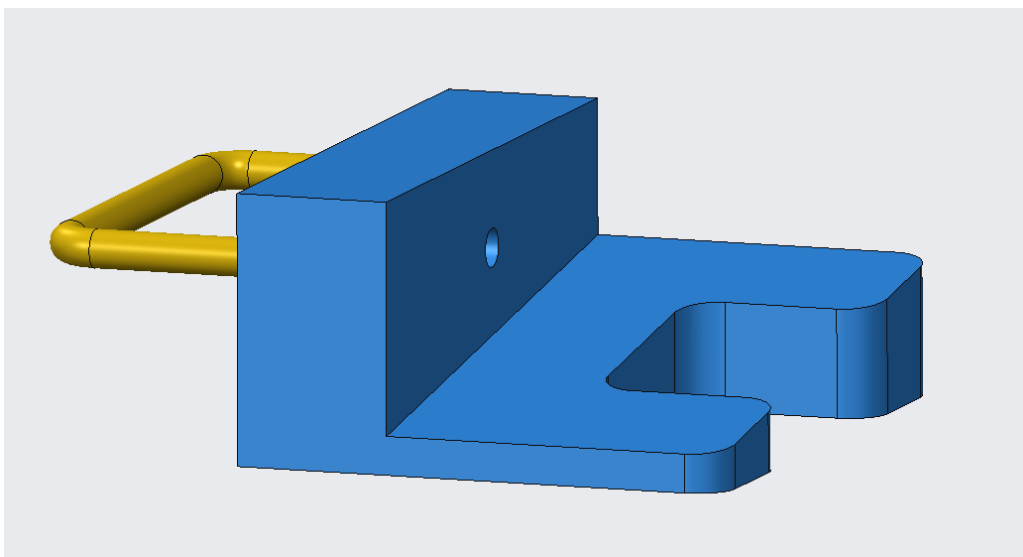
7.3 Luonnostelu

Kun laitteen ominaisuudet, kriteerit ja valittavat komponentit olivat saatu selville, alettiin näiden pohjalta luomaan raakamalleja. Ensimmäisillä malleilla todennettiin, kuinka pieneen kokoon laite olisi mahdollista toteuttaa halutuista ominaisuuksista tinkimättä. Valmistusmenetelmäksi laitteen rungolle valikoitui 3d-tulostus, joka mahdollisti nopean omavalmistuksen ja halutut materiaaliominaisuudet ensimmäisille malleille. Malleja muodostettiin PTC Creo Parametric 6 ohjelman avulla, jossa päästiin tutkimaan sähkökomponenttien, laitteen rungon ja asennuskohteena olevan paikoittimen yhteensopivuutta.

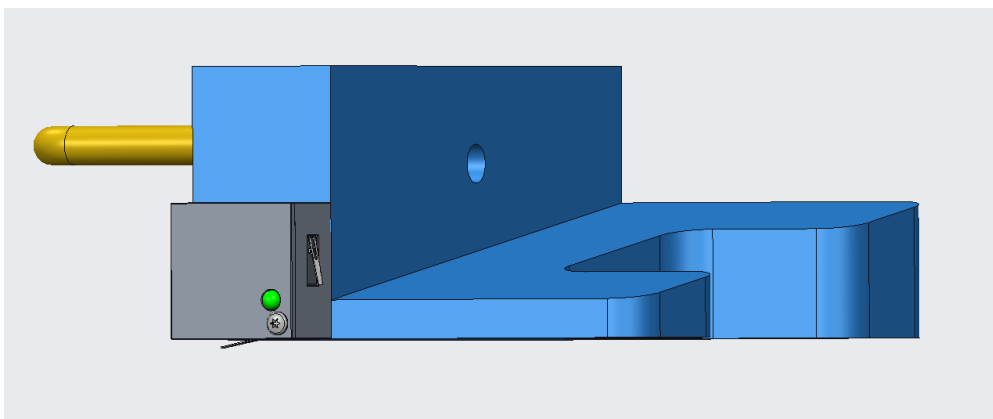
7.4 Toteutus

Luonnostelussa haluttujen tuloksien saavuttamisen jälkeen laitteen runko valmistettiin 3d-tulostamalla ja runkoon asennettiin valitut sähkökomponentit. Apulaitteen oikeanlainen toiminta varmistettiin ja paikoitin valmisteltiin järjestelmän integrointia varten, johon apulaite tämän jälkeen asennettiin. Asennuksen jälkeen voitiin aloittaa koekäyttö ja käyttäjäkokemusten kerääminen.

Asennuskohteena ollut paikoitin ja siihen asennettu apulaite havainnollistettuna kuvissa 6 ja 7.



Kuva 6. Havainnekuva asennuskohteena olleesta hitsauspaikoittimesta.

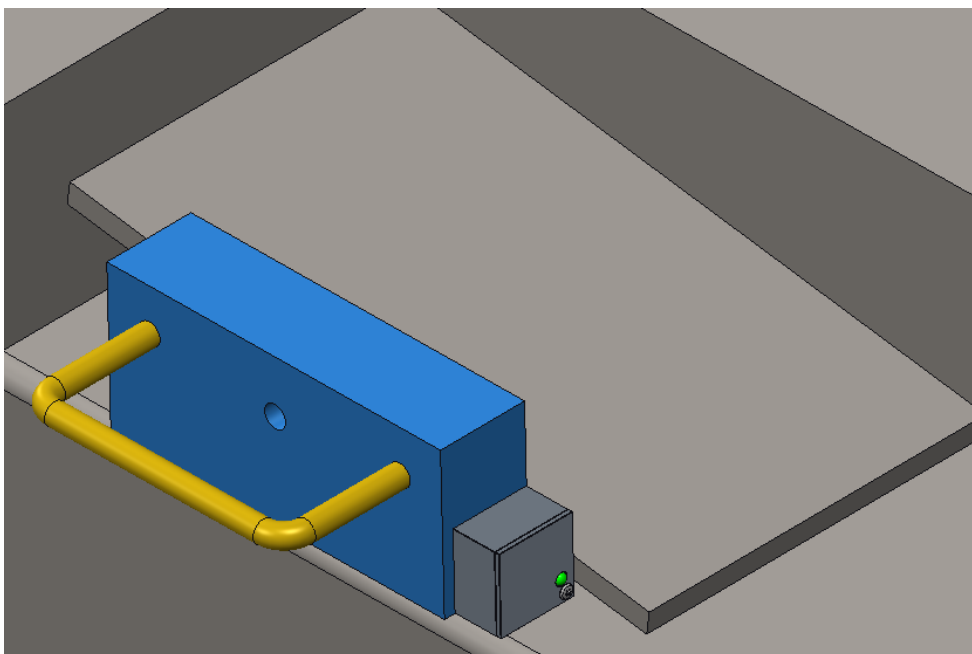


Kuva 7. Havainnekuva apulaitteesta integroituna hitsauspaikoittimeen.

Kyseinen apulaite asennettiin paikoittimeen pinta-asennuksena mahdollistaen kustannustehokkaan ja nopean kiinnityksen koekäyttöä varten. Tarvittaessa testauskohdetta voitaisiin myös helposti vaihtaa.

7.5 Koekäyttö

Koekäyttö voitiin aloittaa heti, kun apulaite oli asennettu haluttuun hitsauspaikoittimeen. Paikoittimen käyttöä havainnollistettu kuvassa 8.



Kuva 8. Havainnekuva paikoittimen käytöstä.

Prototyypin koekäyttö ja toiminta osoittautui suunnitelmien mukaiseksi ja voitiin todeta prototyyppiä koskeva projekti onnistuneeksi. Mahdollista jatkokehitystä varten saatiin kerättyä tarvittavaa tietoa sekä kehitysideoita ja niitä koskevia ratkaisuja.

Paikoitinta testattiin normaalissa tuotantovirtauksessa hitsausoperaattorin toimesta. Keskeiset testausprosessia ohjaavat säädökset liittyivät enimmäkseen testausaikaan ja toistojen määrään, jotta laitteen toimintaa voitiin todentaa riittävästi. Paikoittimella suoritettiin 14 toistoa paikoitustapahtumasta, eikä yhdessäkään paikoituksessa esiintynyt ongelmia tai haasteita.

8 Pohdinta

Kyseinen kehitystyön tulos on osa jatkuvasti kasvavaa hitsausteknologian kehitystä, johon metalliteollisuuden yrityksiä on panostettava kovan kilpailun takia. Projektissa aikaansaatuun tuotteeseen jätettiin paljon potentiaalia jatkokehitystä ajatellen, jos käyttöä päätetään laajentaa. Laajennetussa käytössä laitteisto voitaisiin varustella erilaisilla antureilla käyttötärpeiden mukaan. Ultraääniantureiden avulla paikoittimista tai jigistä saataisiin mittalaitteita, joiden avulla voitaisiin vähentää fyysisten vastesten tarvetta. Langattoman tietoliikenteen avulla jiggit ja paikoittimet olisi päivitettävissä IOT-järjestelmäksi, jonka tuomat mahdollisuudet olisivat hyvin laajat. Jos laite varusteltaisiin langattoman tietoliikennetyden mahdollistavalla mikroprosessorilla, voisi paikoittimen keräämää tietoa hyödyntää laatu- sekä tuotantojärjestelmissä.

Apulaitteiden keräämää tietoa voisi edelleen hyödyntää esimerkiksi havaitsemaan onko kaikki paikoitettavat osat jigissä tai paikoittimessa sekä mitkä osat ovat jo paikoitettu. Kyseinen ominaisuus helpottaisi esimerkiksi työn jatkamista vuoronvaihdon yhteydessä, kun seuraava työntekijä alkaa jatkamaan keskenraistia työtä. Operaattorille olisi helposti saatavilla tieto siitä, missä vaiheessa hitsaustyö on, kun paikoittimet ja jiggit toimisivat yhteistyössä esimerkiksi sähköisten työohjeiden kanssa, joihin tehdyt työvaiheet kirjautuisivat. Etenkin suurissa osakokonaisuuksissa, joissa paikoitettavia osia on paljon, tämä helpottaisi työn jatkamista huomattavasti sekä ehkäisee unohduksia, kun järjestelmä hälyttäisi puuttuvista osista.

Mikropiirin ja pinta-asenteisten sähkökomponenttien avulla laite olisi toteutettavissa edelleen huomattavasti pienempään kokoon, joka edelleen helpottaisi integrointia. Yksi mahdollisuus olisi myös pyrkiä upottamaan laitteisto suoraan jiggin tai paikoittimen rakenteeseen. Tällöin laite olisi todella hyvin suojattu, eikä se asettuisi asennuskohteen pinnasta ulospäin, joka voi haitata paikoittimen tai jiggin käyttöä joissakin tilanteissa. Tämä tosin vaatisi paikoittimen tai jiggin suurempaa muokkaamista tai uudelleen valmistusta laitteiston integrointimahdollisuutta ajatellen. Testauskäyttöön suunnattu laite valmistettiin 3d-tulostamalla

mutta pysyvämmässä käytössä sen materiaalin valintaa ja valmistusmenetelmää tulisi kehittää.

Lähteet

- Gausemeie, J & Moehringer S. 2003. NEW GUIDELINE VDI 2206 – A FLEXIBLE PROCEDURE MODEL FOR THE DESIGN OF MECHATRONIC SYSTEMS <https://www.designsociety.org/publication/23949/NEW+GUIDELINE+VDI+2206++A+FLEXIBLE+PROCEDURE+MODEL+FOR+THE+DESIGN+OF+MECHATRONIC+SYSTEMS> 20.9.2023
- Hardwarebee. 2023. The ultimate guide to analog sensors <https://hardwarebee.com/analog-sensors/> 25.9.2023
- Hietikko, E. 2021. Tuotekehitystoiminta. Helsinki: Books on Demand
- Jokinen, T. 2010. Tuotekehitys. Aalto-yliopisto. <https://aalto-doc.aalto.fi/bitstream/handle/123456789/4819/isbn9789526033204.pdf?sequence=1&isAllowed=y> 14.9.2023
- John Deere. 2023a. Tehdas. <https://www.deere.fi/fi/metsakoneet/tehdas/> 6.9.2023
- John Deere. 2023b. Kuormatraktorit. 1910g. <https://www.deere.fi/fi/kuormatraktorit/1910g/> 8.9.2023
- John Deere. 2023c. Harvesterit. 1270g. <https://www.deere.fi/fi/harvesterit/1270g/> 8.9.2023
- John Deere. PowerPoint -esitys: John Deere Forestry Oy yritysesittely 7.9.2023
- Jansch, J & Birkhofer H. 2006. The development of the guideline VDI-2221- The change of direction <https://www.designsociety.org/publication/18983/THE+DEVELOPMENT+OF+THE+GUIDELINE+VDI+2221+-+THE+CHANGE+OF+DIRECTION> 19.9.2023
- Keinänen, T. & Sumujärvi, M. 2019. Automaatiotekniikka. Helsinki: Sanoma Pro
- Koulutusmaailma. 2021. SFS 6002 Sähkötyöturvallisuus. <https://koulutusmaailma.fi/fi/news/sfs-6002> 4.10.2023
- Metropolia. 2023a. Mekaaniset. <https://wiki.metropolia.fi/display/koneautomaatio/Mekaaniset> 27.9.2023
- Metropolia. 2023b. Induktiivinen rajakytkin. <https://wiki.metropolia.fi/display/koneautomaatio/Induktiivinen+rajakytkin> 28.9.2023
- Metropolia. 2023c. Ultraäänikytkimet. <https://wiki.metropolia.fi/pages/viewpage.action?pageId=19511958> 28.9.2023

- Mitutoyo. 2023. IP-luokitusopas. https://www.mitutoyo.fi/application/files/8415/5888/4590/Handbook_Ingress_Protection_FI.pdf 6.10.2023
- OEM. 2023. Metallirunkoiset rajakytkimet. <https://www.oem.fi/tuotteet/anturi/rajakytkimet/metallirunkoiset-rajakytkimet--426732/83-870-pienoisra-jakytin-kaapelilla--108264> 27.9.2023
- Oikeusministeriö. 2008. Valtioneuvoston asetus koneiden turvallisuudesta. Päivitetty 15.6.2011. <https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2008/20080400> 9.10.2023
- Sheldon, R. 2022. What are sensors and how do they work? <https://www.tech-target.com/whatis/definition/sensor> 21.9.2023
- SFS 6000-4-41. 2022. Suojausmenetelmät. Suojaus sähköiskulta. Helsinki: Suomen Standardoimisliitto.
- Stek. 2023a. Suojausluokat. <https://stek.fi/sahkoasennuksen-suojausperiaatteet/sahkolaitteiden-suojausluokat/> 4.10.2023
- Stek. 2023b. IP-luokitus. <https://stek.fi/perustietoa-sahkosta/sahkojarjestelmat/ip-luokitus/> 6.10.2023
- Tutunji, T. 2013. Mechatronic systems: Overview. <https://www.philadelphia.edu.jo/academics/ttutunji/uploads/Mx%20Overview.pdf> 21.9.2023
- Työsuojelu. 2023. Maallikon sähkötyöt. <https://www.tyosuojelu.fi/tyoolot/fysikaaliset-tekijat/sahko/maallikon-sahkotyot> 5.10.2023
- Usemotion. 2023. How the Stage-Gate process can improve your project success rate <https://www.usemotion.com/blog/stage-gate-process> 5.10.2023
- Winter, J. 2018. An exploration of visual indicators IRL. UX Collective. <https://uxdesign.cc/visual-indicators-c3e0e5ce90f7> 22.9.2023