



Karelia-ammattikorkeakoulu
Insinööri (AMK)
Konetekniikka

LEVYHAITTALUKON TÄYTTEEN- TARKASTUSLAITTEEN IDEOINTI JA PROTOTYYPIN VALMISTUS

Matias Tirkkonen

Opinnäytetyö, toukokuu 2022

www.karelia.fi



OPINNÄYTETYÖ
Toukokuu 2022
Konetekniikan koulutus

Tikkarinne 9
80200 JOENSUU

Tekijä(t)
Matias Tirkkonen

Nimeke
Levyhaittalukon täytteentarkastuslaitteen ideointi ja prototyypin valmistus

Toimeksiantaja
Abloy Oy

Tiivistelmä

Opinnäytetyön aiheena oli ideoida toimintamekanismi tarkastuslaitteelle Abloy-levyhahtalukon sylinterin täyttekoodin tutkimista varten sekä selvittää erilaisia mahdollisia menetelmiä mekanismille. Työhön kuului myös laitteen mekaniikan prototyypin valmistus ja sen testaus. Laitteen pääasiallisena tarkoituksena on nopeuttaa käsikokoonpanossa tapahtuvaa lukkojen testausta sekä sen myötä vähentää nykyisen testauksen kokoonpanijalle aiheuttamaa toistotyötä.

Suunnittelussa sovellettiin järjestelmällisen koneenrakennuksen kaavaa, jonka tuloksena saatiin ideoitua useampia eri menetelmiä sylinterin hahtalevyjen tunnistukseen. Menetelmiä vertailemalla valittiin paras ratkaisu, jonka pohjalta prototyyppiä lähdettiin suunnittelemaan.

Opinnäytetyön lopputuloksena syntyi toimiva mekanismi sylinterin täytteen tarkastukseen sekä täytteentarkastuslaitteen mekanismin prototyyppi. Prototyypin avulla tehdyllä testauksella tutkittiin mekanismin luotettavuutta ja toimintaa.

Testin perusteella laitteen mekanismi voitiin katsoa toimivaksi ja luotettavaksi sekä näin ollen työ onnistuneeksi.

Kieli
suomi

Sivuja 53
Liitteet 4
Liitesivumäärä 4

Asiasanat
koneenrakennus, valmistustekniikka, prototyypit



THESIS
May 2022
Degree Programme in Mechanical engineering

Tikkarinne 9
80200 JOENSUU
FINLAND

Author (s)
Matias Tirkkonen

Title
Ideation and Manufacturing for a Prototype of a Disc Lock Filling Tester

Commissioned by
Abloy Oy

Abstract

The topic of the thesis was to find ideas for an operating mechanism of the inspection device of the Abloy disc lock filling and to find out various possible methods for the mechanism. The work also included making a prototype of the device's mechanics and testing it. The main purpose of the device would be to speed up the testing of locks in a manual assembly, thereby reducing the repetitive work required by the current test for the assembler.

In the design, the formula of systematic mechanical engineering was applied which resulted in several different methods for the identification of the discs. By comparing the methods, the best solution was chosen, on the basis of which the prototype was designed.

As a result of the thesis, a working mechanism for checking the filling of the cylinder was created, and a prototype of the mechanism of the filling inspection device was made. The reliability and operation of the mechanism was tested with the prototype. Based on the test, the mechanism of the device was found to be functional and reliable and thus the work was successful.

Language
Finnish

Pages 53
Appendices 4
Pages of Appendices 4

Keywords
machine construction, manufacturing engineering, prototypes

Sisällysluettelo

1	Johdanto	5
2	Abloy Oy ja levyhaittalukko	6
3	Järjestelmällinen koneenrakennus	8
4	Anturit	10
4.1	Anturit yleisesti	10
4.2	Kaksitilaiset asema-anturit	11
4.3	Mekaaniset rajakytkimet	11
4.4	Induktiiviset anturit	13
4.5	Kapasitiiviset anturit	13
4.6	Optiset anturit	14
5	Moottorit	14
5.1	Sähkömoottorit yleisesti	15
5.2	Askelmoottorit	15
5.2.1	MR-moottorit	16
5.2.2	KM-moottorit	17
5.2.3	Hybridimoottori	17
5.2.4	Askelmoottoreiden edut ja haitat yleisesti	18
5.2.5	Askelmoottorin ohjaus	18
5.3	Servomoottorit	20
5.3.1	Harjattomat DC-servomoottorit	21
5.3.2	AC-servomoottorit	21
5.3.3	Lineaariaktuaattorit	21
6	Konenäkö	22
7	Vaatimusluettelo	23
7.1	Kokonais- ja osatoimintoihin jakaminen	23
7.2	Karkea ideointi osatoimintojen pohjalta	24
8	Moottorivaihtoehdot haittojen kääntämiseen	26
9	Menetelmät haitan urien tunnistamiseen	27
10	Prototyypin suunnittelu ja mallinnus	30
10.1	Karkea hahmotelma	30
10.2	Koskettimen ja rungon muotoilu	31
10.2.1	Koskettimen ja rungon päämitat	31
10.2.2	Koskettimien nosto ja tarvittavat jousivoimat	32
10.2.3	Koskettimen joustot	33
11	Prototyypin valmistus	37
11.1	Laitteen runko	38
11.2	Koskettimet	41
11.3	Mikrokytkinten valinta ja paikoitus	45
11.4	Valmis kokoonpano	47
12	Prototyypin toiminnan testaus	48
13	Automaation toimintaperiaate	49
13.1	Mittausdata	50
13.2	Moottoreiden ajoitus	51
14	Pohdinta	52
	Lähteet	53

Liitteet

Liite 1	Rungon päämitat
Liite 2	Rullan päämitat
Liite 3	Koskettimen päämitat
Liite 4	Piirilevyn päämitat

Käsitteet

-FDM (Fused deposition modeling): 3D-tulostusprosessi, jossa filamenttia syötetään kuumen suuttimen läpi. Sulanut filamentti pursotetaan tulostusalustalle, jossa filamentti kovettuu uudelleen kerros kerrokselta haluttuun muotoon.

-PLA (Polylaktidi): Yleisesti 3D-tulostuksessa käytetty biohajoava muovimateriaali.

1 Johdanto

Opinnäytetyön aiheena on ideoida ja valmistaa täytteentarkastuslaitteen mekaanismin prototyyppi ABLOY-avainjärjestelmien sylinterin täytekkoodin tarkastusta varten. Laitteen tarkoituksena on, että valmiin sarjahaitoitettun lukon mekaaniseen testaukseen riittäisi vain yksi testausavain. Nykyisessä kokoonpanomennetelmässä lukko on testattava useilla eri avaimilla siten, että jokainen haittalevyssä oleva kolo tulee testattua.

Opinnäytetyössä tutkitaan eri vaihtoehtoja haittalevyjen kolojen tunnistukseen ja pyritään valmistamaan laitteen prototyyppi. Peruseriaatteena on, että haittoja käännetään moottoriin liitetyllä avainaihiolla askel kerrallaan ja tutkitaan, mitkä kolot ovat näkyvissä kyseisellä kiertokulmalla.

Laitteen pääasiallinen tarkoitus on nopeuttaa avainpesän kokoonpanoa ja tarkastusta. Täytteentarkastuslaitteen suurena hyötynä on myös, että se vähentää lukon testausprosessista aiheutuvaa toistotyötä ja sen mukanaan tuomia rasitusvammoja. Lukkojen käsikokoonpano on lähes jatkuvaa toistotyötä, sillä kappalemäärät ovat useimmiten suuria, jopa tuhansia kappaleita. Työssä toistuvat samat liikkeet lyhyellä vaiheajalla. Käsikokoonpanossa etenkin lukkojen testausvaihe rasittaa kokoonpanijan käsiä, vaikkei se erityisemmin voimaa vaadikaan. Testauksessa avainta täytyy kiertää lukossa useita kertoja toiminnan varmistamiseksi. Toistuva kiertoliike rasittaa testaajan rannetta. Toistotyötä tauottaa ainoastaan työvaiheiden vaihtuminen ja työehtosopimuksen määräämät elpymis- ja lounastauot.

Työsuojeluhallinto määrittelee toistotyön työksi, jossa lyhyet, samanlaiset työvaiheet toistuvat. Työvaiheet muistuttavat toisiaan kestoiltaan, voimankäytöltään ja työliikkeiltään. Yleensä toistotyönä pidetään työtä, jossa yksi työvaihe on lyhyt kestoinen tai työvaihe sisältää samojen liikkeitten toistoa yli puolet työvaiheajasta, riippumatta työvaiheen pituudesta. (Työsuojeluhallinto 2021.)

Laitteen suunnittelu tässä opinnäytetyössä rajataan lähtökohtaisesti Protec 2-avainjärjestelmää varten. Pienillä muutoksilla sitä voitaisiin hyödyntää myös lähes kaikissa muissakin lukkotyypeissä. Suunnittelu tapahtuu järjestelmällisen koneensuunnittelun periaatteita soveltaen. Työn lopputuloksena laitteesta valmistetaan myös prototyyppi. Prototyypin avulla tutkitaan sen toimintavarmuutta täytekoodin tarkastamisessa. Tästä koostuu tutkimuksellinen osuus opinnäytetyöstä.

Laitteen toiminta vaatii automaatiota, mutta sen suunnittelu ei kuulu tähän opinnäytetyöhön. Pohdinta-osiossa kuitenkin tarkastellaan, onko laitteen jatkokehitys ja automaation suunnittelu kannattavaa. Tähän vaikuttaa prototyypin toiminnan luotettavuudesta tehtävä testaus.

2 Abloy Oy ja levyhaittalukko

Tässä kappaleessa esitellään opinnäytetyön toimeksiantaja ja heidän tuotteensa yleisesti. Lisäksi avataan lukon toimintamekanismia, josta heidän tuotteensa ovat tunnettuja.

2.1 Abloy Oy

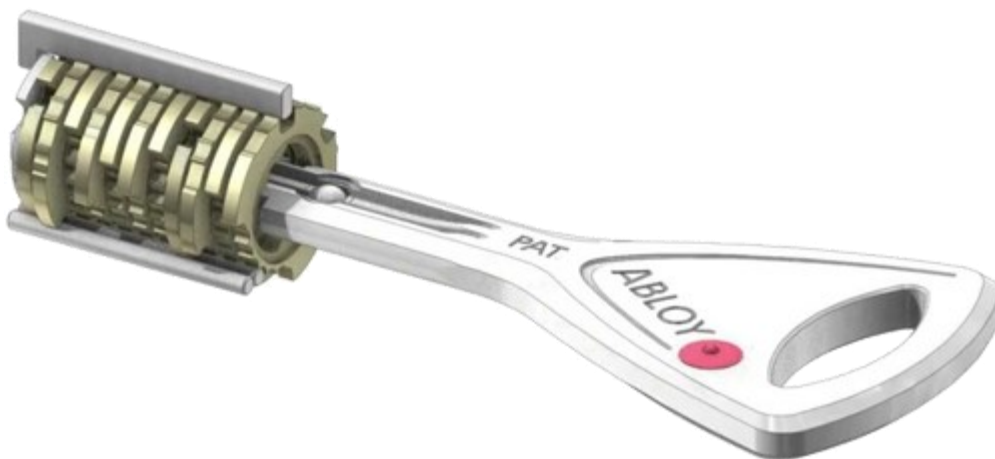
Abloy tuottaa mekaanisia, sähkömekaanisia sekä digitaalisia turvallisuus- ja kulunhallintaratkaisuja. Lukot tunnetaan erityisesti ainutlaatuisesta kiertyviin haittalevyihin perustuvasta mekanismista, jonka toimintaperiaatteen keksi kassakoneesta helsinkiläinen hienomekaanikko Emil Henriksson vuonna 1907. Hän oivalsi, että kassakoneen kiertyvien haittojen mekanismia voi hyödyntää myös lukossa. (Abloy Oy 2021.)

Joensuun tehdas perustettiin vuonna 1968. Se työllistää 800 henkilöä ja toimittaa 3,4 miljoonaa tuotetta vuosittain. Tuotteisiin kuuluu mekaanisia ja sähkömekaanisia avaimia ja ovisylintereitä, sähkölukkoja, mekaanisia lukkorunkoja,

teollisuuslukkoja, ovenkahvoja ja -vetimiä, ovensulkijoita ja automatiikkaa. (Abloy Oy 2021.)

2.2 Abloy-levyhaitalukon toimintaperiaate

Abloy-lukon toiminta perustuu haittalevyihin, jotka pyörivät lukkosylinterissä avainta käännettäessä. Lukoissa on haittalevyjä eri määrä lukkotyypistä riippuen. Haitan ulkokehällä on yksi tai useampi kolo, riippuen siitä, onko kyseessä normaali, vai sarjahaitta. Kolon tarkoituksena on, että lukituksen aikaansaava haittatanko pääsee putoamaan siihen, kun haittalevyjä on kierretty oikeanlaisella avaimella. Kuvasta 1 erottuvat hyvin sekä haittalevyt, että haittatanko. Kuvassa näkyvä Protec 2 on eräs Abloyn avainjärjestelmistä. Haittalevyn kiertokulmaan vaikuttaa avaimen tehdyn jyrinnän syvyys ja kulma. Kun avain on oikea, haittalevyt kääntyvät siten, että niissä olevat kolot muodostavat samassa linjassa olevan uran. Tällöin telkenä toimiva haittatanko uppoaa uraan, joka mahdollistaa avaimen kierron jatkumisen. Tämän seurauksena saadaan aikaan liike, joka mahdollistaa esimerkiksi lukitusteljen tai sähkökytkimen kääntämisen.



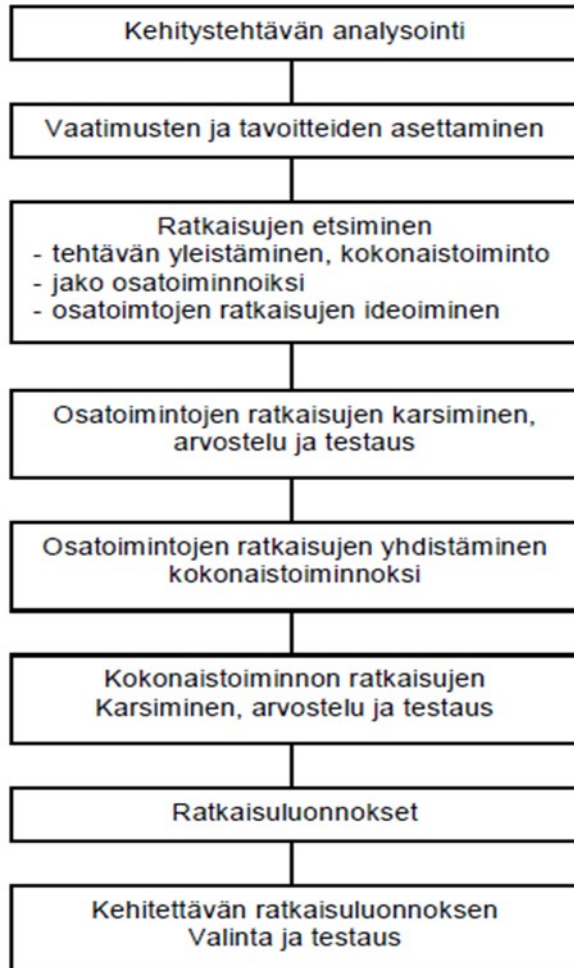
Kuva 1. Protec 2 (Kuva: Abloy Oy)

Useammalla kololla varustetuilla sarjahaitoilla mahdollistetaan lukon aukeaminen erilaisilla avaimilla. Tällaisia sarjahaitoitettuja lukkoja voidaan käyttää esimerkiksi kerrostalojen varastotiloissa, joihin jokaisen asukkaan tulee päästä oman asuntonsa avaimella.

3 Järjestelmällinen koneenrakennus

Tuotekehitysprosessi voidaan jakaa karkeasti neljään eri osaan: käynnistäminen, luonnostelu, kehittäminen ja viimeistely. Perusedellytyksinä uuden tuotekehitysprojeffin käynnistämiseksi on tarve tuotteesta ja mielikuva sen toteuttamismahdollisuudesta. Pelkästään uuden tuotteen tarve ei riitä projektin käynnistämiseksi. Toimivan tuotteen valmistusta edellyttää myös, että se ylipäätään on mahdollista toteuttaa. Esimerkiksi ikiliikkuja olisi hyvinkin tarpeellinen laite, mutta toteuttamismahdollisuuksien puuttuessa ei tuotekehitysprojejektijakaan ole järkevä käynnistää. (Jokinen 2010, 14, 17.)

Luonnosteluvaiheessa etsitään vaihtoehtoisia ratkaisuluonnoksia kehitettävälle tuotteelle. Työvaiheet ovat samat, mitä käytetään päätöksenteossa tai ongelman ratkaisemisessa. Menetelmiä näihin on laadittu useita erilaisia. Yleisesti ratkaisun kulku menee seuraavassa järjestyksessä: ongelman havaitseminen, asiatietojen hankinta ja ongelman analysointi, vaatimusten ja tavoitteiden laattaminen, ratkaisuideoiden etsiminen, ideoiden karsiminen ja arvostelu, valittujen ratkaisujen testaus, sekä lopullisen päätöksen tekeminen. Kuviossa 1 työvaiheet ovat kulkukaaviona. Työ etenee muuten kaavion mukaisessa järjestyksessä, mutta eri vaiheiden ratkaisujen karsimiset, arvostelut ja testaukset tapahtuvat vasta viimeisenä. (Jokinen 2010, 21-22.)



Kuvio 1. Luonnostelun työvaiheet (Jokinen 2010, 22.)

Olennaisena osana luonnosteluvaiheeseen kuuluu tehtävän yleistäminen, eli kokonaistoiminnon määrittäminen ja jako osatoiminnoiksi. Nämä vaiheet tapahtuvat vaatimusten asettamisen jälkeen. Kokonaistoiminto kertoo nimensä mukaisesti tuotteen päätehtävän. Tämä ilmaistaan yleensä lyhyesti substantiivista ja verbistä koostuvalla virkkeellä kuten ”himentää valo” tai ”nostaa kuorma”. Toimintoajattelun on huomattu helpottavan uusien ratkaisumahdollisuuksien löytämistä. (Jokinen 2010, 31.)

Osatoimintoihin jakamisella taas saadaan helpotettua monimutkaisen kokonaistoiminnon ratkaisemista. Kun osatoiminnoille on saatu ensin etsittyä ratkaisut, niitä voidaan yhdistellä ja saada tämän avulla ratkaisumahdollisuuksia kokonaistoiminnolle. (Jokinen 2010, 31.)

4 Anturit

Täytteen tarkastuslaitteen automaatio tarvitsee toimiakseen asemaa mittaavia antureita. Tässä kappaleessa esitellään erilaisia anturityyppejä.

4.1 Anturit yleisesti

Anturit ovat mittalaitteita, joiden avulla voidaan mitata tai tunnistaa fysikaalisia ja kemiallisia ilmiöitä sekä muuttaa saatu tieto esimerkiksi sähköiseksi signaaliksi. Ne voidaan jakaa karkeasti kahteen ryhmään: mittaaviin ja tunnistaviin. (Keinänen & Sumujärvi 2019, 206.)

Mittaavat anturit antavat mitattavasta kohteesta jatkuvaa tietoa, ja kohteella voi olla useita eri arvoja mittausaikana. Käyttökohteina on lähinnä prosessiteollisuus ja kiinteistöautomaatio. Anturin antama tieto on yleensä analoginen signaali. Tunnistavilla antureilla voidaan tunnistaa esimerkiksi esineiden tai koneenosien paikkoja. Tyypillisesti tällaiset anturit kertovat ainoastaan, tunnistako anturi esinettä. Tällöin anturin antama signaali on joko 1 tai 0. (Keinänen & Sumujärvi 2019, 206.)

Anturin osia ovat tuntoelin (sensor), mittamuunnin (transducer) ja mittalähetin (transmitter). Tuntoelin on se osa anturia, johon mitattava ilmiö vaikuttaa. Mittamuuntimen tehtävä on muuntaa mitattavan suureen arvot eli mittausarvot mittausviestiksi, kuten sähköjännitteeksi tai -virraksi. Mittalähetin muuntaa mittausviestin standardin mukaiseksi lähtöviestiksi (esimerkiksi 4-20 mA DC). Koneessa olevan ohjausjärjestelmän avulla voidaan muuntaa vastaanotettu lähtöviesti mittaustulokseksi, jota käytetään hyväksi säädössä ja raportoinnissa. Anturin nimellisen mitta-alueen on oltava vähintään samansuuruinen kuin mitattava arvo. (Airila 1999, Luku: 4.1, 1.)

Eri mitattaville suureille on olemassa omanlaisensa anturit. Älykkäät anturit ohjaavat omaa toimintaansa annettujen loogisten sääntöjen mukaan tai yhdistelee laskennallisesti mittausviestejä (esim. konenäkö). Asemaa voidaan mitata hetkellisesti tai jatkuvasti. Esimerkiksi kappaleen läsnäolon tunnistamiseen kuljettimella voidaan käyttää kaksitilaista asema-anturia, kun taas robotin nivelen kiertymä on tiedettävä koko ajan, jolloin tarvitaan jatkuvaa asemanmittausta. Kaksitilaisia antureita ovat muun muassa mekaaniset rajakytkimet, induktiiviset kytkimet, kapasitiiviset kytkimet ja hall-kytkimet. Jatkuvassa aseman mittauksessa voidaan käyttää inkrementtiantureita tai absoluuttiantureita. Karkeasti näiden erona on, että absoluuttianturi ilmoittaa tarkan aseman myös sähkökatkosta ja mekaanisesta luistosta huolimatta, johon inkrementtianturi ei kykene. Nopeuden mittauksessa taas käytetään nopeusantureita, tai se voidaan laskea myös asematiedon muutoksesta. Kiihtyvyys, voima ja vääntömomentti mitataan yleensä epäsuorasti muodonmuutoksen avulla. (Airila 1999, Luvut 4.2-4.3.)

4.2 Kaksitilaiset asema-anturit

Tunnistaviin antureihin kuuluvat kaksitilaiset anturit, eli lähestymiskytkimet ilmoittavat kappaleen sijainnista määrätyllä alueella. Nimensä mukaisesti jännite- tai virtasignaali voidaan muuntaa sensorissa vallitsevan aseman, eli tilan perusteella ohjausjärjestelmän vaatimaksi loogiseksi nollaksi tai ykköseksi. (Airila 1999, Luku 4.2.)

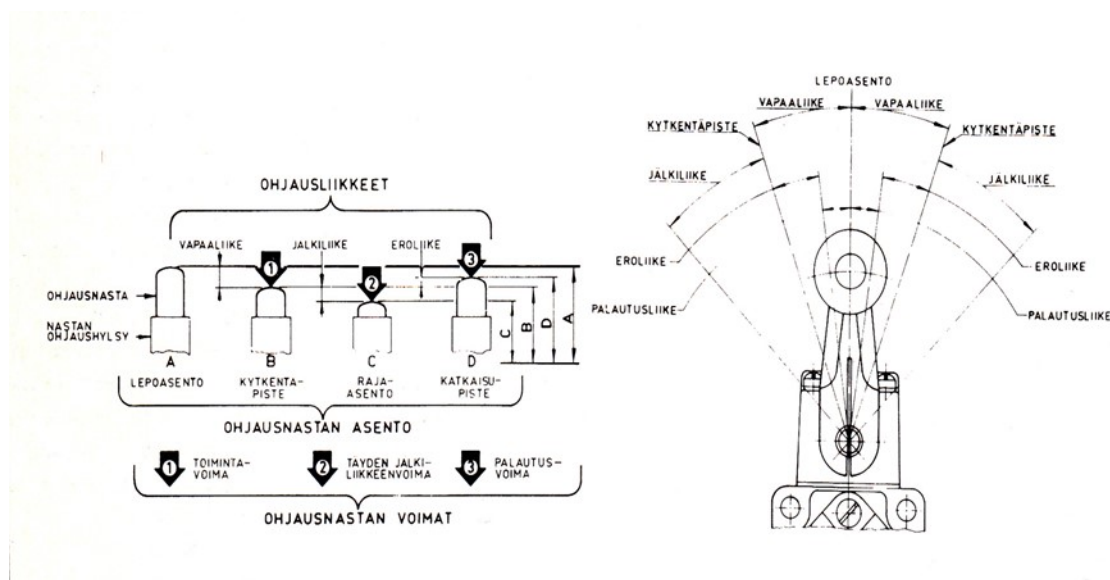
4.3 Mekaaniset rajakytkimet

Mekaanisilla antureilla voidaan tunnistaa esimerkiksi kappaleen läsnäolo kuljettimessa, pakkauskoneessa, lastulevykoneessa ja työstökoneessa. Rajakytkimet soveltuvat sellaisenaan ainoastaan kiinteiden kappaleiden tunnistukseen, sillä ne vaativat selkeän kosketuksen kappaleeseen. Mekaanisen kytkimen käyttö ei onnistu nopeissa sovelluksissa, sillä tilanvaihtoon kuluva aika on melko pitkä (2-10 ms) ja kytkentätaajuus on vaatimaton 1-3 kytkentää sekunnissa. Kytkimen liitäntä ohjausjärjestelmään onnistuu kahdella johtimella, ja ne soveltuvat sekä vaihto- ,että tasasähkölle 250-500 voltin jännitteille saakka. Ne myös kestävät

suurempaa kuormitusvirtaa (4-16A) kuin muut kaksisuuntaiset anturit. Kytkimet toimivat mallista riippuen -40°C - $+200^{\circ}\text{C}$ lämpötiloissa. Tämän lisäksi mekaaniset rajakytkimet ovat edullisia ja toimintavarmoja. (Airila 1999, Luku 4.2.)

Mekaanisissa rajakytkimissä kytKentä tapahtuu mekaanisilla koskettimilla. Kosketintyyppejä ovat mm. kaksoisrinnakkaiskoskettimet, aseteltavat koskettimet, jotka voidaan säätää ruuvimeisselin avulla sulku-, avaus- tai hipaisukoskettimiksi, sekä pieniliikkeiset ponnahduskoskettimet tarkkoja kytKentöjä varten. Erikoismalleina on lisäksi momenttitoimisia kytkimiä, joiden kosketinpaine pysyy samana toimintahetkeen asti. (Kuoppala, Nevala & Tyni 1986, 5.)

KytKimen ohjaustoiminnan kannalta tärkeimpiä liikkeitä ja toimintapisteitä ovat vapaaliike, kytKentäpiste, jälkiliike ja eroliike (kuvio 2). Mekaanista liikettä kytKimen koskettimelle välittää ohjain, joka voi olla esimerkiksi työnnin, rullavipu, kulmavipu rullavarsi, kääntötanko tai haarukkavipu. (Kuoppala ym. 1986, 5.)



Kuvio 2. Rajakytkimen liikkeet ja toimintapisteet (Kuoppala ym. 1986)

4.4 Induktiiviset anturit

Induktiivinen anturi on eniten käytetty anturityyppi ja se on lähes kokonaan syrjäyttänyt mekaaniset rajakytkimet. Induktiivinen anturi kykenee tunnistamaan ai-noastaan metallisia kappaleita. Tunnistusmatka on tavallisesti 2-20 mm, mutta erikoismallit kykenevät tunnistamaan jopa useiden kymmenien millimetrin päästä. (Keinänen & Sumujärvi 2019, 209.)

Tunnistaminen tapahtuu tuntokelan ja värähtelypiirin avulla. Kun piiri värähtelee, tuntokela muodostaa ympärilleen magneettivuon. Metalliesineen lähestyessä magneettivuota, siihen syntyy pyörrevirtoja, mikä kuormittaa samalla värähtelypiiriä. Kun kuormitus lisääntyy tarpeeksi, värähtely pysähtyy ja saadaan tieto metalliesineen tunnistuksesta. Koska anturi tuottaa erilaisen ulostulosignaalin kappaleen koon mukaan, sitä voidaan käyttää eri kokoisten osien tunnistukseen ja lajitteluun. (Keinänen & Sumujärvi 2019, 209.)

Induktiivinen kytkin ei vaadi kosketusta, mikä antaa paljon sovellusmahdollisuuksia ja takaa anturin mekaanisen kestävyuden. Käyttökohteita ovat mm. liikkuvien koneenosien ja työkappaleiden paikantaminen, kappaleiden laskenta ja pyörimisnopeuden mittaaminen. (Airila 1999, Luku 4.2.)

4.5 Kapasitiiviset anturit

Kapasitiiviset anturit vastaavat induktiivisia antureita rakenteeltaan ja sähköisiltä kytkennöiltään. Erona on, että kapasitiivisen anturin tunnistuselimänä on avattu kondensaattori, jonka ansiosta anturi kykenee tunnistamaan metallin lisäksi myös muita materiaaleja. (Keinänen & Sumujärvi 2019, 211.)

Anturin tunnistusetäisyyteen vaikuttavat olosuhteet, kuten pöly, kosteus ja lämpötila. Käytännössä tunnistusetäisyys on noin 10-40 mm. Anturin herkkyyttä säätämällä se voi tunnistaa myös esimerkiksi lasin, muovin tai pahvipakkauksen läpi. (Keinänen & Sumujärvi 2019, 211.)

4.6 Optiset anturit

Optiset kytkimet tunnetaan myös valosähköisinä kytkiminä. Niitä käytetään monipuolisesti kappaleenkäsittelyn automaatioissa ja turvajärjestelmissä niiden ylivoimaisen tunnistusetaisyuden ansiosta, joka voi olla jopa 6-8 metriä. Kytkin koostuu valoa lähettävästä diodista ja valoa vastaanottavasta transistorista. Rakenteen perusteella valokytkimet on jaettu neljään ryhmään. (Airila 1999, Luku 4, 7-8.)

Vastaanotinperiaatteella toimivissa ei ole erillistä lähetintä, vaan vastaanotin tunnustelee esimerkiksi kuuman metallin lähettämää infrapunavaloa. Lähetin-vastaanotinperiaatteella toimivassa tunnistettava kappale katkaisee valonsäteen kulun. Suoraan heijastavalla periaatteella toimivassa lähetin ja vastaanotin ovat samassa yksikössä. Siinä lähetimen tuottama valonsäde palautetaan heijastimella ja tunnistettava kappale katkaisee valon kulun. V-heijastavalla periaatteella toimivassa kytkimessä lähetin ja vastaanotin ovat samassa yksikössä ja kappale itsessään toimii heijastimena. Tällöin tunnistusetaisyuden on kuitenkin oltava riittävän lyhyt. Lisäksi on olemassa kuitukaapelikytkimiä, jotka ovat pienikokoisia optisia antureita. Ne lähettävät ja vastaanottavat valosignaalin kuitukaapelin välityksellä. Tällaisia kytkimiä voi käyttää pienien ja tarkkojen kappaleiden tunnistukseen, jolloin ne voisivat soveltua hyvin myös tämän oppinäytteen sovellukseen. (Airila 1999, Luku 4, 7-8.)

5 Moottorit

Täyhteentarkastuslaitteessa tullaan tarvitsemaan sähkömoottoreita. Haittojen kääntäminen avainaihion avulla tarvitsee moottorin, joka kääntää avainaihiota askelittain tietyn kulman verran kerrallaan. Tämän lisäksi moottorilta on saatava tieto vallitsevan kiertokulman suuruudesta. Moottoria tarvitaan myös tunnistuskoskettimien liikuttamista varten, mikäli sellaisia päädytään käyttämään.

5.1 Sähkömoottorit yleisesti

Servo- ja askelmoottorit ovat yleisesti automaatiossa käytettyjä voimanlähteitä. Servomoottoreissa rakennevaihtoehtoina ovat tasasähkö- eli DC-servomoottori, harjaton DC-servomoottori ja vaihtosähkö- eli AC-servomoottori. Vaihtosähkömoottorista löytyy vielä kaksi eri vaihtoehtoa: synkroni- eli tahtimoottori tai asynkroni- eli epätahtimoottori. Askelmoottoreita voidaan käyttää pientä momenttia vaativissa sovelluksissa digitaalisen ohjauksen yhteydessä. Askelmoottorin tarkka liikenopeus ja loppuasema on saavutettavissa, jos järjestelmä suunnitellaan huolellisesti ja sen käyttäytyminen tunnetaan hyvin. Askelmoottoria on mahdollista käyttää myös takaisinkytketyissä järjestelmissä. Robotiikassa suorakäyttömoottorit ovat yleisiä, sillä niillä saadaan suuri vääntömomentti myös pienellä pyörimisnopeudella, jolloin alennusvaihteita ei tarvita. Suorakäyttömoottorit tehdään servo- tai askelmoottoriperiaatteella toimiviksi. (Airila 1999, Luku 5.2, 4.)

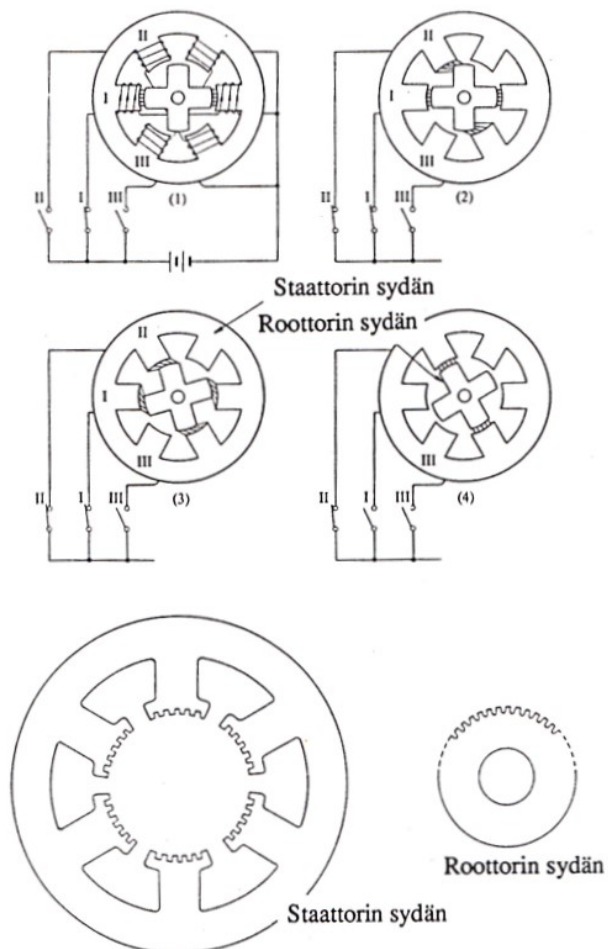
5.2 Askelmoottorit

Askelmoottorin ohjaus tapahtuu jännitepulsseilla askel kerrallaan. Roottorin tarkka asema ja pyörimisnopeus voidaan laskea lähetetyistä jännitepulsseista, mikäli moottoria käytetään oikealla toiminta-alueella, eikä tällöin tarvita asematai nopeustakaisinkytkentää. Askelten välinen asemointivirhe on tyypillisesti alle 0,1 astetta eikä se kumuloidu pitkissäkään liikkeissä. Ohjauspulsseista inkrementaalisesti muodostettu asematieto saatetaan kuitenkin menettää, jos moottori ylikuormittuu ja hukkaa askelia. Vaativissa sovelluksissa askelmoottoreissakin käytetään suljettua säätöpiiriä. (Airila 1999, Luku 5, 28.)

Moottori soveltuu erityisen hyvin digitaalisen ohjauksen yhteyteen laboratorio-laitteisiin, pieniin x-y-pöytiin ja muihin pientä vääntömomenttia vaativiin kohteisiin. Moottorin lisäksi järjestelmään kuuluu ohjain, jonka tehtävänä on muodostaa ja ohjata pulssit oikeaan aikaan sopivalla taajuudella eri käämeille. (Airila 1999, Luku 5, 28.)

5.2.1 MR-moottorit

Muuttuvan reluktanssin moottori on askelmoottorin perustyyppi. Oheisessa kuviossa 3 on esimerkki kolmivaiheisesta moottorista. Siinä on kuusi staattorin napaa, joista kaksi vastapäistä magnetoidaan käämin avulla samanaikaisesti muodostaen yhden vaiheen. Staattorin keskellä on nelihampainen roottori, joka valmistetaan yleensä laminoidusta piiteräksestä. Roottorin pyörimisliike syntyy, kun jokainen vaihe aktivoidaan erikseen. Askelkulman suuruus määräytyy vaiheiden lukumäärän ja roottorin hampaiden määrän mukaan. Askelkulmaa voidaan pienentää aktivoimalla useampia vaiheita saman aikaisesti, jolloin myös askeleiden lukumäärä kierrosta kohden kasvaa, mutta vääntömomentti heikenee ja asemoinnin tarkkuus kärsii. (Airila 1999, Luku 5, 28.)



Kuvio 3. Muuttuvan reluktanssin askelmoottori (Airila 1999)

MR-moottorin hyviä ominaisuuksia ovat pieni askelkulma (1,8 astetta tai pienempi) sekä nopea kiihtyvyys ja pyörimisnopeus. Huonoiksi puoliksi voidaan katsoa matala vääntömomentti, puutteellinen pidätysmomentti, kova ääni ja mikroaskelluksen puute. (Orientalmotor 2020.)

5.2.2 KM-moottorit

Kestomagnetoidussa askelmoottorissa roottorina toimii sylinterimäinen kestopagneetti. Tämän tyyppisiä moottoreita käytetään lähinnä silloin, kun moottorin on pysyttävä tasapainoasemassa myös virrattomassa tilassa. KM-moottoriin on vaikea saada monia käämejä, joten askelkulma jää suureksi. Tämä voidaan katsoa opinnäytetyön kannalta huonoksi ominaisuudeksi. (Airila 1999, Luku 5, 28.)

Hyvinä ominaisuuksina KM-moottori kykenee mikroaskellukseen ja pyörimistä pidättävään vääntömomenttiin. Lisäksi se on hiljainen. (Orientalmotor 2020.)

5.2.3 Hybridimoottori

Hybridimoottori on rakenteeltaan ja ominaisuuksiltaan reluktanssi- ja kestopagneettimoottorin yhdistelmä. Suurin ero muihin moottoreihin verrattuna on kahden vaiheen käämityksen sijoittaminen samaan napapiiriin, jolloin siihen voidaan kehittää sähkömagneetin etelä- tai pohjoisnapa. Roottorin kestopagneettissa navat on sijoitettu päätyihin. Kestopagneetti on päällystetty teräslevyistä meistetyillä renkailla ja päätylaipoilla, joissa on aksiaalinen hammastus. Roottorin etelä- ja pohjoisnavan päällä olevissa hammastuksissa on puolen hampasmaajan suuruinen vaihesiirtymä, joka on oleellinen moottorin toiminnan kannalta. Staattorin käämit luovat toisen magneetikentän. Magneettivuo kulkee moottorin sisällä aksiaalisesti ja radiaalisesti. Staattorin ja roottorin hammasrakenteen välinen rako saa aikaan vääntömomentin. Tehollinen momentti syntyy, kun roottorin pohjoisnavan hampaat ovat hampaan verran vaihesiirrossa etelänavan

hampaisiin nähden. Tämän johdosta magneettien väliset veto- ja työntövoimat saadaan hyödynnettyä. (Airila 1999, Luku 5, 28.)

Hybridimoottoreiden ominaisuuksia ovat pieni askelkulma (1,8 astetta tai pienempi), korkea vääntömomentti, pyörimistä pidättävä vääntömomentti, nopea kiihtyvyys, hiljainen ääni ja mahdollisuus mikroaskellukselle. (Orientalmotor 2020.)

5.2.4 Askelmoottoreiden edut ja haitat yleisesti

Johnsson ja Kördel (1999, 29) listaavat kirjassaan askelmoottorien hyötyjä ja haittoja.

Askelmoottorien hyviä puolia ovat:

- yksinkertainen ja tukeva rakenteeltaan
- suuri vääntömomentti alhaisella nopeudella
- hyvä servomoottori asennonohjaukseen, koska ei vaadi takaisinkytkentää
- ei vaadi vaihteistoa.

Askelmoottorien huonoja puolia:

- pieni vääntömomentti suurilla pyörimisnopeuksilla
- mahdollisuus joutua resonanssiin joillain taajuuksilla
- takaisinkytkentää vääntömomentista ei ole mahdollista saada.

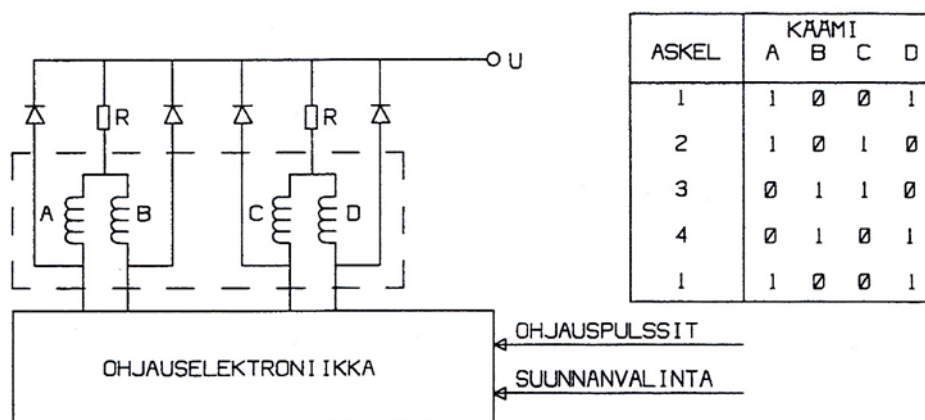
(Johnsson & Kördel 1999, 29.)

5.2.5 Askelmoottorin ohjaus

Askelmoottorien ohjaimia on saatavilla monia erilaisia. Sarjaväylän ja trimmereiden avulla voidaan määritellä kiihtyvyyttä, hidastuvuutta ja ajonopeuksia. Ohjaimen tilatiedot ja moottorin asema saadaan sarjaväylän avulla. Moottorin

asemointi on mahdollista varmistaa enkooderilla toteutetulla takaisinkytkennällä, mikä parantaa myös moottorin dynaamisia ominaisuuksia. Takaisinkytkentään turin huonona puolena on kuitenkin sen tuomat lisäkustannukset. (Fonselius, Rinkinen & Vilenius 1997, 151.)

Askelmoottorin ohjaimessa on kytkimet, joista virta ohjataan tietyssä järjestyksessä staattorikämeihin ja kytkimen ohjauselektroniikkaan. Kuviossa 4 on yksinapainen L-R-ohjain, joka ohjaa moottoria täysiaskelin, eli moottorin neljästä käämistä kaksi on virrallisena saman aikaisesti. Ohjauselektroniikka kytkee virran staattorikämeihin A, B, C ja D taulukon mukaisessa järjestyksessä. (Fonselius ym. 1997, 151.)



Kuvio 4. Askelmoottorin ohjaus (Fonselius ym. 1997)

Ennen moottorin pieni-impedanssista käämiä on oltava sarjavastus R, jotta käämin kautta kulkeva virta ei nouse liian suureksi ja polta käämiä poikki. Mikäli taas käyttöjännite laskettaisiin niin pieneksi, ettei sarjavastusta tarvittaisi, olisi moottorin suurin sallittu askelnopeus alhainen. Askelmoottorin momentti kasvaa merkittävästi sarjavastuksen ansiosta keskisuurissa nopeuksissa, sillä vastus nopeuttaa käämin virran pienenemistä katkaisutilanteissa ja askelelta toiselle siirtyminen nopeutuu. Vastuksen käytön seurauksena syntyy yleensä niin suuri tehohäviö, että tuuletin on tarpeen riittävän jäähdytyksen aikaansaamiseksi. Jos syöttöjännite U tehdään säädettäväksi, eli käytetään jännitteensäätöohjainta, vastus voidaan jättää pois. Pientä jännitettä käytetään pienillä askelnopeuksilla

ja täyttää jännitettä suurissa nopeuksissa. Jännitteensäätöohjaimet ovat kuitenkin kalliimpia kuin L-R-ohjaimet. (Fonselius ym. 1997, 151-152.)

Moottoria voidaan ohjata myös puoliaskelin. Tämä tapahtuu ohjaamalla akselien väliin tila, jossa vain yhdessä käämissä kerrallaan on virtaa. Puoliaskelluksen avulla saadaan vaimennettua resonanssia, joka syntyy tietyillä askellusnopeuksilla. Mikroaskelluksessa edetään vähitellen askelesta toiseen käämien virranvoimakkuuksia asteittain muuttamalla ja näin mahdollistetaan askelen lyheneminen esim. 1/10 tai 1/16 täydestä askeleesta. Tämä lisäksi vähentää roottorin värähtelyä. Ohjain on valittava sen mukaan, mitä moottorilta vaaditaan. Valintaan vaikuttavia tekijöitä ovat muun muassa huippunopeus, kiihdytysajat, haluttu pyörimisnopeusalue, askellustarkkuus ja ohjaimen yhteensopivuus automaatiojärjestelmän ohjauksen kanssa. Ohjaimelta vaadittavat ominaisuudet riippuvat suuresti siitä, miten älykästä automaatiojärjestelmää sen kanssa käytetään. Automaatiojärjestelmä itsessään voi antaa joko pelkän käynnistyskäskyn, tai jopa muodostaa ohjauspulssit. (Fonselius ym.151-152.)

5.3 Servomoottorit

Servomoottorit ovat takaisinkytkettyjä ja säädettyjä moottoriratkaisuja. Niitä käytetään, kun tarvitaan hyvää dynamiikkaa ja suurta tarkkuutta. Suurin osa nykyisin käytetyistä servomoottoreista ovat tyypiltään AC-moottoreita, ja ne on liitetty osaksi käyttökohteen ohjaus- ja säätöjärjestelmää. AC-servomoottoreissa on roottorikämmityksen sijasta kestopagneetit. (Keinänen & Sumujärvi 2019, 243.)

Servomoottorijärjestelmissä käytetään tyypillisesti virta- tai nopeustakaisinkytkentöjä ja -säätöjä. Servomoottoreiden käyttökohteita ovat liikkeenohjauksessa tarkkuutta vaativat kohteet, kuten teollisuusrobotit, työstökoneiden akselit ja laserleikkauskoneet. (Keinänen & Sumujärvi 2019, 243.)

5.3.1 Harjattomat DC-servomoottorit

Harjattomassa DC-servossa kestopagneetti on sijoitettu moottorin akselin ympärillä olevaan roottoriin ja käämitykset roottoria ympäröivään staattoriin, jolloin kommutointi toteutetaan elektronisesti, eikä roottorissa vaadita erillistä kommutointia. Roottorin kiertymän tunnistamiseen on käytettävä tarkkoja Hall-antureita tai optisia tunnistimia, jotta staattorikämmityksiin osataan ohjata jännite oikealla hetkellä. Tästä syystä moottoria kutsutaan myös synkronimoottoriksi, koska roottorin pyörintänopeus seuraa koko ajan samatahtisesti staattorikämmien virtoja ja niiden luomaa magneettikenttää. (Airila 1999, Luku 5.3, 19-20.)

5.3.2 AC-servomoottorit

AC-servoissa roottorikämmitys on korvattu kestopagneeteilla samaan tapaan kuin harjattomissa DC-moottoreissa. Moottorin rungossa olevat käämit muodostavat pyörivän magneettikentän, jossa kestopagneettiroottori pyörii. DC-servon tavoin, ei AC-servomoottorikaan tarvitse lainkaan hiiliharjoja käyntienergian siirtämiseksi roottorin moottoriin. AC-servon rakennetta voidaan verrata 3-vaiheiseen asynkronimoottoriin, jossa oikosulkuroottori on korvattu kestopagneeteilla. (Airila 1999, Luku 5.3, 21.)

5.3.3 Lineaariaktuaattorit

Lineaariaktuaattori on servomoottorin sovellus, jolla saadaan aikaan lineaariliike. Siinä servomoottori on integroitu sylinterimäiseen runkoon, jonka sisällä olevaa rullaruuvia moottori pyörittää luoden sille samalla lineaarisen liikkeen. (Keinänen & Sumujärvi 2019, 244.)

6 Konenäkö

Konenäkö tarkoittaa karkeasti digitaalisen kuvainformaation automaattista havainnointia ja analysointia. Tutkittava digitaalinen kuvainformaatio voi olla still- tai videomuotoinen. Konenäön etuina on, että se kykenee havaitsemaan esimerkiksi poikkeamia ihmissilmää nopeammin, ja konenäön avulla kerätty data saadaan yhdistettyä analytiikkaan. (Virelabs 2022.)

Teollisuudessa konenäköä sovelletaan monenlaisiin yksinkertaisiin tehtäviin, kuten tuotantolinjalla tapahtuvaan laaduntarkkailuun, mutta yhä useammin sitä käytetään myös tarkempaa analyysiä vaativiin sovellutuksiin. Vaativammissa tehtävissä konenäkö voidaan esimerkiksi opettaa tulkitsemaan kuvainformaa-tiota kuvan tunnistusmallien avulla. (Virelabs 2022.)

Konenäön varman toiminnan ja tarkan erottelukyvyn edellytyksiä ovat sovelluk-sen kannalta optimaalisimmat laitteistokomponentit. Jokaisella komponentilla on olennainen rooli konenäköprosessissa. Valaistuksen avulla saadaan tuotua pa-remmin näkyviin halutut kohteet. Kuvansieppaajien ja kameroiden avulla saa-daan otettua kuva juuri oikeaan aikaan oikealla valotuksella. Linssit ovat tärkeitä terävän ja poikkeamattoman kuvan saamiseksi. Mikään näistä komponenteista ei kuitenkaan voi tulkita kuvasta haluttua tietoa. Konenäön ydin on siis tietoko-noon tekemä kuvien analysointi. Analysointi perustuu kuvan pikseleiden kont-rastierojen tulkitsemiseen ja vertailuun. Halutun tiedon onnistunut analysointi vaatii siis riittävän suuria kontrastieroja sekä tarpeeksi pikseleitä. Erilaiset ko-nenäköalgoritmit analysoivat näitä kontrastieroja mahdollistaen muun muassa muotojen ja värien tunnistamisen kuvasta. (Hornberg 2006, 511.)

7 Vaatimusluettelo

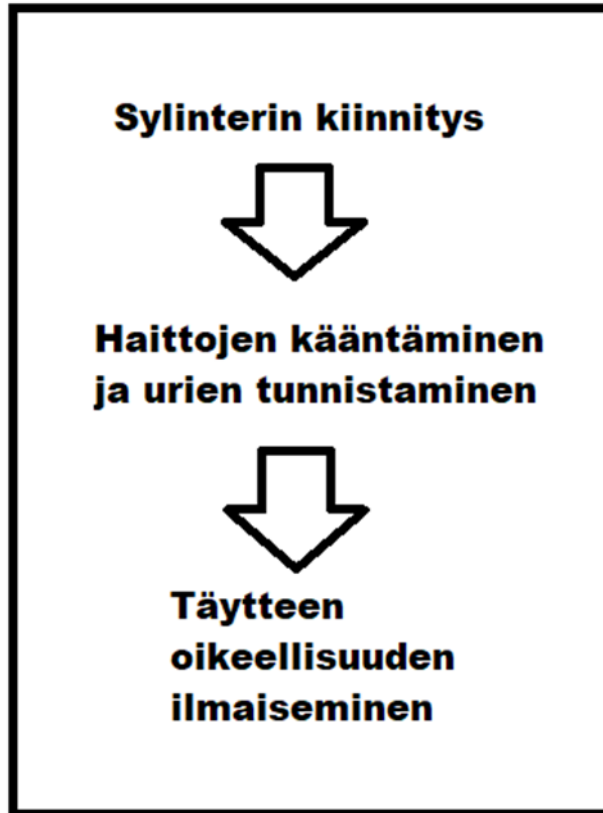
Täytteentarkastuslaitteen suunnittelu alkaa tuotekehityksen periaatteita soveltaen vaatimusluettelon (taulukko 1) laatimisella, josta selviää tuotteelle asetetut vaatimukset ja toiveet.

Taulukko 1. Täytteentarkastuslaitteen vaatimusluettelo

Vaatus/Toive	Ominaisuus
V	Lukee tätekoodin sylinteristä automaattisesti
V	Ei vaadi käyttäjältä manuaalista haittojen kääntämistä
V	Tarpeeksi nopea lukemaan tätekoodin (max. 15s)
V	Helppokäyttöinen
V	Luotettava tunnistus
V	Tarpeeksi pienikokoinen (ei vie liikaa tilaa työpöydältä)
V	Turvallinen käyttää
V	Ilmaisee täyteen oikeellisuuden (Esim. vihreä/punainen valo)
V	Täytetyn sylinterin kiinnitys helppoa
V	Kestävä rakenne
T	Vertaa tuloksia automaattisesti lukoston tietoihin
T	Kohtuu hintainen
T	Toimii kaikilla avainjärjestelmillä pienin muutoksin
T	Kohtuullisen yksinkertainen rakenne

7.1 Kokonais- ja osatoimintoihin jakaminen

Jotta tuotteen suunnittelu helpottuisi, kannattaa suorittaa jako kokonais- ja osatoimintoihin. Täytteentarkastuslaitteen kokonaistoiminto on sylinterin täyteen tarkastaminen. Jotta täyte saadaan tarkastettua, tarvitaan osatoimintoja sylinterin asetus laitteeseen, haittojen pyörytys ja täyteen lukeminen. Tästä saadaan luotua toimintokuvaus, joka on esitetty kuviossa 5.



Kuvio 5. Toimintokuvaus (Kuvio: Matias Tirkkonen)

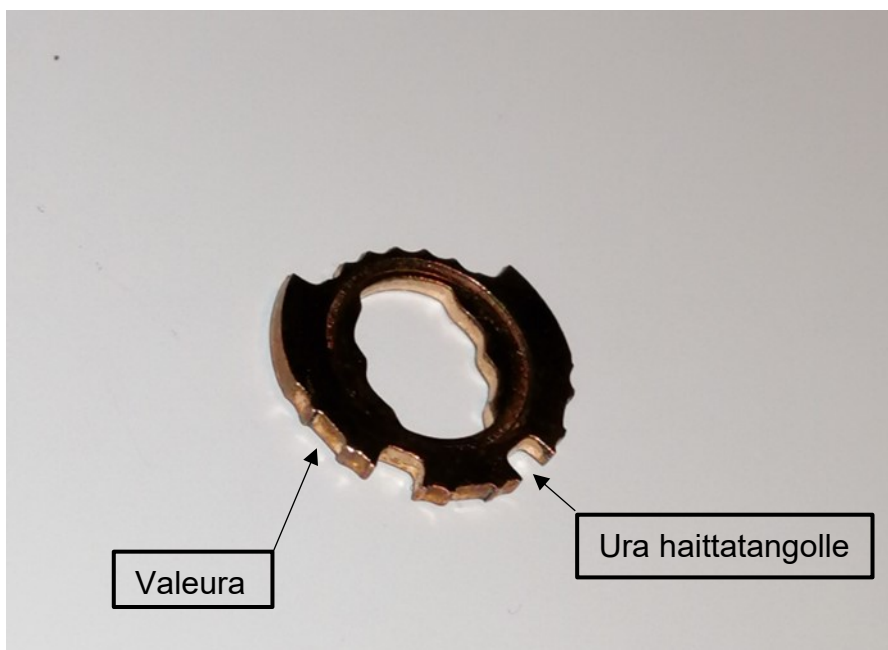
7.2 Karkea ideointi osatoimintojen pohjalta

Osatoimintojen pohjalta täytteentarkastuslaitteen mekaanista toimintaa on helpompi lähteä suunnittelemaan. Jotta täyte saadaan luettua sylinterin kyljessä olevasta kapeasta urasta (kuva 2), haittoja on pystyttävä kääntämään. Kerrallaan käännettävän astekulman suuruus on oltava sellainen, että jokainen haitan kehällä oleva haittatangon uran paikka osuu sylinterin kyljessä olevan uran keskelle. Lisäksi vallitseva kääntökulma on oltava aina automatiikan tiedossa. Jotta edellä mainitut vaatimukset saadaan toteutumaan, haittojen kääntämiseen on käytettävä sähkömoottoria.

Haittojen kääntelyn lisäksi haitoissa olevat urat (kuva 3) on kyettävä tunnistamaan ja erottamaan vaurista. Tunnistusmenetelmä tullaan valitsemaan aikaisemmin esiteltyjä antureita ja mittavälineitä vertailemalla ideamatriisitaulukolla.



Kuva 2. Täytetty sylinteri (Kuva: Matias Tirkkonen)



Kuva 3. Haittalevy (Kuva: Matias Tirkkonen)

Näiden lisäksi laite tarvitsee automaatiota, jonka ansiosta sähkömoottorin ohjaus ja haittojenlukulaite saadaan keskustelemaan keskenään. Automaation suunnittelu on kuitenkin tarkoitus jättää opinnäytetyössä vain ideointiasteelle.

8 Moottorivaihtoehdot haittojen kääntämiseen

Tärkeimpinä vaatimuksina moottorille on, ettei se saa hukata askelia pienestä vastamomentista huolimatta ja askelkulman on oltava tarpeeksi lyhyt ja tarkka. Lisäksi moottorin kiertokulma on oltava koko ajan tiedossa. Avaimen kääntämiseen tarvittava vääntömomentti on sen verran pieni, ettei moottorin askelien hukkaamista voi käytännössä tapahtua. Siitä syystä lähtökohtana on, että laitetta lähdetään suunnittelemaan askelmoottorikäyttöisenä. Askelmoottoreiden etuina servomoottoreihin on niiden halpa hinta ja helppo ohjattavuus, kun takaisinkytkentää ei tarvita. Avainaihion lähtöasemaa mittaamaan voi olla hyvä kuitenkin lisätä jonkinlainen rajakytkin. Tässä opinnäytetyössä ei tarkemmin paneuduta askelmoottorityypin valintaan, mutta esitellään kuitenkin mahdollisia vaihtoehtoja sekä niiden hyviä ja huonoja puolia. Taulukkoon 2 on listattuna vaihtoehtoiset moottorit sekä niiden vahvuudet ja heikkoudet.

Taulukko 2. Moottorivaihtoehdot haittojen kääntämiseen

Moottorityyppi	Hyvät puolet	Huonot puolet
Muuttuvan reluctancein askelmoottori	-Pieni askelkulma -Nopea kiihtyvyys -Ei vaadi takaisinkytkentää	-Matala vääntömomentti -Pyörimistä pidättävän momentin puute -Ei mikroaskellusta
Kestomagnetoitu askelmoottori	- Pysyy tasapainoasemassa myös virratto- massa tilassa -Kohtalainen vääntömomentti -Mikroaskellus -Ei vaadi takaisinkytkentää	-Suuri askelkulma -Hidas kiihtyvyys
Hybridimoottori	-Yleisin askelmoottormalli -Pieni askelkulma -Mikroaskellus -Nopea kiihtyvyys -Pyörimistä pidättävä momentti -Ei vaadi takaisinkytkentää	-Ei merkittäviä huonoja puolia

9 Menetelmät haitan urien tunnistamiseen

Haittojen urien tunnistamisesta tekee haastavaa urien pieni koko, useimmiten kiiltävä pinta ja yhdenvärisyys. Lisäksi kaikki urat on pystyttävä tunnistamaan tarpeeksi nopeassa ajassa. Sopivan menetelmän valitsemiseen käytetään ideamatriisia, jolla eri ideoita vertailemalla saadaan valittua käyttötarkoitukseen sopivin ratkaisu. Tämän jälkeen vaihtoehtoja vertaillaan painoarvotaulukossa. Perusvaihtoehdot urien tunnistamiseen ovat mekaaninen ja optinen mittaus. Koneenäköön perustuvassa tunnistuksessa konenäkökamera kuvaisi haittatangon uraa ylhäältä päin ja näin ollen pyrki tunnistamaan haitoissa näkyviä uria valolla luotujen varjojen avulla. Toisessa vaihtoehdossa mekaaninen kosketin käy tunnustelemassa haitan pintaa ja koskettimen asemaa seurataan kaksitilaisella asema-anturilla. Jotta koskettimeen perustuva tunnistus toimisi luotettavasti, eivätkä koskettimen kärjet pääsisi kulumaan, on sen noustava ylös jokaisen kolon

testauksen välissä. Toisin sanoen koskettimen kärki ei siis saa laahata haitan kehällä avainta käännettäessä. Konenäöllä testatessa tätä ongelmaa ei pääse syntymään ja avain voi kääntyä pysähtymättä urien kohdalla. Taulukossa 3 on esitelty ratkaisuvaihtoehdot.

Taulukko 3. Ideamatriisi haitan urien tunnistamiseen

Ratkaisuvaihtoehto	Menetelmä hättävyn uran tunnistamiseen
1.	Moottorin avulla nostetaan jousitettuja vipuja, jotka painuvat/eivät painu haitan uraan ja mikrokytkin tunnistaa vivun
2.	Moottorin avulla nostetaan jousitettuja vipuja, jotka painuvat/eivät painu haitan uraan ja kapasitiivinen anturi tunnistaa vivun
3.	Moottorin avulla nostetaan jousitettuja vipuja, jotka painuvat/eivät painu haitan uraan ja induktiivinen anturi tunnistaa vivun
4.	Moottorin avulla nostetaan jousitettuja vipuja, jotka painuvat/eivät painu haitan uraan ja optinen anturi tunnistaa vivun
5.	Haitan urien tunnistaminen konenäön avulla

Arviointikriteerit tunnistusmenetelmän valintaan tehtiin vaatimusluettelon perusteella ja eri ominaisuuksille annettiin kertoimena toimivat painoarvot tärkeyden perusteella. Tärkeimpinä ominaisuuksina ovat luotettavuus, hinta ja kestävyys, eli niiden painoarvoksi tulee 2. Yksinkertaisuus saa painoarvon 1.5, sillä laitteen rakenne vaatii väkisin melko monimutkaisia ratkaisuja. Arvioinnissa eri ominaisuudet on pisteytetty asteikolla 1-4. Luotettavin vaihtoehto saa 4 pistettä ja epäluotettavin yhden. Rakenteellisesti kestävin ja vähiten kuluva ratkaisu on 4 pistettä ja heikoin yhden. Hinnan arvioinnissa 4 on halvin ja 1 kallein. Yksinkertaisin ratkaisu saa 4 pistettä ja monimutkaisin yhden. Ratkaisuvaihtoehtojen arviointi on esitetty taulukossa 4.

Taulukko 4. Arviointitaulukko tunnistusmenetelmälle

Ratkaisut	Ominaisuudet				Pisteet
	Luotettavuus	Hinta	Kestävyys	Yksinkertaisuus	
1. (mikrokytkin)	4	4	2	3	24.5
2.(kapasitiivinen)	4	1	3	1	17.5
3.(induktiivinen)	4	2	3	1	19.5
4.(optinen)	4	4	3	1	23.5
5.(konenäkö)	2	1	4	4	20
Painoarvo	2	2	2	1.5	

Taulukon perusteella parhaaksi tunnistusmenetelmäksi valikoitui mikrokytkimillä varustettu versio, jossa sähkömoottorin avulla liikutellaan koskettimia, jotka osuvat haitan uraan sellaisen sattuessa kohdalle ja mikrokytkin tunnistaa koskettimen liikkeen. Etuina tässä ratkaisussa on menetelmän luotettavuus, kytkimien ja muiden komponenttien halpa hinta sekä kohtalaisen yksinkertainen rakenne verrattuna muiden anturityyppien käyttöön. Tarvittavan mikrokytkimen oli oltava kuitenkin tarpeeksi kapea ja mielellään piirilevyasenteinen. Vaatimukset täyttävää kytkintä etsittiin useista eri elektroniikkakomponentteja myyvistä verkkokau-poista ja lopulta sopivaksi kytkimeksi valikoitui Panasonicin AV4, joka on vain 2,5 mm leveä.

Toinen vartenotettava vaihtoehto olisi myös optisten antureiden käyttö koskettimien tunnistuksessa. Tässä etuna mikrokytkimiin olisi anturin kestävyys, sillä optiseen anturiin ei kohdistuisi mekaanista kosketusta. Haittapuolena kuitenkin on saatavilla olevien antureiden suuri koko, joka vaatisi koskettimilta monimutkaisempaa rakennetta. Halkaisijaltaan suurta anturia ei saa mahdutettua jokaisen haitan kohdalle. Sama ongelma esiintyy myös muita anturityyppejä käytettäessä ja lisäksi niiden hinnat ovat paljon edellisiä vaihtoehtoja korkeampia.

Konenäössä ongelmaksi muodostui järjestelmän korkea hinta sekä haitan urien epävarma tunnistaminen. Konenäön toimivuutta kyseisessä tehtävässä testattiin puhelimeen saatavalla sovelluksella, jolla voidaan katsoa kameran näyttämää kuvaa konenäön ”silmin”. Sylinterissä olevia haittoja yritettiin lukea kameran näyttämän kuvan kautta. Testissä käytettiin monia eri valaistuskulmia ja kameran kontrasteja, mutta haitan kolojen tunnistaminen oli hyvin epävarmaa.

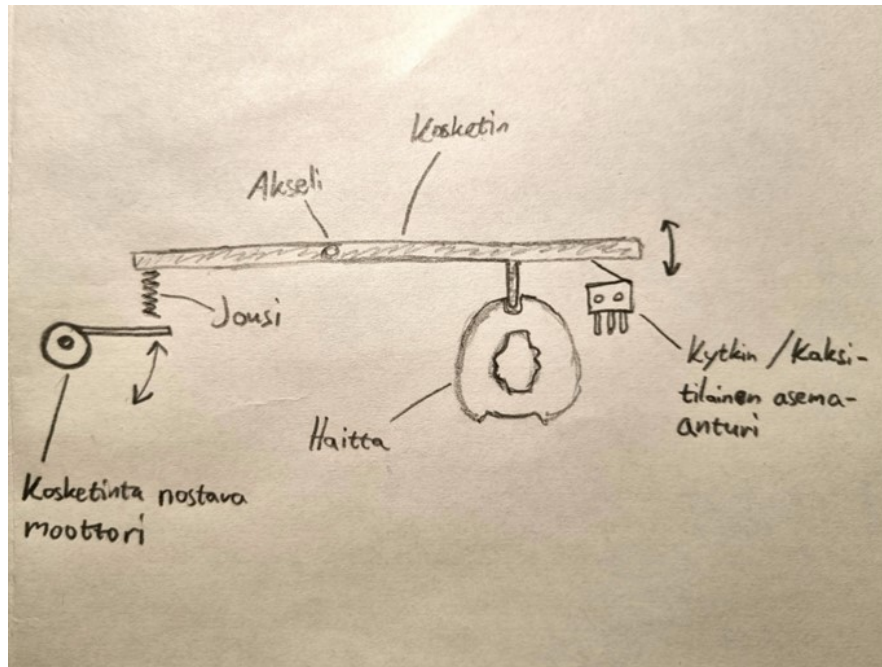
Suurimpana syynä uran huonoon näkymiseen on haitan tasainen väritys ja vaihtelevasti kiiltävä pinta.

10 Prototyypin suunnittelu ja mallinnus

Prototyypin suunnittelu alkoi paperihahmotelman pohjalta. Avaimen ja sylinterin mittoja tarkasteltiin, minkä avulla päästiin hahmottelemaan täytteentarkastuslaitteen runkoa oikeassa mittakaavassa. Alkuun laitteesta tehtiin karkea havainnollistava 3D-piirustus päämekanismeineen, jonka pohjalta komponentteja lähdettiin muokkaamaan toimivammiksi ja valmistusteknisesti toteutettaviksi. Haasteita aiheutti etenkin komponenttien pieni koko. Hyvänä puolena suunnittelun kannalta laitteita ei olisi tarve valmistaa kovin suuria määriä, joten komponenttien valmistusaikaan ja materiaalien hintaan ei tarvinnut keskittää niin suurta huomiota.

10.1 Karkea hahmotelma

Laitteen mekanismin suunnittelun pohjana toimi paperille piirretty kuvan 4 mukainen 2D-hahmotelma. Se sisälsi haittalevyn, haitan uria tunnusteleavan koskettimen, koskettimen aseman havaitsevan mikrokytkimen sekä tarvittavat jous-



Kuva 4. Karkea hahmotelma (Kuva: Matias Tirkkonen)

10.2 Koskettimen ja rungon muotoilu

Runkoa sekä koskettimia lähdettiin muotoilemaan vuoron perään toisiinsa nähden sopiviksi. Ensiksi runkona toimi pelkkä palikka, jossa oli paikka sylinterille sekä haittatangon uran tarkastelua varten leikattu aukko.

10.2.1 Koskettimen ja rungon päämitat

Koskettimen suunnittelu alkoi sylinterin ja haittojen mittojen tarkastelulla. Koskettimen muotoilun kannalta oleelliset mitat ovat itse kosketintapin paksuus ja leveys. Tapin täytyy olla tarpeeksi kapea molemmista suunnista, jotta se mahtuu tunnustelemaan haitassa olevaa koloa.

Seuraavaksi oli mitoitettava akselin etäisyys kosketintapista. Mitoituksen kannalta tärkeintä oli, että koskettimen kärki nousee tarpeeksi suorassa kulmassa ylös, osumatta sylinterin reunaan. Etäisyyden mitoitus onnistui helposti hyödyntämällä mallinnusohjelman mekanismien simulointia. Laitteen rungosta ja itse koskettimesta tehtiin kokoonpano, jossa pin-toiminnolla liitettyä kosketinta

pystyttiin liikuttamaan valitun akselin ympäri. Tällä tavoin akselin paikkaa muuttamalla saatiin haettua riittävä etäisyys, jotta kosketusta sylinteriin ei tapahtuisi. Tämän jälkeen runkoon muokattiin lopullinen paikka akselille. Akselien paikat on merkattu liitteen 1 piirustukseen.

Koskettimia nostavan moottorin akselille oli myös haettava paikka. Ollessaan etempänä koskettimen akselista, saataisiin kosketinta nostettua pienemmällä voimalla, mutta samalla koskettimen toisessa päässä liikematka lyhenisi. Tästä syystä prototyyppiin tehtiin useampi akselin reikä vierekkäin, joilla sopivaa etäisyyttä saataisiin testattua.

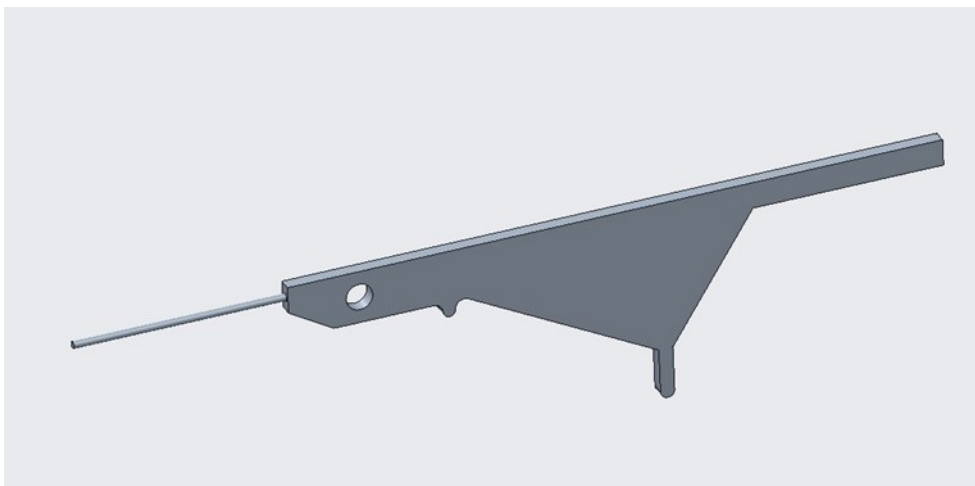
10.2.2 Koskettimien nosto ja tarvittavat jousivoimat

Koskettimet vaativat toimiakseen voiman, joka saa kosketintapin painumaan haitan kehää vasten. Voima on helpointa toteuttaa kyseisessä sovelluksessa muuttamalla sähkömoottorin pyörimisliike lineaariliikkeeksi. Alkuperäisessä hahmotelmassa moottorin akseliin oli kiinnitetty levymäinen uloke, joka kääntyy tarvittavan kulman verran nostaen kaikkia koskettimia yhtä aikaa.

Koskettimen toiminta suunnitelman mukaisena vipuna edellyttää lisäksi jousivoimia. Jos kosketintapin kohdalla ei ole haitassa uraa johon painua, on kosketinivun ja moottorin tuottaman nostoliikkeen välissä oltava joustoa. Alkuperäisessä suunnitelmassa jokaisen koskettimen pyrstön ja nostavan levyn välissä oli pieni kierrejousi. Tämän toteuttaminen osoittautui kuitenkin hankalaksi, sillä jousien olisi täytynyt olla erittäin pieniä ja niiden kiinnitys kapeaan koskettimeen olisi vaikeaa. Tästä syystä itse koskettimen pyrstö päätettiin muuttaa joustavaksi. Samalla tuli idea, että koskettimia nostava levy voidaan muuttaa moottorin akseliin liitetyksi epäkeskorullaksi, jonka pinta laahaa jatkuvasti koskettimien pyrstöjä vasten. Etuna rullaa käytettäessä moottori saa pyöriä kokonaan akselinsa ympäri, eikä tällöin toimilaitteena välttämättä tarvita askeltavaa moottoria. Rullan mitat löytyvät liitteen 2 piirustuksesta.

10.2.3 Koskettimen joustot

Koskettimen pyrstön vaatimalle joustolle oli kolme eri ideaa. Ensimmäisessä vaihtoehdossa kosketin itsessään olisi jäykkää materiaalia ja peräosaan porattuun reikään olisi liitetty pätkä ohutta jousilankaa kuvan 5 mukaisesti.



Kuva 5. Kosketin V1 (Kuva: Matias Tirkkonen)

Tässä haasteita olisi kuitenkin tuottanut erittäin pienen reiän poraaminen (n. 0,6 mm).

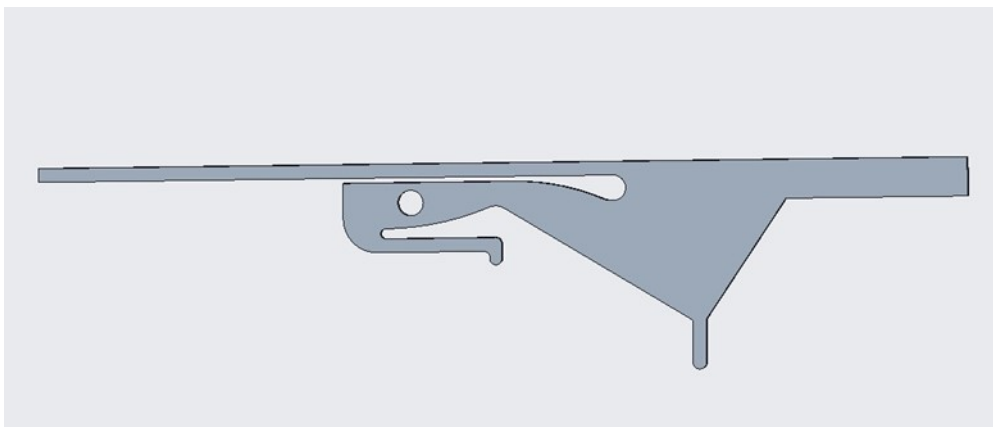
Toisessa vaihtoehdossa ohut lattajousi olisi liitetty edellisen kaltaisen koskettimen peräosan päälle pistehitsaamalla. Pistehitsauksen ulkoistaminen toiselle yritykselle olisi kuitenkin tuottanut lisäkuluja, joten ratkaisu päätettiin hylätä.

Kolmannessa ja valitussa ratkaisuvaihtoehdossa itse kosketin on valmistettu joustavasta metallista ja jousi on muotoiltu koskettimeen itseensä. Valmistus toteutettaisiin lankasahaamalla tarkkojen yksityiskohtien onnistumiseksi. Myös tästä vaihtoehdosta on tehty useita versioita prototyypin testausta varten.

Kosketin vaatii myös voiman, joka palauttaa sen ylös haittojen kääntämisen ajaksi. Vaikka mikrokytkimen tuottama 0,01 N palautusvoima riittäisi juuri ja juuri nostamaan kosketinta, se ei kykene sitä nostamaan tarpeeksi ylös. Tästä syystä koskettimen akselin ja etupään väliin päätettiin lisätä jouset. Alun perin

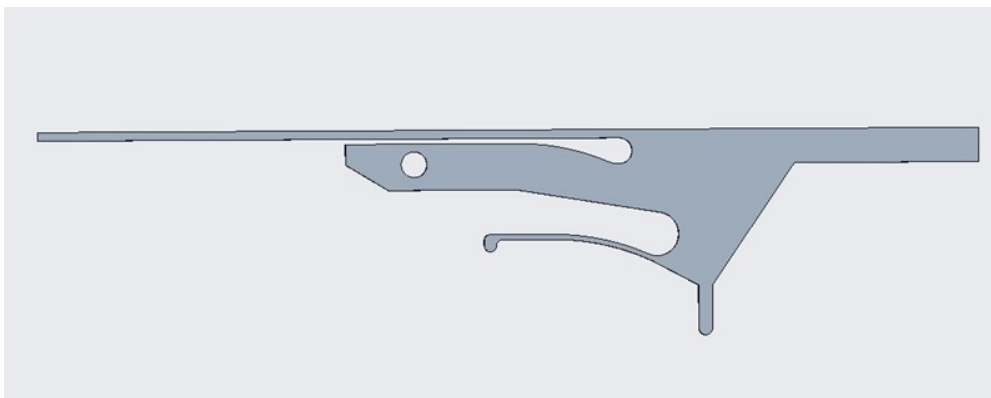
suunnitelmassa oli jälleen käyttää kierrejousia, joita varten ensimmäiseen koskettimen malliin tehtiin kohdistustappi. Jousien pienen koon takia ne kuitenkin hylättiin suunnitelmasta ja jousi päätettiin muotoilla koskettimeen itseensä. Jousivoimille ei ole tarve mitoittaa tarkkaa suuruutta. Ehtona palautusjousen jousivoimalle on, että sen ja mikrokytkimen tuottamat jousivoimat jaksavat palauttaa koskettimen ylös, mutta niiden on oltava huomattavasti pyrstön jousivoimaa pienempiä. Pyrstö ei siis saa taipua liikaa koskettimia nostaessa, vaan vasta mikäli kosketintappi pysähtyy häirtalevyn kehälle.

Ensimmäisessä muotoon sahatussa versiossa (kuva 6) palautusjousi oli koskettimen akselin alapuolella, mutta ongelmaksi osoittautui akselin ja rungon väliin jäävän tilan puute ja jousen lyhyden takia liian suuri jousivoima.



Kuva 6. Kosketin V2 (Kuva: Matias Tirkkonen)

Kuvassa 7 jousen kiinnityspiste muutettiin akselin toiselle puolelle, jolloin muotoilulle saatiin lisää tilaa ja näin ollen jousivoimaa kevennettyä. Näistä valmistettiin prototyyppejä 3D-tulostamalla, joiden avulla jousivoimien suhdetta saatiin testattua ja haettua sopivaksi. Testauksessa kosketin oli asennettu laitteen runkoon, jossa mikrokytkimet oli paikallaan. Pyrstöjousen päätä nostettiin ja katsottiin, ettei se taivu enemmälti ennen kuin koskettimen toisessa päässä oleva mikrokytkin on kytkeytynyt.



Kuva 7. Kosketin V3 (Kuva: Matias Tirkkonen)

Lopullisiin mallin jousiin tehtiin vielä pieniä muotoiluja, joiden avulla joustot saatiin toimivammiksi. Versioon 5 (kuva 15) lisättiin palautusjousen alkuun mutka, joka paransi joustavuutta huomattavasti. Kuvan 8 mukainen alkupäästään vähän kerrassaan kapeneva pyrstöjousi taipui tasaisemmin kuin tasapaksu jousi.



Kuva 8. Kosketin V6 (Kuva: Matias Tirkkonen)

Metallista valmistettavan jousen vaatimaa paksuutta lähdettiin hakemaan FEM-analyysien pohjalta. Jousiin kohdistettiin arviolla valittuja voimia ja analyysin avulla katsottiin, kuinka pitkän taipuman voima tuottaisi jouseen. Lopulliset jousen mitat tulitisiin valitsemaan testaamalla prototyypeissä eri paksuisia materiaaleja ja eri vahvuisia jousia.

Koskettimen palautukseen arvioitiin riittävän 0,2 N voima. Analyysissä (kuva 9) palautusjousen päähän kohdistettiin kyseinen voima ja sillä saavutettua jouston

pituutta verrattiin 3D-mallista mitattuun tarvittavaan liikematkaan. Jousen pään punainen väri tarkoittaa väriskaavion vastaavaa siirtymän pituutta. Laskenta tehtiin 0,6 mm paksuisella R640-tinapronssita valmistetulla kappaleella. 0,2 N voima tuotti 0,3 mm vahvuisen jousen päähän 1,65 mm siirtymän. Tarvittavan liikematkan ollessa 2,6 mm, jousen paksuuden katsottiin olevan sopiva tuottamaan tarpeeksi jousivoimaa. Ohuempikin jousi olisi riittänyt, mutta arvioitiin, ettei kovin ohutta kannata alkaa valmistamaan. Vaikka lankasahan tarkkuus riittäisi ohuempaankin, olisi siitä syntyvä pinnankarheus voinut jo alkaa vaikuttamaan jousen toimintaan.



Kuva 9. FEM-analyysi palautusjousesta (Kuva: Matias Tirkkonen)

3D-tulostettujen prototyyppien avulla saatiin selville, että pyrstöjousen tulisi olla noin kaksi kertaa paksumpi kuin palautusjousen. Tällöin se kykenisi voittamaan palautusjousen ja mikrokytkimen jousivoimat lähes taipumatta. Näin ollen lankasahattavissa prototyypeissä testattiin 0,5-0,7 mm vahvuisia pyrstöjousia. Lankasahatun kappaleen päämitat löytyvät liitteestä 3.

11 Prototyypin valmistus

Opinnäytetyön yhtenä osa-alueena oli tarkoitus valmistaa suunnitellusta laitteesta prototyyppi, jonka avulla saadaan testattua laitteen mekanismien toimivuutta sekä itse testauksen luotettavuutta. Koska prototyypillä havainnollistetaan ainoastaan suunniteltua mekanismia, siitä jätettiin pois automaatio ja moottorit. Mikrokytkimet päätettiin kuitenkin ottaa jo tässä vaiheessa mukaan, sillä niiden kytkentäpisteessä havaittava ”naksahdus” antaa hyvän kuvan laitteen toimivuudesta.

Prototyypin valmistuksessa hyödynnettiin FDM -tyyppistä 3D-tulostusta. Tulostuksen etuina ovat vaikeidenkin muotojen helppo valmistettavuus kohtalaisen hyvällä mittatarkkuudella sekä valmistusprosessin edullisuus. Lisäksi tulostamalla saadaan melko nopeasti tehtyä uusia versioita prototyypistä, jos edellisessä versiossa havaitaan virheitä tai puutteita. Tarkasti sovitettavien tulostettujen kappaleiden suunnittelussa on kuitenkin otettava huomioon mahdolliset pinnanlaadun heittelyt, joita tulosteissa usein esiintyy materiaalivaihteluiden takia. Jos filamentin paksuus vaihtelee, se näkyy tulosteessa kerrosten välisinä leveyseroina ja näin ollen tulosteen ulkomittojen vaihteluina. 3D-tulostetut osakoonpanot ovat myös hyvä tapa tutkia prototyypin eri mekanismien toimivuutta, koska tällöin voidaan tulostaa vain se kohta prototyypistä, jota halutaan tutkia. Tästä esimerkkinä sylinterin lukitusmekanismin osakoonpano.

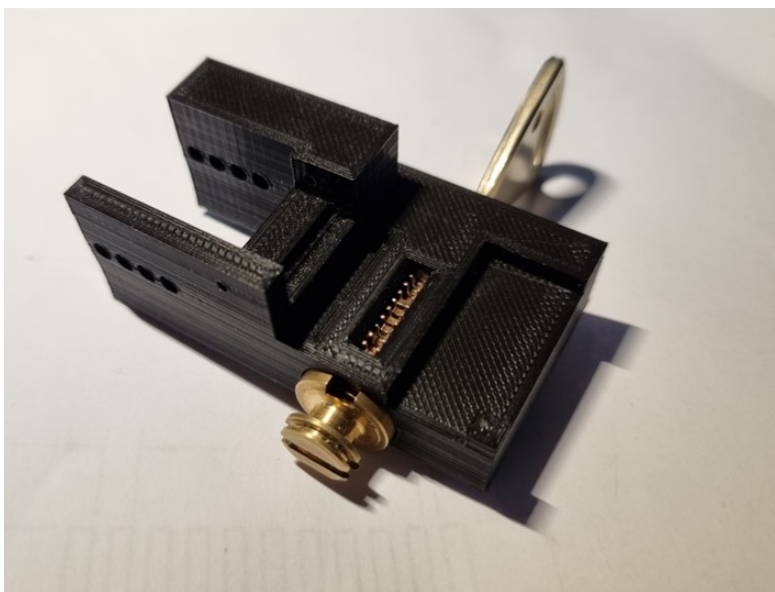
Tarkempaa mitoitusta ja vaikeita muotoja vaativien levyosien valmistus tehtiin lankasahalla. Lankasahaus on helppo ja kohtalaisen edullinen tapa valmistaa pieniä määriä levyosia hyvällä mittatarkkuudella. Täyhteentarkastuslaitteen prototyypin osissa tarkkuus riitti hyvin, eivätkä ne näin ollen vaatineet tolerointia. Useamman samanlaisen kappaleen erät sahattiin nippuun kiinnitetyistä levyistä, jolloin saatiin useita kappaleita yhdellä sahauksella. Käytetyn langan vahvuus oli 0,25 mm, joka siis sallii hyvinkin kapeiden välien sahauksen ja säteeltään 0,125 mm suuruiset sisänurkkapyöritykset.

11.1 Laitteen runko

Runko valmistettiin 3D-tulostamalla. Rungossa itsessään ei ole herkästi kulumia osia, joten prototyyppiin riittää PLA-muovista tulostettu kappale. Tulostus voisi olla varteen otettava vaihtoehto myös lopullista kappaletta valmistettaessa. Kappaleita saisi valmistettua nopeasti ja edullisesti, eikä haastavien muotojen valmistettavuuteen tarvitsisi kiinnittää niin paljoa huomiota. Tulostettuun kappaleeseen olisi kuitenkin hyvä lisätä metalliset holkit akseleita varten kulumisen estämiseksi.

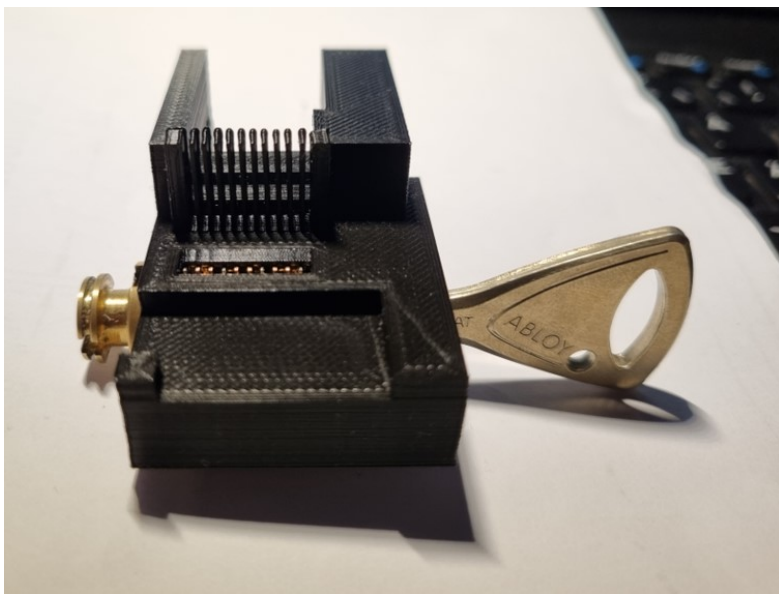
Suunnittelun edetessä rungosta tehtiin useita väliversioita 3D-tulostamalla, joiden avulla toimintaa saatiin havainnollistettua helpommin kuin suunnitteluohjelman 3D-mallilla. Tulosteissa havaittuja epäkohtia muokattiin tarpeen mukaan, jotta prototyypistä saatiin mahdollisimman hyvin toimiva. Prototyypin välivaiheet auttoivat myös uusien mekanismien ideoinnissa.

Ensimmäisellä versiolla testattiin akseleiden paikkojen toimivuutta tulostettujen koskettimien avulla. Mikrokytkinten piirilevyn paikkaa oli myös hahmoteltu jo tässä kuvan 10 mallissa.



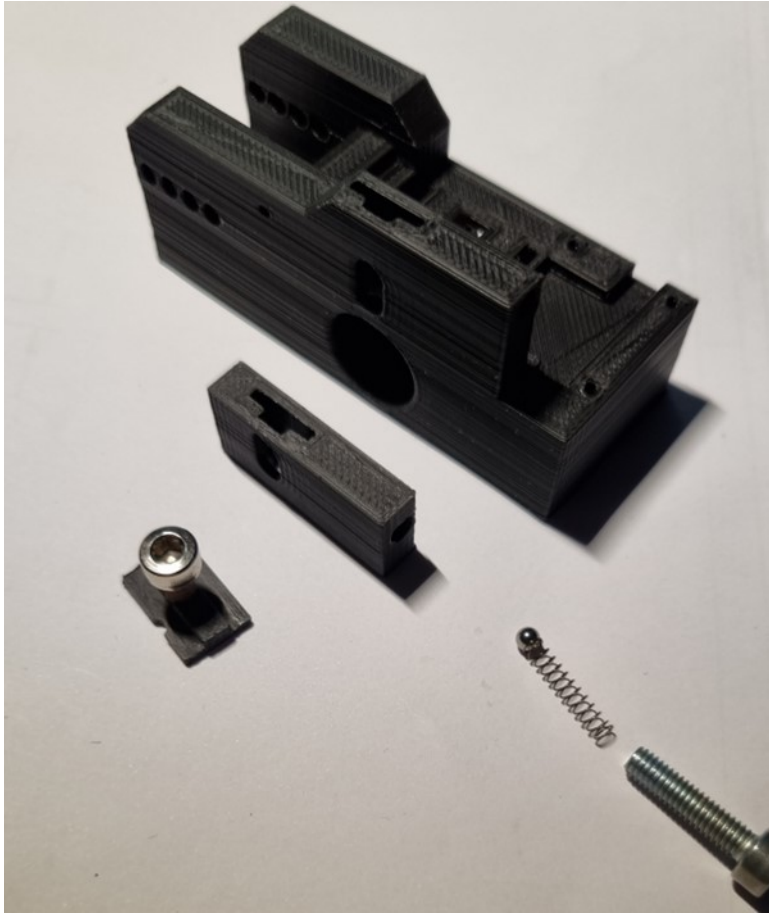
Kuva 10. Ensimmäinen prototyyppi rungosta (Kuva: Matias Tirkkonen)

Seuraavaan versioon (kuva 11) lisättiin koskettimien tarkkaa kohdistusta varten kampa, jonka piikkien väleissä koskettimet liikkuvat. Kamman kiinnitystä ja paikoitusta varten runkoon tehtiin ura koskettimen akselin ja häiritangonurran välille. Tässä versiossa kampa oli vielä 3D-tulostamalla valmistettu, mutta lopullisena valmistusmenetelmänä tultaisiin käyttämään lankasahausta.



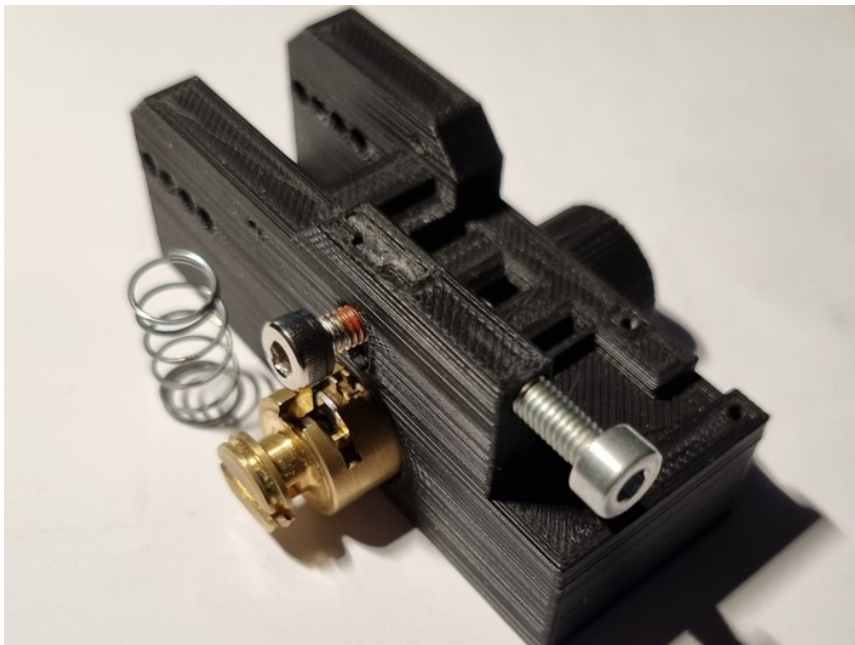
Kuva 11. Toinen prototyyppi ja ohjurikampa (Kuva: Matias Tirkkonen)

Kolmas prototyyppi (kuva 12) sisälsi suurin piirtein kaikki tarvittavat ominaisuudet. Suurimpana muutoksena edelliseen malliin oli sylinterin lukitusmekanismi, jonka tarkoitus on pitää sylinteri paikoillaan testauksen ajan ja samalla paikoittaa oikea asento sylinterin pysäytyspalan urasta. Lukitustelki liikkuu pystysuunnassa sitä varten tehdyssä urassa. Teljen liikkeen lukitseminen tapahtuu teljen uran sivuun sijoitetulla jousitetulla kuulalla, jota varten teljen kylkeen on tehty upotus. Lukitusmekanismin toimintaa testattiin ensiksi erillisellä osakokoonpanolla. Myös mikrokytkinten piirilevyn kiinnitystä varten oli lisätty ruuvien reiät.



Kuva 12. Rungon kolmas versio ja lukitusmekanismi (Kuva: Matias Tirkkonen)

Sylintereitä on eri mallisia ja kaikissa ei ole pohjassa ”uloketta”, josta sen saisi vedettyä helposti ulos. Näin ollen sylinteritilan pohjalle päätettiin vielä lisätä kierrejousi (kuva 13), joka työntää tarkastetun sylinterin ulos teljen avauduttua ja paikoittaa sylinterin pituussuunnassa lukitustelkeä vasten. Jousen halkaisija oli valittava sen mukaan, että avain mahtuu jousen läpi. Jouselle oli myös tehtävä tila, jossa se mahtuu puristumaan kasaan.



Kuva 13. Sylinteriä työntävä jousi (Kuva: Matias Tirkkonen)

11.2 Koskettimet

Koskettimien ensimmäiset prototyypit valmistettiin 3D-tulostamalla (kuva 14). Tällä tavoin oli helppo hakea sopivaa joustosuhdetta pyrstöjousen ja palautusjousen välille. Yhden koskettimen tulostukseen meni aikaa vain noin viisi minuuttia, joten sitä oli nopea muokata tarpeen mukaan ja tulostaa uusia versioita.



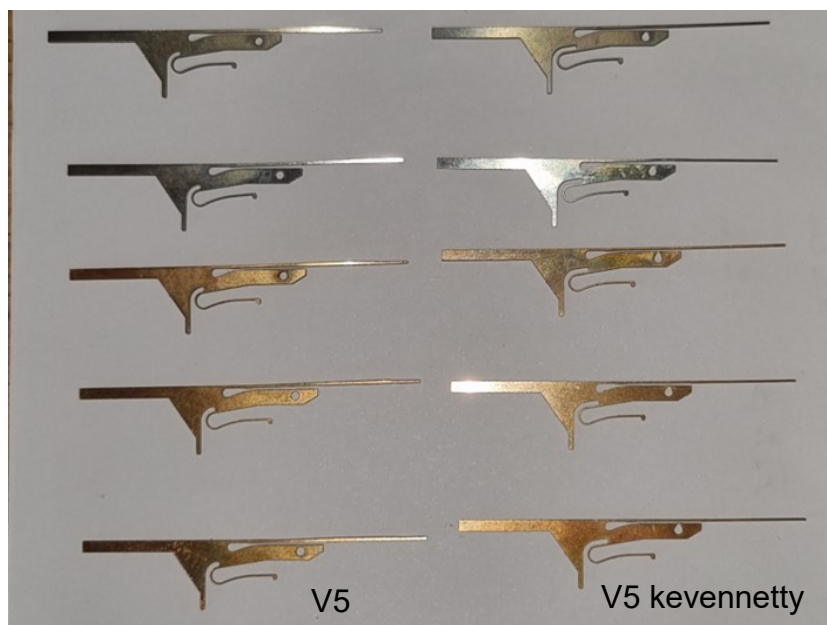
Kuva 14. 3D-tulostettuja koskettimia (Kuva: Matias Tirkkonen)

Seuraavaksi valmistettiin lankasahaamalla ensimmäiset varsinaiset prototyypit. Käytetyt materiaalit valittiin varastosta löytyvistä metallinauhoista. Ensimmäisiin prototyyppeihin käytettiin kolmea erivahvuista tinapronssilevyä (0,5 mm, 0,6 mm ja 0,9 mm) ja kolmea RST-teräksistä levyä (0,5 mm, 0,7 mm ja 0,9 mm). Tinapronssia on käytetty Abloylla aikaisemminkin joustoa vaativissa kappaleissa ja näin ollen todettiin sen sopivan hyvin kyseiseen käyttötarkoitukseen. Myös prototyyppiin valittu X12CrNi17-7, on yleisesti jousissa käytetty rosteri. Teräksistä ohuin, AISI 304, on huomattavasti muita pehmeämpää myötölujuudeltaan, mutta se päätettiin kuitenkin ottaa verrokiksi. Oheisessa taulukossa 5 on listattuna käytettyjen materiaalien mekaanisia ominaisuuksia.

Taulukko 5. Materiaalien ominaisuuksia

Materiaali/ominaisuudet	Kimmokerroin, E [Gpa]	Vetolujuus, Rm [MPa]	Myötöraja, Rp0.2 [MPa]
CuSn6 R640	118	640-730	≥610
X12CrNi17-7 C1300	200	1300-1550	≥1000
X5CrNi18-10 (AISI 304)	200	520-750	≥210

Version 5 mukaisesta koskettimesta (kuva 15) valmistettiin aluksi yhdet kappaleet jokaisesta materiaalista, sekä lisäksi V5-mallista muokatut kevennetyt versiot. Kevennetyyn malliin oli ohennettu pyrstöjousta ja lisätty palautusjousen pituutta.

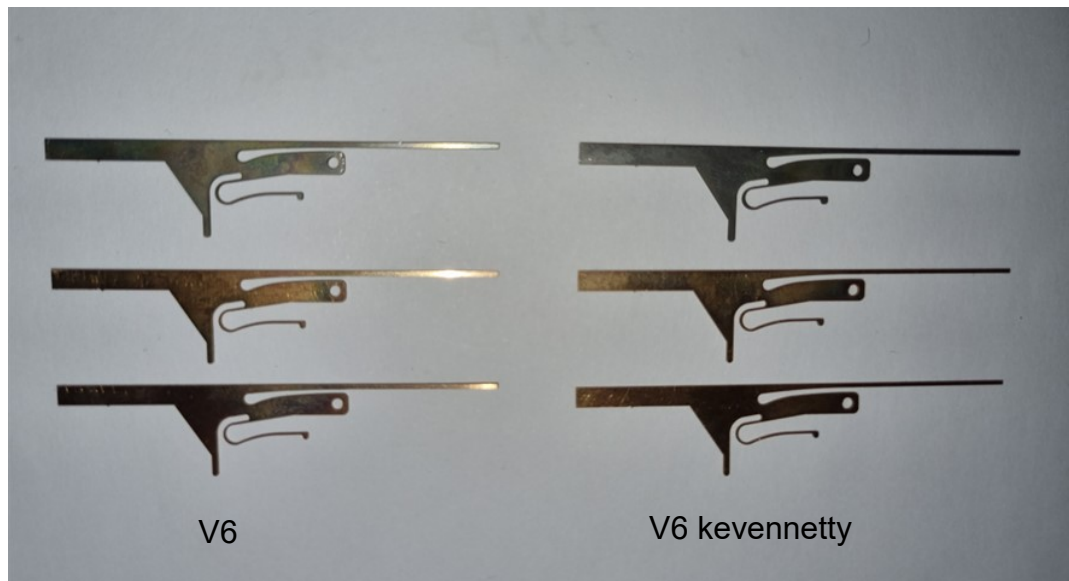


Kuva 15. V5-koskettimia (Kuva: Matias Tirkkonen)

Pyrstön ja rungon väliin jäävä kapea rako meinas aiheuttaa ongelmia lankasahauksessa, joten sitä päätettiin kasvattaa seuraavaan versioon. Kyseisellä mallilla aikaan saatuja kappaleita pystyttiin kuitenkin jo testaamaan ja karsimaan selkeästi huonot vaihtoehdot. 0,9 mm vahvuiset koskettimet olivat turhan paksuja, sillä ne olisivat vaatineet erittäin hyvän kohdistuksen osuakseen tarkasti jokaisen haitan kohdalle. 0,5 mm vahvuinen AISI 304 muutti muotoaan pienestäkin taivutuksesta, kuten odottaa saattoi. 0,5 ja 0,6 mm vahvuiset tinapronssiset kappaleet joustivat hyvin ja olivat myös paksuutensa puolesta helposti kohdistettavia. Jäykemmästä teräksestä valmistettu oli jo selkeästi tinapronssista jäykempi. Palautusjousen kevennyksen havaittiin lisäävän huomattavasti joustavuutta. Kaikissa kappaleissa pyrstön jousto oli kuitenkin vielä liian hento palautusjouseen verrattuna, eikä näin ollen jaksanut voittaa mikrokytkimen ja palautusjousen yhdistettyä jousivoimaa. Lisäksi pyrstöjousen muoto itse jousen ja rungon yhtymäkohdassa sai aikaan epätasaisen taipuman. Pyrstöjousen paksuus oli kevennetyssä 0,4 mm ja normaalissa 0,5 mm.

Kuudenteen versioon (kuva 16) pyrstön ja rungon välistä rakoa kasvatettiin, jousta vahvistettiin ja yhtymäkohtaa muokattiin vähitellen kapenevaksi. Palautusjousen joustavuutta lisäävä kevennys otettiin myös käyttöön uuteen

versioon. Materiaaleja karsittiin pois ja V6-prototyypeissa käytettiin 0,5 mm ja 0,6 mm tinapronssia, sekä 0,7 mm X12CrNi17-7 -terästä. Vertailun vuoksi myös V6-mallista tehtiin kevennetty versio, jonka pyrstöjousta oli ohennettu.



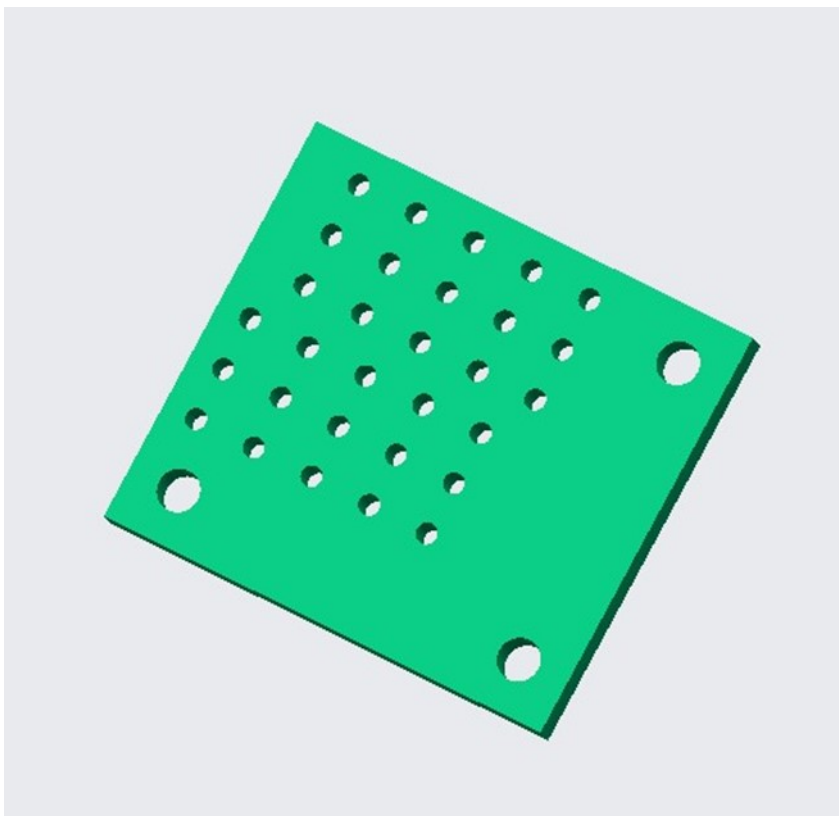
Kuva 16. V6-koskettimia (Kuva: Matias Tirkkonen)

Kaikki materiaalit ja kappaleet toimivat halutulla tavalla, mutta kevennetyt vaativat hieman pidempää nostomatkaa jaksakseen kytkeä mikrokytkimet. Teräksessä jo aikaisemmin havaittu korkeampi jäykkyys katsottiin hylkäysperusteeksi. V6-mallin 0,5 ja 0,6 mm vahvuiset tinapronssiset versiot osoittautuivat molemmat toimiviksi, mutta lopulliseen prototyyppiin valittiin 0,6 mm paksuinen. Se kykeni testissä painamaan mikrokytkintä lähes taipumatta, eikä pyrstön jousto ollut myöskään liian jäykkä koskettimen sattuessa vauran kohdalle.

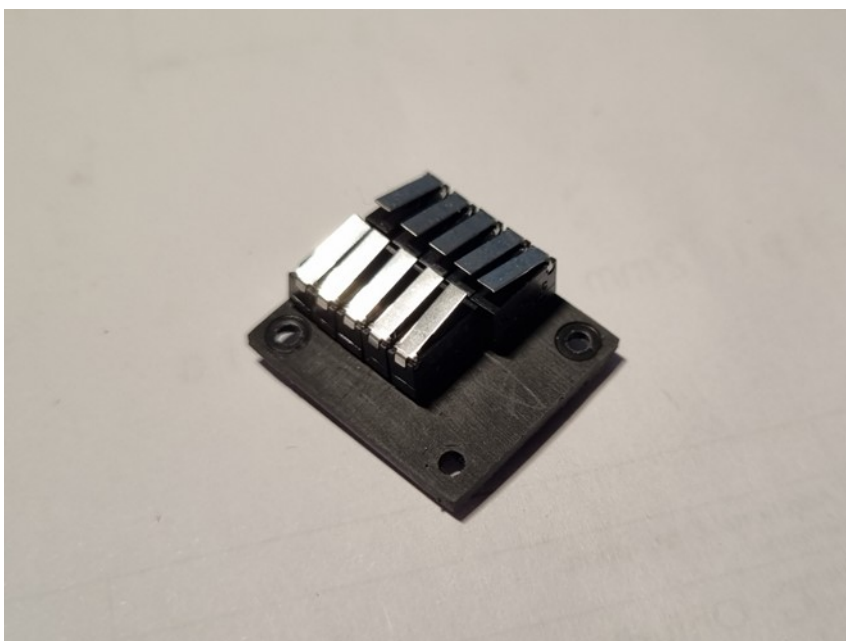
11.3 Mikrokytkinten valinta ja paikoitus

Laitteen varman toiminnan kannalta on tärkeää, että mikrokytkimet on asemoitu tarkasti koskettimiin nähden. Koskettimien välinen etäisyys toisiinsa nähden on 1,5 mm, joka aiheutti haasteita mikrokytkinten valinnassa ja paikoituksessa. Vaihtoehtoina oli joko löytää tarpeeksi kapeita kytkimiä, jotka mahtuvat vierekkäin, tai asetella kytkimet limittäin. Lopulta päädyttiin käyttämään Panasonicin AV4 mikrokytkimiä, jotka olivat vain 2,5 mm leveitä ja piirilevyasenteisia, jolloin ne olisi helppo paikoittaa piirilevyille limittäin. Kytkimen luvataan myös kestävän 300 000 sykliä, jolloin sen voitaisiin olettaa kestävän 150 000:n sylinterin tarkastuksen, kun arvioidaan jokaisen haitan sisältävän keskimäärin kaksi uraa.

Kytkimet on tarkoitettu paikoittamaan piirilevyyn, joka taas on kiinnitetty koskettimiin nähden oikealle paikalle runkoon. Piirilevyyn tehtiin koskettimien paikoitusreiät mitoitettuna Panasonicin 2014 julkaiseman tietolomakkeen mukaisesti, minkä jälkeen reikiä lisättiin tarvittava määrä oikealle etäisyydelle toisiinsa nähden. Piirilevyn tärkeimmät mitat löytyvät liitteestä 4. Kun kaikille kytkimille oli saatu haettava paikka, levy muotoiltiin runkoon sopivaksi ja lisättiin kiinnitysreiät. Prototyyppiä varten ei lähdetty valmistamaan oikeaa piirilevyä, vaan siitä tehtiin kuvien 17 ja 18 mukainen 3D-tulostettu malli, jossa oli reiät kytkinten kiinnitykselle. Kytkimiä asentaessa havaittiin haasteita niiden pystysuuntaisessa asemoinnissa. Oikeaa piirilevyä varten on hyvä valmistaa asemointijigi, joka auttaa kytkimien paikalleen juotossa.



Kuva 17. Piirilevy (Kuva: Matias Tirkkonen)

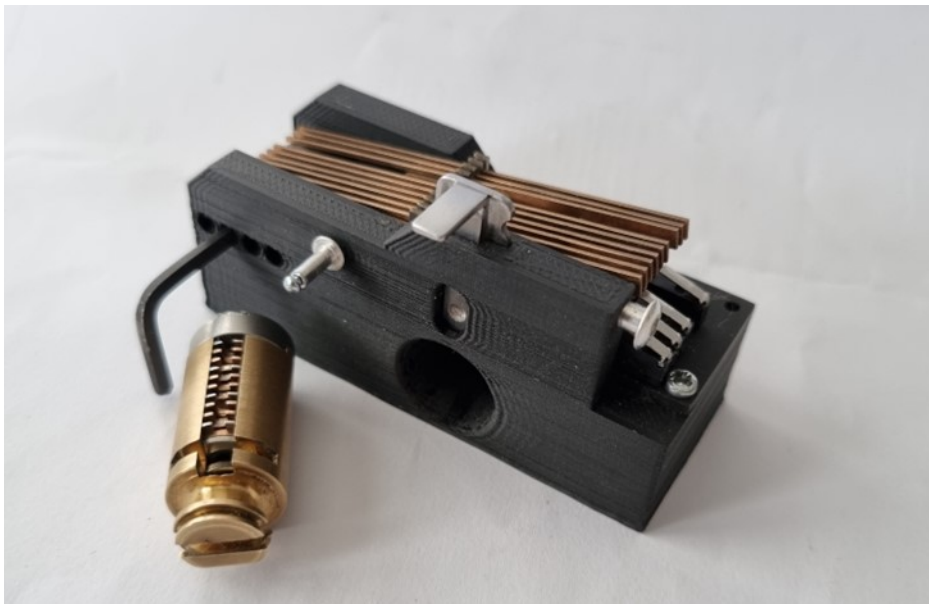


Kuva 18. 3D-tulostettu piirilevyn malli (Kuva: Matias Tirkkonen)

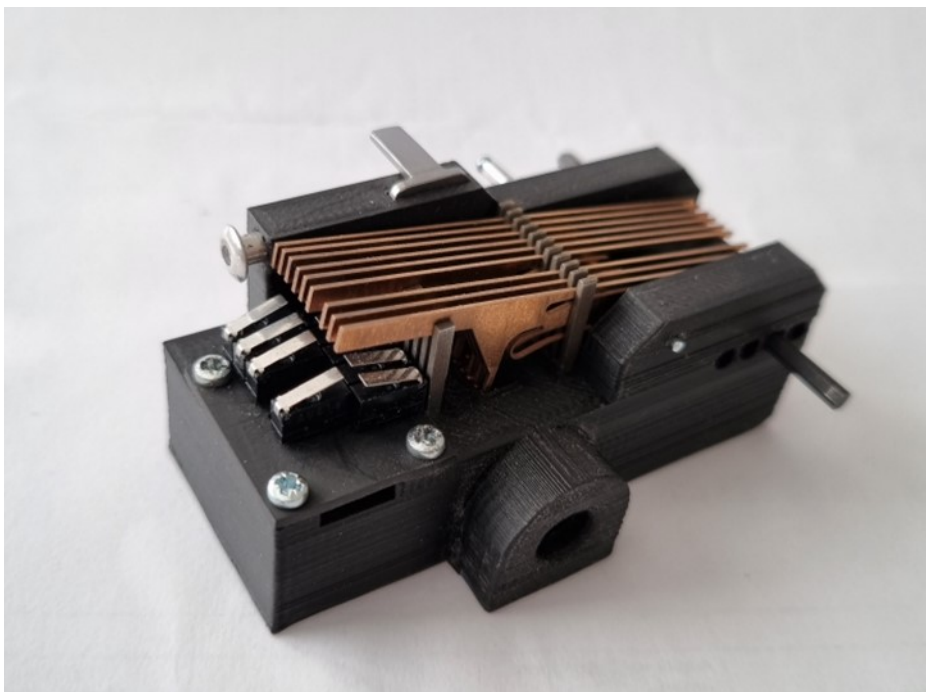
3D-tulostetussa versiossa piirilevyn paksuus oli 1,5 mm. Eri paksuisia käytettäessä on otettava huomioon mikrokytkinten paikan muuttuminen korkeussuunnassa runkoon ja koskettimiin nähden. Helpoin tapa kompensoida muutosta on joko muuttaa rungon mallia, tai esimerkiksi lisätä piirilevyn ja rungon väliin säätölevyjä.

11.4 Valmis kokoonpano

Lopullista kokoonpanoa (kuvat 19 ja 20) varten lukitustelkeä vielä muokattiin hieman ja se valmistettiin metallista kulumisen estämiseksi. Ohjurikammat olivat valmistettu 2 mm ruostumattomasta teräksestä lankasahaamalla. Kamman piikkien välit olivat 0,7 mm, joka pinnankarheuden takia aiheutti koskettimien taker-telua. Ongelma ratkaistiin hiomalla sahattuja pintoja sileämmiksi. Kosketinten pyrstöjen alapintoja täytyi myös hieman kiillottaa, sillä nekin olivat lankasahauksen jäljeltä melko karkeita ja aiheuttivat kitkaa rullan pyöriessä. Mikrokytkimet kiinnitettiin ”piirilevylle” kuumaliimalla, jottei kytkimet heiluisi ja prototyypin testaus onnistuisi luotettavasti. Oikealle piirilevylle ne kiinnitettäisiin juottamalla.



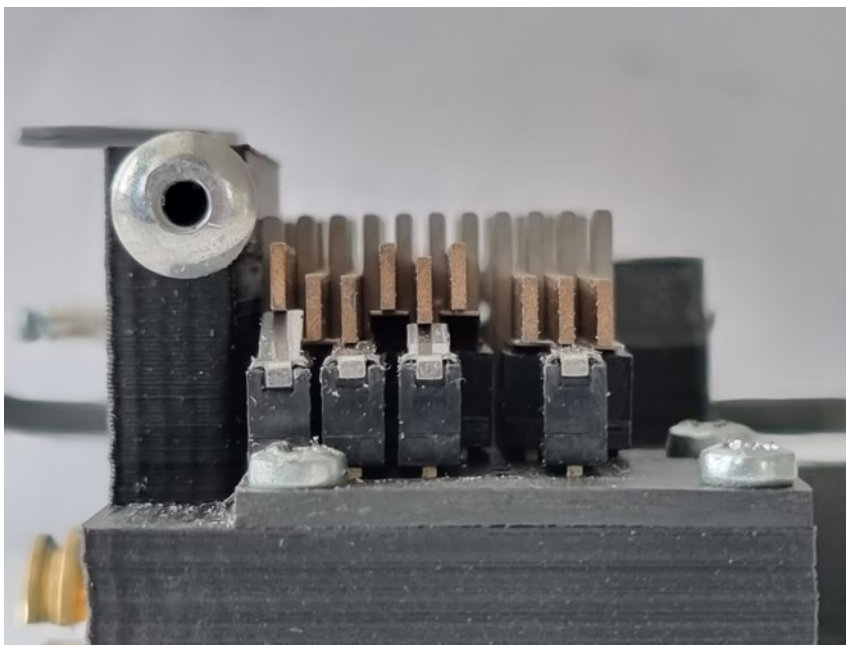
Kuva 19. Valmis kokoonpano 1 (Kuva: Matias Tirkkonen)



Kuva 20. Valmis kokoonpano 2 (Kuva: Matias Tirkkonen)

12 Prototyypin toiminnan testaus

Prototyypin toiminnan testausta varten tehtiin yksinkertainen tutkimus. Sen pääasiallinen tarkoitus oli testata koskettimien ja mikrokytkinten toimintaa ja sitä kautta täyteen tarkastuksen luotettavuutta. Testausjärjestelyssä laitteen kylkeen asennettiin yksinkertainen kulma-asteikko ja avaimen runkoon viisari, joiden avulla avainta pystyttiin kääntämään manuaalisesti aina oikean kulman verran. Jokaisen haitan kohdalla koskettimia käytettiin alhaalla kolme kertaa ja jokaisella kerralla tarkistettiin, että kytkimet olivat kytkeytyneet todellisen tätekoodin mukaisesti. Kuvassa 21 näkyy, kuinka tietyt kytkimet ovat kytkettyinä.



Kuva 21. Prototyypin testaus (Kuva: Matias Tirkkonen)

Tutkimuksen lopputuloksena kytkimet liikkuvat joka kerta suunnitellulla tavalla tunnistuen haittojen kolot, eikä kitkasta mahdollisesti aiheutuvia koskettimien tarkertelujakaan tapahtunut. Myös mikrokytkimet kytkivät aina kun kosketin painui haitan koloon. Kytkimen toiminta varmistettiin kytkemisestä havaittavan äänen perusteella sekä tunnustelemalla, että kytkin on pohjassa. Tämän tutkimuksen perusteella laitteen mekaniikka voidaan katsoa luotettavaksi. Sähkömoottoreiden lisäämisen toimilaitteiksi ei pitäisi vaikuttaa ainakaan luotettavuutta heikentävästi, sillä nykyaikaiset askelmoottorit pystyvät erittäin tarkkoihin askelkulmiin.

13 Automaation toimintaperiaate

Sylinterin tätekoodin muuttaminen automaation ymmärtämään muotoon on tarkoitus tapahtua yhdistämällä mikrokytkimiltä saatavat ykköset ja nollat askelmoottorin kiertokulmaa vastaaviin haitan urituksiin. Kun tietyn haitan kohdalla oleva mikrokytkin tunnistaa koskettimen avulla haitassa olevan uran, tämä ura yhdistetään vallitsevaa kiertokulmaa vastaavaan uran paikkaan ja saadaan selville haitan ”numero”.

13.1 Mittausdata

Alla oleva taulukko 6 havainnollistaa laitteen mittaamaa dataa, josta täytekoodi saadaan selville. Taulukossa käytetty täyte ei ole todellinen.

Taulukko 6. Mittausdata

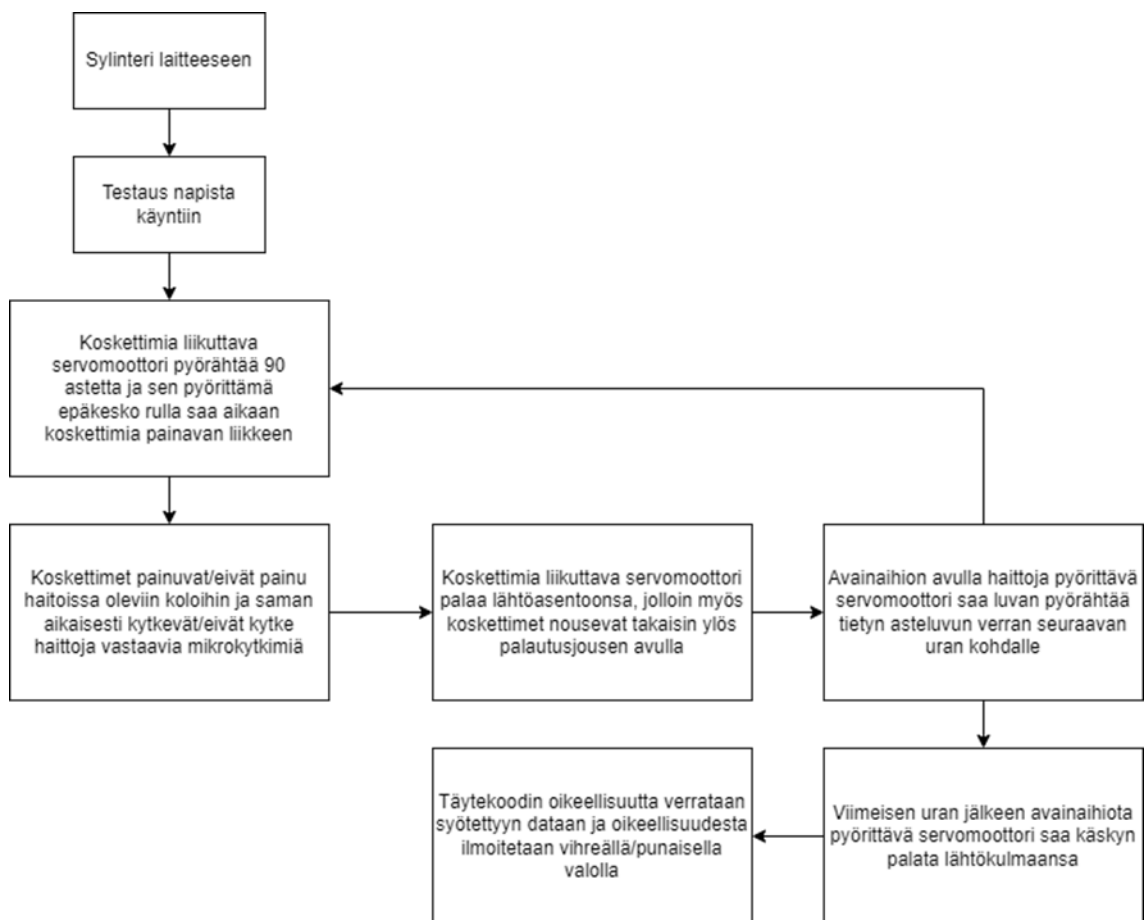
Haitat sylinterin pohjalta luettuna	Haitan urat ja niiden paikkaa vastaavat avaimen kiertokulmat (X)						Täytekoodi
	1 (X°)	2 (X°)	3 (X°)	4 (X°)	5 (X°)	6 (X°)	
Haitta 1	1	0	0	0	0	0	1
Haitta 2	0	0	1	0	0	1	36
Haitta 3	0	0	0	0	1	1	56
Haitta 4	1	0	1	1	1	0	1345
Haitta 5	0	0	0	1	0	0	4
Haitta 6	0	1	0	0	1	0	25
Haitta 7 (välinolla)							0
Haitta 8	0	1	1	1	1	1	23456
Haitta 9	1	1	1	0	0	1	1236
Haitta 10	0	0	0	0	0	1	6
Mikrokytkimien antamat arvot (1 tai 0)							

Mittaus aloitetaan tutkimalla urarivistöä, joka näkyy haittatangon urasta ennen avaimen kiertämistä. Kyseessä on tällöin ura 6. Kaikki koskettimet käyvät samaan aikaan alhaalla tunnustellen oman haittansa kehää ja mahdolliseen uraan painuessaan painavat samalla mikrokytkintä. Esimerkkitaulukon sylinterin tapauksessa kytkimet havaitsevat uran 6 paikalta kolot haitoista 2, 3, 8, 9 ja 10. Uran 5 paikalta kolot löytyvät haitoista 3, 4, 6 ja 8.

Tällä tavoin käydään läpi kaikki uran paikat ja lopputuloksena saadaan täytekoodi. Pohjanollaa ja välinollaa ei mitata, sillä ne ovat täyhteessä aina samalla paikalla.

13.2 Moottoreiden ajoitus

Mittauksen onnistumista edellyttää eri vaiheiden oikea ajoitus, joka on otettava huomioon moottoreita ohjaavan automaation suunnittelussa. Laitteen mekaniikka liikuttaa kaksi servomootoria, joiden keskinäinen ajoitus tulee olla oikeanlainen. Oheinen vuokaavio (kuvio 6) kuvaa eri vaiheita aikajärjestyksessä:



Kuvio 6. Vuokaavio laitteen toiminnasta

14 Pohdinta

Sain idean opinnäytetyön aiheesta työskennellessäni Abloylla kokoonpanijana. Sarjahaitoitettuja sylintereitä täyttäessäni havaitsin, että testaustyö on hidasta ja käsiä rasittavaa useista testausavaimista johtuen. Tästä syntyi ajatus kehittää tarkastuslaite sylinterin täytekodein testaukseen. Koska sain idean haittatangon urasta tapahtuvaan haittojen tutkimiseen jo ennen opinnäytetyön aloittamista, sitä ei tarkemmin enää ideoitu työn osana.

Työ itsessään oli mielenkiintoinen, mutta haastava. Haastavan siitä teki työn laajuus ja rajallinen aika. Työstä jouduttiinkin tästä syystä rajaamaan pois automaation tarkempi suunnittelu. Prototyypin osien muotoilun ideoinnissa käytettiin niin sanottua fail-fast -menetelmää, eli ”epäonnistu nopeasti, onnistu nopeammin”. Kun uusi idea syntyi, testattiin toimiiko se, ja mikäli ongelmia ilmeni, kehitettiin jotain toisenlaista ratkaisua. Tällä menetelmällä saatiin säästettyä suunnittelu-aikaa.

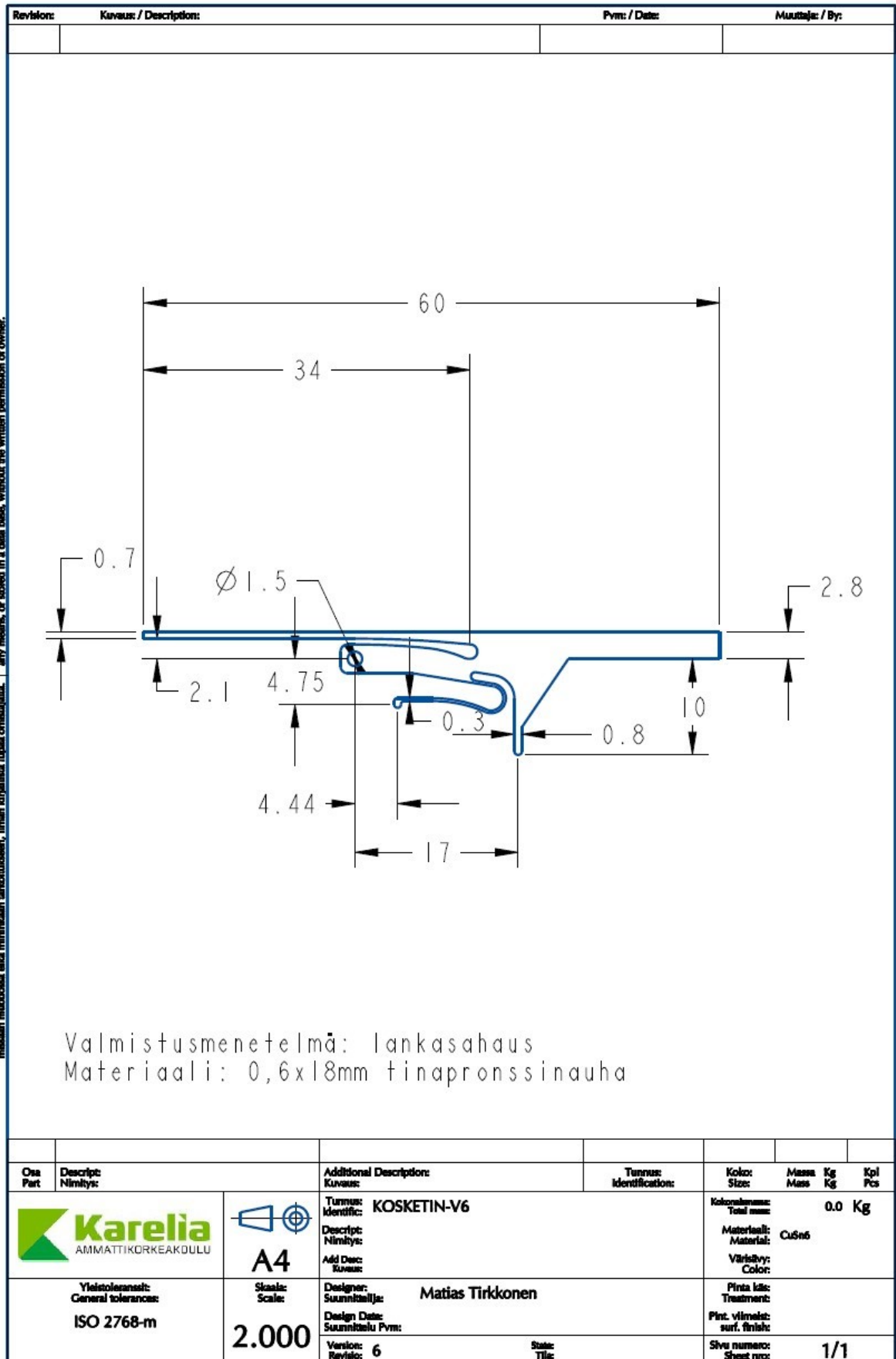
Opinnäytetyön aikana syntyi ajatuksia, joita on hyvä ottaa huomioon laitteen jatkosuunnittelussa: Jotta laitteen käyttö olisi ergonomisesti luontevaa, sylinterin aukko kannattaa asettaa osoittamaan ylöspäin. Tällöin sylinterin asettaminen ja poisto onnistuvat helposti. Laitteessa käytettävälle avainaihiolle on hyvä suunnitella tarpeeksi yksinkertainen vaihtomahdollisuus, jotta kaikkia eri avainprofiileilla täytettyjä sylintereitä saadaan testattua samalla laitteella. Ajatuksena on myös, että täyhteentarkastuslaitteita olisi jokaisella työpisteellä, jossa sylintereitä täytetään. Lisäksi sitä voisi hyödyntää automaatin täyttämien sylintereiden tarkastuksessa osana täyttöautomaattia.

Työ voidaan katsoa kokonaisuudessaan onnistuneeksi, sillä tavoitteet täyttyivät. Mekanisminne saatiin ideoitua erilaisia vaihtoehtoja ja se saatiin kehitettyä toimivaksi kokonaisuudeksi. Tietoperusta toimi apuna tunnistusmekanismin antureiden valinnassa ja esitellyistä vaihtoehtoista löydettiin toimivin ratkaisu. Mekanismin toiminta ja luotettavuus saatiin esitettyä ja testattua opinnäytetyön lopputuloksena valmistuneella prototyypillä.

Lähteet

- Abloy Oy. 2021. Abloy yrityksenä. <https://www.abloy.com/fi/yritys/>. 7.5.2022.
- Airila, M. 1999. Mekatroniikka. Helsinki: Hakapaino Oy.
- Dechow, D. 2019. The Fundamentals of Machine Vision. <https://www.visiononline.org/userAssets/aiaUploads/file/T1-The-Fundamentals-of-MachineVision.pdf>
- Fonselius, J., Rinkinen, J. & Vilenius, M. 1997. Servotekniikka. Helsinki: Oy Edita Ab.
- Hornberg, A. 2006. Handbook of Machine Vision. Wiley-VCH.
- Johnsson, J. & Kördel, L. 1999. Servotekniikka. Iisalmi: IS-VET.
- Jokinen, T. 2010. Tuotekehitys. <http://lib.tkk.fi/Reports/2010/isbn9789526033204.pdf>
- Keinänen, T. & Sumujärvi, M. 2019. Automaatiotekniikka. Helsinki: Sanoma Pro Oy.
- Kuoppala, R., Nevala, K. & Tyni, P. 1986. Anturit koneautomaatiossa. Helsinki: Metalliteollisuuden Kustannus Oy.
- Orientalmotor. 2020. Comparison of Stepper Motor Types. <https://www.oriental-motor.com/stepper-motors/technology/hybrid-stepper-motors-v-hybrid-control.html>. 7.5.2022
- Panasonic Corporation 2014. Panasonic AV4 -data sheet. https://www.mouser.com/datasheet/2/316/turq_eng_fu-850807.pdf
- Työsuojelu.fi. 2021. Työolot. <https://www.tyosuojelu.fi/tyoolot/fyysinen-kuormitus/toistotyö>. 8.1.2022.
- Virelabs. 2022. Konenäkö. <https://www.virelabs.com/fi/virebox/konenako/>. 8.1.2022

Koskettimen päämitat



Tämä dokumentti on osa of sea kopioida, uudelleenjulkaisua tai muuten julkaisua ilman kirjallista lupaa omistajalta. No part of this document may be reproduced or distributed in any form or by any means, or stored in a data base, without the written permission of Owner.

