



Oskar Ståhl

Kokoonpanolaitteen suunnittelu

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Sähkö- ja automaatiotekniikka

Insinöörityö

30.5.2025

Tiivistelmä

Tekijä: Oskar Ståhl
Otsikko: Kokoonpanolaitteen suunnittelu
Sivumäärä: 24 sivua
Aika: 30.5.2025

Tutkinto: Insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma: Sähkö- ja automaatiotekniikka
Ammatillinen pääaine: Automaatiotekniikka
Ohjaajat: Lehtori Kristian Junno
Tehtaanjohtaja Tomi Villilä

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli suunnitella kokoonpanolaite, joka mahdollisti kahden komponentin kokoonpanon tehostaen tuotantolinjastoa ja samalla vähentäen operaattoriin kohdistuvaa fyysistä rasitusta.

Teoriaosuudessa käsitellään kokoonpanolaitteiden yleisiä säädöksiä ja teknisiä ratkaisuita. Tätä seuraa käytännön suunnittelu, jossa paneudutaan kokoonpanolaitteiden komponentteihin, 3D-suunnitteluun ja laitteen prototyypin mallinnukseen. Lopuksi käydään läpi laitteen turvallisuustoimintoja ja komponenttien vaikutusta laitteen turvallisuuteen. Laitteen mallinnus toteutettiin Solidworks 2024 -ohjelmiston avulla.

Työn lopputuloksena on valmiiksi suunniteltu laite ja suunnitteludokumentit sen valmistukseen. Työ tuotti paljon tietoa ja ymmärrystä koneiden ja laitteiden vaatimuksista teollisuusympäristössä tarjoten yritykselle arvokasta tietoa tulevien projektien tueksi.

Avainsanat: kokoonpanolaite, suunnittelu, koneturvallisuus

Tämän opinnäytetyön alkuperä on tarkastettu Turnitin Originality Check -ohjelmalla.

Abstract

Author: Oskar Ståhl
Title: Designing an Assembly Machine
Number of Pages: 24 pages
Date: 30 May 2025

Degree: Bachelor of Engineering
Degree Programme: Electrical and Automation Engineering
Professional Major: Automation Engineering
Supervisors: Kristian Junno, Senior Lecturer
Tomi Villilä, Factory Manager

The purpose of this thesis work was to design an assembly device that enables the assembly of two components, enhancing the efficiency of the production line while reducing the physical strain on the operator.

The theoretical section of the thesis addresses general regulations and technical solutions for assembly devices. This is followed by an explanation of practical design, focusing on the components of assembly devices, 3D designs, and the modeling of a device prototype. Finally, the device's safety functions and the impact of components on its safety are reviewed. The device modeling was carried out using Solidworks 2024.

The result of the thesis work is a fully designed device and the associated design documentation for its manufacturing. The work generated significant knowledge and understanding of the requirements for machines and devices in an industrial environment, providing valuable insights for the company to support future projects.

Keywords: assembly device, design, machine safety

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Kokoonpanotekniikka	2
2.1	Kokoonpanolaitteet	2
2.2	Nykyiset ratkaisut ja teknologiat	2
2.3	Konedirektiivi (2006/42/EY)	3
2.4	Koneturvallisuus	3
2.5	Ohjelmoitavat logiikkaohjaimet (PLC)	4
2.6	Toimilaitteet	5
3	Kokoonpanolaitteen suunnittelu	6
3.1	Määrittely	6
3.2	Suodatusyksikkö	6
3.3	Suunnittelu	7
3.4	Toimilaite	7
3.5	Ohjausjärjestelmät	8
3.6	Turvaominaisuudet	9
3.7	Rakenne	10
3.7.1	Perusrakenne	10
3.7.2	Jigit	11
3.7.3	Kiristystoiminto	12
3.7.4	Linearijohde	16
3.7.5	Konsepti	17
3.8	Dokumentointi	18
4	Turvallisuusominaisuudet	19
5	Yhteenvedo ja pohdinta	22
	Lähteet	23

Lyhenteet ja käsitteet

I/O: *Input/Output*. Tulo- tai lähtösignaali, joka mahdollistaa tiedonsiirron ja vuorovaikutuksen esimerkiksi käyttöliittymän ja anturin välillä.

PL: *Performance Level*. Suorituskykytaso, joka kuvaa koneen turvallisuuteen liittyvän ohjausjärjestelmän luotettavuutta ja kykyä vähentää riskejä määritellyn riskitason mukaisesti.

PLC: *Programmable logic controller*. Ohjelmoitava logiikkaohjain.

PLr: *Required Performance Level*. Kuvaa turvallisuuteen liittyvän ohjausjärjestelmän vaadittavaa suorituskykytasoa.

SISTEMA: Koneturvallisuuden suunnitteluohjelmisto, jota käytetään suorituskykytason analysointiin ja varmistamiseen riskien vähentämiseksi.

Solidworks: 3D-mallinnusohjelmisto.

1 Johdanto

Tämän opinnäytetyön aiheena on kokoonpanolaitteen suunnittelu. Työssä on tarkoitus käydä läpi suunnittelun eri vaiheita ja vaatimuksia ja pohtia, mitä asioita tulisi ottaa huomioon kokoonpanolaitteiden suunnittelussa. Laitteen 3D-mallinnus toteutetaan Solidworks 2024 -mallinnusohjelmistolla, ja yritykselle jää työstä myös muut tarvittavat dokumentit, joilla laitteen toiminnallisuutta voidaan tarkastella ja tehdä myös johtopäätökset hankinnan kannattavuudesta. Sen jälkeen laite voidaan tarvittaessa tilata ulkopuoliselta toimijalta tai valmistaa itse.

Työn aiheena oleva kokoonpanolaite asennettaisiin osaksi tuotantolinjastoa, jossa valmistetaan laboratoriokäyttöön tarkoitettuja kertakäyttösuodatusyksiköitä. Laite korvaisi manuaaliryö, jossa kaksi osaa kierretään toisiinsa käsin, ja vähentäisi näin ryöntekijöiden räsitusä.

Johdannon jälkeen toisessa luvussa käsitellään kokoonpanolaitteita, niiden yleisiä teknisiä ratkaisuita, teknologioita ja myös eri laitteita koskevia säädöksiä. Kolmannessa luvussa kerrotaan toimeksiannon määrittelystä ja laitteen käytännön suunnittelusta. Neljännessä luvussa käydään läpi laitteen vaatimustenmukaisuutta ja turvallisuutta.

2 Kokoonpanotekniikka

2.1 Kokoonpanolaitteet

Kokoonpanolaitteet ovat keskeinen osa modernia teollisuutta, sillä ne mahdollistavat tehokkaan, tarkan ja toistettavan komponenttien yhdistämisen eli kokoonpanon tuotantolinjoilla. Kokoonpanolaitteilla voidaan suorittaa sekä manuaalisia että automatisoituja tehtäviä, kuten juottamista, hitsausta, kiinnitystä ja testausta (Final-product-assembly). Yleisesti kokoonpanolaitteet ovat mittatilaustyönä tehty juuri sille prosessille, jossa niitä tarvitaan (Assembly-equipment). Kokoonpanolaitteita käytetään teollisuudessa joko osana tuotantolinjaa tai yksittäisenä laitteena, jolloin tuotantolinja voi käsittää vain jonkin tietyn laitteen.

Kokoonpanolaitteiden suunnittelu ja valmistus vaatii monialaista osaamista, sillä siinä on huomioitava mekaaniset rakenteet, ohjausjärjestelmät, ergonomisuus ja turvallisuusvaatimukset, kuten konedirektiivin (2006/42/EY) asettamat vaatimukset. Yleensä suunnittelun aikana on myös tarpeen konsultoida asiantuntijoita.

2.2 Nykyiset ratkaisut ja teknologiat

Kokoonpanolaitteiden toiminnallisuus perustuu teknologioihin, jotka mahdollistavat tarkan ja tehokkaan komponenttien manipuloimisen tuotantoprosesseissa. Pneumaattiset järjestelmät ovat yleisesti käytettyjä kokoonpanolaitteissa, sillä ne tarjoavat luotettavan ja kustannustehokkaan tavan tuottaa tasaista voimaa ja nopeutta erilaisten pneumaattisten komponenttien avulla. (8 Advantages of Pneumatic Systems 2019.) Anturiteknologiat, kuten asennonvalvonta-anturit, ovat olennaisia varmistamaan, että laite toimii tarkoitetulla tavalla, mikä vähentää virheiden riskiä (Rothstein 2023).

Ohjausjärjestelmät, esimerkiksi ohjelmoitavat logiikkaohjaimet, mahdollistavat prosessin helpon ja varman ohjauksen. Mekaaniset komponentit, kuten räätelöidyt jigit ja kiinnittimet, varmistavat osien vakauden ruuvauksen aikana, mikä on erityisen tärkeää automatisoiduissa järjestelmissä. Näiden teknologioiden yhdistelmä mahdollistaa kokoonpanolaitteiden toiminnan ja sen integroinnin tuotantolinjaan edistäen sekä tuottavuutta että laatua.

2.3 Konedirektiivi (2006/42/EY)

Konedirektiivi (2006/42/EY) on Euroopan unionin lainsäädäntö, joka asettaa koneiden suunnittelulle ja valmistukselle olennaiset terveys- ja turvallisuusvaatimukset. Sen tarkoitus on taata, että koneet ovat turvallisia ja vaatimustenmukaisia koko EU:n alueella. (direktiivi 2006/42/EY: 29.)

Konedirektiivi edellyttää, että laitteen käyttöön liittyvät riskit tunnistetaan ja minimoidaan. Tällaisia vaaroja saattavat olla mekaaniset vaarat, esimerkiksi puristuminen tai leikkautuminen, sähköiset vaarat ja osien irtoamisriskit. Suunnitteluprosessissa tämä tarkoittaa esimerkiksi suojarakenteiden ja hätäpysäytystoimintojen suunnittelua. (Koneita koskevat vaatimukset.)

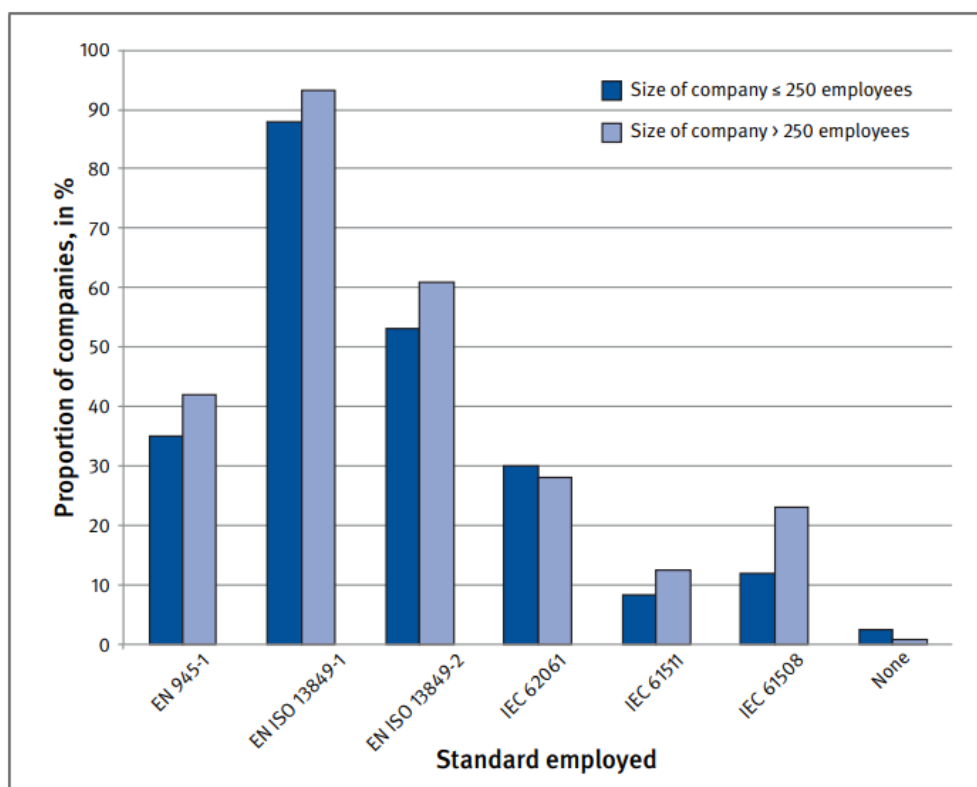
CE-merkinnällä voidaan osoittaa, että kone on konedirektiivin vaatimusten mukainen ja täyttää myös kaikki EU:n direktiivien ja asetusten olennaiset vaatimukset. CE-merkintä ei kuitenkaan ole yleinen turvallisuusmerkki, eikä se takaa, että laite olisi erityisen laadukas tai helppokäyttöinen. (CE-merkintä.)

2.4 Koneturvallisuus

Lähtökohtaisesti kone tulisi suunnitella luonnostaan turvalliseksi, mutta suuressa osassa koneita se ei ole mahdollista. Jos koneeseen on tarve lisätä suojaustoimenpiteitä yhden tai useamman vaaran takia, niin on suositeltavaa käyttää standardeja, kuten SFS-EN ISO 13849-1 tai EN 62061. Näiden käyttö ei kuitenkaan ole pakollista, mutta siinä tapauksessa kone tulee osoittaa turvalliseksi muilla tavoin. Yleensä standardien käyttö on kuitenkin helpoin tapa

osoittaa turvallisuus, koska standardit tarjoavat "presumption of conformity" -periaatteen, eli niiden käyttö osoittaa automaattisesti vaatimusten täyttymisen. (Hauke ym. 2019: 9–16.)

Eri standardien käyttö konevalmistajien keskuudessa on esitetty kuvassa 1, josta selviää, että standardi ISO 13849-1 on käytetyin standardi turvallisuusominaisuuksien varmistukseen.



Kuva 1. Standardien käyttö konevalmistajien keskuudessa (Hauke ym. 2019: 17).

2.5 Ohjelmoitavat logiikkaohjaimet (PLC)

Ohjelmoitavat logiikkaohjaimet eli PLC:t ovat pieniä tietokoneita, joita voidaan käyttää erilaisten koneiden ja laitteiden hallintaan ja ohjaukseen suorittamalla spesialisoituja ohjelmia nopeasti ja pienellä vasteajalla. PLC:t tarjoavat kustannustehokkaita ratkaisuita erityisesti monimutkaisissa sovelluksissa. (Shelby 2017.)

PLC:t ovat uudelleen ohjelmoitavia, ja ne ovat keskeinen osa kokoonpanolaitteiden ohjausjärjestelmiä. PLC:t ohjaavat kokoonpanolaitteissa eri toimintoja ja niiden järjestystä. Antureilla pystytään myös varmistamaan, että toiminnot tapahtuvat oikeassa järjestyksessä ja oikeaan aikaan. Tällöin vikatilanteet ja niiden ratkominen helpottuvat. (Waseem.) PLC:t ovat nykyään niiden halvan hinnan takia järkeviä myös yksinkertaisiin järjestelmiin, ja releohjaus on tämän takia harvoin kannattavaa (Cope 2018).

2.6 Toimilaitteet

Toimilaitte on laite, joka voi muuntaa energian liikkeeksi. Toimilaitteet ovat olennaisia teollisuuden automaatiosovelluksissa ja sen myötä myös kokoonpanolaitteissa. Niillä pystytään luomaan erilaisia mekaanisia liikkeitä, kuten kierto- tai lineaarista liikettä mahdollistaen tarkat ja toistettavat prosessit. Toimilaitteet jakautuvat liiketyypin perusteella kiertotoimilaitteisiin ja lineaarisiin toimilaitteisiin. (Rao 2023.) Esimerkkinä kuvassa 2 on paineilmasylinteri, joka on lineaarinen toimilaitte.



Kuva 2. SMC:n paineilmasylinteri (Rao 2023).

Toimilaitteen käyttövoimana voi olla sähkö, pneumatiikka, hydraulikka, lämpö tai jopa piezosähkö. Sähkö- ja pneumaattiset toimilaitteet ovat kuitenkin näistä yleisimpiä. (Rao 2023.)

3 Kokoonpanolaitteen suunnittelu

3.1 Määrittely

Toimeksiannossa tilatulle kokoonpanolaitteelle on tehty kevyt vaatimusmäärittely eli URS. Vaatimusmäärittely on suunnitteludokumentti, ja se tulee tehdä aina kun suunnitellaan konetta tai laitetta. Yleensä dokumentin tekee tilaaja ja siinä määritellään mahdollisimman tarkasti tarpeet ja odotukset laitteen toiminnallisuuksille, suorituskyvyille ja laatuvaatimuksille. (User Requirements Specification.)

Tähän on lueteltu vaatimusmäärittelyssä olevat keskeiset asiat:

- Laitteen tulee suorittaa osien kokoonpano alle kymmenessä sekunnissa siitä, kun käyttäjä on painanut käynnistyspainiketta.
- Laitteen tulee kiristää kappaleet toisiinsa vähintään 0,3 Nm:n vääntömomenttiin.
- Laitteen tulee olla asennettavissa 1000 mm x 1000 mm pöydälle.
- Laitteen tulee olla CE-merkitty.

3.2 Suodatusyksikkö

Suodatusyksikköön kuuluu kolme osaa: alaosa, keskiosa ja pullo.

Kokoonpanolaitteen tehtävä on kiinnittää pullo keskiosaan kiertämällä se siihen.

Alaosa on kiinnitetty keskiosaan jo aikaisemmin, joten se ei kuulu tämän

kokoonpanolaitteen suunnitteluun. Laitteen toiminta etenee seuraavanlaisesti:

Laitteeseen asennetaan osakokoonpano, joka koostuu pullosta, keskiosasta ja

alaosasta. Sen jälkeen käyttäjä painaa käynnistysnappeja ja laite kiinnittää

pullon keskiosaan kiertämällä pulloa noin yhden kierroksen. Pullossa ja

keskiosassa on yhteensopivat kaulukset, jotka helpottavat osien pysymistä

kiinni sillä aikaa, kun operaattori asentaa kappaleet kokoonpanolaitteeseen.

Kiinnityksen on tarkoitus kestää noin 5 sekuntia. Kun kiinnitysprosessi on

valmis, niin operaattori poistaa laitteesta kappaleen, joka koostuu alaosasta,

keskiosasta ja pullosta.

3.3 Suunnittelu

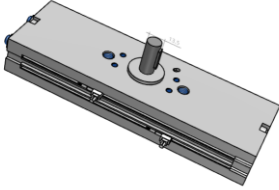
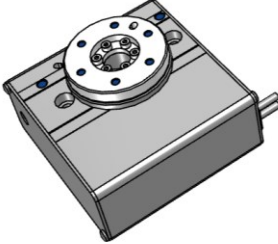
Vaatusmäärittelyn pohjalta kokoonpanolaitteen komponentteja ja rakennetta lähdettiin suunnittelemaan. Perusrakenteeksi valikoitui pystyrakenne, joka mahdollistaa modulaarisen ja vertikaalisen kokoonpanon. Tällaisen perusrakenteen sisälle voidaan luoda mahdolliset pystyliikkeet ja kiristyksen tuottava komponentti. Koska kiristysprosessissa ei tarvita suurta puristusvoimaa, laite voidaan rakentaa esimerkiksi alumiiniprofilista.

Laitteen perusrakenne koostuu siis pystypalkista, johon on kiinnitetty jigi ja kiristyksen tekevä osa eli tässä tapauksessa toimilaitte. Suunnittelu jatkui komponenttien ja eri teknologioiden vertailuilla ja valinnoilla.

3.4 Toimilaitte

Pullon kiertämiseksi keskiosaan kiinni tarvitaan vääntömomenttia. Tämä voima voidaan toteuttaa pyörivällä toimilaitteella, joka tuottaa vääntömomentin pullon kiristämiseksi. Käyttövoimaltaan erilaisia toimilaitteita tähän sovellukseen löytyy pneumaattisia ja sähköisiä. Taulukossa 1 on listattu suppea ominaisuusvertailu kahden toimilaitteen välillä.

Taulukko 1. Toimilaitteiden vertailu (C(D)RQ2B, Compact Rotary Actuator, Rack & Pinion; Electric Rotary Actuators).



Toimilaite	SMC CRQ2B40	SMC LER50E
		
Käyttövoima	Paineilma	Sähkö
Pyörimiskulma	350°	320°
Vääntömomentti	5,3 Nm	6,6 Nm
Paino	2,3 Kg	2,2 Kg
Ohjelmoitavuus	Ei	Kyllä

Taulukon pohjalta voidaan todeta, että molemmat toimilaitteet olisivat soveltuvia tähän kokoonpanolaitteeseen, mutta sähköinen toimilaite on kuitenkin parempi valinta tarkemman ohjelmoitavuutensa takia. Sähköisen toimilaitteen vääntömomenttia pystytään rajoittamaan tiettyyn määrään ja toimilaitteesta saadaan myös signaali logiikalle, kun tarvittava vääntömomentti on saavutettu. Tällä voidaan varmistaa, että kiristys toteutuu suunnitellusti.

3.5 Ohjausjärjestelmät

Riippuen laitteen monimutkaisuudesta kokoonpanolaite on järkevä toteuttaa joko releohjauksella tai PLC:llä. Sähköisestä toimilaitteesta ja laitteen muusta tekniikasta johtuen PLC osoittautui melkein välttämättömäksi. PLC:n vaatimuksia mietittiin tekemällä listaus taulukkoon 2 vaadittavista ominaisuuksista ja I/O-pisteistä. Näiden perusteella voitiin valita muutama PLC, joista valittiin kokoonpanolaitteeseen sopivin malli.

Taulukko 2. PLC:iden vertailu (FX5UJ-24MT/ES; Product overview for SIMATIC S7-1200).

PLC	Mitsubishi FX5UJ-24MT/ES	Simatic S7-1200
		
Integroidut digitaalitulot	14	6
Integroidut digitaalilähdöt	10	4
Käyttöjännite	230 V	24 V
CC-link	Lisäosa	Lisäosa
Hinta	400–500 €	400–500 €

Taulukon perusteella todettiin molempien mallien olevan soveltuvia. Mitsubishiin FX5UJ-24MT/ES on kuitenkin tutumpi ja siinä on enemmän tuloja ja lähtöjä kuin Siemensin logiikassa, joten se on soveltuvampi tähän projektiin.

3.6 Turvaominaisuudet

Kokoonpanolaitteen turvaominaisuudet ovat kriittisiä operaattorin turvallisuuden varmistamiseksi ja konedirektiivin vaatimusten täyttämiseksi. Näiden vaatimusten täyttämiseksi laitteeseen tarvitaan turvarele ohjaamaan vaarallisia toimintoja. Kokoonpanotoimintojen käynnistämiseksi valittiin alustavasti ohjaustavaksi kaksikäsi-ohjaus. Osittain automatisoidussa kokoonpanolaitteessa, jossa ihmisen ja koneen välinen vuorovaikutus on jatkuvaa, kaksikäsi-ohjaus on hyvä tapa estää operaattorin käsien joutuminen vaara-alueelle, kun prosessi on käynnissä. Laitteeseen tulee myös

hätäpysäytyspainike ohjaamaan turvarelettä pysäyttämään vaaralliset liikkeet. Soveltuvia turvareleitä kokoonpanolaitteeseen löytyy useita, mutta tärkein vaadittava toiminnallisuus on kaksikäsiöihjauksen valmius. Turvareleeksi valittiin Wielandin SNZ 4052, joka tukee kaksikäsiöihjausta ja yhtä tai useampaa hätäpysäytyspainiketta. Kuvassa 3 on esitetty Wielandin turvarele.



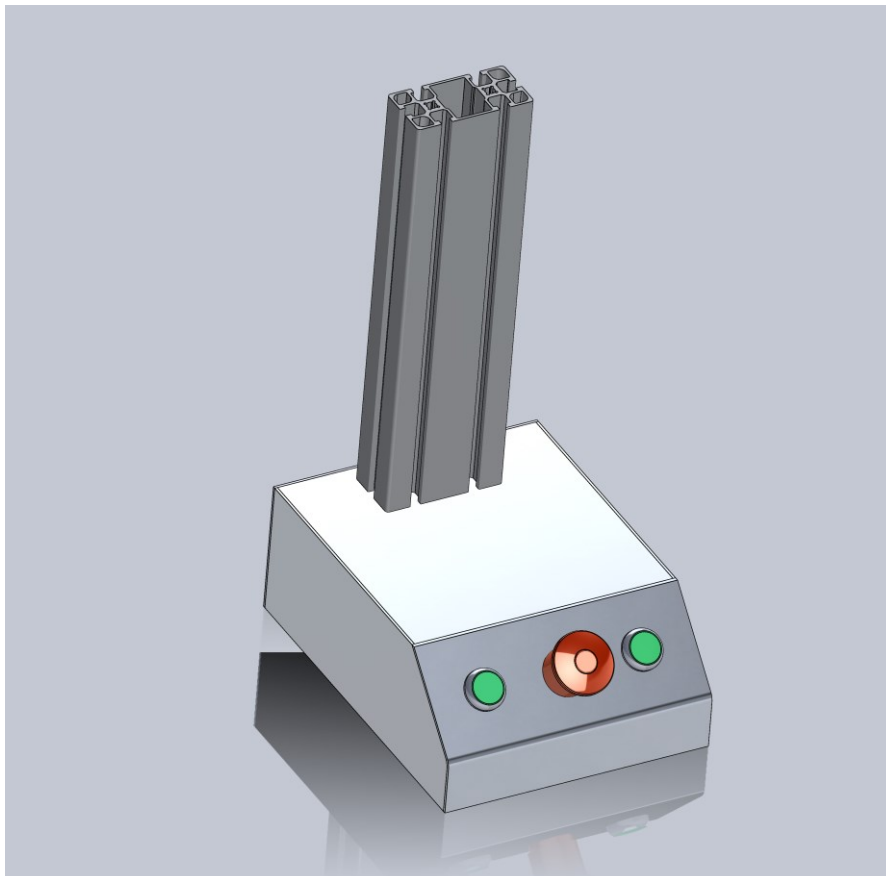
Kuva 3. Wieland-merkkinen turvarele (Two-hand control relay SNZ4052K-A AC 230V(B)).

3.7 Rakenne

3.7.1 Perusrakenne

Päärakenteen suunnittelu lähti liikkeelle pystyrakenteesta, johon valittiin 500 mm pitkä 45 x 90 mm:n alumiiniprofiili. Alumiiniprofiili on hyvä perusrakenne sen keveyden ja kestävyuden takia. Alumiiniprofiilin T-urat mahdollistavat myös muiden komponenttien helpon sijoituksen ja säädön. Laitteen pohjarakenteeksi suunniteltiin kotelo, jonka ylä- ja alaosat ovat 10 mm paksua alumiinilevyä. Kotelo suunniteltiin, jotta käyttö- ja hätäpysäytyspainikkeille saatiin järkevä kiinnityspaikka laitteen eteen. Suunnittelussa tuli huomioida painikkeiden sijainnit, koska SFS-EN-ISO 13851 -standardi määrittelee

kaksikäsihjauslaitteiden vaatimukset. Tarkkaa vaatimusta painikkeiden etäisyyksille ei ole, mutta yleinen minimietäisyys on 250 mm. Etäisyys riippuu useista tekijöistä, kuten laitteen ergonomiasta ja painikkeiden koosta (SFS-EN ISO 13851:2019). Kuvassa 4 on esitetty mallinnus kokoonpanolaitteen perustakenteesta.

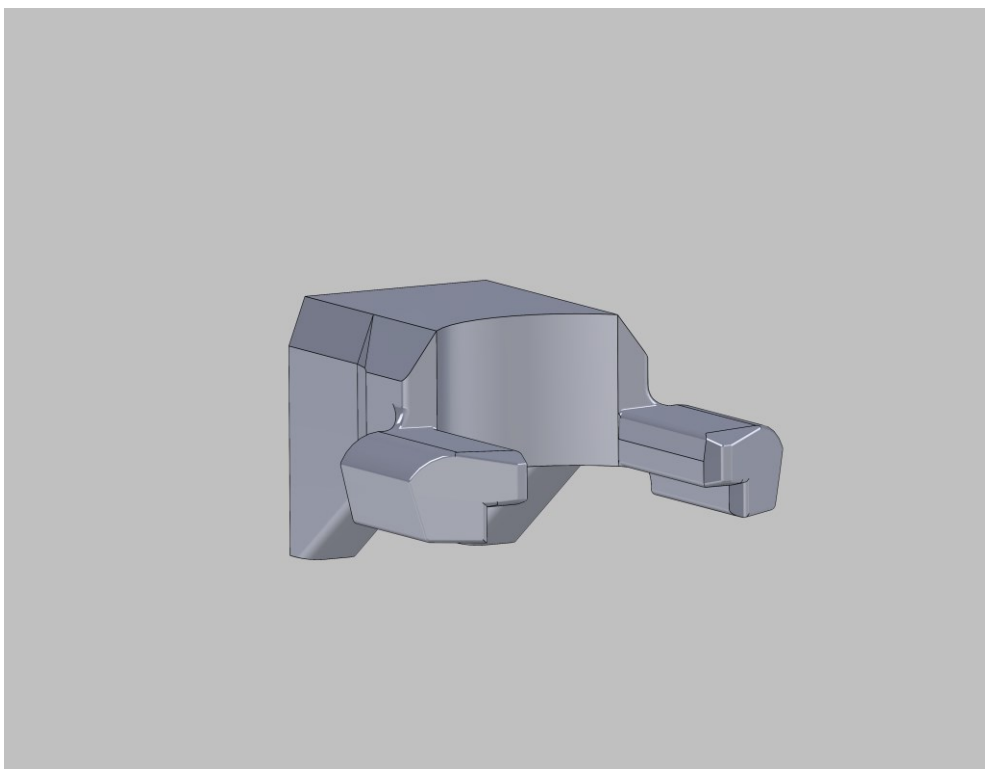


Kuva 4. Kokoonpanolaitteen perusrakenne.

3.7.2 Jigit

Jotta osien kiristys pystytään toteuttamaan, tarvittiin osayhdistelmän keskiosalle asemointiohjain eli jigi. Jigin tärkein tehtävä on pitää kappale tarkasti paikoillaan estäen sen pyöriminen, kun pullo kiristetään keskiosaan. Jigi suunniteltiin tarkasti keskiosan geometrian mukaisesti jättäen noin 0,2 mm:n välys jigin ja kappaleen pintojen välille. On tärkeää myös, että käyttäjän on helppo asettaa kappale jigiin. Tämän takia jigiin suunniteltiin isot viisteet. Lisäksi laitteen

pohjalevyn päälle suunniteltiin ohjain, joka ohjaa alaosan paikoilleen, jolloin keskiosa ohjautuu jigiiin helpommin. Kuvassa 5 on esitetty mallinnus jigistä. Protoilua varten jigii voidaan ensin 3D-tulostaa, mutta lopulliseen laitteeseen alumiininen versio on perusteltua sen kestävyuden ja kulumiskeston takia.



Kuva 5. 3D-mallinnettu jigii.

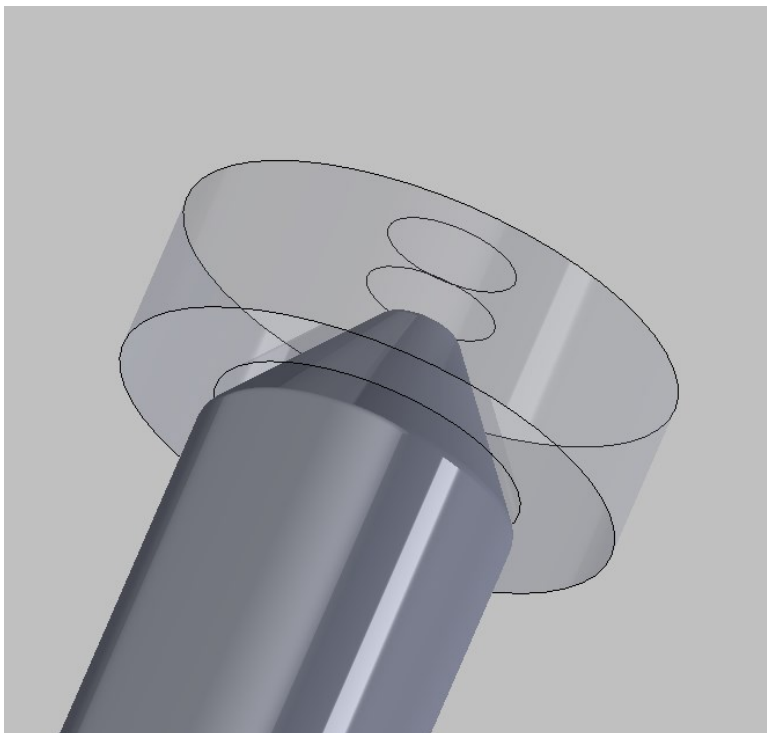
3.7.3 Kiristystoiminto

Pullon kiristys kokoonpanolaitteessa toteutetaan SMC:n sähköisellä toimilaitteella. Toimilaitteen kontakti pulloon oli kuitenkin ratkaistava ensin, jotta voitiin suunnitella siihen tarvittavat osat. Haasteeksi muodostui tarvittava kitkavoima, jotta toimilaitteella olisi tarpeeksi pitoa tarvittavan vääntömomentin saavuttamiseksi.

Käytännössä kaksi vaihtoehtoa osoittautui käyttökelpoisiksi. Ensimmäisessä vaihtoehdossa pullon pohjan kartio painetaan toimilaitetta vasten.

Toimilaitteeseen suunniteltiin adapteri kartiolla pinnalla, johon pullo sopii. Kartio

voidaan pinnoittaa 2-komponenttisilikonilla mahdollisimman ison kitkan takaamiseksi. Kuvassa 6 on esitetty suunniteltu adapteri, josta näkyy ääriviivat ja pullo, joka on asetettu adapteria vasten.



Kuva 6. Pullon pohja mallinnettuna adapteria vasten.

Ensimmäisen vaihtoehdon kestävä maksimivääntömomentti M_1 laskettiin seuraavalla kaavalla

$$M_1 = \mu \cdot N \cdot r,$$

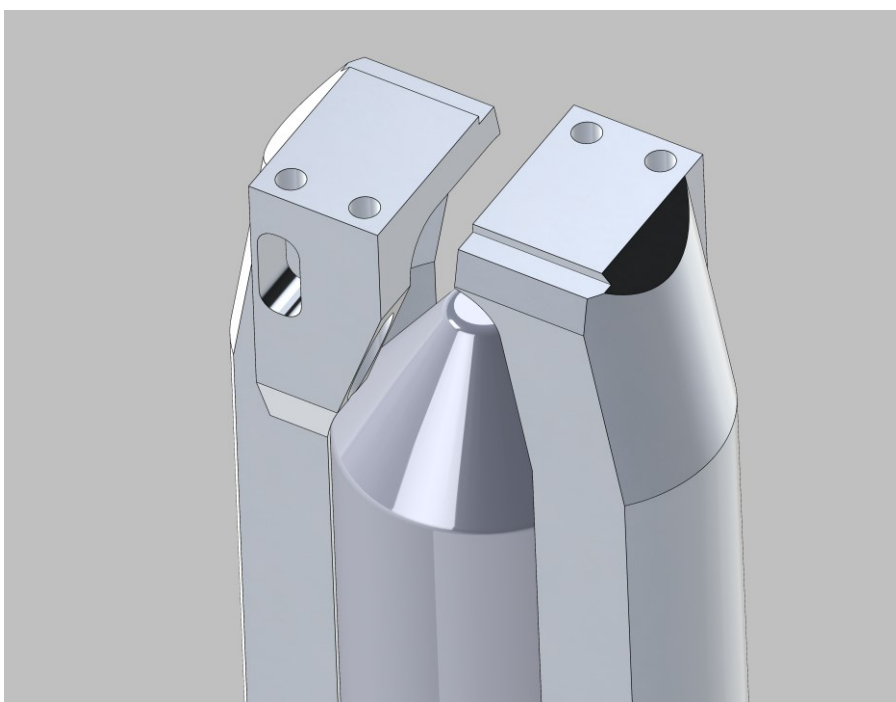
jossa μ on pintojen välinen kitkakerroin, N on kappaleiden välinen voima ja r on vipuvarren säde. Vääntömomentiksi saatiin

$$M_1 = 0,5 \cdot 63 \text{ N} \cdot 0,010 \text{ m} = 0,315 \text{ Nm}$$

Tarvittava vääntömomentti oli 0,3 Nm, joten tämä ratkaisu on rajoilla toimivuuden ja luotettavuuden kanssa. Kitkakerroin 0,5 on konservatiivinen ja todennäköisesti oikea luku on korkeampi, joten todennäköisesti tämä ratkaisu

olisi toimiva. Kasvattamalla kappaleiden välistä voimaa voidaan vääntömomenttia myös kasvattaa, mutta samalla kierteen kitkavoima kasvaisi, joten siitä ei olisi paljoa apua.

Toisessa vaihtoehdossa toimilaitteeseen asennetaan tarttuja, esimerkiksi Gimaticin MPLM1630, joka on kaksileukainen rinnakkainen itsekeskittyvä sähköinen tarttuja. Tarttujaan asennetaan silikonipäällysteiset pullon sivun muotoiset leuat, joilla tarttuja voi ottaa pullosta kiinni. Kuvassa 7 on esitetty mallinnus tarttujan leuoista ja pullosta niiden välissä.

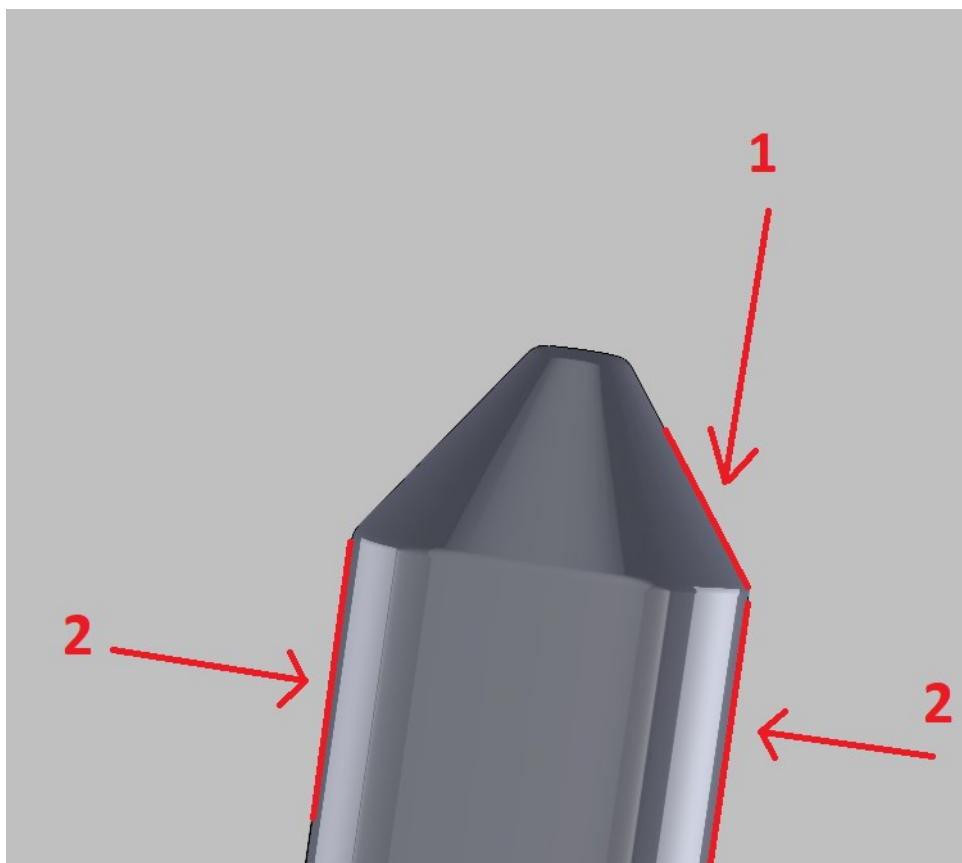


Kuva 7. Tarttujan leuat ja pullo.

Toisen vaihtoehdon kestävä maksimivääntömomentti M_2 laskettiin samalla kaavalla kuin ensimmäinen vaihtoehdon. Maksimivääntömomentiksi saatiin:

$$M_2 = 0,5 \cdot 63 \text{ N} \cdot 0,0145 \text{ m} = 0,457 \text{ Nm}$$

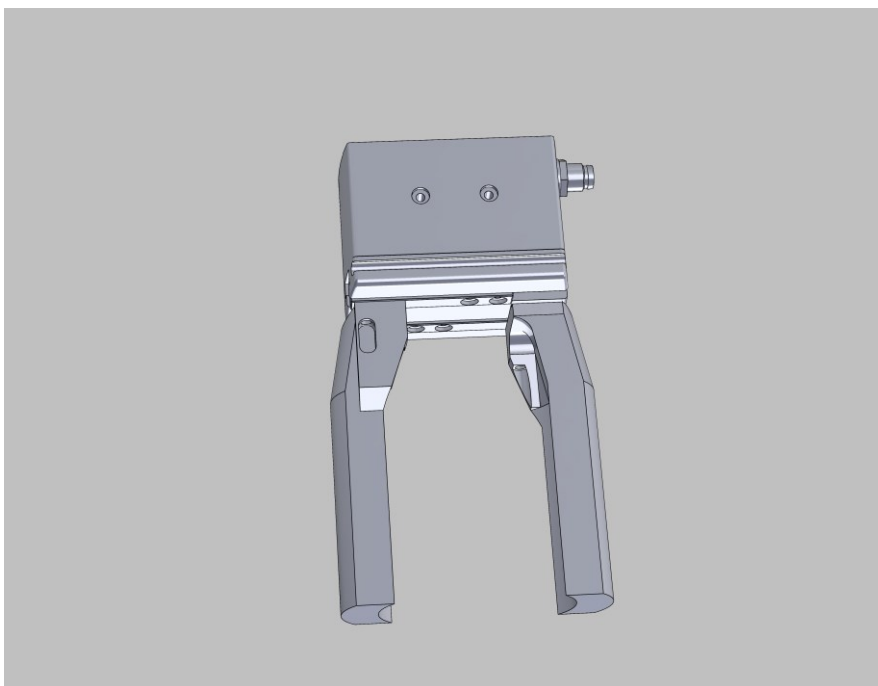
Tämä ylittää vaadittavan vääntömomentin yli puolitoistakertaisesti. Vääntömomentti oli toisella ratkaisulla isompi, koska vipuvarren säde on isompi. Säde määritellään pyörimisakselista kosketuspisteeseen. Ensimmäisessä ratkaisussa kosketuspinta oli melkein koko pullon pohja, joten keskimääräinen säde oli vain 10 mm. Toisessa vaihtoehdossa kosketuspiste oli pullon ulkoreunalla, jolloin säde oli 14,5 mm. Kuvassa 8 on esitetty kosketuspisteet ja voimien kohdistumiset pulloon. Numero 1 on ensimmäisen vaihtoehdon pulloon vaikuttava voima, sen suunta ja kosketuspinta. Numerot 2 ovat toisen vaihtoehdon pulloon vaikuttavat voimat, niiden suunnat ja kosketuspinnat.



Kuva 8. Kosketuspisteet ja voimien kohdistumiset pulloon.

Koska toisessa vaihtoehdossa puristusvoimaa pystytään kohdistamaan pulloon isommalle alalle kuin ensimmäisessä vaihtoehdossa, niin puristusvoimaa voi olla myös enemmän. Näissä laskuissa käytettiin kuitenkin samaa

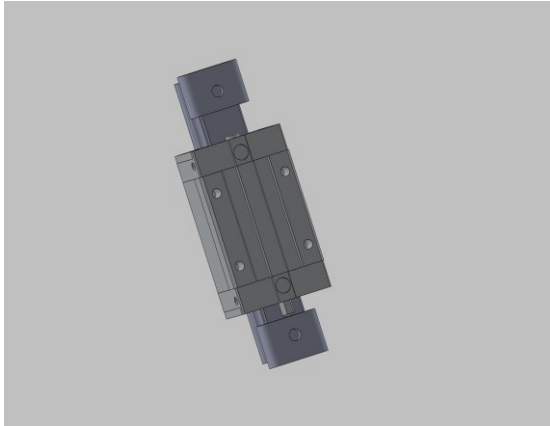
puristusvoimaa molempiin vaihtoehtoihin. Näiden havaintojen perusteella suunnittelussa lähdettiin etenemään toisen vaihtoehdon kanssa. Kuvassa 9 on mallinnus tarttujasta, johon on asennettu mallinnetut leuat.



Kuva 9. Tarttuja.

3.7.4 Lineaarijohde

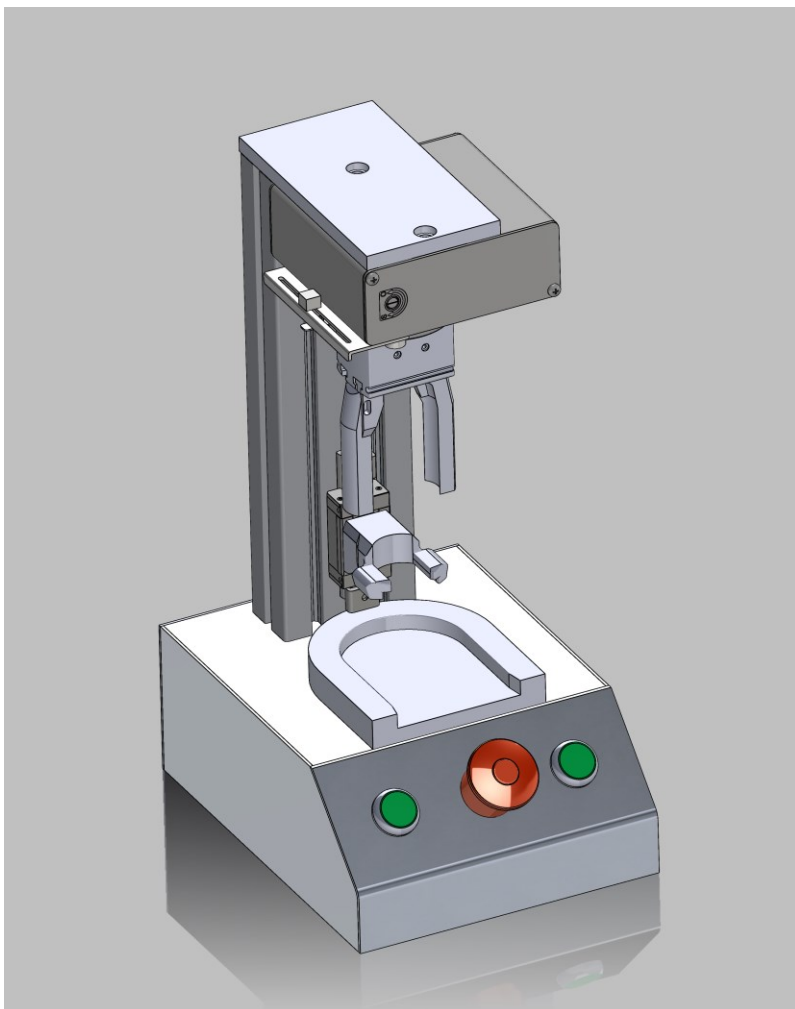
Kun pullo kiristetään keskiosaan, niin kappaleet liikkuvat noin 5 mm toisiaan kohti. Tästä syystä tarvitaan jokin keino joko jiggin tai toimilaitteen liikuttamiseksi. Ratkaisuksi löytyi lineaarijohde, joka asennettaisiin jiggin ja pystypalkin väliin. Tämä mahdollistaa jiggin ja keskiosan liikkumisen ylöspäin, kun pullo kiristetään keskiosaan. Kuvassa 10 on esitetty mallinnus lineaarijohteesta.



Kuva 10. Lineaarijohde.

3.7.5 Konsepti

Osakokoonpanojen suunnittelun jälkeen niitä lähdettiin mallintamaan pystyrakenteeseen. Ensin lisättiin paikoilleen jigi ja pohjalevy. Sen jälkeen koko suodatusyksikkö lisättiin mallinnukseen ja paikoitettiin jigiin. Pullon pohjan avulla pystytettiin sitten paikoittamaan myös toimilaite ja tarttuja. Kuvassa 11 on esitetty mallinnus kokoonpanolaitteen konseptista ilman suodatusyksikköä.



Kuva 11. Kokoonpanolaitteen konsepti.

3.8 Dokumentointi

3D-suunnittelun tarkoituksena oli saada tuotettua 3D-kuvat laitteeseen tulevista osista ja mallintaa koko laite. Tässä onnistuttiin ja saatiin tehtyä koko laitteen mallinnus ja valmistettavien osien tekniset piirustukset. Sähkökuvat ovat myös tärkeä osa laitteen suunnittelua, ja ne tehtiin Qelectrotech-ohjelmistolla.

Laitteeseen suunnitelluista osista tehtiin myös osaluettelo, johon on listattu toimittaja ja osan hinta. Osaluettelon perusteella voidaan tilata tarvittavat osat laitteen valmistusta varten ja sitä voidaan käyttää myös laitteen kunnossapidossa sen jälkeen, kun laite on tuotantokäytössä. Lopuksi suunnitteludokumenteista rakennettiin kirjasto, johon koottiin kaikki dokumentit osalistauksista sähkökuviin.

4 Turvallisuusominaisuudet

Koneen turvallisuuden ja vaatimustenmukaisuuden suunnittelu alkaa riskiarvioinnilla, jossa voidaan tunnistaa käyttäjälle vaaralliset riskit ja arvioida ne. Tähän käytetään SFS-EN-ISO 12100 -standardia. (SFS-EN ISO 12100 2011.)

Ensimmäinen versio riskinarvioista tehtiin koneturvallisuuden suunnitteluohjelmistolla nimeltä SISTEMA, joka on Saksan työturvallisuusinstituutin kehittämä ilmainen ohjelmisto, joka auttaa suunnittelijoita koneturvallisuuden arvioinnissa SFS-EN-ISO 13849-1 -standardin mukaisesti. SISTEMAlla voidaan määrittää tarvittavat suorituskynnykset ja tuottaa dokumentoinnit, jotka tukevat CE-merkintää. (Software-Assistent SISTEMA: Safety Integrity Software Tool for the Evaluation of Machine Applications 2025.)

Tässä työssä suunnitellussa kokoonpanolaitteessa on tunnistettu tarttujan sisäänpäin oleva liike vaaralliseksi toiminnoksi, joka tarvitsee turvatoimintoja sen riskien vähentämiseksi. Toimilaitteen liike sen sijaan ei tarvitse erillisiä turvatoimintoja, vaan se todettiin turvalliseksi, kunhan pyörimisnopeus on riittävän hidas ja momentti on rajoitettu noin 1 Nm:n arvoon. Häätäispainike kuitenkin pysäyttää myös toimilaitteen.

Seuraavaksi määritettiin vaadittava suoritustaso (PLr). Tähän arvioitiin kolme muuttujaa:

- Vamman vakavuus (S1, S2): vamman vakavuus määritetään sen mukaan, onko saatu vamma lievä (S1) vai vakava (S2) tai jopa kuolema.
- Vaaralle altistumistaajuus (F1, F2): vaaran altistumistaajuus määritetään sen perusteella, tapahtuuko vaaralle altistuminen useammin kuin kerran tunnissa (F2) vai ei (F1).
- Mahdollisuus välttää vaara (P1, P2): muuttuja P1 valitaan, jos tapaturma on mahdollista välttää tai sen vaikutusta voidaan vähentää merkittävästi, mutta jos vaaraa ei voida realistisesti välttää, olisi valittava muuttuja P2.

Kuvassa 12 on esitetty PLr-tason riskigraafin muuttujat ja valinnat liittyen tarttujan riskinarvioon.

Syötä PLr-arvo suoraan
 Määritä PLr-taso riskigraafista

Vaadittava suoritustaso:

The risk graph shows a tree structure of variables. The path S1 (checked) -> F1 (checked) -> P2 (checked) is highlighted in red and labeled 'b'. Other paths are labeled 'a', 'c', 'd', and 'e'.

Vamman vakavuus (S) [A.3.1]

- ✓ S1 Lievä (tavallisesti palautuva vamma)
- S2 Vakava (tavallisesti palautumaton vamma tai kuolema)

Taajuus ja/tai altistumisaika vaaralle (F) [A.3.2]

- ✓ F1 Harvoin tai joskus ja/tai altistumisaika on lyhyt
- F2 Usein tai jatkuvasti ja/tai altistumisaika on pitkä

Mahdollisuus välttää vaaraa tai rajoittaa vahinkoa (P) [A.3.3]

- P1 Mahdollista tietyissä olosuhteissa
- ✓ P2 Tuskin mahdollista

Kuva 12. Kokoonpanolaitteen tarttujan PLr-määrittäminen.

Tiedot tarttujan vaarasta täytettiin ohjelmistoon ja saatiin PLr-tasoksi PLb. Tämä kuva soveltuu myös samalla alustavasti riskinarvioinniksi. SFS-EN-ISO 12100 vaatii kuitenkin laajempaa vaarojen tunnistamista ja riskinvähennysprosessia, joten tarttujan ja toimilaitteen toiminnasta tehtiin myös laajempi riskinarvio. (SFS-EN ISO 12100 2011.)

Seuraavaksi laskettiin järjestelmän saavuttama PL-taso. SISTEMA-projektiin lisättiin kaksi turvatoimintoa, kaksikäsiöjous ja hätäseis. Komponenteiksi kaksikäsiöjouselle valittiin kaksi painiketta ja turvarele. Hätäseistoiminnolle valittiin hätäseispainike ja turvarele. Kuvassa 13 on esitetty SISTEMAan asetetut turvatoiminnot.

Turvatoiminto

IFA

Projektit

- PR SK
 - SF Kaksikäsiöhojaus
 - SB turvarele
 - SB Painikkeet
 - SF Hätäseis
 - SB Hätäseispainike
 - SB turvarele

Asiayhteys

Hätäseis

PLr b

PL e

PFH [1/h] 3,09E-8

PL -

PFH [1/h] -

Luokka (...) -

MTTFD [v] -

DCavg [%] -

CCF -

Dokumentaatio | **PLr** | PL | Alajärjestelmät

Turvatoiminnon nimi: Hätäseis

Turvatoiminnon tunniste:

Turvatoiminnon tyyppi: Turvalaitteen käynnistämä turvallisuuteen liittyvä pysäytystoiminto

Laukaiseva tekijä: Painike

Reaktio ja käyttäytyminen tehonsyötön vikaantuessa: Tarttujan ja toimilaitteen liike pysähtyy.

Turvallinen tila: Tarttuja ja toimilaite on virraton.

Liitännät:

Toimintatapa:

Turvatoiminnon vaateen taajuus:

Jälkikäyntiaika:

Ensisijaisuus:

Dokumentaatio:

Kuva 13. SISTEMAn määrittely.

SISTEMasta saatiin PL-arvoksi PLe. Tämä on korkeampi kuin määriteltä PLr-taso, joka oli PLb. Näiden tietojen perusteella voidaan todeta, että ohjausjärjestelmän komponentit täyttävät standardin SFS-EN-ISO 13849-1 vaatimukset.

5 Yhteenveto ja pohdinta

Työn tarkoituksena oli suunnitella kokoonpanolaite ja pohtia sen suunnittelulle asettamia vaatimuksia. Tilaajalla oli aito tarve laitteelle, ja suunnittelu oli ensimmäinen vaihe laitteen valmistamiseksi. Tavoitteen saavuttamiseksi vaatimusmäärittely oli avainasemassa, jotta suunnittelu lähti liikkeelle oikeaan suuntaan.

Työssä haasteellisinta oli vaatimusten ja turvallisuusstandardien noudattaminen. Koneturvallisuusvaatimukset ovat tärkeä osa automaatiotekniikkaa, ja oli todella kiinnostavaa päästä perehtymään niihin syvällisemmin. Koulussa opittuja taitoja pääsi käyttämään varsinkin 3D-suunnittelussa ja turvapiirien määrittelyissä. Työssä pääsi myös tekemään mekaniikkasuunnittelua, mistä ei ollut vielä paljoa kokemusta.

Laitteeseen tuli muutama muutos suunnittelutyön aikana, mutta suunnittelu sujui kuitenkin hyvin pitkälti vaatimusmäärittelyn mukaisesti. Isoin haaste mallintamisessa oli jiggi, joka vaati tarkkaa mitoittamista, jotta kappale pysyisi siinä tarkasti ja luotettavasti.

Seuraavaksi päästään katselmoimaan laitteen suunnitelmia ja päättämään mahdollisista muutoksista. Laitteen kokonaiskulut ovat myös tiedossa, niin investointipäätös on helppo tehdä. Ensimmäinen vaihe laitteen rakentamisessa on 3D-tulostaa ainakin jiggi ja tarttujan leuat ja testata niiden sopivuus. Nämä voivat tarvita muokkausta tai uudelleensuunnittelua niiden tarkan muodon takia. Muut osat laitteesta ovat joko rungon osia tai valmiita ostettavia osia, joten niiden kanssa ei pitäisi olla ongelmia.

Lähteet

8 Advantages of Pneumatic Systems. 2019. Verkkoaineisto. SMC Pneumatics USA- Orange Coast Pneumatics. <https://www.smc Pneumatics.com/8-Advantages-of-Pneumatic-Systems_b_31.html>. 1.10.2019. Luettu 22.4.2025.

Assembly-equipment. Verkkoaineisto. Assembly Machinery. <<https://assembly-machinery.com/assembly-equipment/#read>>. Luettu 5.5.2025.

CE-merkintä. Verkkoaineisto. Tukes. <<https://tukes.fi/tuotteet-ja-palvelut/ce-merkinta#e8d9fa72>>. Luettu 10.5.2025.

Cope, Kevin. 2018. What Are the Advantages PLCs Have Over Relay Systems. Verkkoaineisto. Realpars. <<https://www.realpars.com/blog/advantages-plcs-over-relay-systems>>. 16.7.2018. Luettu 10.5.2025.

C(D)RQ2B, Compact Rotary Actuator, Rack & Pinion. Verkkoaineisto. SMC Corporation. <<https://www.smc.eu/fi-fi/products/c-d-rq2b-compact-rotary-actuator-rack-pinion~36775~cfg>>. Luettu 26.5.2025.

Electric Rotary Actuators. Verkkoaineisto. SMC Corporation. <<https://www.smc.eu/fi-fi/products/ler~134048~nav?productId=134050>>. Luettu 26.5.2025.

Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2006/42/EY, annettu 17 päivänä toukokuuta 2006, koneista ja direktiivin 95/16/EY muuttamisesta (uudelleenlaadittu) (ETA:n kannalta merkityksellinen teksti). 2006. Verkkoaineisto. EUR-Lex. <<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/TXT/PDF/?uri=CELEX:02006L0042-20190726>>. 9.6.2006. Luettu 29.5.2025.

Final-product-assembly. Verkkoaineisto. NOA Labs. <<https://www.noa-labs.com/service/final-product-assembly>>. Luettu 8.5.2025.

FX5UJ-24MT/ES. Verkkoaineisto. Mitsubishi Electric Europe B.V. <<https://emea.mitsubishielectric.com/fa/products/cnt/plc/plcf/cpu-module/fx5uj-24mt-es.html>>. Luettu 26.5.2025.

Hauke, Michael; Schaefer, Michael; Apfeld, Ralf; Werner, Christian; Bömer, Thomas; Huelke, Michael; Steimers, Andre; Borowski, Torsten; Büllersbach, Karl-Heinz; Dorra, Michael; Foermer-Schaefer, Hans-Georg; Uppenkamp, Jürgen; Lohmaier, Oliver; Heimann, Klaus-Dieter; Köhler, Burkhard; Zilligen, Helmut; Otto, Stefan; Rempel, Paul & Reuß, Günter. 2019. Functional safety of machine controls. Application of EN ISO 13849. IFA Report 2/2017e. Verkkoaineisto. Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung e. V. <<https://publikationen.dguv.de/widgets/pdf/download/article/4150>>. 7/2019. Luettu 10.5.2025.

Koneita koskevat vaatimukset. Verkkoaineisto. Tukes. <<https://tukes.fi/tuotteet-ja-palvelut/koneet#e8d9fa72>>. Luettu 8.5.2025.

Product overview for SIMATIC S7-1200. Verkkoaineisto. Siemens. <https://mall.industry.siemens.com/tst/Api/Catalog/ExportInformation?catalogItemId=S7_1200&lang=en>. Luettu 26.5.2025.

Rao, Ravi. 2023. What is an Actuator? Types, Principles, and Applications. Verkkoaineisto. Wevolver. <<https://www.wevolver.com/article/what-is-an-actuator-principles-classification-and-applications>>. 17.9.2023. Luettu 10.5.2025.

Rothstein, Gary. 2023. Sensors and Actuators: Importance in Industrial Automation. Verkkoaineisto. Anzer. <<https://www.anzer-usa.com/resources/sensors-and-actuators/>>. 5.11.2023. Luettu 5.5.2025.

SFS-EN ISO 12100. 2011. Koneturvallisuus. Yleiset suunnitteluperiaatteet, riskin arviointi ja riskin pienentäminen. SFS Suomen Standardit..

SFS-EN ISO 13851:2019. Koneturvallisuus. Kaksinkäsinhallintalaitteet. Suunnittelu- ja valintaperiaatteet. SFS Suomen Standardit..

Shelby. 2017. What is PLC Programming and Automation?. Verkkoaineisto. Innovative Automation. <<https://innovativeautomation.com/plc-programming-automation/>>. 2.11.2017. Luettu 25.4.2025.

Software-Assistent SISTEMA: Safety Integrity Software Tool for the Evaluation of Machine Applications. 2025. Verkkoaineisto. Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung e. V. <<https://www.dguv.de/ifa/praxishilfen/practical-solutions-machine-safety/software-sistema/index.jsp>>. Päivitetty 16.4.2025. Luettu 8.5.2025.

Two-hand control relay SNZ4052K-A AC 230V(B). Verkkoaineisto. Wieland Electric GmbH. <<https://eshop.wieland-electric.com/products/es/rel%C3%83-bi-manual-snz4052k-a-ac-230vb/R1.188.0950.1?locale=en>>. Luettu 26.5.2025.

User Requirements Specification. Verkkoaineisto. Ofni Systems. <User Requirement Specifications (User Specs, URS) | Ofni Systems>. Luettu 10.5.2025.

Waseem, Umar. final-product-assembly. Verkkoaineisto. Wewolver. <[https://www.wevolver.com/article/automated-assembly-line#programmable-logic-controllers-\(plcs\)](https://www.wevolver.com/article/automated-assembly-line#programmable-logic-controllers-(plcs))>. Luettu 8.5.2025.