

TESTAUSPUOMISTON SUUNNITTELU

Poraosio

Toni Peltola

Opinnäytetyö
Toukokuu 2014
Kone- ja tuotantotekniikka
Älykkäät koneet

TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Kone- ja tuotantotekniikka
Älykkäät koneet

TONI PELTOLA:
Testauspuomiston suunnittelu
Poraosio

Opinnäytetyö 59 sivua, joista liitteitä 17 sivua
Toukokuu 2014

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on suunnitella Novatron Oy:lle pienoiskokoinen testauspuomisto, joka jäljittelee ominaisuuksiltaan kivenporauksessa käytetyn pintaporan puomistoa. Puomiston tarkoituksena on auttaa yritystä pintaporan paikannuslaitteiston tuotekehityksessä ennen laitteiston asentamista ja testaamissa aidossa pintaporassa. Puomiston suunnittelu on jaettu kahteen erilliseen opinnäytetyöhön ja tämä opinnäytetyö käsittelee puomiston poraosion suunnittelua.

Opinnäytetyö jakaantuu mekaaniseen suunnitteluun ja ohjausjärjestelmän toteuttamiseen. Mekaanisen suunnittelun osiossa on tutkittu eri toteuttamisvaihtoehtoja ja listattu suunnittelussa huomioon otettavia asioita. Edellä mainittujen asioiden pohjalta on suunniteltu puomiston mekaaninen rakenne. Porakelkan liike on toteutettu käyttämällä vaihteistomoottoria ja trapetsikierrettä. Porakankien siirtelyssä ja lukitsemisessa on käytetty servomoottoreita.

Ohjausjärjestelmäosiossa on keskitytty toteuttamaan vaadittava ohjausjärjestelmä Arduinon avulla. Puomistoa ohjataan kahden ohjaussauvan avulla ja kaikki ohjauskäskyt ohjataan Arduinolle, joka ohjaa ohjelman mukaisesti releitä ja servomoottoreita. Puomiston ohjaukseen käytettävä koodi on luotu opinnäytetyön aikana.

Puomiston valmistuskustannukset puomia kohden saivat olla 500 euroa 10 puomin erästä. Tämä budjetti ei nykyisillä puomiston ominaisuuksilla riittänyt. Se riitti muuhun paitsi metalli- ja muoviosien leikkaukseen ja koneistukseen koko puomiston osalta.

ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tampere University of Applied Sciences
Mechanical and Production Engineering
Intelligent Machines

TONI PELTOLA:
Engineering of Demonstration Boom
Drilling Module

Bachelor's thesis 59 pages, appendices 17 pages
May 2014

The aim of this bachelor's thesis was to design a demonstration boom for Novatron Ltd, which produces measuring systems for different kinds of earthmovers. This demonstration boom is a small-scale miniature rock drill boom to be used for testing purposes.

The main requirement during the development process was to create 10 booms for a unit cost of 500 €. The demonstration boom is designed to use an electrical gear motor with a trapezoidal lead screw and servomotors that are controlled by an Arduino pro mega 2560-microcontroller. The user interface includes two joysticks and four switches which are connected to the Arduino. The body has been constructed mostly from aluminium beams and plates, in order to decrease weight and stabilise the boom with this lighter structure.

The outcomes of this thesis are functional program code for the Arduino microcontroller and the designed assembly of the boom. The total cost of the boom exceeded the set budget with these functions but only by the cost of the sheet metal and plastic parts.

Key words: demonstration, boom, arduino, rock drill, programming, c++

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	5
1.1	Tarkoitus	5
1.2	Novatron Oy lyhyesti.....	5
2	MEKAANINEN SUUNNITTELU	6
2.1	Asetetut vaatimukset puomiston rakenteelle	6
2.1.1	Novatronin asettamat vaatimukset	6
2.1.2	Asetuksista ja standardeista tulevat vaatimukset	7
2.2	toteuttamisvaihtoehtojen tutkiminen.....	8
2.2.1	Hydraulinen toteutus	10
2.2.2	Pneumatiikka.....	11
2.2.3	Sähköllä toteutettu liike.....	12
2.2.4	Käytettävän energia lähteen valinta & perusteet.....	12
2.3	Laskenta	13
2.3.1	Trapetsikierteen voiminen määrittäminen.....	13
2.3.2	Trapetsikierteen nopeuden nosto.	15
2.3.3	Revolverin vääntömomentin määrittäminen	17
2.3.4	Rungon lujuuslaskenta	20
2.4	Kokoonpano	22
3	OHJAUSJÄRJESTELMÄ.....	29
3.1	Arduino	29
3.2	Vaatimukset	30
3.3	Toteutus	31
3.3.1	Tarvittavat osat.....	31
3.3.2	Ohjelmakoodi.....	33
3.4	Kaapelointi ja virransyöttö.....	35
4	JOHTOPÄÄTÖKSET JA POHDINTA	38
	LÄHTEET.....	40
	LIITTEET	42
	Liite 1. Servomoottorien tiedot	42
	Liite 2 Täryelementti	43
	Liite 3 Kokoonpanokuva liukupala	44
	1(2) 44	
	Liite 4 Kokoonpanokuvat poraosio	46
	Liite 5. Arduinon ohjaukoodi	49

1 JOHDANTO

1.1 Tarkoitus

Opinnäytetyön tarkoituksena on suunnitella pienen mittakaavan maanpäällisen kallioporakoneen puomisto, jolla pystytään testaamaan Novatron Oy:n paikannusjärjestelmää jo tuotekehitysvaiheessa ja myöhemmin esittelemään paikannusjärjestelmää ja laitteistoa messuilla puomiston avulla. Alla olevassa kuvassa 1 on Atlas Copcon valmistama pin-
tapora, jota on käytetty esikuvana puomiston liikeratoja suunniteltaessa. Puomiston suunnittelu on jaettu kahteen erilliseen opinnäytetyöhön ja tämä opinnäytetyö käsittelee puomiston poraosion suunnittelua.

1.2 Novatron Oy lyhyesti

Novatron Oy on vuonna 1991 perustettu yritys, joka valmistaa ja markkinoi koneenohjausjärjestelmiä maanrakennustyökoneisiin. Liikevaihto vuonna 2012 oli 3 529 000 euroa ja henkilöstöä yrityksellä on yli 20. Novatronin valikoimista löytyy 2D ja 3D mittajärjestelmiä, paikannusjärjestelmiä ja automaattiohjausta. Tuotteisiin kuuluu myös reaaliaikainen koneenseuranta järjestelmä. (Kauppalehti) , (Novatron Oy)

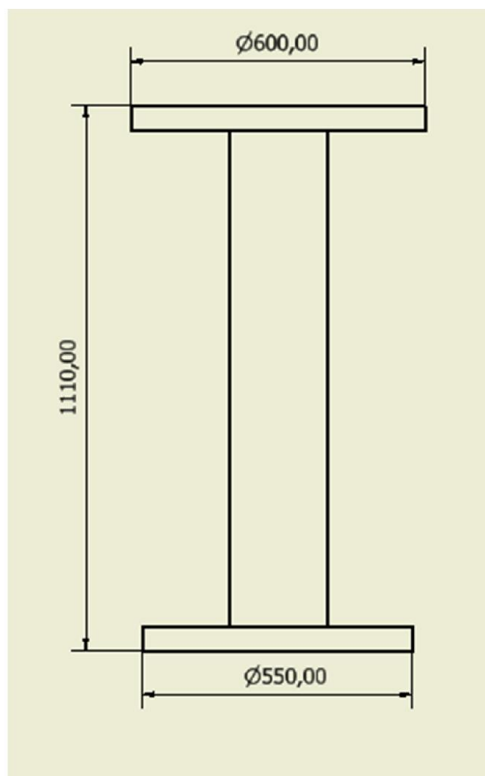


Kuva 1 Porapuomiston malli

2 MEKAANINEN SUUNNITTELU

2.1 Asetetut vaatimukset puomiston rakenteelle

Suunnittelun kannalta oleellisista vaatimuksista osa tuli yrityksen puolelta ja loput koneita koskevista säädöksistä ja standardeista. Testauspuomin ulkoiset suurimmat sallitut mitat määriteltiin noin metrin korkeaksi ja metrin pitkäksi. Kiinnityspöytä, johon puomi kiinnitetään, on massaltaan 30 kg ja kuvassa 2 ovat pöydän päämitat. Puomistossa mas-saa tulee varren päähän, jolloin puomiston vakaus on otettava suunnittelussa huomioon.



Kuva 2 Kiinnityspöydän mitat

2.1.1 Novatronin asettamat vaatimukset

Novatronin vaatimukset laitteen toteuttamiselle oli porapuomin poralaitteen osalta:

- Poran liikettä mitataan Moba PWM-anturilla.
- Kangen vaihto anturoidaan mikrokytkimellä.
- Vasaran käynnistys simuloidaan mikrokytkimellä.

- Kangen tulee liikkua porapuomin suuntaisesti minimissään 50 %:ia puomin mitasta.
- Kangen vaihdon mekaniikka vapaa.
- Vasaran päälle/pois mekaniikka vapaa.
- Puomin paino ei saa tehdä pöydästä epästabiilia.
- Hinta 500 € / puomi @ 10 kappaleen erä.
- Isot kappaleet palkeista peltileikkeistä jne.
- Mallinnukset Solidworks-yhteensopivia.

Novatronin vaatimuksien jälkeen listattiin ongelmakohdat ja muut huomioon otettavat asiat. Ongelmakohdiksi suunnittelussa todennäköisesti muodostuisi pora-akselin vaihdon toteutus kustannustehokkaasti ja koneen liian suuri kokonaispaino. Poraosiossa oleva massa vaikuttaa puomiston vakauteen huomattavasti, koska massa on varren päässä, joten massa on pyrittävä pitämään pienenä. Muuta huomioon otettavaa toteutuksessa on Konedirektiivi 98/37/EC, asettamat turvallisuusvaatimukset.

Myöhemmin vaatimukseen lisättiin seuraavia asioita:

- Kangen liikkeen nopeuttaminen. Työkierron kesto enintään 2 minuuttia.
- Puomiston materiaalina Anodisoitu Alumiini.
- Tavarat tilattuna maaliskuun puoliväliin mennessä.
- Tarvittavat osat listattuna mahdollisimman nopeasti, jotta saadaan tilaukseen.

2.1.2 Asetuksista ja standardeista tulevat vaatimukset

Valtioneuvoston asetus koneiden turvallisuudesta (400/2008) määrittelee vaatimuksia, jotka on suunnittelussa otettava huomioon. Osien ja liitosten on kestettävä koneen käytöstä muodostuvat rasitukset. Koneesta on myös minimoitava terävät kulmat, jotta koneen kosketeltavista osista ei aiheudu vammoja. Suojukset ja turvalaitteet ovat lisäksi oltava rakenteeltaan kestäviä ja pysyttävä paikoillaan. Ne eivät myöskään saa aiheuttaa lisävaaraa ja niiden on oltava vaikeasti ohitettavia. Vaikeasti ohitettavaksi luokitellaan tavat, joihin tarvitaan työkaluja, esimerkiksi ruuvi kiinnitys on vaikeasti ohitettava tapa kiinnittää suojuksia paikoilleen. Suojuksien on lisäksi estettävä mahdollisimman vähän työn tarkkailua.

Liikenopeudet

Turvalliset liikenopeudet puristavalle osalle vaihtelevat standardista riippuen.. Useassa puristimia koskevissa standardeissa (SFS-EN 692, SFS-EN 12 622) hitaan liikkeen rajaksi on määritelty 10 mm/s. Muutamissa työsuojeluhallituksen asiakirjoissa (työsuojeluhallituksen turvallisuustiedote nro 30) hitaan puristusliikkeen rajanopeudeksi on määritelty alle 6 mm /s. Kaikkien yllämainittujen nopeuksien määrittelyssä on myös vaadittu pakkokäyttöistä hallintaelintä, jotta mainitut nopeudet ovat luokiteltu ”turvallisiksi”. (Siirilä, 2008)

2.2 toteuttamisvaihtoehtojen tutkiminen

Aluksi oli tutkittava kaikki mahdolliset tavat toteuttaa laite. Vaihtoehtoina energialähteiksi oli hydrauliiikka, pneumatiikka ja sähkö. Taulukosta 1 nähdään, että tarvittava pystyliike on mahdollista saada aikaan moottorin liikuttamalla kelkalla, tai erilaisilla sylinteri ratkaisuuilla, jotka liikuttavat kelkkaa.

Taulukko 1: toteuttamisvaihtoehdot

Energia lähde	Energian muunnin	HYÖDYT	HAITAT
Hydrauliikka	Moottori	<ul style="list-style-type: none"> - Toteutuksen helppous, ei tarvita paljoa logiikkaa - Pora-akselin helppo paikallaan pidon toteutus. 	<ul style="list-style-type: none"> - Hinta - Paino - Hydrauliikan vaarallisuus esittely käytössä - Äänekkyys - Järjestelmän lämpäminen -hydrauliikkavuodot
	Sylinteri		
	Teleskooppi sylinteri		
Pneumatiikka	Moottori	<ul style="list-style-type: none"> - Toteutuksen helppous, ei tarvita paljoa logiikkaa - Pora-akselin helppo paikallaan pidon toteutus. - Kevyempi kuin hydraulinen toteutus. 	<ul style="list-style-type: none"> - Komponenttien hinta - Paineilman tuottaminen - Sylinterien paikallaan pysyminen - Mahdolliset ilma- vuodot - Äänekkyys
	Lineaarisylinteri		
	2 x Sylinteri (peräkkäin)		
	Teleskooppisylinteri		
Sähkö	Karasyylinteri	<ul style="list-style-type: none"> - Tarvittavan energian paikalle tuonnin helppous - Halvin - Turvallinen, ei liikkuvia nesteitä tai paineistettua ilmaa 	<ul style="list-style-type: none"> - Monimutkaisempi ohjaus kuin hydraulikassa tai pneumatikassa. - Sähköiskuvaara
	Moottori & alennusvaihteisto		
	Lineaarisylinteri		

2.2.1 Hydraulinen toteutus

Hydrauliikalla tehtävän toteutuksen etuina olisi toteutuksen yksinkertaisuus ja nopeuden säätö toteuttamisen yksinkertaisuus käyttämällä kuristimia ja voimaa rajoitettaisiin paineenrajoitusventtiileillä. Hydraulisella käytöllä poran paikoillaan pitäminen ei aiheuttaisi ongelmia, jos karoiksi valittaisiin keskiasennossa suljetut karat, jolloin sylinterit tai moottorit pysyisivät paikoillaan. Hydrauliikan huonoina puolina on hydraulisten komponenttien hinta.

Taulukko 2: Hydrauliikka komponenttien hintataulukko

Nimike	Tuote nro	hinta	ALV	Lähde	Haku päivämäärä
Geroottorimoottori	125 012 JKB C4 BAAAA	177	ei. sis ALV	http://tuotteet.etra.fi/fi/g21701433/wm-125-sarja	2.1.2014
Suuntaventtili	HDM140K02-15- A01-L100	127,85	ei. sis ALV	http://tuotteet.etra.fi/fi/g21896302/monoblock-hdm140--40lmin	2.1.2014
Paineenrajoitusventtiili	05.13.07-03-02- 05 VSC-20	87,80	ei. sis ALV	http://tuotteet.etra.fi/fi/g21703567/ paineenrajoitusventtiilit	2.1.2014
Voimayksikkö ilman-sähkömoottoria	UP100K3P001/A P5,0-P100R- EBT-E132-50	490	ei. sis ALV	http://tuotteet.etra.fi/fi/g22078417/pienyksikot	2.1.2014
	Yhteensä	882,65	ei. sis ALV		

Yllä olevasta taulukosta 2 puuttuvat kaikki hydrauliikkaletkutukset ja muu tarvittava mekaniikka, kuten runko. Hydraulinen vaihtoehto ylittää siis annetun budjetin pelkän porapuomin hydrauliikkakomponenttien osalta yli puolitoistakertaiseksi.

Hydrauliset komponentit ovat myös raskaita ja hydrauliikkavuodot ovat todennäköisiä elinkaaren aikana, jolloin eritoten messukäytössä vuotava hydrauliikkaneeste aiheuttaa tapaturma vaaroja, liukastumisia tms. Lisäksi laite vaatii hydrauliikkakäytöllä erillisen voimalaiteyksikön, jossa tarvittava hydrauliikkapaine ja tilavuusvirta tuotetaan.

2.2.2 Pneumatiikka

Pneumatiikalla toteutettuna laitteesta tulee kevyempi, kuin hydraulikalla toteutettuna, koska komponentit ovat kevytrakenteisempia johtuen pienemmästä käyttöpaineesta (10 bar enintään). Pienempien paineenkestovaatimusten myötä tarvittavat pneumatiikka letkutukset ja putkitukset ovat kevyemmin toteutettavissa. Pneumatiikan puolelta löytyy valmiskomponentteina lineaarisylinteri, jossa on runko ja lineaarisesti rungon suuntaisesti liikkuva kelkka valmiina. Lineaarisylinterillä rakennettuna laitteesta tulisi yksinkertainen. Korkea komponenttien hinta suhteutettuna budjettiin on esteenä pneumatiikan käytölle.

Taulukko 3: Pneumatiikka komponenttien hintataulukko

Nimike	Tuotenumero	hinta	ALV	Lähde	Haku päivämäärä
Suuntaventtiili	4H210-08	10,35	Ei sis. ALV	http://www.ebay.com/itm/New-5-Port-2-Position-1-4-PT-Hand-Lever-Control-Operated-Pneumatic-Valve-/400623171281?pt=Pneumatic_Hydraulic_Valves_Parts&hash=item5d470076d1	28.12.2013
GAST vaihteistomoottori 350 rpm	1AM-NRV-56-GR11	204,90	Ei sis. ALV+tulli	http://www.ebay.com/itm/GAST-1AM-NRV-56-GR11-Pneumatic-4-Vane-Gear-Motor-15-1-Ratio-350-Rpm-/151196099371?pt=LH_DefaultDomain_0&hash=item2333fd632b	28.12.2013
kompressori	XT2418	99	sis alv	http://www.ikh.fi/PDFs/product8890_4772.pdf	26.12.2013 (päivitetty 20.3.2014)
	Yhteensä	295,9			

Pneumatiikalla puomisto on toteutettavissa halvemmalla kuin hydraulikalla tehtäessä. Pneumaattinen toimilaitteisto vaatii myös ulkopuolisen voimalaiteyksikön, josta tarvittava paineilma saadaan. Kompressorit ovat äänekkäitä, joten messukäyttöä ajatellen ei paras ratkaisu. Moottorista tai sylinteristä vapautuva paineilma aiheuttaa hieman ääntä, koska paineilma vapautetaan ympäröivään ilmaan.

2.2.3 Sähköllä toteutettu liike

Sähkötoteutuksen etuna on se, ettei erillistä voimalaiteyksikköä tarvita, vaan tarvittava energia saadaan sähköverkosta. Paineistetun ilman ja hydraulikkanesteen puuttuessa ei ole vaaraa, että tapahtuisi letkurikkoja ja sitä kautta vaarallisia neste/ilmasuihkuja, jotka voivat aiheuttaa lähellä oleville ihmisille tapaturmia. Sähkötoteutuksen huonona puoleena on tarvittavan ohjauksen monimutkaistuminen. Enää ei voida ajaa sylinteriä tai moottoria ”jumiin” painerajaa vasten, vaan on käytettävä rajakatkaisijoita tai muita komponentteja tunnistamaan liikerajat, jotta eivät sähkömoottorit hajoa ”jumiin” ajamisen seurauksena.

2.2.4 Käytettävän energia lähteen valinta & perusteet

Käytettäväksi energialähteeksi valikoitui sähkö, halpuuden ja keveyden vuoksi. Valmiit karasyliinterit olivat silti liian kalliita tähän toteutukseen, joten oli mietittävä halvempaa tapaa. Internetistä löytyi halpoja vaihteistomoottoreita Bebek Oy:n valikoimista ja Ruuvilinja Oy:n Ruuvi.net-verkkokaupasta löytyi valmiita Trapetsikierretankoja ja mutteireita, joilla lineaarinen liike saadaan aikaiseksi edullisemmin kuin valmistratkaisulla. (taulukko 4). Erään 50mm liikkeen tekevän karamoottorin hinta oli 297 € alv 0 % (Wexon Oy, sähköpostikysely, luettu 2.4.2014).

Itse rakennettuna 1000 mm liikkeeseen kuuluu rahaa seuraavan taulukon 4 mukaisesti:

Taulukko 4: Sähkötoteutuksen hintataulukko (20.1.2014)

Tuote	Hinta	Alv
Trapetsikierretanko Pituus = 1m 10x3 (Ruuvi.net)	17,6478	Sis. ALV 24%
Trapetsimutteri 10X3 (Ruuvi.net)	8,0487	Sis. ALV 24%
ASAHI-SEIKO - A5DOG Vaihteistomoottori 6-24VDC, 110 rpm/24V (Bebek.fi)	17,50	Sis. ALV 24%
UFL000, LAIPPALAAKE- RIYKSIKKÖ (Tampereen laakerikeskus)	12,50	Ei Sis. ALV 24%
UFL000, LAIPPALAAKE- RIYKSIKKÖ (Tampereen laakerikeskus)	12,50	Ei Sis. ALV 24%
Kokonaishinta ilman ALV:tä	59.8 €	

On huomioitava, että yllämainitut laakerit eivät ole tarkoitettu aksiaalisten kuormien kanton. Edullisuuden ja empiirisen kokemuksen perusteella ne kestävät aksiaalista kuormaa riittävästi hintaansa nähden.

2.3 Laskenta

Lujuuslaskentaa puomin suunnittelussa tarvittiin moottorien mitoitukseen, oikean kokoisien trapetsikierteen valintaan, sekä riittävän jäykkyyden saamiseen puomiston runko-osaan. Kaikki laskenta on tehty käyttämällä hyväksi Mathcad-sovellusta laskentavirheiden välttämiseksi ja tarkastuslaskenta tehtiin Autodesk Inventor 2013 mallinnusohjelman lujuuslaskentamoduulilla.

2.3.1 Trapetsikierteen voiminen määrittäminen

Trapetsikierteen tarvitsema vääntömomentti on laskettava, jotta voidaan varmistaa vaihteistomoottorin riittävydestä trapetsin pyörittämiseen. Trapetsikierteeseen kohdistuvaksi massaksi määritettiin 8kg, joka yhteensä vastaa kelkan massaa ja neodiuummagneetin pitovoimaa, 7kg, porakangen ja pora-akselin välisessä liitoksessa.

Shigley's Mechanical Engineering Designin mukaan trapetsikierteen momentin määrittäminen tapahtuu seuraavasti:

$$T_R = \frac{F d_m}{2} \left(\frac{l + \pi f d_m \sec \alpha}{\pi d_m - f l \sec \alpha} \right) \quad \text{Kaava 1}$$

jossa

T_R on ruuvien pyörittämiseen tarvittava momentti

p on kierteennousu

f on kitkakerroin

F on akselin suuntainen voima

d_m on kylkihalkaisija

l on kierteiden määrä

α_{sec} on kylkikulman puolikas. Kierteen ja akselin kohtisuoruuden välinen kulma

$\sec \alpha$ on sekantti ($1/\cos \alpha$)

Lähtöarvot:

nousu $p = 3 \text{ mm}$

kitkakerroin $f = 0,17$

kylkihalkaisija $d_m = 9 \text{ mm}$

Akselin suuntainen voima $F_s = 68,647 \text{ N}$

$\alpha_{\text{sec}} = 15^\circ$

$$T_R := \frac{F_s \cdot d_m}{2} \cdot \left(\frac{p + \pi f_{\mu} \cdot d_m \cdot \frac{1}{\cos(\alpha_{\text{sec}})}}{\pi \cdot d_m - f_{\mu} \cdot p \cdot \frac{1}{\cos(\alpha_{\text{sec}})}} \right) = 0,101 \cdot \text{N} \cdot \text{m}$$

Yllä oleva kaavalla 1 laskettu momentti on tarkistettu Koneenosien suunnittelu-kirjan sivulla 172 olevalla kaavalla:

$$M_g = \frac{d_2}{2} \times \frac{\mu_g + \cos\left(\frac{\alpha_n}{2}\right) \times \tan \gamma}{-\mu_g \times \tan \gamma + \cos\left(\frac{\alpha_n}{2}\right)} \times F_s \quad \text{Kaava 2}$$

,jossa

F_s on ruuvissa vaikuttava aksiaalivoima, d_2 on kylkihalkaisija, μ_g on kitkakerroin, α_n on kylkikulma. γ on nousukulma, joka lasketaan kaavalla (Mauri Airila, 2010 s.167)

$$\gamma_n = \tan^{-1}\left(\frac{p}{\pi d_2}\right) \quad \text{Kaava 3}$$

, jossa p on nousu ja d_2 on kylkihalkaisija.

Käyttämällä kaavaa 2 ja 3 saadaan sama tulos, kuin kaavalla 1.

Lähtöarvot:

nousu $p=3\text{mm}$

kitkakerroin $f=0,17$

kylkihalkaisija $d_2=9\text{mm}$

Akselin suuntainen voima $F_s=68,647\text{N}$

$\alpha_n=30^\circ$

$$M_{g10} := \frac{d_2}{2} \cdot \frac{\mu_g + \cos\left(\frac{\alpha_n}{2}\right) \cdot \tan(\gamma_n)}{-\mu_g \cdot \tan(\gamma_n) + \cos\left(\frac{\alpha_n}{2}\right)} \cdot F_s = 0.101 \cdot \text{N} \cdot \text{m}$$

2.3.2 Trapetsikierteen nopeuden nosto.

Asahi Seikon moottorin pyörimisnopeus on 110 kierrosta per minuutti 24 voltilla. Liikekierron kesto ylhäältä alas ja takaisin lähtöasentoon saa olla 2 minuuttia. Ilman nopeutusta kierron kesto

kierrokset 12V:lla

$$\text{nopeus12} := 55 \frac{1}{\text{min}}$$

kierrokset 24 V:lla

$$\text{nopeus24} := 110 \cdot \frac{1}{\text{min}}$$

$$\text{nousu} := 3\text{mm}$$

liikematka

$$\text{liikematka} := 528\text{mm}$$

kokonaisaika:

$$\text{total12} := \frac{\text{liikematka} \cdot 2}{\text{nopeus12} \cdot \text{nousu}} = 6.4 \cdot \text{min}$$

$$\text{total24} := \frac{\text{liikematka} \cdot 2}{\text{nopeus24} \cdot \text{nousu}} = 3.2 \cdot \text{min}$$

Pyörimisnopeus on 12 voltin jännitteellä 6 minuuttia ja 24 sekuntia ja vastaavasti 24 voltin jännitteellä 3 minuuttia ja 12 sekuntia. Pyörimisnopeutta on nostettava, jotta 2 minuutin aikaraja täyttyy.

Trapetsin pyörimisnopeuden on oltava:

Tavoite aika ylös & alas 2 minuutissa.

$$\frac{\text{liikematka} \cdot 2}{\text{pyörimisnopeus} \cdot \text{nousu}} = 2\text{min}$$

$$\text{pyörimisnopeus} = \frac{\text{liikematka} \cdot 2}{2 \cdot \text{nousu}} = 176$$

välityssuhdetta on siis muutettava:

$$\begin{array}{cc} 24 \text{ V} & 12\text{V} \\ \frac{176}{110} = 1.6 & \frac{176}{55} = 3.2 \end{array}$$

$$\text{hammashuku1} := 20$$

$$\text{hammashuku1}_{12\text{V}} := 20$$

$$\text{hammashuku2} := 38$$

$$\text{hammashuku2}_{12\text{V}} := 90$$

$$\frac{\text{hammashuku2}}{\text{hammashuku1}} = 1.9$$

$$\frac{\text{hammashuku2}_{12\text{V}}}{\text{hammashuku1}_{12\text{V}}} = 4.5$$

Moottorin kiinnityspisteet rajoittavat hammaspyörän kokoa, joka voi suurimmillaan olla halkaisijaltaan 42mm. Tästä johtuen 12V jännitteen käyttö järjestelmässä ei ole enää mahdollista. Mekanex Oy:n valikoimista löytyy hammaspyörä, jonka suurin halkaisija

on 40mm ja hammasluku 38 akselin reiän koon ollessa 8mm, joka vastaa vaihteistomoottorin akselin halkaisijaa. Trapetsikierteen päähän laitetaan 20-hampainen hammaspyörä. Nopeutta saadaan nostetuksi 1,9-kertaiseksi, jolloin kierron ajaksi tulee 1 min 41 sekuntia.

Nopeutta nostaessa moottorilta tarvittava vääntömomentti kasvaa

$$M = Fr$$

Kaava 4

,josta sijoittamalla sama kaava uudelleen kaavaan

$$M_1 = \frac{M_2}{r_2} \times r_1 = \frac{0,101 \text{ Nm}}{20 \text{ mm}} \times 38 \text{ mm} = 0,174 \text{ Nm}$$

, jossa R_2 ja R_1 ovat hammaspyörien jakohalkaisijoita ja M_2 trapetsikierteen tarvitsema momentti liikkeen aikaan saamiseksi.

Empiirisen kokeen perusteella Asahi Seiko vaihteistomoottorista löytyy vääntöä vähintään 0,294Nm 18V:lla. Testi tehtiin akselin ympärille kiedotun langan ja matkalaukku vaa'an avulla, jolla ennen langan katkeamista päästiin 7,5kg näyttämään. Ja tämä vastaa 4mm akselin säteellä momenttia 0,294 Nm. Aikaisemmin laskettu trapetsikierteen vääntömomentti oli laskettu liikkeellelähtökirkalla, joten moottorin voimat riittävät trapetsikierteen pyörittämiseen.

2.3.3 Revolverin vääntömomentin määrittäminen

Jotta voitiin etsiä riittävä servomoottori revolverin pyörittämiselle, oli revolverille laskettava vääntömomentti, jota tarvitaan revolverin pyörittämiseen.

Pistemäisen kappaleen massahitausmomentti (poratangot) etäisyydellä r akselista lasketaan kaavalla (Tammertekniikka, 2010 s.94)

$$j = mr^2, \quad \text{Kaava 5}$$

jossa m on massa ja r säde.

Ohuen ympyrälevyn massahitausmomentti lasketaan kaavasta (Tammertekniikka, 2010 s.94)

$$J_x = \frac{1}{2}mR^2, \quad \text{Kaava 6}$$

jossa m on massa ja R on ympyrän säde.

$R_1 := 75\text{mm}$ Revolverin säde

$\text{mass}_{\text{plas}} := 0.5\text{kg}$ Revolverin levyjen kokonaismassa

Revolverin massahitausmomentti:

$$I_{\text{revolver}} := \text{mass}_{\text{plas}} \cdot 0.5 \cdot R_1^2 = 1.406 \times 10^{-3} \text{ m}^2 \cdot \text{kg}$$

Servomoottorin teknisistä tiedoista

$$\omega := \frac{1\text{rad}}{0.17\text{s}} = 5.882 \frac{1}{\text{s}}$$

$$\alpha := \frac{\omega}{0.17\text{s}} = 34.602 \frac{1}{\text{s}^2}$$

$$M_{\text{revolver}} := I_{\text{revolver}} \cdot \alpha = 4.866 \cdot \text{N} \cdot \text{cm}$$

Kitka:

Kitka liukumisrajalla

$$\mu_s := 0.12 \text{ teräs-teräs}$$

$$F_{\mu s} := \mu_s \cdot \text{mass}_{\text{plas}} \cdot 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 0.589 \text{ N}$$

$$M_{\mu s} := F_{\mu s} \cdot R_1 = 4.414 \cdot \text{N} \cdot \text{cm}$$

Tankojen aiheuttama kitka:

$$\mu_{\text{tanko}} := 0.12 \text{ teräs-teräs}$$

$$\text{mass}_{\text{tanko}} := 0.342 \text{ kg} = 0.342 \text{ kg}$$

$$F_{\mu \text{tanko}} := \mu_{\text{tanko}} \cdot \text{mass}_{\text{tanko}} \cdot 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 0.403 \text{ N}$$

$$R_{\text{tanko}} := 55 \text{ mm}$$

$$M_{\mu \text{tanko}} := F_{\mu s} \cdot R_{\text{tanko}} = 3.237 \cdot \text{N} \cdot \text{cm}$$

$$M_{\mu \text{tankokaikki}} := M_{\mu \text{tanko}} \cdot 4 = 12.949 \cdot \text{N} \cdot \text{cm}$$

Tankojen aiheuttama massahitausemomentti

$$J_{\text{tanko}} := \text{mass}_{\text{tanko}} \cdot R_{\text{tanko}}^2 = 1.035 \times 10^{-3} \text{ m}^2 \cdot \text{kg}$$

$$J_{\text{tankoal}} := 4 \cdot J_{\text{tanko}} = 4.138 \times 10^{-3} \text{ m}^2 \cdot \text{kg}$$

Momentti

$$M_{\text{tangot}} := J_{\text{tankoal}} \cdot \alpha = 14.319 \cdot \text{N} \cdot \text{cm}$$

$$\frac{M_{\text{tangot}}}{9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} = 1.46 \cdot \text{kg} \cdot \text{cm}$$

Yhteenlaskettu vääntömomentti

$$\text{Total} := M_{\mu s} + M_{\text{revolver}} + M_{\mu \text{tankokaikki}} + M_{\text{tangot}} = 0.365 \cdot \text{N} \cdot \text{m}$$

$$\frac{\text{Total}}{9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} = 3.726 \cdot \text{kg} \cdot \text{cm}$$

Revolveria tullaan kääntämään BMS-660DMGplus servolla (liite 2). Servon momentiksi on ilmoitettu 14.2kg/cm, mutta lukemasta ei käy ilmi onko se pitomomentti vai vääntömomentti. Hinta ero vähemmän vääntäviin servoihin on pieni, joten suuremmalla ilmoitetulla momentilla on todennäköisempää saada revolveri pyörimään halutusti. Servon elinikä pitenee, kun servoa ei rasiteta lähellä maksimi vääntömomenttia.

2.3.4 Rungon lujuuslaskenta

Rungon mitoitusta tarkasteltiin aluksi ulkonäön kannalta. Näyttääkö puomi sopusuhtaiselta, liian leveältä, pitkältä jne. Alustavat järkevältä vaikuttavat mitat olivat n 1000m pituutta, 200mm leveyttä ja syvyyttä 200mm. Alumecon valikoimista lujuuslaskentaa varten valikoitui materiaali AW-6060 T6, joka osoittautui riittävän kestäväksi päistään tuettuna ja tasaisella 20 kg:n kuormituksella. (Alumeco)

Rungon lujuuslaskennat 30 x 50 x 30 x 3 U-palkille. Laskennassa tarvittava neliömomentin kaava on

$$I_y = \frac{2sb^3 + ht^3}{3} - AC_x^2 \quad \text{Kaava 7}$$

,jossa

$$\frac{2b^2s + ht^2}{2bd - 2h(b-t)} = C_x, \quad \text{Kaava 8}$$

$$A = 2sb + ht, \quad \text{Kaava 9}$$

s ja t ovat palkin ainevahvuuksia, b on palkin leveys, h on palkin korkeus vähennettynä ainevahvuuksilla. (eFunda)

Vetolujuus:

$$R_m := 190 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Myötölujuus

$$R_{p02} := 150 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Venymä

$$A_{50\text{mm}} := 12\%$$

$$d := 50\text{mm}$$

$$t := 3\text{mm}$$

$$h := 44\text{mm}$$

$$b := 30\text{mm}$$

$$t_1 := 3\text{mm}$$

$$F_1 := 200\text{N}$$

$$l_1 := 882\text{mm}$$

$$E := 70\text{GPa}$$

$$x_1 := \frac{l_1}{2} = 441\text{mm}$$

$$I_y := \frac{2 \cdot t \cdot b^3 + h \cdot t^3}{3} - [b \cdot d - h \cdot (b - t)] \cdot \left[\frac{2 \cdot b^2 \cdot t + h \cdot t^2}{2 \cdot b \cdot d - 2 \cdot h \cdot (b - t)} \right]^2 = 2.748 \times 10^4 \cdot \text{mm}^4$$

Taivutusvastuksen arvo on tarkistetty Amesweb-sivuilta löytyvällä laskimella, joka laskee U-palkille taivutusvastuksen I_y . Sivulle arvot syömällä saatiin vastaava tulos $I_y = 27478.039 \text{ mm}^4$ kuin eFundan kaavalla. (Amesweb.com)

Palkkiin kohdistuva maksimi taivutusmomentti laskettiin tekniikan kaavaston sivulta 148 löytyvällä kaavalla 2-nivehtukiselle kannattimelle tasaisessa kuormituksessa.

$$M_{t \max} = \frac{Fl}{8},$$

Kaava 10

jossa F on voima ja l palkin pituus.

Varmuusluvun laskemiseksi on vielä määritettävä normaalijännitys poikkileikkauksen alareunasta.

$$\sigma = M_t \frac{C_y}{I_y},$$

Kaava 11

jossa M_t on kaavan 8 taivutusmomentti, I_y kaavan 5 neliömomentti ja C_y on pintakeskiön Y suuntainen etäisyys, joka on $d/2$. (eFunda) (Tapio Salmi, 2010 s.180)

Varmuuskerroin n saadaan jakamalla myötölujuus R_{p02} normaalijännityksellä.

$$M_{tmax} := \frac{F_1 \cdot l_1}{8} = 22.05 \cdot N \cdot m$$

Pintakeskiö:

$$C_y := \frac{d}{2} = 25 \cdot mm$$

$$C_x := \frac{2 \cdot b^2 \cdot t + h \cdot t^2}{2 \cdot b \cdot d - 2 \cdot h \cdot (b - t)} = 9.288 \cdot mm$$

$$\sigma := \frac{M_{tmax}}{I_y} \cdot C_y = 20.061 \cdot MPa$$

Varmuus:

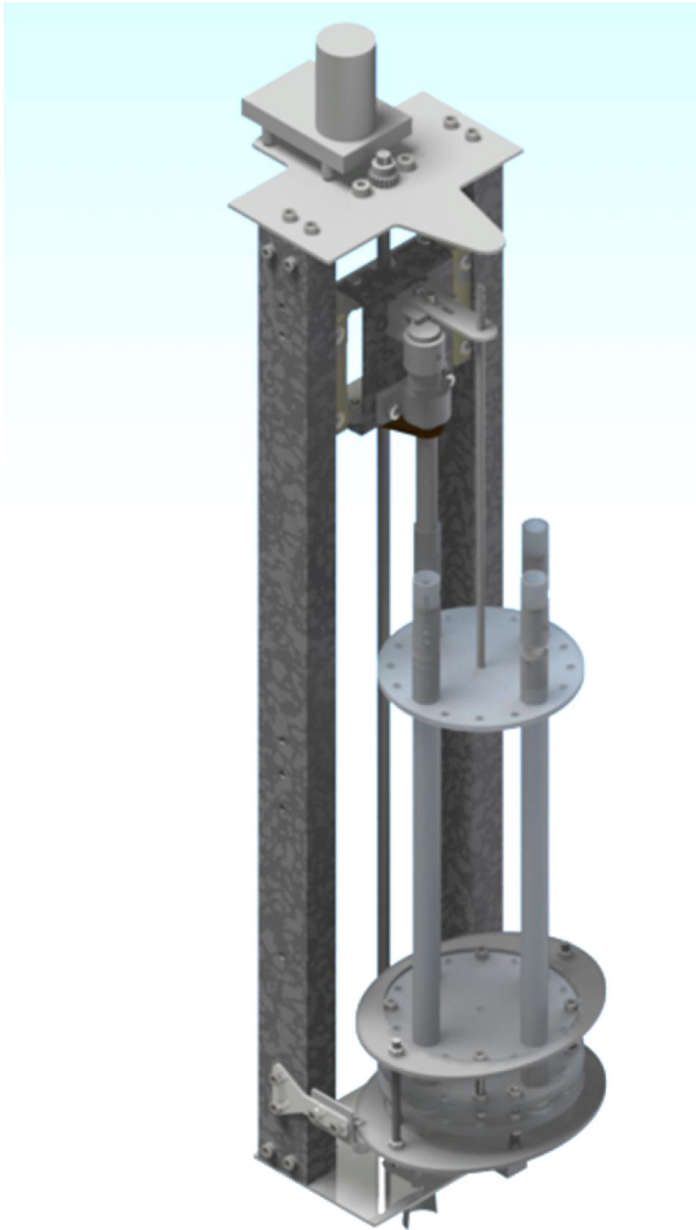
$$n := \frac{R_{p02}}{\sigma} = 7.477$$

Varmuudeksi yllä olevilla arvoilla tulee yli 7-kertainen 6060 alumiinin R_{p02} rajaan nähden yhdellä U-palkilla ja puomistossa niitä on kaksi toisiinsa liitettynä ylä- ja alalaipalla. Vastaava yli 7-kertainen varmuus saatiin Autodesk Inventor 2013-sovelluksella.

2.4 Kokoonpano

Puomisto on koottu pulttiliitoksien, joten puomisto on helppo purkaa osiksi tarvittaessa. Pultteina liitoksissa on käytetty pääasiassa M6 kierteellä olevia kuusiokolopultteja, pienempiä pultteja vaativat liitokset on toteutettu M4 ja M3 koon pulteilla.

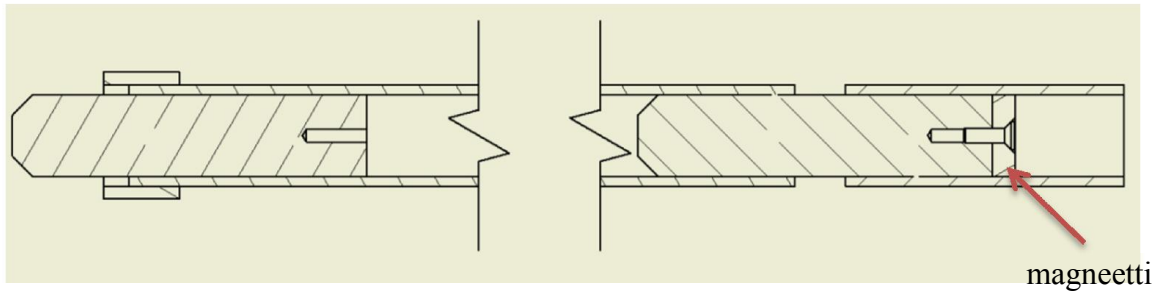
Laakeripukit on asennettu M8 pulteilla, laakeripukkien kiinnitys reikiin ollessa kyseistä kokoa. Servomoottorien kiinnitykseen on käytettävä M3-koon pultteja, koska servojen kiinnitysreiät eivät salli suurempia kiinnityspultteja. Vaihteistomoottorin rungossa on M6-koon kierteistetyt reiät, joilla moottori kiinnitetään runkoon. Kuvasta 3 voi havaita osan pulttiliitoksista.



Kuva 3 Kokoonpano ilman suojaa

Kankien kokoonpano

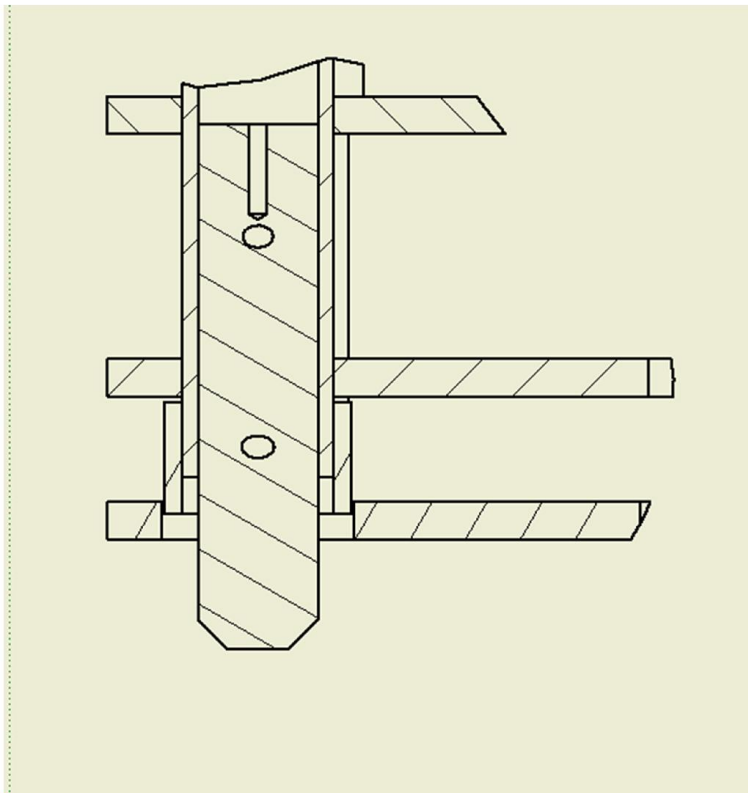
Kankien kokoonpanossa käytetään putkisokkia ja liimaa varmistamaan, että metalliset osat pysyvät muoviputkiosissa kiinni riittävästi. Kankien sisään kiinnitetyt magneetit on ruuvattu magneettien keskellä olevasta reiästä uppokantaruuvilla kiinni metalliseen liittospalaan (kuva 4).



Kuva 4: Porakangen halkileikkaus

Revolverin kokoonpano

Revolveri on kasattu kolmesta päällekkäin olevasta muovisesta ympyräkiekosta ruuvien avulla. Alin ympyräkiekko on rei'itetty 25 mm rei'illä kun ylemmät kaksi on 20 mm rei'illä. Tämä sen vuoksi, jotta kangille saadaan parempi sivuttaistuki aikaiseksi pyöri-tyksen aikana. Keskimmäisen kiekon merkitys on pakottaa kanki irtoamaan ilman, että tarvitaan erillistä kiinnitys servoa irrottamiseen. Revolverin korkeutta voidaan säätää kokoamispulttien pituutta muuttamalla ja samalla revolverin yläosassa pulttien kannat estävät sivuttaisliikkeen pyöri-tyksliikkeen aikana. Kantojen ympärille on sijoitettu muo- vista leikattu sovite, jossa on vastakkaisten pultin kantojen ulkoreunan välisen etäisyy- den kokoinen reikä (katso kuva 3 ja kuva 7).

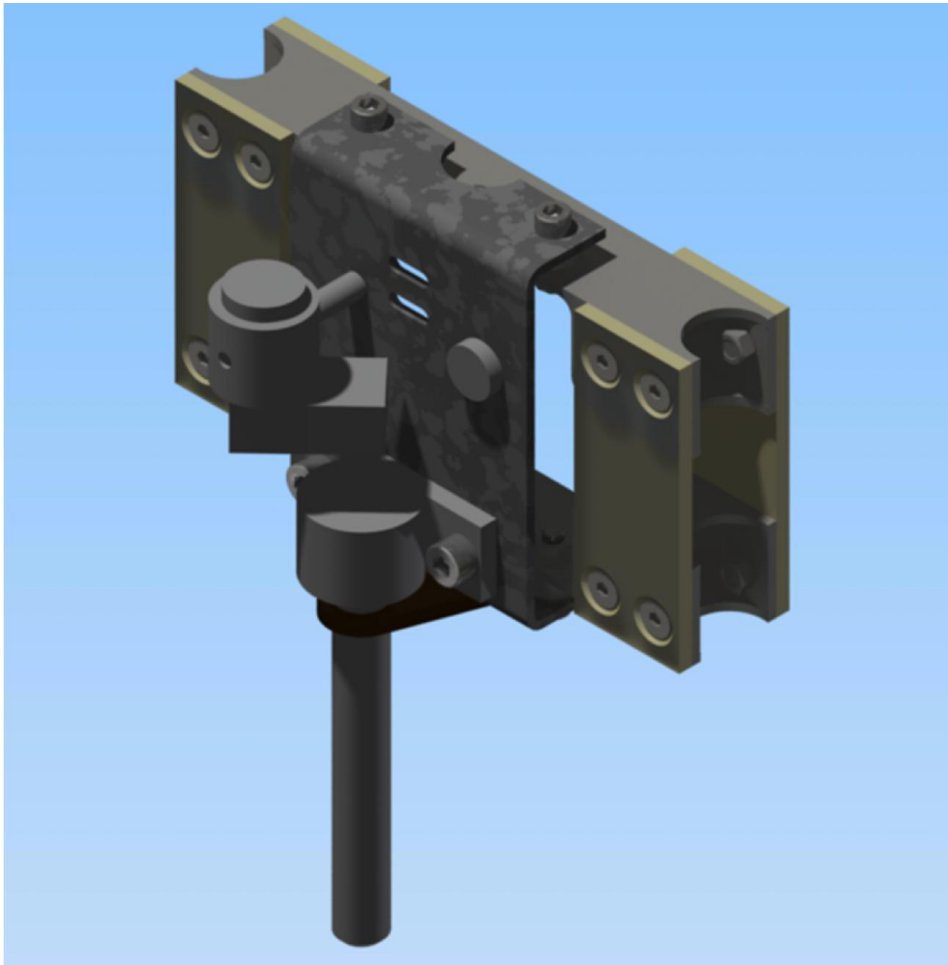


Kuva 5: Revolverin osittainen poikkileikkaus porakangen kohdalta

Porakelkan kokoonpano

Porakelkka, joka kulkee U palkkien välisessä raossa (Kuva 3) on rakennettu kahdesta teräksisestä päätypalasta. Toiseen päätypaloista on hitsattu trapetsimutteri kiinni, joka liikuttaa kelkkaa trapetsinkierretangon pyöriessä. Päätypalat ovat liitetty toisiinsa polyamidilevystä leikatuilla liukupaloilla, joiden tarkoitus on vähentää kitkaa porakelkan ja rungon välillä. Alla olevassa kuvassa 6 liukupalat ovat uppokantaruuveilla kiinnitettyinä päätypaloihin.

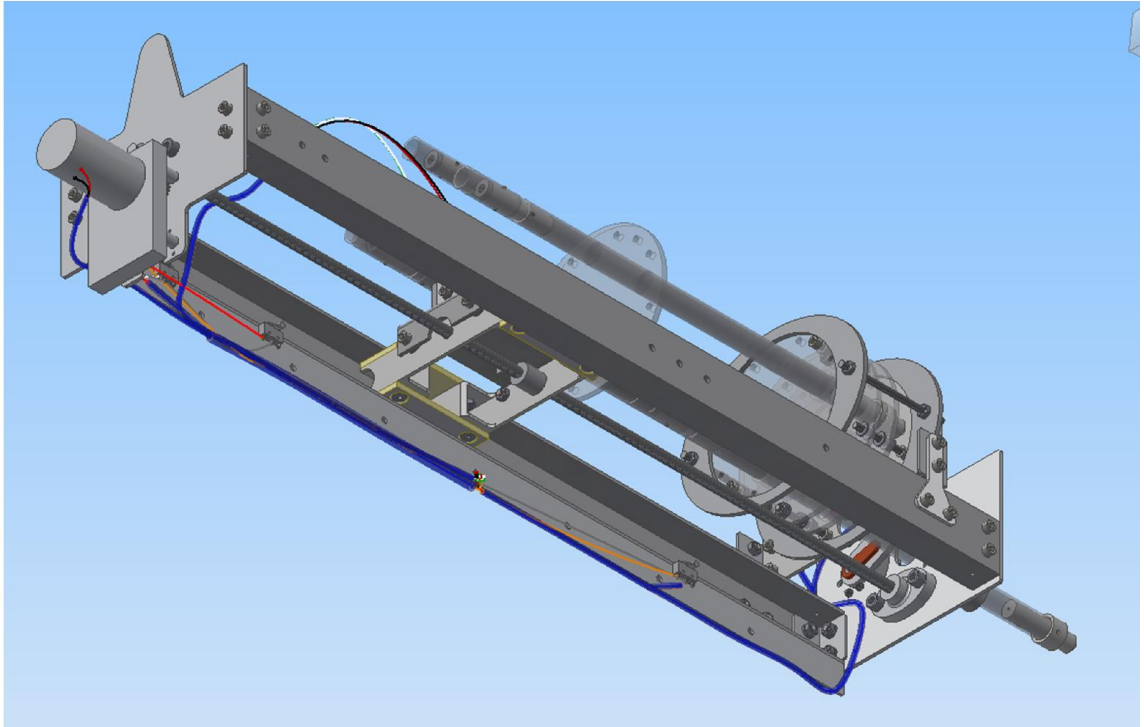
Päätypalojen ympärillä on poranpyöritysmoottorin ja täry-yksikön alumiininen kiinnityslevy, joka on eristetty päädyistä kumisilla aluslevyillä. Poranpyöritysakseli on laakeroitu yhdellä pysty-laakeriyksiköllä kiinnityslevyyn ja tuettu säteen suuntaisesti polyamidista valmistetulla tuella, joka kuvassa 6 näkyy rusehtavalla värillä olevana osana (liite 3, osa 7). Täryelementti, jonka tarkoituksena on luoda kiviporan iskua vastaava efekti, näkyy kuvassa pyöreänä ympyränä ja tarkemmat tiedot elementistä on liitteessä 3.



Kuva 6 Porakelkka

Sähköosien asennus

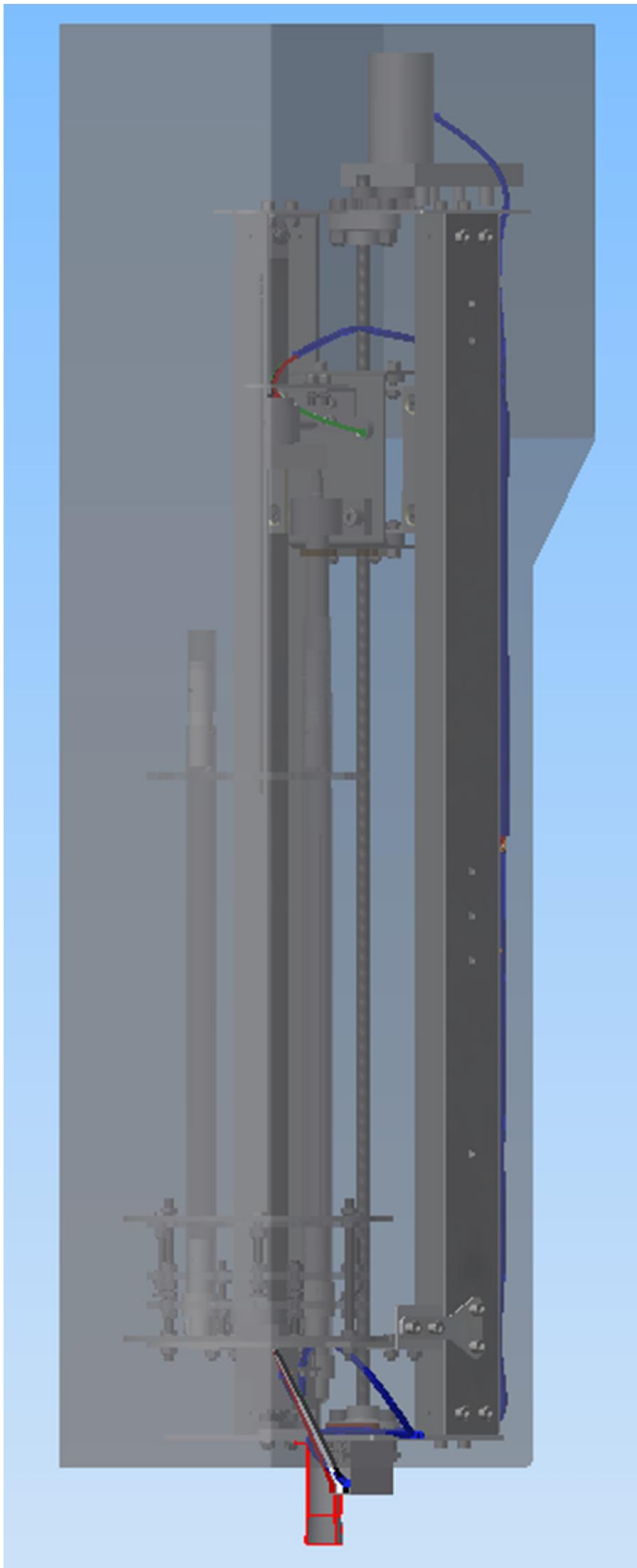
Sähköjohtoja ja rajakytkimiä varten runko-osan takana on alumiininen kulmarauta, jossa on valmiina paikat rajakytkimille. Sähköjohtoja varten rautaan on porattu reikiä johtojen nippusiteillä kiinnitystä varten. Kuvassa 7 näkyy sinisellä johdot ja niiden suunnitellut reitit, sekä johtojen alla niiden kiinnityskulmarauta. Kuvassa näkyy kaksi neljästä rajakytkimestä, joita tarvitaan ohjausjärjestelmän toteuttamiseen.



Kuva 7 johdotuksien tukirauta ja johdot

Suojus

Suojaplexi rakentuu kahdesta osasta. Ensimmäinen osa suojaa sivusta ja edestä ja toinen osa päältä ja ylätaosasta. Suojaplexi kiinnittyy runkoon ylä- ja alaosasta kahdella M6-koon pultilla per puoli (kuva 8).



Kuva 8 puomi suojuksen kanssa

Runkopuomiin porapuomisto kiinnittyy kolmella M6- koon pultilla per puoli. Reiät näkyvät kuvassa7 puolella välissä reunapalkkia.

Ainoat hitsausta tarvitsevat osat ovat kangen tuki puomin alapuolella (kuva 8, punaisella rajattu osa) ja trapetsikierteen mutteri. Sorvausta tarvitaan poraa pyörittävän akselin tekoon sekä kangen metalliholkkeihin. Työstöä tarvitsevat osat on pyritty minimoimaan, koska ne ovat arvokkaampia valmistaa kuin alumiinipeltileikkeet. Runko-osat ovat valmistettu mahdollisimman paljon valmiista vakio palkeista ja profileista. Apuna suunnittelussa on käytetty Rautaruukin ja Alumecon internet-sivuja. Puomiston kokoonpanokuvat löytyvät liitteistä 3 ja 4.

3 OHJAUSJÄRJESTELMÄ

3.1 Arduino

Ohjausjärjestelmässä päädyttiin Arduinoon, koska siihen on sisällytetty valmiiksi kirjoitettu servojen ohjausta varten ja se on tuttu aikaisemmista projekteista. Arduinon hyviin puoliin lukeutuu myös halpa hinta ja hyvät internet-sivut, joilta löytyy kaikki tarvittava tieto.

Arduino on avoimeen laitteistoon (Open-source) pohjautuva mikrokontrollerielektroniikka-alusta, jota voidaan ohjelmoida C/C++ -pohjaisella ohjelmointikielellä omassa Java-pohjaisessa ohjelmointiympäristössä. Arduinoihin voidaan liittää ulkopuolisia laitteita ja antureita joko analogisella tai digitaalisella signaalilla.

Arduinon saavaa tietoa tai sen tekemiä laskutoimituksia yms. voidaan myös siirtää tietokoneelle USB-väylän kautta, jolloin on mahdollista lähettää tietoa vaikka internetin ylitse. Nykyään erilaisia Arduino alustoja on 20 kappaletta, joissa mikroprosessorit ja I/O:den (sisään- ja tulostulojen) määrä vaihtelee Nanon 14 digitaalisesta I/O:sta Mega 2560:n 54 digitaaliseen I/O:hon. (Arduino)

Arduino Mega 2560 Pro

Opinnäytetyössä käytetty Arduino mega 2560 Pro käyttää Atmellin ATmega 2560 mikroprosessoria ja siinä on 54 digitaalista sisäänmenoa/ulostuloa, josta 15:sta voidaan käyttää PWM (pulssi leveys modulaatio) ulostuloina. Mega 2560:ssa on lisäksi 16 analogista sisääntuloa, joita voidaan tarvittaessa käyttää myös digitaalisina sisääntuloina.

(Arduino)

Arduinon antovirta ulostuloihin on vain 40 mA, kuten alla olevasta taulukosta 5 voidaan havaita, jolloin moottorien ohjaus ei onnistu suoraan Arduinon pinneiltä, vaan niillä on ohjattava releitä, jotka syöttävät virtaa moottoreille.

Taulukko 5 Arduino Mega Pro 2560:n tiedot
<http://arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardMega2560>

Mikrokontrolleri	ATmega2560
Toimintajännite	5v
Suosittelava sisääntulo jännite	7-12 V
sisääntulo jännitteen minimi-maksimi	6-20 V
Digitaaliset I/O lähdöt	54, joista 15 PWM ulostuloja
Analogisia sisääntuloja	16
Maksimi virta I/O lähdöille	40 mA
Kellotaajuus	16 MHz
Muistia	256 KB, josta 8 KB varattu käynnistyksele

3.2 Vaatimukset

Ohjausjärjestelmälle löytyy vaatimuksia mm. koneturvallisuus asetuksesta.
 (400/2008)

Tärkeimpiä asetuksesta löytyviä kohtia ovat:

Ohjausjärjestelmä on suunniteltava ja rakennettava sellaiseksi, että se estää vaaratilanteiden syntymisen. Ennen kaikkea se on suunniteltava ja rakennettava sellaiseksi, että:

- se kestää suunnitellut käyttörasitukset ja ulkoiset vaikutukset
- ohjausjärjestelmän laitteisto- tai ohjelmistovika ei aiheuta vaaratilanteita
- virheet ohjausjärjestelmän logiikassa eivät aiheuta vaaratilanteita
- kohtuudella ennakoitavissa oleva inhimillinen erehdys käytön aikana ei aiheuta vaaratilanteita.

Edellä mainittujen kohtien lisäksi on kiinnitettävä huomiota seuraaviin asioihin, varsinkin kun ohjauslogiikka toteutetaan itse:

- kone ei saa käynnistyä odottamattomasti;
- koneen pysähtymistä ei saa estää, jos pysäytyskäsky on jo annettu
- mikään koneen liikkuva osa tai koneen kiinni pitämä kappale ei saa pudota tai sinkoutua

- turvalaitteiden on pysyttävä täysin toimintakykyisinä tai annettava pysäytyskäsky
- turvallisuuteen liittyviä ohjausjärjestelmän osia on käytettävä yhtenäisellä tavalla koneiden tai osittain valmiiden koneiden muodostamaan koko kokoonpanoon.
- Virhetilanteiden jälkeen ei saa tapahtua odottamattomia käynnistymisiä tai liikkeitä.
- Ohjausjärjestelmä on suunniteltava ja rakennettava niin, että siitä ei aiheudu vaaraa.
- Kone, jossa on sähkönsyöttö, on suunniteltava, rakennettava ja varustettava siten, että kaikki sähköstä johtuvat vaarat estetään tai voidaan estää.

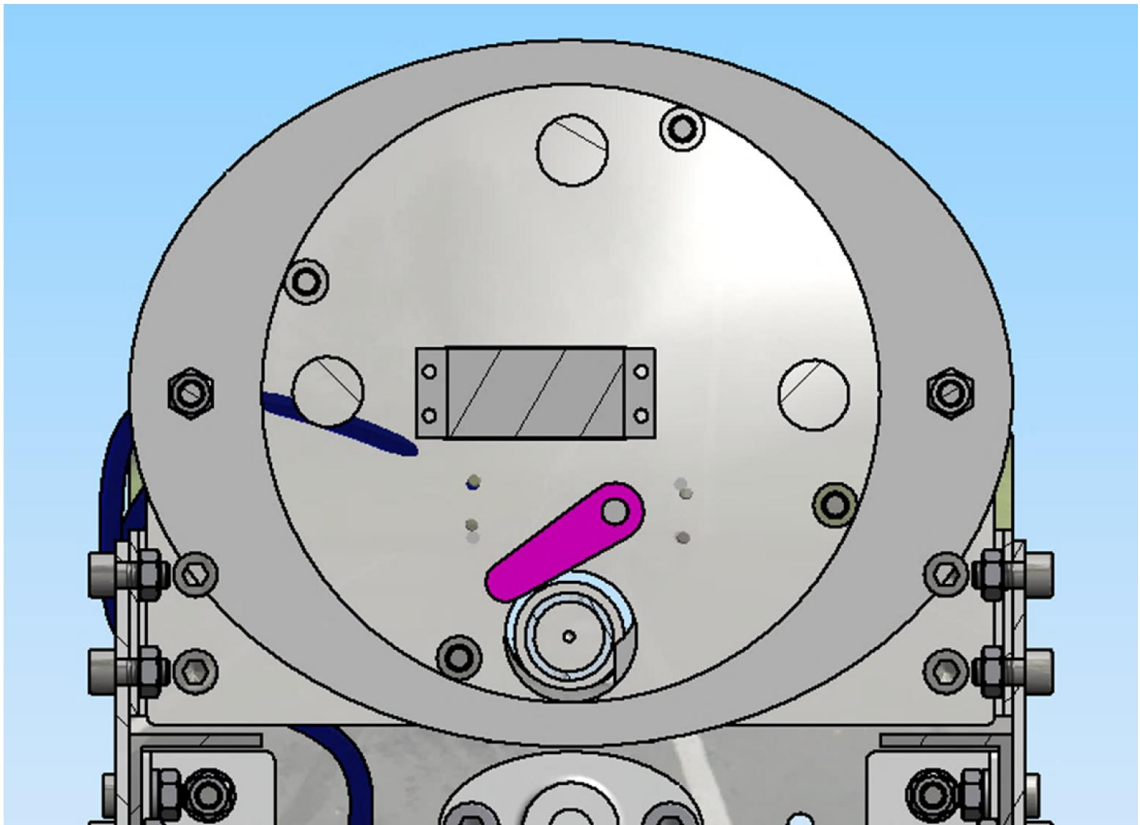
Opinnäytetyössä tarvittava pinnien määrä on suuri. Erilaisten antureiden ja ulostulojen takia, joten Arduino alustaksi valikoitui aikaisemmin mainittu Mega 2560 Pro.

3.3 Toteutus

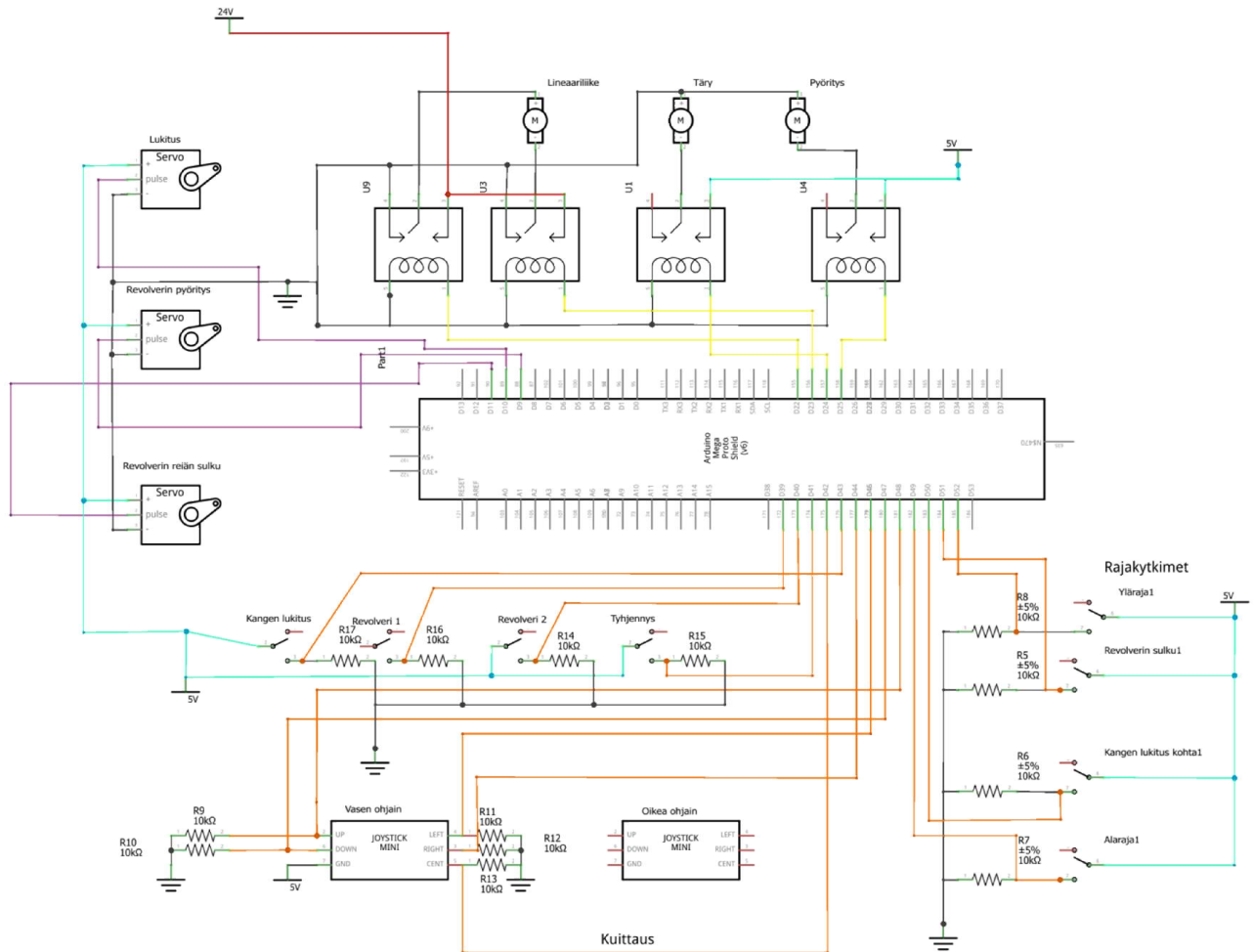
Opinnäytetyössä ohjaus tullaan toteuttamaan edellä mainitulla Arduino mega 2560 Pro:lla, johon kytketään tarvittavat rajakytkimet, ohjaussauvat, servot ja releet, joilla ohjataan tasavirta sähkömoottoreita (kuva 10). Arduinon Pro-sarjaan juotetaan johdot kiinni suoraan, joten liitinpinnien irtoamisvaaraa vastaliittimestä ei ole, joka tavallista Arduinoa käytettäessä on mahdollista.

3.3.1 Tarvittavat osat

Vaihteistomoottorin lisäksi tarvitaan kolmea servomoottoria, jotta voidaan toteuttaa porakangen vaihto. Yhtä servomoottoria tarvitaan pyörittämään revolveria 90°:tta kerrallaan, jonka massa laskettiin aikaisemmin mekaanisen suunnittelun yhteydessä. Kahdesta pienemmästä servomoottorista toista tarvitaan kangen lukitsemiseen, kun kanki on ajettu alas ja halutaan porata syvemmälle. Toista tarvitaan kankia poistettaessa revolverin pohjassa olevan reiän tukkimiseen. Purppuralla kuvassa 9 merkitty varsi on reiän tukkimisservossa kiinni.



Kuva 9: reiän peiton periaatekuva.



Kuva 10: Ohjausjärjestelmän periaatekaavio. Luotu fritzing-sovelluksella

3.3.2 Ohjelmakoodi

Arduinon ohjelmoitu ohjelma koostuu kolmesta osasta. Esittelystä, alustuksesta ja itse ohjelma loopista. Koodi kokonaisuudessaan on liitteessä 5.

Määrittely

Määrittelyssä määritellään tarvittavat kirjastot ja lisäksi määritellään servokirjaston vaatimat servo objektien nimet. Riittää kun koodiin sisällytetään servo.h kirjasto, jossa on servojen ohjaukseen tarvittava valmis koodikirjasto. Tarvittavat I/O porttien osoitteet

annetaan tässä vaiheessa, jotta koodista saadaan selkeä ja helposti jälkeinpäin muunnettava, ilman että tarvitsee olla tutustunut Arduinin ohjelmointiin.

Alustus

Alustuksessa määritetään portit sisään- tai ulostuloiksi ja servo objektien portit. Lisäksi määritetään sarjaväylän lukutaaajuus Arduinin serial monitoria varten, jonka avulla voidaan virhetilanteita paikallistaa helpommin.

Ohjelma-loop

Loopissa luetaan ensin kaikkien sisääntulojen tila, jotta niitä voidaan käyttää koodissa tarvittavissa kohdissa helposti. Porakelkan ollessa yläasennossa sallittuja toimenpiteitä ovat revolverin kääntö 90° kulmissa (0°, 90°, 180°) revolverin pohjasulut auetessa automaattisesti revolverin pyöriessä ja trapetsikierteen moottorin pyöritys niin, että kelkka liikkuu alaspäin. Ylöspäin pyöritys on estetty rajakytkimen tiedon perusteella, että kelkka on yläasennossa.

Kelkan ollessa liikkeessä alaspäin tarkistetaan onko lukitus servo lukitusasennossa, jolloin pysähdytään rajakytkimelle kangenlukitus, jos epätosi jatketaan alaspäin välittämättä rajakytkimestä. Saavutettaessa alarajakytkin asetetaan trapetsin pyöritysmoottorin rele pois päältä. Ylöspäin liike on kumminkin sallittu. Alarajalla on mahdollista lukita kangi kangenlukitus servolla, jolloin myös asetetaan vakio, sulkuservo, arvoon 1, jotta ylöspäin mennessä ei pysähdytä turhaan ns. irrotuskohtaan.

Yläasennossa käännetään revolverin servoa niin, että saadaan uusi kangi liitetyksi edellisen perään magneetti liitoksella. Kuvassa 4 magneetti sijaitsee oikeassa päässä osana ruuviliitosta.

Revolverin pyörähdettyä oikeaan asentoon, voidaan porakelkkaa ajaa alaspäin aina kangen liitoskohtaan saakka, johon ohjelma automaattisesti pysäyttää rajakytkimen tiedon perusteella. Kun kappaleet on liitetty toisiinsa, avataan kangen lukitus ja jatketaan poraliikettä alaspäin.

Useampaa porakankea poistettaessa ajetaan porakelkkaa porakangen liitos rajakytkimelle jolloin pysähdytään ja kiinnitetään alempi porakangi kiinni, jonka jälkeen liikettä ylöspäin voidaan jatkaa seuraavalle rajalle, jolla suljetaan revolverin pohja. Pohjan sul-

kemisen jälkeen poratanko on pakotettu irtoamaan itsestään kun ajetaan porakelkka ylä-asentoon. Revolverissa kaksi ylempää levyä on pienemmillä rei'illä kuin alin, jolloin kangessa oleva holkki ei mahdu rei'istä lävitse, joten kanki irtoaa porakelkasta itsestään.

Kankien irtoaminen oikeasta kohdasta on varmistettu erikokoisella kosketuspinta-alalla kangen ja magneetin välillä. Poranpyöritysakselin pitopinta-ala on suurempi kuin kangissa oleva pitopinta-ala, jolloin magneetti irtoaa ensimmäiseksi kankien väliltä. Porakelkan ollessa ylhäällä voidaan revolveria pyörittää jolloin saadaan nostetuksi seuraava kanki takaisin ylös.

Arduinon ohjauskoodi	
Sallitut toiminnot	
Estetyt toiminnot	
Yläraja	<ul style="list-style-type: none"> - Revolverin pyöritys - Porakelkan liike alaspäin] - Revolverin sulkuaukon avaus - Täry päälle/pois - Pyöritys päälle/pois
Revolverin reiän sulkua	<ul style="list-style-type: none"> -Revolverin reiän sulkeminen ylöspäin tultaessa kangen kanssa
2. kangen lukituksen avaus/sulku	<ul style="list-style-type: none"> - Porakelkan pysäytys -Kangen lukituksen avaus/sulku
Alaraja	<ul style="list-style-type: none"> - Lukitus kiinno/auki - Täry pois päältä - Pyöritys pois päältä

Kuva 11: Arduinon ohjauskoodi kaaviossa

3.4 Kaapelointi ja virransyöttö

Vaihteistomoottorille ja servoille on vietävä virta Arduinon ohjaamien releiden kautta ja vastaavasti Arduinon on saatava tieto rajakytkimiltä. Tarvittavaa kaapelointia asennettaessa on huomioitava, että kaapelit eivät jää puristuksiin liikkeitä ajettaessa.

Pienempien servomoottorien (Corona DS339HV) tarvitsema maksimi virta on 320 mA 6V:lla (liite 1). Revolverin pyöritysservomoottorin tarvitsemaa virta määrää ei ole kerrottu valmistajan sivuilla. Servon tarvitsema virta määrä on todennäköisesti suurempi kuin pienemmillä servoilla. Oletetaan maksimi virran kulutuksen olevan 500 mA 6 Voltilla. Kangenpyöritys moottorin kuormittamaton virran kulutus 6 voltilla on 70 mA.

CAN tiedonsiirtoväylä M12-kaapelin virran kestoksi per johdin on ilmoitettu 4 A (Binder) , joka riittää kaikkien 5 Voltilla toimivien laitteiden virransyöttöön yhdestä kaapelista. Käyttämällä yhtä virran syöttöä saadaan puomistoon vietävien johtimien määrää vähennetyksi. M12 tiedonsiirtokaapelissa on 3,4, 5 tai 8 johdinta ja puomin toimintaan saattamiseksi tarvitaan minimissään 16 eri johdinta.

Käytettäessä M12-tiedonsiirto kaapelia tarvitaan 1 x 8 johtiminen M12 kaapeli, 1 x 5 johtiminen M12 kaapeli pohjassa oleville servoille ja porakelkalle oma 4 johtiminen M12-kaapeli.

Taulukko 6: Kaapeloinnin tarve puomissa

	Kohde	Jännite (V)	Virta (mA)	paikka	
1	Trapetsin pyöritys	24V	1000	Yläosa	
2	Trapetsin pyöritys	GND	0	Yläosa	
3	Servojen virta	5V	1140	Pohja	
4	Servojen maa	GND	0	Pohja	
5	Servo 1 Sig	SIGN	0	Pohja	
6	Servo 2 Sig	SIGN	0	Pohja	
7	Servo 3 Sig	SIGN	0	Pohja	
8	Raja 1	SIGN	0	Yläosa	
9	Raja 2	SIGN	0	Yläosa	
10	Raja 3	SIGN	0	Yläosa	
11	Raja 4	SIGN	0	Keskikohta	
12	Raja jännite	5V	0	Yläosa	Keskikohta
13	porat. Pyöritys	5V	500	Liikkuva	
14	porat. Pyöritys	GND	0	Liikkuva	
15	Täry	3V	85	Liikkuva	
16	Täry	GND	0	Liikkuva	

Virtalähde

Virtalähteen ulostulovirraksi riittää 2,225A, koska Arduinon ottama hetkellinen maksimivirta on 500 mA ja se lisättynä taulukon 6, 5V jännitettä tarvitsevien virtaa kuluttavien laitteiden summaan tuottaa 2,225A. Bebek Oy:n valikomista löytyy virtalähde

53998, joka on säädettävä virtalähde jännitealueelle 3-12 VDC. Arduinon sisäisen jänniteregulaattorin vuoksi sisääntulojännite voidaan säätää 6 volttiin, jos rajakytkimien jännite otetaan Arduinon kautta. Sen I/O liitännät eivät kestä 5 V suurempia jännitteitä.

4 JOHTOPÄÄTÖKSET JA POHDINTA

Poraosion suunnittelu saatiin tehtyä ja ohjelma toimi ominaisuuksiltaan vastaavassa Arduinossa, kuin mitä testauspuomistossa tullaan käyttämään. Testaus toteutettiin kei-
nuvipuja ja mikroservoja käyttämällä ja vastaan tulleet ongelmat korjattiin koodiin vä-
littömästi.

Budjettiin ei aivan päästy puomiston tämän hetkisillä ominaisuuksilla, jossa kaikki liik-
keet on toteutettu sähköisesti. Metall- ja muoviosien valmistuksen verran budjetti tulee
menemään ylitse. Tiettyjä sähköllä ohjattuja liikkeitä käsin liikuteltaviksi muutettaessa
olisi 500 euron hinta todennäköisesti saavutettu, mutta samalla puomiston käytettävyys
olisi kärsinyt.

Alussa listatut vaatimukset:

- Kangen tulee liikkua keilin suuntaisesti min. 50% keilin mitasta.
- Kangen vaihdon mekaniikka on vapaa.
- Vasaran on/off mekaniikka vapaa.
- Puomin paino ei saa tehdä pöydästä epästabiilia (pöydän paino 30kg).
- SolidWorks yhteensopivuus (Catia, Inventor, Vertex).
- 500 euroa / puomi @ 10kpl erä.
- Koneistettavat kappaleet kalliita varsinkin jos ovat isoja.
- Isot kappaleet palkeista, peltileikkeistä, jne.

Myöhemmin tulleet lisä vaateet:

- Kaikki liikkeet moottoroituja.
- Kangen liikkeen nopeuttaminen (maksimissaan noin 2 minuuttia per sykli).
- Puomiston materiaalina Anodisoitu Alumiini.
- Tavarat tilattuna maaliskuun puoliväliin mennessä.
- Tarvittavat osat listattuna mahdollisimman nopeasti, jotta saadaan tilaukseen.

Kanki optimoitiin työn aikana lähelle 50 %:ia, jotta kokonaispituus saataisiin mahdolli-
simman lyhyeksi ja ylimääräistä painoa pienemmäksi. Lopulliseksi painoksi Inventor
näyttää 8,8 kg kaikkine osineen mukaan lukien pultit ja mutterit. Kiinnityspöydän sta-
biilisuden lisäämiseksi pöytään puomisto tullaan kiinnittämään pöydän vastakkaiselle

reunalle, jossa poraosio on. Kangen vaihdon ja vasaran ollessa vapaasti toteutettavia ne toteutettiin servoilla ja täryelementillä. Suunnitteluvaiheessa ilmaantuneet yhteensopivuus ongelmat Inventorin luoman DWG-tiedoston ja muiden DWG-tiedostoja lukevien ohjelmien välillä saatiin ratkaistuksi, jolloin yhteensopivuus säilyi.

Asiat jotka jäivät osittain toteutumatta, olivat edellä mainittu hinta ja aikataulu. Aikataulusta joka ei pitänyt paikkaansa, niin olen hieman pettynyt. Tarkoituksena oli saattaa puomi kuntoon aikataulussa, mutta se ei toteutunut. Olen kuitenkin tyytyväinen opinäytetyöhön, koska se on yhdistänyt hyvin kaikkea koulussa opittua yhteen useilta osialueilta.

LÄHTEET

400/2008 Valtioneuvostonasetus koneiden turvallisuudesta[Online]

[Viitattu: 24 3 2014.] <http://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2008/20080400>.

A J Munday, RA Farrar *An Engineering Data Book*. s.l., Macmillan education LTD , 1986.

AlumecoU-profiilit[Online]<http://alumeco.fi/Tuotteet/Profiilit/U-Profiilit.aspx>.

Amesweb.com[Online][Viitattu: 10 3 2014 .]

<http://www.amesweb.info/SectionalPropertiesTabs/SectionalPropertiesCbeam.aspx>.

ArduinoArduino. [Online][Viitattu: 16 3 2014.]

<http://arduino.cc/en/Reference/HomePage>.

Binder Connecting Cables M8/M12. [Online][Viitattu: 8 4 2014.]

https://www1.elfa.se/data1/wwwroot/assets/datasheets/series765_ger_eng_tds.pdf.

eFundaeFunda. [Online][Viitattu: 1 3 2014.]

<http://www.efunda.com/designstandards/beams/SquareChannel.cfm>.

Kauppalehti[Online][Viitattu: 11 2 2014.]

<http://www.kauppalehti.fi/yritykset/yritys/novatron+oy/09556515>.

Mauri Airila, Kalevi Ekman, Pekka Hautala, ... *Koneenosien suunnittelu*,

WSOYpro Oy, 4-5.painos, 2010 .

Nisbett, Richard G. Budynas and J. Keith Shigley's *mechanical engineering design.*,

Mc Graw Hill, Ninth Edition, 2011.

Novatron Oy[Online][Viitattu: 11 2 2014.]<http://www.novatron.fi/fi/>.

Siirilä Tapio *Koneturvallisuus, EU-määräysten mukainen koneiden turvallisuus*,
Inspecta Koulutus Oy, 2 uudistettu painos, 2008.

Tammertekniikka *Tekniikan kaavasto*, Tammertekniikka / Amk-Kustannus Oy, 8.
painos, 2010 .

Tapio Salmi SamiPajunen *Lujuusoppi*, Pressus Oy, 2010 .

LIITTEET

Liite 1. Servomoottorien tiedot

BMS-660DMGplus HS Super Strong Digital Servo (MG)

https://www.hobbyking.com/hobbyking/store/_36266_BMS_660DMGplusHS_Super_Strong_Digital_Servo_MG_14_2kg_17sec_52g_EU_Warehouse_.html (11.3.2014)

Weight	52g / 1.84oz
Dimensions	40.5 x 20 x 42mm / 1.60" x 0.78" x 1.62"
Torque at 6.0V	14.2kg/cm , 190 oz/in
Speed at 6.0V	0.17 sec / 60° at no load
Operating Voltage	4.8 - 6.0V

Corona DS339HV Digital Metal Gear Servo 5.1kg/ 32g/ 0.13sec

https://www.hobbyking.com/hobbyking/store/_31554_Corona_DS339HV_Digital_Metal_Gear_Servo_5_1kg_32g_0_13_Sec_EU_warehouse_.html (11.3.2014)

Model:	DS339HV
Operating Voltage:	6.0V / 7.4V
Operating Current:	320 mA / 420 mA
Operating Speed:	0.14sec.60°/ 0.13sec.60°
Stall Torque:	4.5kg.cm / 5.1kg.cm
Size:	32.5X17X34.5mm
Weight:	32g
Dead Band:	≤3uSec
Operating Travel:	40°/one side pulse traveling 400us
Potentiometer:	5 slider/Direct Drive
Ball bearing:	MR106
Gear:	Metal
Connector wire:	300mm
Operating Temperature Range:	-20c+60c

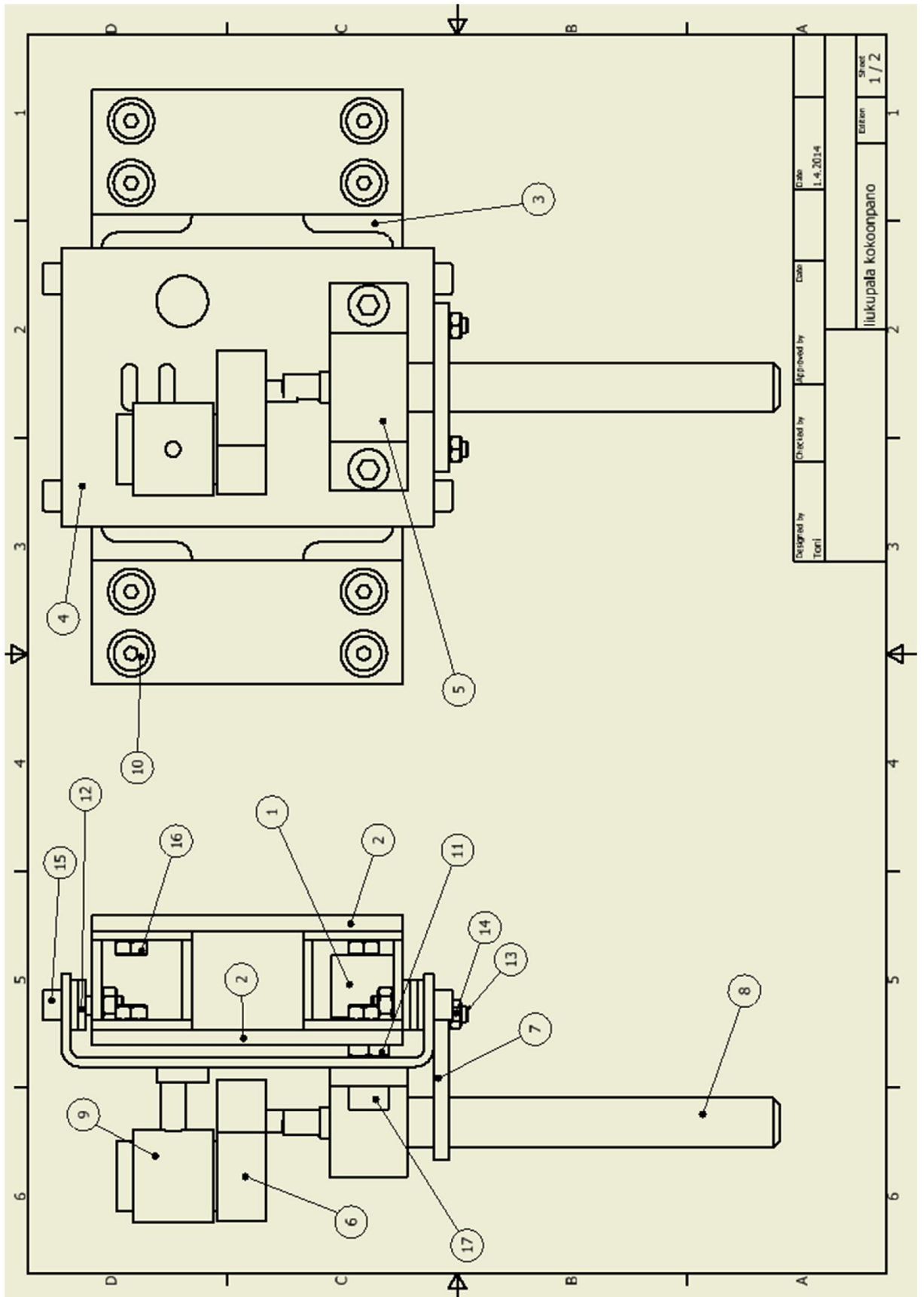
Liite 2 Tärvelementti

https://www.sparkfun.com/datasheets/Robotics/310-101_datasheet.pdf

Specification	Value
Voltage [V]	3
Frame Diameter [mm]	10
Body Length [mm]	3.4
Weight [g]	1.2
Voltage Range [V]	2.5~3.8
Rated Speed [rpm]	12000
Rated Current [mA]	75
Start Voltage [V]	2.3
Start Current [mA]	85
Terminal Resistance [Ohm]	75
Vibration Amplitude [G]	0.8

Liite 3 Kokoonpanokuva liukupala

1(2)

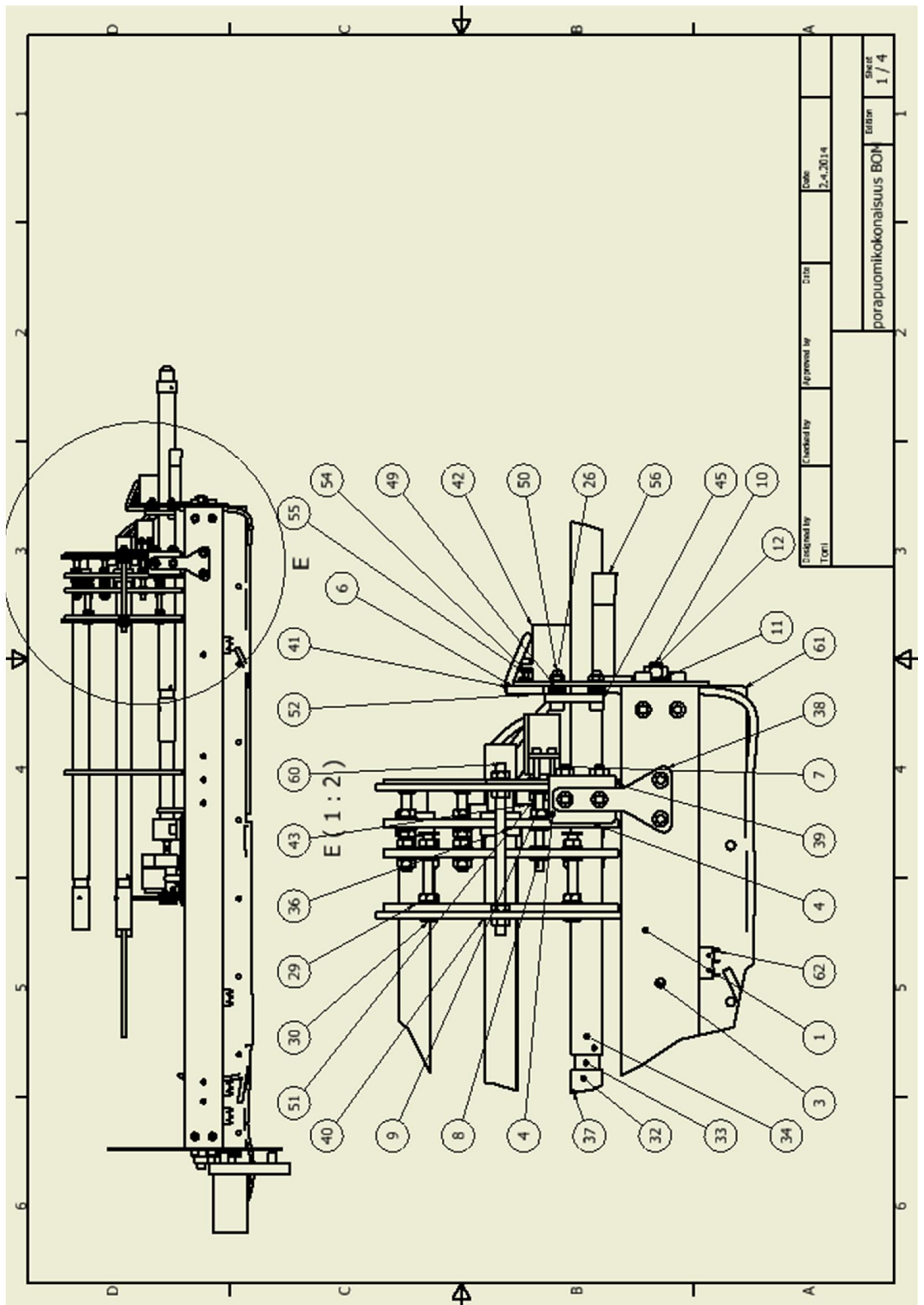


PARTS LIST			
ITEM	QTY	PART NUMBER	DESCRIPTION
1	1	trapetsimutteri	
2	4	liukumuovi	
3	2	liukupalanpaaty	
4	1	tärylatka	
5	1	laakeripesa10mm	
6	1	pyöritysmoottori	
7	1	poraakselintuki	
8	1	akseli 10_16_updated	
9	1	c-pidlin	
10	16	DIN 7991 - M6 x 12	Countersunk Screw
11	2	ISO 4032 - M8	Kuusiomutteri
12	10	O-Ring 6 x 2.5 JB/T 9669-1999	Seal
13	2	DIN 933 - M5 x 14	Hex-Head Bolt
14	2	DIN 934 - M5	Hex Nut
15	4	ISO 4762 - M6 x 20	Hexagon Socket Head Cap Screw
16	20	DIN 934 - M6	Hex Nut
17	2	ISO 4762 - M8 x 16	Hexagon Socket Head Cap Screw
18	1	täry	

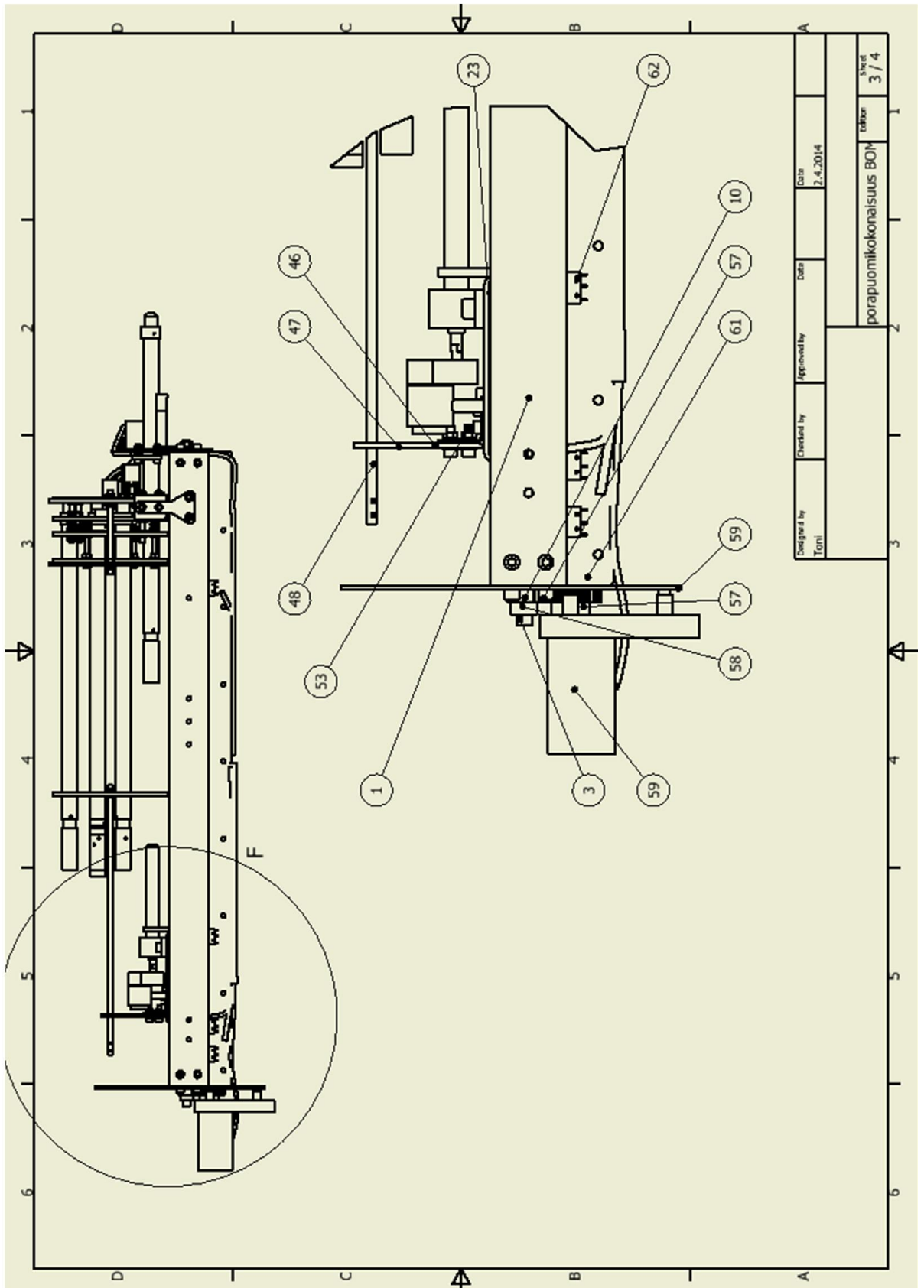
Designed by Toini	Checked by	Approved by	Date 1.4.2014
liukupala kokoonpano			Sheet 2 / 2

Liite 4 Kokoonpanokuvat poraasio

1(3)



2(3)



PARTS LIST		PARTS LIST		PARTS LIST		PARTS LIST	
ITEM	QTY	PART NUMBER	DESCRIPTION	ITEM	QTY	PART NUMBER	DESCRIPTION
37	10	ISO 8750 - 3 x 20	Joushyppinen suora sokka	1	2	gail runko	
38	2	revolverikannatin		2	2	laakeripesä	
39	1	revolveripohja		3	1	trapetsikierre	
40	2	revolveritukimpykempi		4	6	kuimapala	
41	1	kiinnitin		5	1	paalipala_jimantakosta	
42	3	mg995		6	1	sohiljapala	
43	1	mg995symyra		7	28	ISO 4762 - M6 x 12	Kuusiololomuut
44	2	mg995silpi		8	46	DIN 125 - A 6,4	Alushalka
45	1	lukituspala		9	78	DIN 934 - M6	*Varies*
46	1	ylätuen kuimapala		10	4	DIN 912 - M8 x 25	Lieriökantainen kuusioruuvi
47	1	yläreunatuki		11	4	ISO 8738 - 8	Alushalka
48	1	Tukitanko		12	4	ISO 4034 - M8	Kuusiomutteri
49	16	DIN 125 - A 5,3	*Varies*	13	1	trapetsimutteri	
50	2	DIN 912 - M5 x 20	Lieriökantainen kuusioruuvi	14	4	lukumuovi	
51	4	ISO 4762 - M3 x 30	Hexagon Socket Head Cap Screw	15	2	liukupainpaaty	
52	4	ISO 4762 - M3 x 20	Hexagon Socket Head Cap Screw	16	1	lantjalätkä	
53	4	ISO 4762 - M5 x 16	Hexagon Socket Head Cap Screw	17	1	laakeripesä 10mm	
54	7	DIN 125 - A 3,2	Washer	18	1	pyöritysmootori	
55	10	DIN 934 - M3	Hex Nut	19	1	poraaletinruuvi	
56	1	alosaankangon tuki		20	1	alusteli_16_updated	
57	1	10038-508_Mekanex		21	1	C-pidin	
58	1	10020-508_Mekanex		22	16	DIN 7991 - M6 x 12	Countersunk Screw
59	1	asahiheikko		23	2	ISO 4032 - M8	Kuusiomutteri
60	2	lietäntanko revolveri 110 m6		24	10	O-Ring 6 x 2,5 JB/T	Seal
61	1	kytkinkinnitin		25	2	DIN 933 - M5 x 14	Hex-Head Bolt
62	4	mikrokytkin pohjalu		26	8	DIN 934 - M5	Hex Nut
73	1	täry		27	4	ISO 4762 - M6 x 20	Hexagon Socket Head Cap Screw
75	566,074	1172C.24V	1172C	28	2	ISO 4762 - M8 x 16	Hexagon Socket Head Cap Screw
76	1098,600	1175C.Cable1	1175C	29	3	rfevolvendiut	
77	193,893	.+5v	Default Library Wire	30	8	ISO 4762 - M6 x 50	Kuusiololomuut
78	177,335	.+5v2	Default Library Wire	31	1	revolvendiut25	
79	226,059	.+5v3	Default Library Wire	32	5	poratankki	
80	904,633	1175C.Cable2	1175C	33	10	poratankkiholkki	
81	598,337	1174C.Cable3	1174C	34	5	poratankkilappi	
84	5	DIN 7991 - M3 x 12	Countersunk Screw	35	5	magneetti	
				36	5	stoppani	

Rev. 1	2.4.2004	2/4
Rev. 2		
Rev. 3		
Rev. 4		
Rev. 5		
Rev. 6		
Rev. 7		
Rev. 8		
Rev. 9		
Rev. 10		
Rev. 11		
Rev. 12		
Rev. 13		
Rev. 14		
Rev. 15		
Rev. 16		
Rev. 17		
Rev. 18		
Rev. 19		
Rev. 20		
Rev. 21		
Rev. 22		
Rev. 23		
Rev. 24		
Rev. 25		
Rev. 26		
Rev. 27		
Rev. 28		
Rev. 29		
Rev. 30		
Rev. 31		
Rev. 32		
Rev. 33		
Rev. 34		
Rev. 35		
Rev. 36		
Rev. 37		
Rev. 38		
Rev. 39		
Rev. 40		
Rev. 41		
Rev. 42		
Rev. 43		
Rev. 44		
Rev. 45		
Rev. 46		
Rev. 47		
Rev. 48		
Rev. 49		
Rev. 50		
Rev. 51		
Rev. 52		
Rev. 53		
Rev. 54		
Rev. 55		
Rev. 56		
Rev. 57		
Rev. 58		
Rev. 59		
Rev. 60		
Rev. 61		
Rev. 62		
Rev. 63		
Rev. 64		
Rev. 65		
Rev. 66		
Rev. 67		
Rev. 68		
Rev. 69		
Rev. 70		
Rev. 71		
Rev. 72		
Rev. 73		
Rev. 74		
Rev. 75		
Rev. 76		
Rev. 77		
Rev. 78		
Rev. 79		
Rev. 80		
Rev. 81		
Rev. 82		
Rev. 83		
Rev. 84		
Rev. 85		
Rev. 86		
Rev. 87		
Rev. 88		
Rev. 89		
Rev. 90		
Rev. 91		
Rev. 92		
Rev. 93		
Rev. 94		
Rev. 95		
Rev. 96		
Rev. 97		
Rev. 98		
Rev. 99		
Rev. 100		

Liite 5. Arduinon ohjauskoodi

1(11)

```
#include <Servo.h>          //sisällytetään servokirjasto

//luodaan servo objektit
Servo Revolver;
Servo Lukitus;
Servo Sulku;

//Servojen liikemaarat (asteina)
int lukitusServoAuki = 90;
int lukitusServoKiinni =0;
int sulkuServoAuki =90;
int sulkuServoKiinni =0;

// rajakytkimien sisääntulo pinninumeroiden määrittäminen arduinon piirilevyllä
const int alaRaja=52;
const int ylaRaja=51;
const int kangenLukRaja=50;
const int revolverinSulku=49;

//releiden lähtöpinnien määrittäminen arduinon piirilevyllä
const int RporaLiikeY=22;
const int RporaLiikeA=23;
const int Rtary=24;
const int RporaPyoritys=25;
const int Rtarysig=26;
const int Rporasig=27;
const int PSLuk=28; // revolverin servon turvarele

//ohjaus kytkimien pinninumerot arduinon piirilevyllä
const int vasenJoyEteen=48;
const int vasenJoyTaakse=47;
const int vasenJoyVas=46;
const int vasenJoyOik=45;
```

```

const int ajoPora=44;    //määritellään että onko puomi vai pora ajossa

//Porapuomin kytkimet
const int kangenLukitus=43;
const int kuittaus=42;
const int tyhjennys =41;
const int revolver1=40;
const int revolver2=39;

//turvallisuus vakiot
int revolverinpyorityksenesto =1;
int sulkuservo=1;
int lukitusvarmuus=0;
int toisenkangenlukitus =0;
int taryonoff=0;
int pyoritysonoff=0;

//*****

void setup() //alustus, joka tehdään kerran kun Arduino käynnistyy
{
    //Asetetaan servot tiettyyn Arduinon pinniin:
    Revolver.attach(9);
    Lukitus.attach(10);
    Sulku.attach(11);

    //Rajakytkimien pinnien määrittely sisääntuloksi
    pinMode(alaRaja, INPUT);
    pinMode(ylaRaja, INPUT);
    pinMode(kangenLukRaja, INPUT);
    pinMode(revolverinSulku, INPUT);

    //Releiden pinnien määrittely ulostuloksi
    pinMode (RporaLiikeY, OUTPUT);
    pinMode (RporaLiikeA, OUTPUT);

```

```
pinMode (Rtary, OUTPUT);
pinMode (RporaPyoritys, OUTPUT);
pinMode (Rtarysig, OUTPUT);
pinMode (Rporasig, OUTPUT);
pinMode (PSLuk, OUTPUT);

//ohjaus määritys sisääntuloksi
pinMode(vasenJoyEteen, INPUT);
pinMode(vasenJoyTaakse, INPUT);
pinMode(vasenJoyVas, INPUT);
pinMode(vasenJoyOik, INPUT);
pinMode(ajoPora, INPUT);
pinMode(kangenLukitus, INPUT);
pinMode(kuittaus, INPUT);
pinMode(tyhjennys, INPUT);
pinMode(revolver1, INPUT);
pinMode(revolver2, INPUT);
Serial.begin(9600);
}

void loop()
{
int A_ajoPora = digitalRead(ajoPora);
if (A_ajoPora == HIGH)
{
poraus();
}

else
puomi();
}

void puomi()
{
```



```

pyoritysonoff=0;

if(revolverinpyorityksenesto ==0)
{
  if(A_revo1 == HIGH)
    {
      Serial.println("revo1");
      Revolver.write(0); //servon kohdistus asteina
      delay (500); //odotetaan, jotta servo kerkeää hakeutumaan oikeaan
asentoon

      if (A_kuittaus == HIGH)
        {Sulku.write(sulkuServoAuki); //Avataan revolverin sulku
        delay(500); //odotetaan, jotta servo kerkeää hakeutumaan oikeaan
asentoon

        }
      Serial.print("revolveri nollassa" );

    }
  else if(A_revo2 == HIGH)
    {
      Serial.println("revo2");
      Revolver.write(180); //servon kohdistus asteina
      delay (500); //odotetaan, jotta servo kerkeää hakeutumaan oikeaan
asentoon

      if (A_kuittaus == HIGH)
        {Sulku.write(sulkuServoAuki); //Avataan revolverin sulku
        delay(500); //odotetaan, jotta servo kerkeää hakeutumaan oikeaan
asentoon

        }
      Serial.print("revolveri 180" );

    }
  else if (A_revo2 == LOW && A_revo1 == LOW)
    {

```

6(11)

```

Serial.println("revo3");
Revolver.write(90); //servon kohdistus asteina
delay (500); //odotetaan, jotta servo kerkeää hakeutumaan oikeaan
asentoon

if (A_kuittaus == HIGH)
  {Sulku.write(sulkuServoAuki); //Avataan revolverin sulku
  delay(500); //odotetaan, jotta servo kerkeää hakeutumaan oikeaan
asentoon

  }
  Serial.print("revolveri 90" );

}

}

//pyörityksen eston avaus
if(revolverinpyorityksenesto != 0 && A_kuittaus == HIGH) //käännön turvaluvun
nollaus
  {
    Serial.println("kaannon laskuri");
    revolverinpyorityksenesto=0;
    Serial.print("käännönlaskurin nollaus " );
  }

}

if(A_vasenJoyV == HIGH && ylaRajaTila == LOW && alaRajaTila == LOW)
{
  if (taryonoff == 0)
  {
    digitalWrite(Rtary,HIGH);
    digitalWrite(Rtarysig,HIGH);
    delay(500);
    taryonoff=1;
  }
}

```

```

else if (taryonoff !=0)
{
digitalWrite(Rtary,LOW);
digitalWrite(Rtarysig,LOW);
delay(500);
taryonoff=0;
}

}

//pyöritys
if(A_vasenJoyO == HIGH && ylaRajaTila == LOW && alaRajaTila == LOW)
{
if (pyoritysonoff == 0)
{
digitalWrite(RporaPyoritys,HIGH);
digitalWrite(Rporasig,HIGH); // ulkopuolisen signaalin releen high arvoon asetus
delay(500);
pyoritysonoff =1;
}
else if (pyoritysonoff !=0)
{
digitalWrite(RporaPyoritys,LOW);
digitalWrite(Rporasig,LOW);
delay(500);
pyoritysonoff=0;
}
}

// Liikkeellä alaspäin
if(alaRajaTila == LOW)
{
if(A_vasenJoyE ==HIGH && lukitusvarmuus == 1) //Jos joystick eteenpäin työnnet-
tynä niin poraliike alaspäin päälle
{

```

8(11)

```

if(kangenLukitusTila == HIGH && A_kanglukitus == HIGH && lukitusvarmuus ==
1) //Jos kangen lukitusraja ja lukituskytkin on high asennossa niin
{
    digitalWrite(RporaLiikeA, LOW);

    {
        delay (1000); // odotetaan että vaihteistomoottori kerkeää pysähty-
mään

        Lukitus.write(lukitusServoAuki);
        delay(1500); // Odotetaan että servo kerkeää kääntymään
        lukitusvarmuus =0;
        Serial.print("Pora alas kangen lukituksen kääntö tehty liike sallittu " );

    }
}
else
{
    digitalWrite(RporaLiikeA, HIGH); //Jos ei ole lukitukselle tarvetta ajetaan suoraan
alaspäin
}

}

else if (A_vasenJoyE ==HIGH && lukitusvarmuus == 0)
{
    digitalWrite(RporaLiikeA, HIGH);
}
else
digitalWrite(RporaLiikeA, LOW); //jos joystick normaaliasennossa niin rele nollille,

}

//Liikkeellä ylöspäin
if(ylaRajaTila == LOW)
{

```



```

digitalWrite(PSLuk, LOW); //pyöriytysservo pois päältä
  if(A_vasenJoyT ==HIGH)
  {
    if (kangenLukitusTila== HIGH && A_tyhjennys == HIGH && toisenkangenlukitus!=0) //alemman kangen paikoilleen lukitseminen
    {
      digitalWrite(RporaLiikeY, LOW);

      if(A_kuittaus==HIGH)
      {
        Lukitus.write(lukitusServoKiinni); //käännetään servoa lukitus asentoon (astemäärä)
          delay(500); // Odotetaan että servo kerkeää kääntymään
          sulkuservo=1;
          lukitusvarmuus =1;
          toisenkangenlukitus=0;
          digitalWrite(RporaLiikeY, HIGH);
        }
      else
      return;
    }

    if(A_tyhjennys == HIGH && revolverinSulkuTila == HIGH && sulkuservo ==1) //
    JOs tyhjennys moodi käytössä ja revolverin sulku raja high
    {
      digitalWrite(RporaLiikeY, LOW);
      if(A_kuittaus==HIGH)
      {
        Sulku.write(sulkuServoKiinni); //käännetään revolverin lukitus servoa lukitus asentoon (astemäärä)
          delay(500);
          sulkuservo=0;
        }
      }
    else

```

```
{  
  digitalWrite(RporaLiikeY,HIGH);  
  }  
}  
else  
{  
  digitalWrite(RporaLiikeY,LOW);  
  
}  
  
  }//ylärajatila low loppuu  
  
//XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXALARAJAXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX  
if(alaRajaTila==HIGH)  
{  
  
  digitalWrite(RporaLiikeA, LOW);  
  digitalWrite(Rtary,LOW);  
  taryonoff=0;  
  digitalWrite(RporaPyoritys,LOW);  
  pyoritysonoff=0;  
  if (A_kanglukitus ==HIGH)  
  {  
    Lukitus.write(lukitusServoKiinni); //käännetään servoa lukitus asentoon (astemäärä)  
  
    delay(500); // Odotetaan että servo kerkeää kääntymään  
    sulkuservo=1;  
  
    Serial.print("Lukitaan kanki ");  
    lukitusvarmuus =1;  
    toisenkangenlukitus=1;  
  
  }  
}
```

```
else if (A_kanglukitus == LOW)
{
    Lukitus.write(lukitusServoAuki); //käännetään servoa lukitus asentoon (astemäärä)
    delay(500); // Odotetaan että servo kerkeää kääntymään

    Serial.print("Avataan lukitus" );
    sulkuservo=0;
    lukitusvarmuus =0;
    toisenkangenlukitus=1;
}
else
return;

}
} //loopin sulku
```