



VAASAN AMMATTIKORKEAKOULU
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Niko Kokko

HAUTOMAKONEEN SUUNNITTELU JA TOTEUTUS

Tekniikka
2018

KIITOKSET

Projektin varrella esiin nousi erilaisia haasteita sekä hankalia tilanteita, joihin omat voimavarani eivät olisi riittäneet, siksi kiitän seuraavia osapuolia saamastani avusta.

Kiitän lopputyöni ohjaaja Jani Ahvosta avusta, jota hän on tarjonnut aina kun sitä olen pyytänyt, sekä lehtori Seppo Mäkistä hänen avustaan laskuongelmien kanssa. Kiitän myös kaikkia läheisiäni avusta hautamakoneen mekaniikan rakentamisen kanssa. Erityiskiitoksen haluaisin antaa SKS Group Oy:lle, joka tarjosi minulle kaappiin asennettavat ketjupyörähammasrattaat, sekä Markun Koneelle, josta sain toiminnasta poistetun jääkaapin, jonka sisälle hautamakone rakennetaan.

TIIVISTELMÄ

Tekijä	Niko Kokko
Opinnäytetyön nimi	Hautomakoneen suunnittelu ja toteutus
Vuosi	2018
Kieli	suomi
Sivumäärä	35 + 9 liitettä
Ohjaaja	Jani Ahvonen

Opinnäytetyön tarkoituksena oli suunnitella ja valmistaa edullinen usean munan hautomakone yksityiskäyttöön. Hautomakoneen on seurattava ja ylläpidettävä kaapissa tasaista lämpötilaa sekä kosteusprosenttia hautomisajan aikana. Hautomakoneen on myös käännettävä munia 90 asteen säteellä useasti päivässä tasaisin aikavälein.

Hautomakone toimii parhaimmillaan suljettuna tilana, siten lämpö- ja kosteushävikki saadaan minimoitua. Munien luonnollista hautomista simuloidaan ylläpitämällä lämpötilaa ja kosteusprosenttia, sekä kääntämällä niitä useiden tuntien välein.

Projektin lopputulos on prototyyppinä valmistettu hautomakone noin sadalla kananmunalla, millä käyttäjä voi halutessaan hautoa myös muiden lintujen munia asetteluja muuttamalla ennen hautomisen aloittamista.

Avainsanat	hautomakone, askelmoottorin ohjaus, tuulettimen ohjaus, lämpötilanhallinta, kosteudenhallinta
------------	---

ABSTRACT

Author	Niko Kokko
Title	Incubator Planning and Development
Year	2018
Language	Finnish
Pages	35 + 9 Appendices
Name of Supervisor	Jani Ahvonen

The purpose of the thesis was to design and create a cheap alternative for an incubator of several eggs for private use. The incubator is required to monitor and control even temperature and humidity levels throughout the incubation time. The system is also required to turn the eggs several times a day in a radius of 90 degrees.

An incubator works at its best when it is in a closed off space. This way the heat and humidity loss can be minimized. The natural incubation of eggs is simulated by maintaining steady temperature and humidity levels and by turning the eggs at a several hours interval.

The outcome of this project was a prototype of an incubator for approximately one hundred chicken eggs. The user can change the settings for the incubation if he/she wishes to hatch eggs of other poultry.

Keywords	Incubator, stepper motor control, fan control, control of heating, control of moisture
----------	--

SISÄLLYS

KIITOKSET

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

KUVA- JA TAULUKKOLUETTELO

LIITELUETTELO

LYHENTEET JA TERMIT

1	JOHDANTO.....	10
2	TEOREETTINEN TAUSTA.....	11
	2.1 Vaatimukset	11
	2.2 Hautomakone	11
	2.3 Suunnitteluvaihe	11
	2.4 Toteutusvaihe.....	13
3	TEKNIikka	15
	3.1 Ohjauspiirikortti.....	15
	3.2 Logiikka	16
	3.3 Ohjelmointi	17
	3.4 Askelmoottori	18
	3.5 Sensorit	18
	3.6 LCD-näyttö	19
	3.6.1 Vikatiedot.....	20
	3.7 Lämmitys	20
	3.8 Kosteutus.....	21
	3.9 Teholähteet.....	22
	3.10 Painokytkin	22
	3.11 Ilmankierto.....	23
4	SUUNNITELMA	25
	4.1 Kuvaus ja tavoite.....	25
	4.2 Suunnittelu	25
	4.2.1 Mekaanisen suunnittelun muutokset.....	25
	4.2.2 Mekaaniset osat.....	28

4.2.3	Ohjauspiirilevyn kytkeminen	28
5	TOTEUTUS	30
5.1	Aloitus.....	30
5.2	Ohjelmointi	30
5.2.1	Moottori	30
5.2.2	Sensorit.....	31
5.2.3	LCD-näyttö	31
5.2.4	Lämpövastukset.....	31
5.2.5	Vedenhöyrystin	32
5.2.6	Tuulettimet	32
5.3	Rakentaminen	32
5.3.1	Piirilevykilpi.....	33
5.3.2	Hammasrattaat.....	34
5.4	Lopputulos	35
6	JOHTOPÄÄTÖKSET	36
	LÄHTEET.....	37

LIITTEET

KUVA- JA TAULUKKOLUETTELO

Kuva 1. Hautomakoneen rakenne, versio 1.	12
Kuva 2. Yksinkertainen lohkokaavio hautomakoneen osista projektin alussa.	13
Kuva 3. Funduino Mega 2560 R3 -ohjauspiirikortti / 4 /.....	14
Kuva 4. Lohkokaavio laitteiston kytkennästä ohjauspiirikortille.	15
Kuva 5. Arduinon ohjelmointityökalu yksinkertaisella PWM-testiohjelmalla.....	17
Kuva 6. NEMA23-askelmoottori.....	18
Kuva 7. DHT22-lämpötila- ja kosteussensori / 10 /.....	19
Kuva 8. Arcol HS150 -alumiinikoteloitu lankavastus / 14 /.....	21
Kuva 9. Ultraääni-ilmankostutin / 15 /.....	22
Kuva 10. A2-5AS-BB -painokytkin / 22 /.....	23
Kuva 11. Nidec D12E(K) -tuuletin / 23 /.....	24
Kuva 12. Hautomakoneen ulkokuori, versio 2.....	26
Kuva 13. Hautomakone 3D, versio 3.....	27
Kuva 14. Kytkentäkaavio ohjauspiirilevyn kilvestä.	29
Kuva 15. Ohjauspiirilevyn kytkentäkilpi.	33
Kuva 16. Ohjauspiirilevy kytkentäkilvellä.	34
Kuva 17. Hautomakone 2D, versio 3.....	44
Kuva 18. Moottorin hitausmomentin laskut.....	45
Kuva 19. Akselin telineenä toimiva 10 mm metallitanko.....	46
Kuva 20. Akselina toimiva 30 mm alumiiniputki.....	47
Kuva 21. Hyllyjen telineenä toimiva L-profiilialumiinitanko.	48
Kuva 22. Hyllyjen kampena toimiva alumiinitanko.	49
Kuva 23. Hyllyjen telineenä toimiva metallitanko.	50
 Taulukko 1. Vastusten tehon jakautuminen ja teoreettinen lämpötila.	 40
Taulukko 2. Asiakkaalta veloitettavat materiaalikustannukset.....	41

LIITELUETTELO

LIITE 1 Vastusten tehon jakautuminen.	40
LIITE 2 Asiakkaalta veloitettavat materiaalikustannukset	41
LIITE 3 Hautomakoneen 2D-suunnitelma.	44
LIITE 4 Moottorin hitausmomenttilaskelma.	45
LIITE 5 Akselin telineenä toimiva 10 mm metallitanko.	46
LIITE 6 Akselina toimiva 30 mm alumiiniputki.	47
LIITE 7 Hyllyjen telineenä toimiva L-profiilialumiinitanko.	48
LIITE 8 Hyllyjen kampena toimiva alumiinitanko.	49
LIITE 9 Hyllyjen telineenä toimiva metallitanko.	50

LYHENTEET JA TERMIT**Funduino Mega 2560 R3**

Ohjauspiirikortti, joka käyttää
AtMega2560 mikro-ohjainta

C/C++

Ohjelmointikielet, joita Arduino-
ohjauspiirikortti käyttää

I/O-logiikka

Input/Output, eli digitaalinen sisään-/
ulos- kommunikointi
ohjauspiirikortilla

MOSFET

Metallioksidi-
puolijohdekanavatransistori

PWM

Pulssinleveysmodulaatio

LCD

Liquid Crystal Display eli
nestekidenäyttö

1 JOHDANTO

Opinnäytetyön tarkoituksena oli suunnitella ja toteuttaa hautomakone noin sadalle munalle. Laitteiston suunnitleminen ja toteuttaminen vaikutti aiheen valitsemisessa hyvältä tiivistelmältä kaikesta mitä koulutuksen aikana on opetettu ja opittu. Työ suoritettiin yksityishenkilölle, joka etsi edullista vaihtoehtoa usean munan hautomakoneelle. Työskentelyn alussa oli tarkoitus kiinnittää enemmän huomiota ohjelmointiin ja mahdollisten piirikorttien suunnitteluun, mutta työn edetessä huomattiin sen olevan valtaosin mekaniikan suunnittelua.

Työn tavoitteena suunniteltavan ja toteutettavan hautomakoneen oli oltava mahdollisimman edullinen ratkaisu noin sadalle munalle. Laitteen automatisoiti suunniteltiin toteutettavaksi Raspberry Pi-pienoistietokoneella, tai Arduino - ohjauspiirikortilla. Suunnitteluvaiheessa vertailin ja selvitin millä tavoin eri osat hautomakoneesta saisi toteutettua edullisesti, ja ohjattua yhdellä keskitetyllä ohjauspiirikortilla.

2 TEOREETTINEN TAUSTA

Tässä luvussa esitellään miten suuri osa markkinoilta löytyvistä hautomakoneista toimii, sekä mikä niiden ydinmekaniikka on. Esittelyssä on myös lyhyesti miten laitteiston suunnittelu- ja toteutusprosessi etenivät.

2.1 Vaatimukset

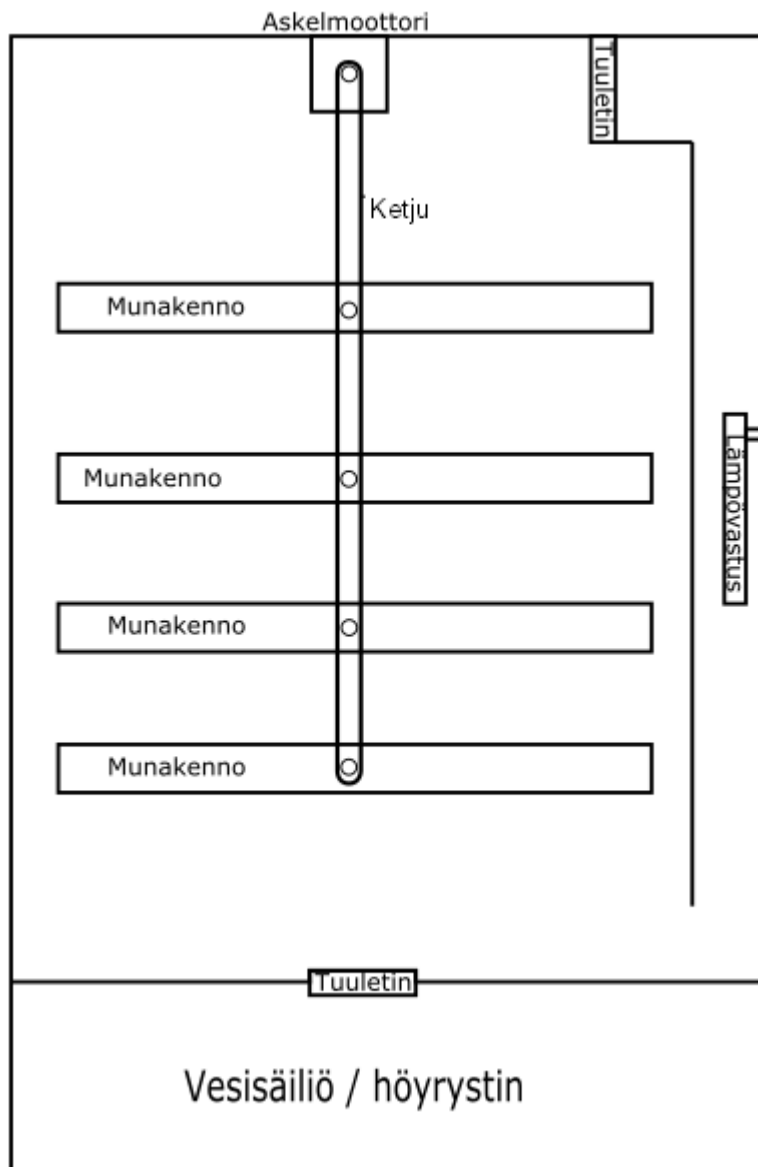
Suunniteltavan ja valmistettavan hautomakoneen on oltava suljettu tila, mihin mahtuu käännettäville hyllyille noin sata munaa. Laitteiston on kyettävä pitämään 38 °C lämpötilaa +/- 1 °C muutoksella, sekä noin 55 % kosteutta. Hautomakoneen ohjausjärjestelmän on oltava mahdollisimman automaattinen.

2.2 Hautomakone

Markkinoilta löytyvät munien hautomakoneet noudattavat kaikki samaa periaatetta, emolinnun luonnollisen hautomisen simulointia. Kananmunia hautoessa hautomistilan keskilämpötilan on pysyttävä noin 38 °C ja tilan kosteusprosentin on vastaavasti oltava 55 %. Kananmunien ollessa hautomakoneessa, niitä käännetään noin 90° kulmassa 3-5 kertaa päivässä. Kananmunien aktiivinen hautomisaika on keskimäärin 21 päivää, minkä jälkeen hautomistilan kosteusprosentti korotetaan 60 %:iin, ja munien kääntely lopetetaan kääntäen ne lopulta kyljelleen, jotta munan sisällä oleva ilmakupla on helposti särkyvässä kohdassa. / 1 // 2 /

2.3 Suunnitteluvaihe

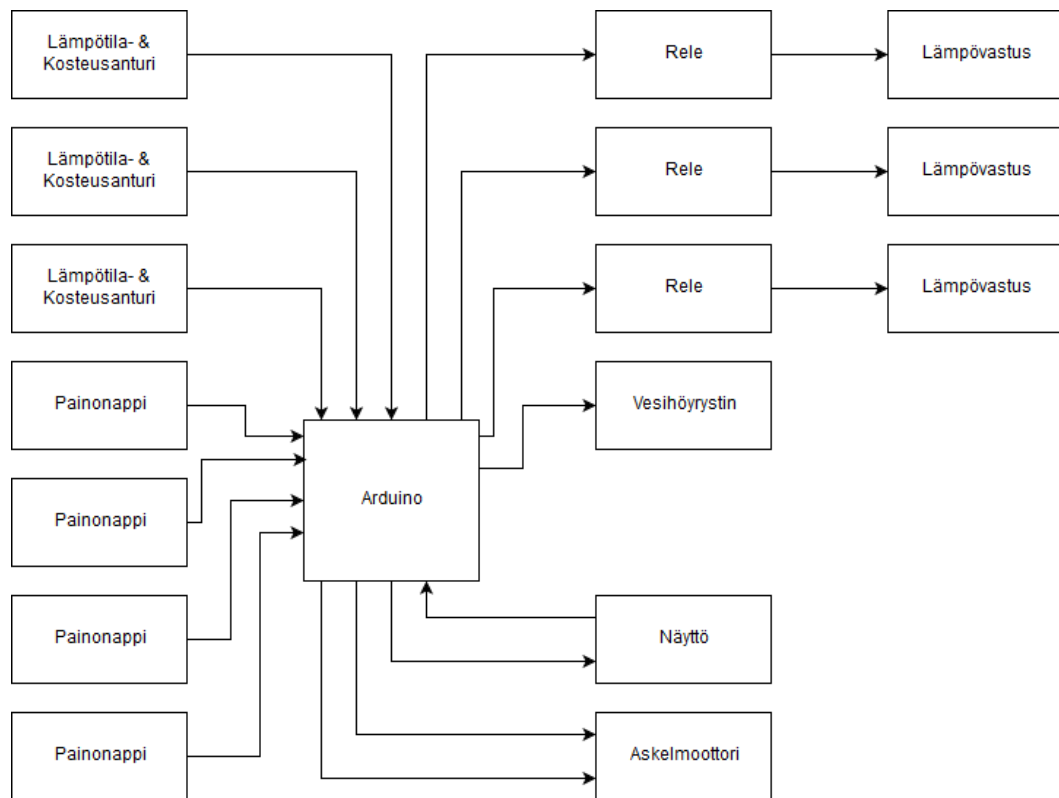
Opinnäytetyön alussa hautomakoneen ulkokuoren rakenne suunniteltiin olevan vanerilevyä, sillä puumateriaalia on helppo muokata sekä siihen on helppo kiinnittää erilaisia elementtejä. Ensimmäinen hautomakoneen rakenteellinen suunnitelma oli nelihyllyinen missä lämpövastuksen lämmittämä ilma puhallettiin kiertoilman kaltaisesti laitteen ympäri (**Kuva 1.**).



Kuva 1. Hautomakoneen rakenne, versio 1.

Hautomakoneen sisälle suunniteltiin asennettavaksi askelmoottori munien kääntämistä varten. Kaapin sisälle suunniteltiin myös lämpövastus tilan lämmittämiseksi ja vesisäiliö höyrystimellä kosteuden takaamiseksi. Tasaisen lämpö- ja kosteustilan takaamiseksi, kaapin sisälle suunniteltiin usea tuuletin. Ensimmäinen hautomakoneen rakenteen idea saatiin RcomProductsin valmistaman hautomakoneen mainosvideosta / 3 /. Laitteistolle kehitettiin aluksi hyvin yksinkertainen lohkokaavio (**Kuva 2.**).

Lohkokaaviossa näkyy yksinkertainen kytkentämalli miten järjestelmän vaatimat komponentit kytkettäisiin ohjauspiirikortille. Ohjauspiirikortti vastaanottaa tietoa antureilta sekä painonapeilta. Ohjauspiirikortti lähettää komentoja askelmoottorille ja vesihöyrystimelle sekä hallitsee lämpövastuksien jännitteellisyttä relekytkimillä.

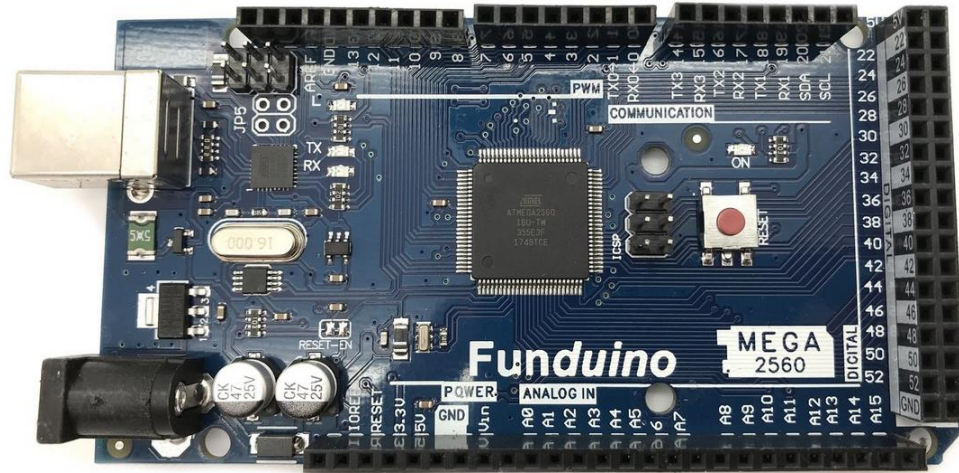


Kuva 2. Yksinkertainen lohkokaavio hautomakoneen osista projektin alussa.

2.4 Toteutusvaihe

Hautomakoneen kuorena päädyttiin käyttämään projektiin luovutettua, käytöstä poistettua jääkaappia. Laitteiston ohjauspiirikortiksi valittiin Funduino Mega 2560 R3 sillä siinä on riittävästi erilaisia kommunikointirajapintoja hallitsemaan kaappiin asennettavia elementtejä (**Kuva 3.**). Hautomakoneen lämmitys päädyttiin toteuttamaan alumiinikoteloiduilla lankavastuksilla, joilla on suuri jäähdytyspinta-ala. Ilmankosteus puolestaan toteutettiin ultraääni-ilmankostuttimella. Lämpötilan ja kosteuden hallintaan kaappiin asennetaan neljä lämpötila- ja kosteussensoria, mitkä lähettävät tietoa ohjauspiirikortille, joka puolestaan säätelee lämmityksen ja

kosteuden tehoa. Ilmankierto toteutetaan kahdella suurikokoisella tuulettimella ja munien kääntely kaksisuuntaisella askelmoottorilla.



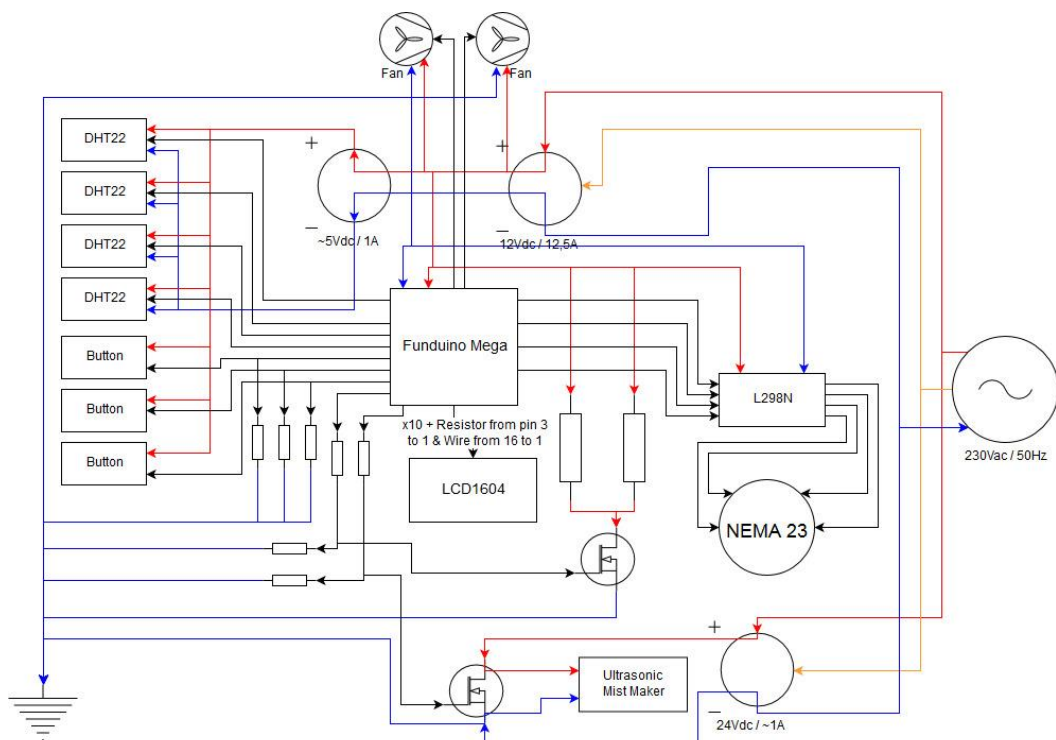
Kuva 3. Funduino Mega 2560 R3 -ohjauspiirikortti / 4 /.

3 TEKNIikka

Seuraavassa luvussa esitellään opinnäytetyössä käytetyt elementit, sekä miten ne toimivat. Laitteet esitellään yksitellen, ja perustellaan niiden osa-alueet, joita tässä projektissa käytetään.

3.1 Ohjauspiirikortti

Projektissa käytettäväksi ohjauspiirikortiksi valittiin Funduino Mega 2560 R3, joka on Funduinoon valmistama versio Arduinoon suunnittelema Arduino Mega 2560 R3 -ohjauspiirikortista / 5 /. Käytettävän ohjauspiirikortin valintaan vaikutti hinta, sekä laitteesta löytyvä suuri määrä erilaisia kommunikointirajapintoja, jolloin ohjauspiirikortti kykenee hallinnoimaan vaadittavia osa-alueita laitteistossa (**Kuva 4.**).



Kuva 4. Lohkokaavio laitteiston kytkennästä ohjauspiirikortille.

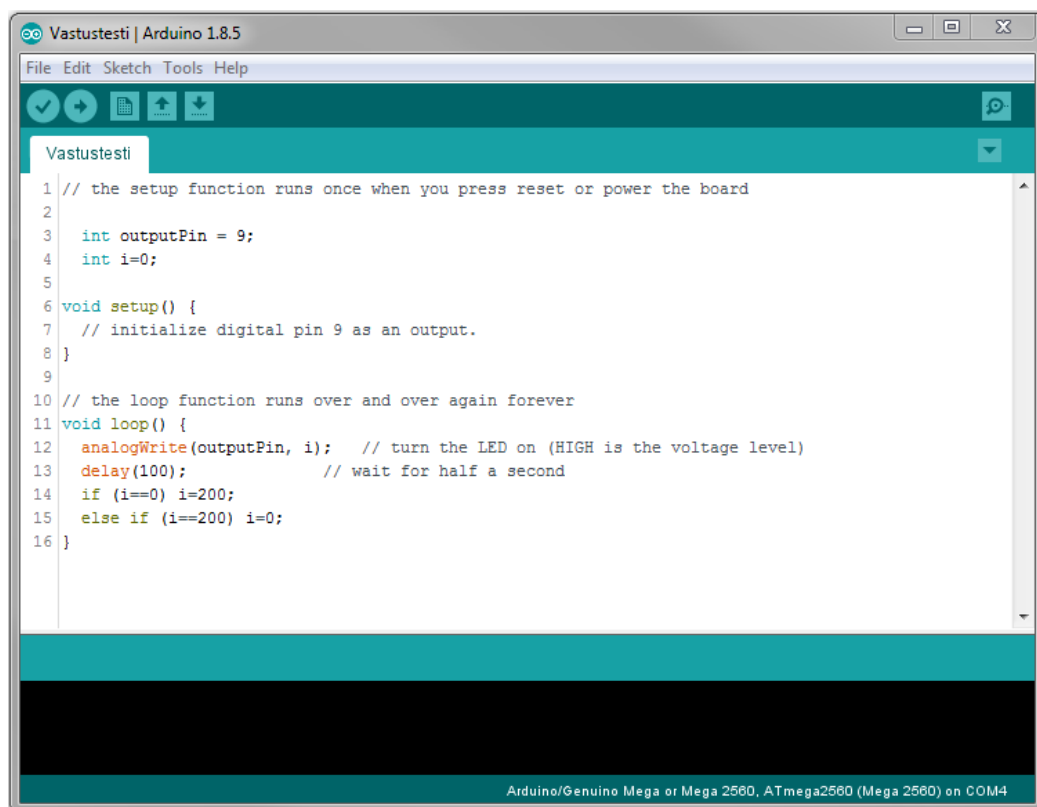
Funduino Mega 2560 R3 sisältää 54 digitaalista tulo- lähtöväylää, mistä 14:a väylää on mahdollista käyttää PWM-kommunikointiin. Ohjauspiirikortilla on myös 16 analogisen kommunikoinnin väylää, joilla voi lukea esimerkiksi

lämpötilasensorin jakamaa tietoa. Ohjauspiirikortin yllämainituilla kommunikointirajapinnoilla on useita eri käyttötarkoituksia, mutta suurta osaa niitä ei tässä projektissa käytetty.

Funduino Mega 2560 R3 toimii 5 voltin jännitteellä USB-liittimen kautta, minkä avulla laitteistolle ladataan konekielelle käännetty koodi. Ohjauspiirikortilta löytyy myös liitin ulkoiselle virtalähteelle, minkä toimintasäde on 7-12 V. Funduino Megassa on 16 MHz kideoskillaattori, jolla voidaan luoda neljään eri PWM-väylään eritaajuisia signaaleja. Funduino Mega käyttää suorittimena Atmega2560-suoritinta, missä on 256 kt flash-, 4 kt EEPROM- ja 8 kt SRAM-muistia / 6 /.

3.2 Logiikka

Funduino Mega 2560 R3 -ohjauspiirikorttia ohjelmoidaan Arduino-pohjaisten laitteiden ohjelmointiin tarkoitettulla työkalulla, joka on ladattavissa ilmaiseksi Arduinon verkkosivuilta / 7 /. Ohjelmointikielinä Arduino-pohjaiset laitteistot käyttävät C- ja C++ -kieliä (**Kuva 5.**).



Kuva 5. Arduinon ohjelmointityökalu yksinkertaisella PWM-testiohjelmalla.

Arduino-pohjaiset laitteet ovat erinomaisia, sillä niille voi ohjelmoida toimintoja ja luottaa, että ohjelma löytyy laitteesta vielä sähkökatkon jälkeenkin. Tiedot ATmega-suorittimilta eivät katoa, sillä ne kirjoitetaan flash- ja EEPROM -muisteihin, jotka ovat haihtumattomia, mutta prosessorilla olevaan SRAM-muistiin kirjoitetut asiat, laitteen ollessa käynnissä, katoavat jännitteen menetyksen yhteydessä.

3.3 Ohjelmointi

Nykypäivänä on harvinaista rakentaa projektia, jonka osia joku toinen ei olisi aikaisemmin toteuttanut. Tästä syystä ohjelmoimisen haaste on muuttunut koodin luonnista muiden ihmisten ohjelmoiman koodin ymmärtämiseen ja omaksumiseen. Edellä mainitun seurauksena valtaosa projektissa käytetystä koodista on muiden kirjoittamaa, ja tähän projektiin uudelleen-sovellettua.

3.4 Askelmoottori

Hautomakoneen hyllyjen kääntämiseen käytetään NEMA23-askelmoottoria, jota ohjaa moottorin ja ohjauspiirikortin välissä oleva L298N-moottoriohjain (**Kuva 6.**) / 8 / / 9 /. Askelmoottorista lähtee neljä johdinta, joilla määritetään moottorin pyörimissuunta ja nopeus. Ohjauspiirikortti lähettää PWM-kanavien kautta komennon moottoriohjaimelle, joka muuttaa sen moottorin syöttöpulssiksi.

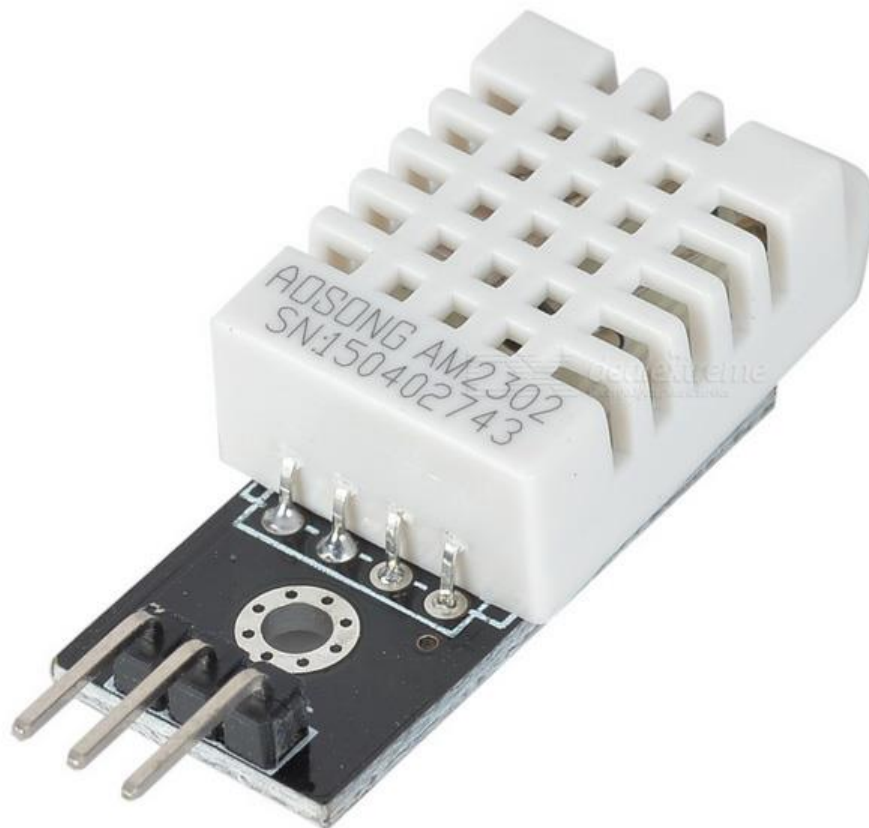


Kuva 6. NEMA23-askelmoottori.

3.5 Sensorit

Hautomakoneen lämpö- ja kosteustilan seurantaan käytetään DHT22-sensoreja, joista ohjauspiirikortti lukee tiedot analogiatulokanavien kautta ja säätelee näiden arvojen avulla lämpövastusten ja ilmastointilaitteiden toimintaa (**Kuva 7.**) / 11 /. DHT22-sensorissa on 3 aktiivista pinniä (VCC, Data out, Ground). VCC on

syöttöjännite, joka laitteilla voi olla 3-5 VDC-jännitettä. Data out puolestaan viittaa liittimeen, mistä sensori lähettää ulos analogista mittaustietoa. Ground viittaa pinniin, josta komponentti kytketään jännitteen suojamaahan.



Kuva 7. DHT22-lämpötila- ja kosteussensori / 10 /.

3.6 LCD-näyttö

Hautomakoneen ohjauspaneelina tulee toimimaan LCD-näyttö / 12 /. Käytettävässä näytössä on neljä riviä, joihin jokaiseen voi kirjoittaa 16 merkkiä. Ohjauspiirikortti ohjaa näyttöä kahdeksalla I/O-kommunikointiliittimellä. 5 VDC-jännitemuunnin syöttää näytölle käyttöjännitteen. Näytölle kirjataan hautomakoneen käynnistyessä tilatiedot lämpö- ja kosteustilasta, sekä esitetään minkä asetuksen ohjaustila on päällä. Ennen hautomisen aloittamista, käyttäjä voi

painonapveja käyttäen kääntää moottorin oikeaan asentoon, vaihtaa hautomisajan tavoitelämpö- ja kosteustilan, sekä muuttaa hautoma-ajan. Kun hautomisprosessi on aloitettu, näytölle kirjataan jäljellä oleva aika päivinä, lämpötila, kosteusprosentti sekä vikakoodi, jos ohjauspiirikortti ei kykene kommunikoimaan jonkin osan kanssa.

3.6.1 Vikatiedot

LCD-näytön neljännelle riville kirjataan tietoa vain, jos järjestelmässä on jotain vikaa. Mahdollisia vikoja järjestelmässä ovat, jokin sensoreista ei kommunikoi ohjauspiirikortin kanssa tai vesiastiassa on vesi vähissä.

3.7 Lämmitys

Hautomakoneen lämmittäminen toteutetaan kahdella Arcolin alumiinikoteloidulla 4,7 ohmin lankavastuksella / 13 /. Laitteistossa yksittäisen lankavastuksen teoreettinen lämmitysteho on noin 60 °C (**Taulukko 1.**). Vastusten lämmittämä ilma puhalletaan hautomakoneen sisälle tuulettimella. Lankavastusten lämpöä säätelee PWM-liittimiltä lähtevä signaali, jolla kontrolloidaan MOSFET-komponenttien johtavuutta.

Arcol HS150 -alumiinikoteloitu lankavastus kestää maksimissaan jäähdytyslevyn kanssa 150 W:n tehoa ja ilman jäähdytyslevyä 45 W (**Kuva 8.**). Tässä tapauksessa ei jäähdytyslevyä tarvita, sillä vastusten teho jää noin 30 W:iin.



Kuva 8. Arcol HS150 -alumiinikoteloitu lankavastus / 14 /.

3.8 Kosteutus

Ilmankosteutus hautamakoneen sisällä toteutetaan ultraääni-ilmankostuttimella, johon syötetään 24 VDC-jännite (**Kuva 9**). Ilmankostutin toimii veden resonanssitaajuuden rajalla värähtäen metallilevyä 1,7 MHz taajuudella, jolloin vesi ei enää kykene resonoimaan levyn kanssa. Tällä taajuudella levyn ollessa alhaalla, veden ja metallilevyn välille muodostuu ilmakupla. Kun levy nousee ylös, pakottaa se ilmakuplan liikkeelle suurella voimalla, aiheuttaen tällä tavoin vesihiukkasten purkautumisen ilmakuplan mukana. Ilmankostuttimen toimintaa säätelee PWM-liittimiltä lähtevä signaali, joka kontrolloi MOSFET-komponenttien johtavuutta.



Kuva 9. Ultraääni-ilmankostutin / 15 /.

3.9 Teholähteet

Hautomakoneen tehosityöttöön hankittiin kaksi teholähdettä sekä yksi jännitemuunnin. Teholähteille syötetään jännite suoraan verkkovirrasta, ja jännitemuuntimelle syötetään jännite 12 VDC-teholähteestä. Lämpövastusten riittävä lämmitysteho, ohjauspiirikortti, askelmoottori sekä tuulettimet tarvitsevat toimiakseen 12 VDC-jännitettä, jonka muuntaa LRS-150 -teholähde / 16 /. LRS-150 -teholähde antaa käyttöjännitteen VM124 -jännitemuuntimeen, joka muuntaa 12 VDC-jännitteen 5 VDC-jännitteeksi / 18 /. Muunnettu jännite syötetään sensoreille, LCD-näytölle sekä painonapeille. Ilmankostutinta varten on hankittu 24 VDC-teholähde, RS-25, sillä se on ainut laite projektissa, joka vaatii 12 VDC korkeamman jännitteen / 17 /.

3.10 Painokytkin

Hautomakonetta kontrolloidaan kolmella painonapilla, jota käyttäen käyttäjä voi tarvittaessa muuttaa hautomakoneen hautomisasetuksia (**Kuva 10.**) / 19 /. Painonapeilla hallittavat asiat ovat hyllyjen asento, tavoitehautomisaika, lämpö- ja

kosteustila. Painonapeilla käyttäjä voi, muutettuaan asetuksia, aloittaa hautomisprosessin. Painonapit kytketään ohjauspiirin digitaalisiin I/O-liittimiin.



Kuva 10. A2-5AS-BB -painokytin / 22 /.

3.11 Ilmankierto

Kaapin ilmankierron varmistaa kaksi Nidec-yhtymän D12E(K) 120*120 mm tuuletinta (**Kuva 11.**) / 20 /. Tuulettimille syötetään 12 VDC-jännitettä. Tuulettimet kuluttaisivat 1.4 A kappaleelta, jos ne pyörisivät täydellä teholla. Tuulettimien pyörimistehoa ohjataan ohjauspiirikortin käyttöjaksotetuilla PWM-liittimillä, jotka on kelloitettu 25 kHz:iin tuulettimien kanssa kommunikointia varten.



Kuva 11. Nidec D12E(K) -tuuletin / 23 /.

4 SUUNNITELMA

Seuraavassa luvussa esitellään miten hautomakoneen suunnittelu eteni projektin aikana.

Vaatimukset projektin alussa hautomakoneelle olivat suljettu tila munia varten, noin 38 °C lämpötila ja 55 % kosteusprosentti aktiivisen hautomisen ajalle, sekä kyky kääntää munia. Suunnittelussa oli otettava huomioon automatisointi, sillä projektin tavoite oli luoda mahdollisimman automaattinen hautomakone.

4.1 Kuvaus ja tavoite

Lopputyön tavoite on rakentaa toimiva hautomakone, joka ei vaadi käyttäjältä toimintoja kuin hautomisprosessin aloittamisessa ja lopettamisessa. Laitteen sisälle asennetaan järjestelmä tilan lämmittämiseen ja kosteuttamiseen, kolme kääntyvää hyllyä, sekä sensorit lämpö- ja kosteustilan valvontaan.

Projektissa pyrittiin valmistamaan asiakkaalle hautomakone mahdollisimman edullisesti. Hautomakoneen perusvaatimukset määrittivät munien hautomiseen vaadittavan tilan asettelut, sekä asiakkaalle tarjottu automatisointi.

4.2 Suunnittelu

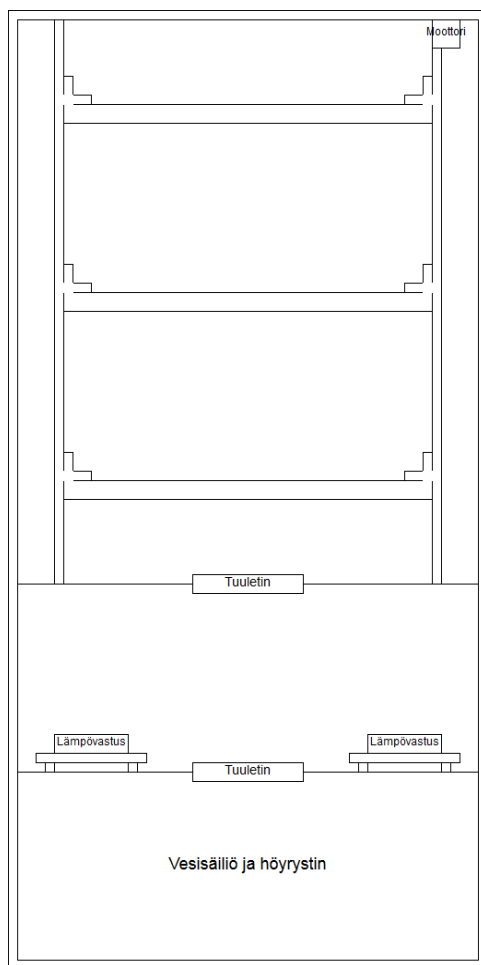
Hautomakoneen suunnittelua aloittaessa määriteltiin vaadittavat komponentit ja vertailtiin niiden vaihtoehtoja. Suunnitelman toteutuksesta pidettiin palaveri projektia ohjaavan lehtorin Jani Ahvosen kanssa. Ahvonen ehdotti, että releet korvattaisiin MOSFET -komponenteilla, jolloin pulssimoduloinnin avulla säädeltäisiin lämpövastuksia (**Kuva 2.**) / 21 /. Hautomakoneen ulkokuori projektin alussa suunniteltiin rakennettavaksi vanerilevyistä, helpon muokattavuuden vuoksi.

4.2.1 Mekaanisen suunnittelun muutokset

Hautomakoneen ulkokuorena toimivan rakenteen muoto muuttui projektin edetessä, materiaalin saatavuuden, kunnon sekä hinnan seurauksena. Projektia aloittaessa tarkoituksena oli rakentaa 1200x400x600 mm mittainen vanerilevystä

valmistettu ulkokuori ja vuorata se eristemateriaalilla lämpö- ja kosteushäviön vähentämiseksi (**Kuva 1.**). Asiakkaan kanssa vanerirakenteesta keskustellessa tyrmättiin idea, materiaalin korkean hinnan vuoksi.

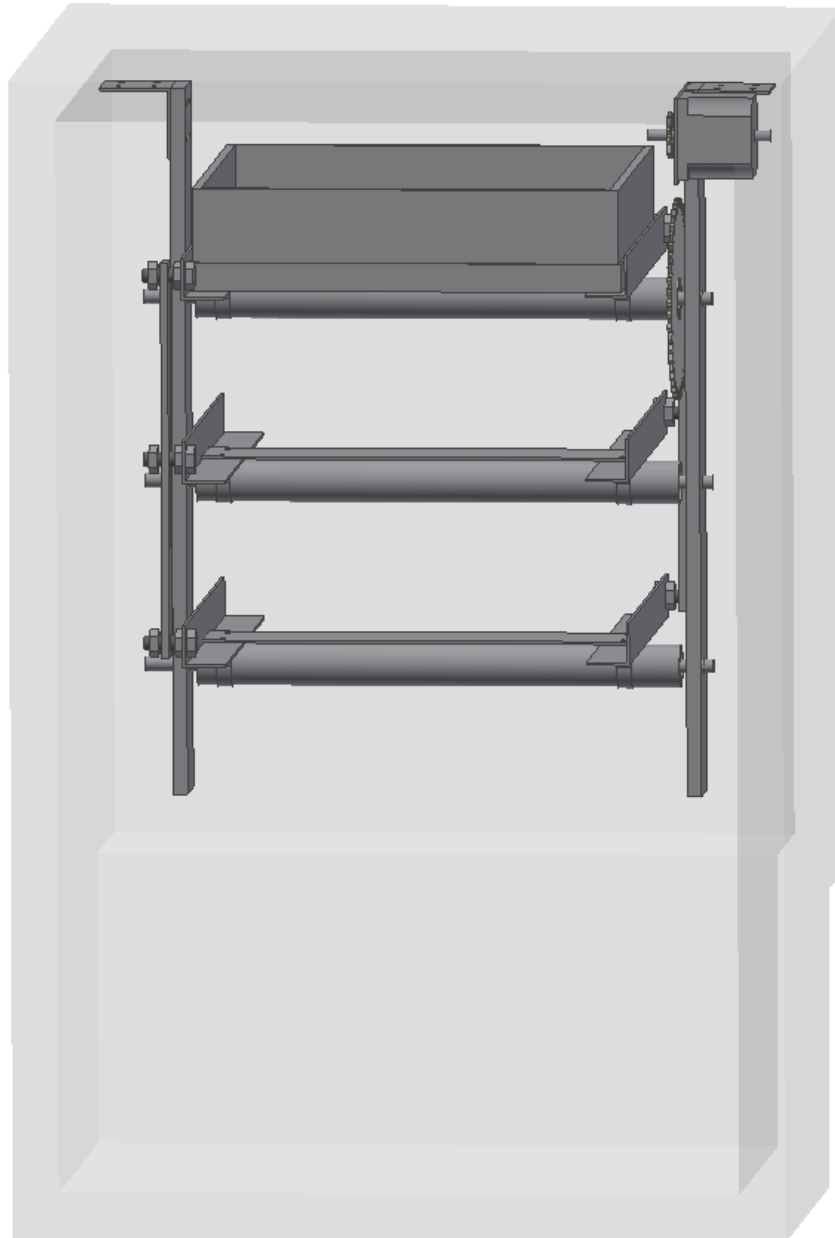
Ulkokuoren rakentamisesta keskustellessa tuttavien kanssa, projektiin luovutettiin 1000x1000x600 mm mittainen käytetty vanerilevyvalmisteinen lava. Materiaalien mittojen vuoksi ulkokuoren mitoitus ja rakenne muuttui (**Kuva 12.**). Valitettavasti vanerilavan materiaalin kunnon vuoksi jouduttiin siitä luopumaan.



Kuva 12. Hautomakoneen ulkokuori, versio 2.

Lopulta projektissa päädyttiin ottamaan yhteyttä viallisia kodinkoneita kunnostavaan Markun Koneeseen, josta työhön luovutettiin, 800x550x550 mm mittainen, käytöstä poistettu viallinen jääkaappi. Jääkaapin sisämittojen avulla

suunniteltiin aluksi mekaniikan luonnos 2D-muodossa ja sen jälkeen 3D-luonnoksena (**Kuva 17.**) (**Kuva 13.**).



Kuva 13. Hautomakone 3D, versio 3.

4.2.2 Mekaaniset osat

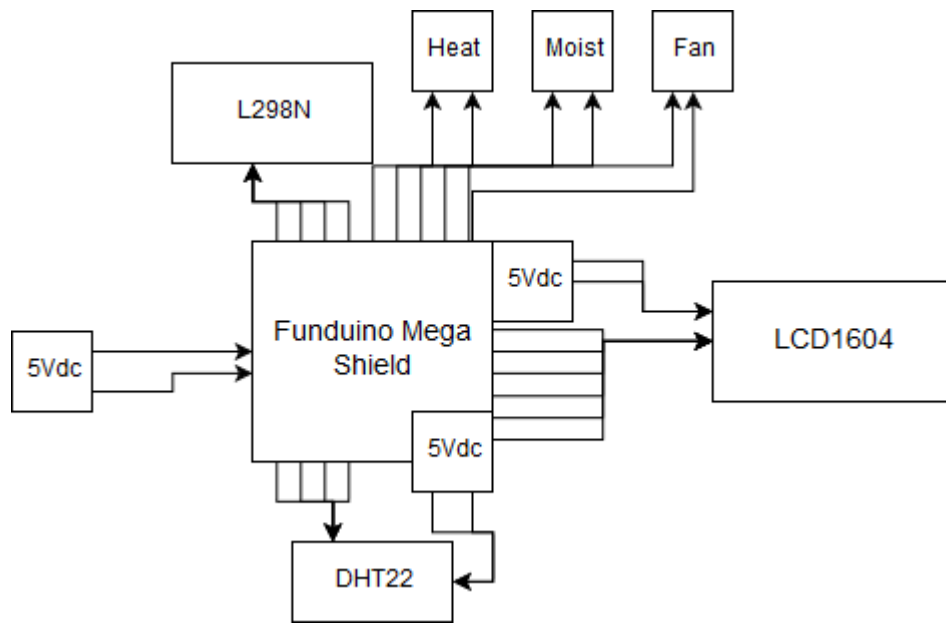
Hautomakoneen yksittäinen hylly koostuu useasta eri osasta. Pystyrakenteena käytetään kahta paksua metallitankoa, joihin porataan kiinnityspaikat muille osille (**Kuva 13.**) (**Kuva 23.**).

Pystytankoihin porattuihin reikiin sijoitetaan 10 mm halkaisijaltaan olevat tangot, minkä ympärille kiinnitetään kaksi kuulalaakeria (**Kuva 19.**). Kuulalaakerien päälle laitetaan akselina toimiva 30 mm putki, joka kiristetään putkikiristimillä kahteen hautomahyllyn telineenä toimivaan L-profiilialumiinitankoon (**Kuva 20.**) (**Kuva 21.**). L-profiilitankojen samanaikainen kääntyminen varmistetaan liittämällä ne toisiinsa alumiinisella levyllä, joka kiinnitetään putkikiristimien kanssa samoilla ruuveilla.

Hyllyjen samanaikainen kääntyminen varmistetaan kahdella vipuvartena toimivalla alumiinitangolla, jotka yhdistetään L-profiili-tankoihin muttereilla (**Kuva 22.**).

4.2.3 Ohjauspiirilevyn kytkeminen

Hautomakoneen sisälle kytkettävistä komponenteista luodun kaavion avulla määriteltiin ohjauspiiriltä lähtevät kytkennät (**Kuva 4.**). Kytkentäkaavion avulla suunniteltiin mitkä kytkennät tarvitsevat muitakin komponentteja kaapeleiden lisäksi. Kytkennästä suunniteltiin alussa yksinkertainen kaavio, mikä auttoi ohjauspiirilevyn kytkentäkilven suunnittelussa (**Kuva 14.**) (**Kuva 15.**). Ohjauspiirilevyn päälle liitettävän kytkentäkilven lopullinen suunnitelma esitellään myöhemmin dokumentissa.



Kuva 14. Kytentäkaavio ohjauspiirilevyn kilvestä.

5 TOTEUTUS

Tässä luvussa esitellään lopputyössä vastaan tulleet suunnitelmalliset ja rakenteelliset vaikeudet. Kappaleissa esitellään osa-alueittain minkälaisia ongelmia projektissa tuli vastaan ja miten ne ratkaistiin.

5.1 Aloitus

Projektin rakentamiseen tarvittavat laitteet tilattiin osissa. Toteutus aloitettiin tilaamalla ohjelmoitavat komponentit. Laitteiston kytkemisen ja ohjelmoimisen valmistuttua, aloitettiin mekaanisten osien hankinta.

Ohjelmoitavat komponentit tilattiin osina useasta eri liikkeestä ympäri maailmaa, sen mukaan mikä oli käytännöllisin ja edullisin ratkaisu laitteistolle. Osien ohjelmointi toteutettiin aluksi kytkemällä ne yksittäin ohjauspiirikortille, ja selvittämällä Internetistä miten muut ovat ratkaisseet kyseiset tilanteet. Internetistä löytämiä koodeja pohjana käyttäen, ohjelmoitiin osat toimimaan hautomakoneen ympäristössä.

Hautomakoneeseen vaadittavat mekaaniset osat määriteltiin käytettävän kaapin sisustan mukaan. Aluksi osista mallinnettiin 2D-luonnos, jonka jälkeen niistä luotiin 3D-malli Autodesk Inventor -ohjelmistoa käyttäen. Mallinnettujen kuvien avulla luotiin selvä kuva vaadittavista materiaaleista (**Kuva 17.**) (**Kuva 13.**) / 24 /.

5.2 Ohjelmointi

Hautomakoneen yksittäisten osien ohjelmointi toteutettiin osina, ja toimivat ohjelmat yhdistettiin toisiinsa. Seuraavaksi esitellään laitteet, sekä niiden kanssa esiin nousseet ongelmat, siinä järjestykseen kun ne saatiin toimimaan.

5.2.1 Moottori

Projektin alussa askelmoottoriksi tilattiin NEMA17-askelmoottori / 25 /. Moottori valittiin laskennallisesti vaaditun vääntömomentin perusteella, sekä ylimitoitettiin riittävästi. Laskennallisesti NEMA17:n 0,45 Nm vääntömomentti oli riittävästi ylimitoitettu hautomakoneen hyllyjen kääntämiseen (**Kuva 18.**). Valitettavasti

myöhemmin esiin nousi ongelma, NEMA17-askelmoottorin akselin halkaisija on 5 mm, mihin on vaikea löytää sopivaa hammasratasta. Akselin kapeuden vuoksi laitteistoon tilattiin toinen askelmoottori NEMA23 / 8 /. Uuteen askelmoottoriin saatiin leveämmän akselin ansiosta kytkettyä SKS Group Oy:n projektille lahjoittama, 8 mm halkaisijalta oleva hammasratas. Askelmoottorin ohjelmoinnin esimerkkikoodi löytyi Internetistä, ja sen pohjalta luotiin järjestelmässä oleva askelmoottorin ohjauskoodi / 26 /.

5.2.2 Sensorit

Hautomakoneen sisälle asennetaan neljä DHT22-sensoria, joiden tarkoitus on seurata kaapin lämpö- ja kosteustilaa. Yksittäisen sensorin ohjelmointiesimerkki löytyi Internetistä, sen avulla testattiin aluksi yhden sensorin toiminta kytkentälevyllä / 27 /. Ohjelman toimivuuden testaamisen jälkeen kirjoitettiin usean sensorin tilatiedot Arduino-ohjelmointityökalun sarjaliikennäytölle.

5.2.3 LCD-näyttö

Hautomakoneen ohjauspaneelina toimivalle LCD-näytölle ohjauspiirikortti kirjoittaa lämpö- ja kosteustilojen keskiarvon, jäljellä olevan hautomisajan, sekä mahdollisen vikatiedon. Näytön ohjelmointiesimerkkikoodi löytyi Internetistä, jota pohjana käyttäen järjestelmään toteutettiin edellä mainitut toiminnot / 28 /.

5.2.4 Lämpövastukset

Hautomakoneen lämmittämiseen käytetään kahta suurikokoista alumiinikoteloitua lankavastusta, joiden teoreettinen maksimilämpötila tulee olemaan noin 60 °C (**Taulukko 1.**). Lämpövastusten lämmittämisen pohjakoodina käytettiin Arduinon PWM-väylien analogWrite() -funktion esimerkkikoodia / 29 /. Lankavastusten lämpöä säätelee PWM-liittimiltä lähtevä signaali, jolla kontrolloidaan MOSFET-komponenttien johtavuutta.

5.2.5 Vedenhöyrystin

Hautomakoneen kosteuttamiseen käytetään ultraääni-ilmankostutinta, minkä toimintaa säädellään ohjauspiirikortilla samalla tavalla kuin lämpövastuksia.

5.2.6 Tuulettimet

Lämpövastusten ja ilmankostuttimen yläpuolelle asennettavien tuulettimien ohjelmoiminen aiheutti projektissa lieviä ongelmia. Tuulettimet, joita projektissa käytetään, ovat käytöstä poistettujen pöytätietokoneiden tuulettimia. Tuulettimien nopeutta voidaan ohjata 25 kHz -taajuudella toimivilla PWM-signaalilla. Valitettavasti Funduino Mega 2560 R3:n PWM-väylät toimivat normaalitilanteessa 490 Hz taajuudella, kahta pinniä lukuun ottamatta. Ongelmaa ratkoessa Internetistä löytyi ohjenuoraksi perusteellinen opastus, miten ohjauspiirikortin pulssimodulaatioliittimien taajuutta voidaan muokata / 30 /.

Tuulettimien tehoa hallitakseen oli ymmärrettävä miten ATmega2560 suorittimen ajastimien taajuutta voidaan vaihtaa. ATmega2560:n datalehteä tarkastellessa saatiin selville, mitkä pulssimodulaatioväylät ovat kytkettynä mihin ajastimiin / 6 /. Edellä mainittujen tietojen perusteella ohjelmaan kirjoitettiin komento ohjauspiirikortille, joka muuttaa Timer1-ajastimen kellotaajuuden 25 kHz. Muunnettua kellotaajuutta käyttäjaksottamalla voitiin ohjata PWM-väylille 12 ja 13 kytkettyä tuuletinta.

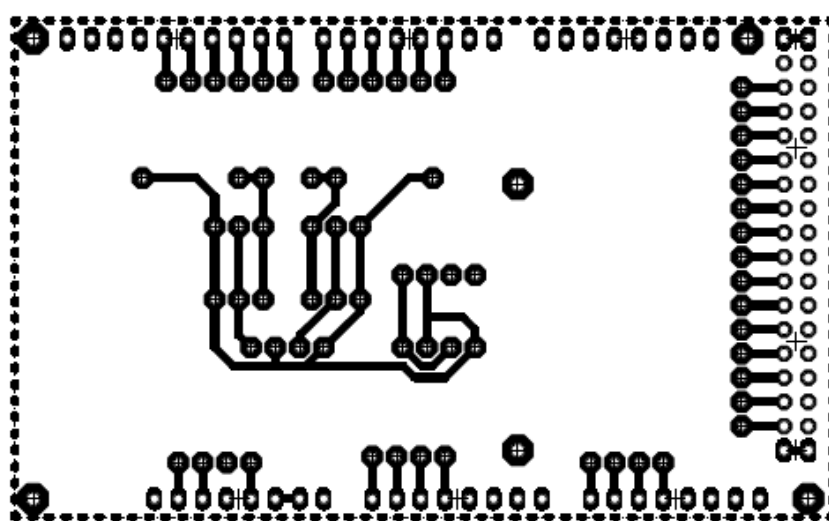
5.3 Rakentaminen

Järjestelmän kokoaminen ja kytkeminen tapahtui dokumentin alussa esitellyn kytkentäkaavioon mukaisesti (**Kuva 4.**). Kytkemistä helpottamaan suunniteltiin ja valmistettiin ohjauspiirilevyn päälle liitettävä piirilevykilpi, johon erilliset komponentit ja johtimet on helppo kytkeä (**Kuva 15.**).

Mekaaniset osat hankittiin paikallisista rautatavaraliikkeistä ja työstettiin suunniteltujen osien mukaisiksi.

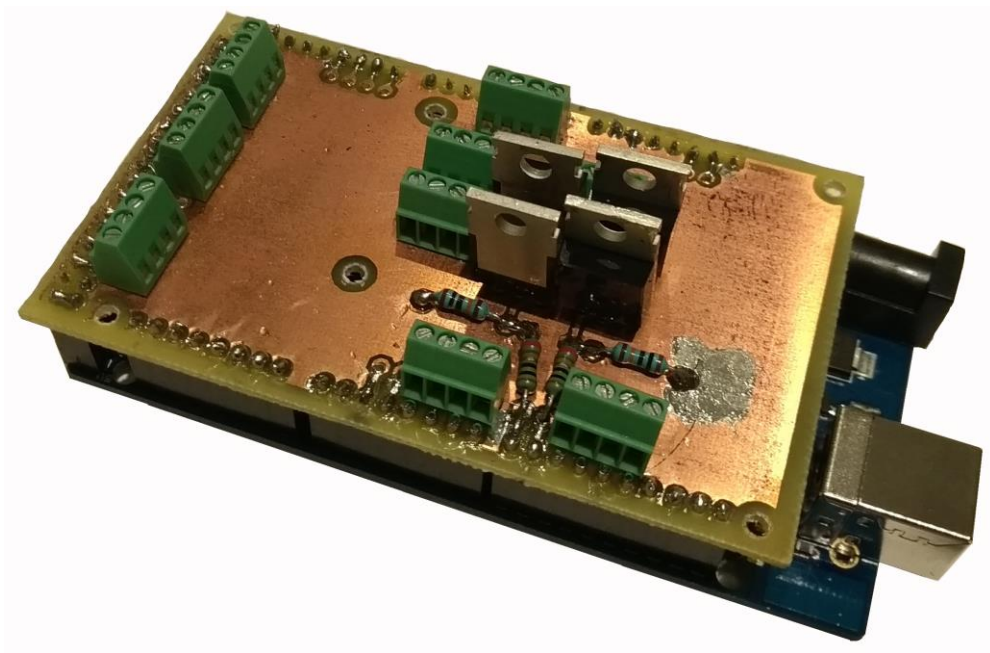
5.3.1 Piirilevykilpi

Ohjauspiirilevylle suunniteltiin ja valmistettiin piirilevykilpi, joka liitetään ohjauspiirilevyn päälle siinä olevien liittimien avulla. Piirilevykilpi suunniteltiin Autodesk Eagle -ohjelmalla / 31 /. Piirilevyn pohjana käytettiin Arduinon suunnittelemaa Arduino Mega 2560 R3:lle tarkoitettua piirilevykilpeä / 32 /. Piirilevykilvestä muokattiin ylimääräiset liittännät pois, ja luotiin vain tarvittavat kytkennät tätä projektia varten (**Kuva 15.**).



Kuva 15. Ohjauspiirilevyn kytkentäkilpi.

Piirilevykilpi valmistettiin suunnitelman mukaisesti kaksipuolisesta kuparipiirilevymateriaalista Vaasan ammattikorkeakoulun Technobothnia-laboratoriossa. Valmiiseen piirilevyyn juotettiin tarvittavat komponentit kiinni, ja liitettiin kytkentäkilpi ohjauspiirilevyn päälle (**Kuva 16.**).



Kuva 16. Ohjauspiirilevy kytkentäkilvellä.

5.3.2 Hammasrattaat

Hautomakoneen hyllyjen kääntämisen voimansiirtomekaniikkaan suunniteltiin ketjukäyttöiset hammasrattaat. Moottorin ja ylimmän hyllyn hammasrattaiksi lahjoitti SKS Group Oy hammasrattaat S8-10 ja S8-50 / 33 /.

Hammasratas S8-10 kiinnitetään askelmoottoriin ja S8-50 puolestaan ylimmän hyllyn akselina toimivan putken sisäpuolelle. Hammasrattaan S8-50 istukka on normaalisti halkaisijaltaan 60 mm, mutta projektia varten se sorvattiin 27 mm:ksi. Hammasrattaat kytketään toisiinsa ketjulla, ja koska niiden hammaslukumäärä on suhteessa 5:1, vähenee askelmoottorilta vaadittava työ huomattavasti.

Hyllyjen kääntämiseen vaadittava työ voidaan yksinkertaisimmillaan laskea voiman välityssuhteen $R = \frac{N_B}{N_A}$ ja momentin $R = \frac{T_B}{T_A \cdot \eta}$ kaavoilla. Koska hyllyjen hammasrattaan hampaiden lukumäärä on suurempi kuin askelmoottoriin kiinnitetyssä hammasrattaassa, on sen vääntömomentti myös suurempi.

5.4 Lopputulos

Opinnäytetyötä kirjoittaessa ei hautamakone ollut vielä valmis inhimillisten muuttujien vuoksi. Laitteiston elektroniikan ohjelmointi on viimeistä konfigurointia vailla valmis, ja se on kytketty valmiiksi. Mekaaniset osat odottavat kokoonpanoa ja kiinnittämistä hautamakoneena toimivaan jääkaappiin.

6 JOHTOPÄÄTÖKSET

Lopputyön tarkoituksena oli suunnitella ja valmistaa edullinen vaihtoehto markkinoilta löytyviin hautomakoneisiin. Työn onnistuminen on kyseenalaistettavissa, sillä hautomakone ei ole valmis vielä opinnäytetyön kirjoitushetkellä. Valmista hautomakonetta verrattaessa markkinoilta löytyviin vastaaviin laitteisiin huomataan, että asiakas säästää lopputyönäni valmistamalla hautomakoneella noin 700 €.

Projektin alussa ajattelin, että hautomakoneen mekaaninen toteutus on helppoa ja sen voi tehdä ohjelmoinnin sivussa. Opinnäytetyötä lopetellessa voin sanoa, että ohjelmoitava osuus oli helppoa, ja mekaaninen toteutus olisi vaatinut enemmän huomiota projektin alusta lähtien. Opettelin 3D-mallintamista, jotta projektini esitysmateriaali, pyytäessä hammasrattaita SKS Group Oy:ltä, olisi mahdollisimman näyttävä. Projektin varrella opin myös ottamaan huomioon muitakin asioita kuin laskennallisen toimivuuden, kuten mekaaniset mitat.

LÄHTEET

- / 1 / Hautomakoneen asettelututkimus. Viitattu 10.5.2018.
<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4868306/>
- / 2 / Hautomakoneen kosteuden määrittäminen. Viitattu 10.5.2018.
<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/23873563>
- / 3 / RcomProducts hautomakone Rcom MARU 380. Viitattu 2.5.2018.
<https://www.youtube.com/watch?v=6mAnu-98wnE>
- / 4 / Funduino Mega 2560 R3 kuva. Viitattu 11.5.2018.
<https://www.funduinoshop.com/Funduino-MEGA2560-R3/en>
- / 5 / Arduino Mega 2560 R3 ohjauspiirikortin verkkosivut. Viitattu 3.5.2018.
<https://store.arduino.cc/arduino-mega-2560-rev3>
- / 6 / Atmega2560-suorittimen datalehti. Viitattu 3.5.2018.
http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/Atmel-2549-8-bit-AVR-Microcontroller-ATmega640-1280-1281-2560-2561_datasheet.pdf
- / 7 / Arduino IDE, Arduino laitteiden ohjelmointityökalu. Viitattu 3.5.2018.
<https://www.arduino.cc/en/Main/Software>
- / 8 / NEMA23-askelmoottorin verkkosivu. Viitattu 3.5.2018 <https://www.omc-stepperonline.com/hybrid-stepper-motor/dual-shaft-nema-23-bipolar-09deg-09nm-1275ozin-038a-57x57x51mm-4-wires-23hm20-0384d.html>
- / 9 / L298N-moottoriohjain DC- ja askelmoottoreille. Viitattu 3.5.2018.
http://ihmevekotin.fi/product/271_l298n-moottoriohjain-dc-ja-askelmoottoreille-25-w
- / 10 / DHT22-sensorin kuva. Viitattu 11.5.2018.
<https://www.inventelectronics.com/product/dht22-temperature-humidity-sensor/>
- / 11 / DHT22-lämpötila ja kosteussensori. Viitattu 3.5.2018.
<https://www.adafruit.com/product/385>
- / 12 / LCD-näyttö ASCII 4x16 merkkiä. Viitattu 5.5.2018.
<http://www.vekoy.com/UserFiles/File/PDF-liitteet2/RC1604A-YHY-ESX.pdf>
- / 13 / HS150 4,7-ohm lankavastus. Viitattu 3.5.2018.
<https://www.vekoy.com/UserFiles/File/PDF-liitteet/HSA-ARCOL.pdf>
- / 14 / Arcol HSA-150-lankavastuksen kuva. Viitattu 11.5.2018.
https://www.vekoy.com/product_info.php?products_id=26356

- / 15 / Ultraääni-ilmankostuttimen kuva. Viitattu 11.5.2018.
<https://www.aliexpress.com/item/1Set-24V-Mist-Maker-Ultrasonic-Mist-Maker-Fogger-Water-Fountain-Pond-Atomizer-Air-Humidifier-with-Adapter/32810842690.html>
- / 16 / LRS-150 12VDC 12,5A -teholähde. Viitattu 3.5.2018.
<http://www.meanwell.com/productPdf.aspx?i=420>
- / 17 / RS-25 24VDC 1,1A -teholähde. Viitattu 3.5.2018.
<http://www.meanwell.com/webapp/product/search.aspx?prod=rs-25>
- / 18 / VM124 1,2-30VDC 1A -tehomuunnin. Viitattu 3.5.2018.
https://www.velleman.eu/downloads/0/infosheets/vm124_uk.pdf
- / 19 / A2-5AS-BB painonappi. Viitattu 3.5.2018.
<https://datasheet.octopart.com/A2-5AS-BB-SCI-datasheet-81455838.pdf>
- / 20 / D12E 12VDC 1,4A -tuuletin Nidec-yhtiöltä. Viitattu 3.5.2018.
<http://www.nidec.com/en-EU/product/fan/category/F010/G090/P2000417/>
- / 21 / FQP85N06 MOSFET-komponentti. Viitattu 4.5.2018.
<http://www.mouser.com/ds/2/149/FQP85N06-107939.pdf>
- / 22 / Kuva A2-5AS-BB painonapista. Viitattu 11.5.2018.
<https://www.ebay.co.uk/itm/A25ASBB-Switch-push-button-1-position-SPST-NO-10A-12VDC-black-IP40-A2-5AS-BB-/191980387456>
- / 23 / D12E-tuulettimen kuva. Viitattu 11.5.2018.
<https://www.moddiy.com/products/Nidec-Beta-V-120mm-x-38mm-12038-Fan-%2880CFM-2450RPM%29.html>
- / 24 / Autodesk Inventor. Viitattu 5.5.2018.
<https://www.autodesk.eu/products/inventor/overview>
- / 25 / NEMA17-askelmoottorin verkkosivu. Viitattu 5.5.2018 <https://www.omc-stepperonline.com/hybrid-stepper-motor/nema-17-bipolar-45ncm-64ozin-2a-42x40mm-4wires-w-1m-cable-and-connector-17hs16-2004s1.html?mfp=148-bipolar-unipolar%5BBipolar%5D%2C>
- / 26 / Moottorinohjaamisen lähteenä käytetty verkkosivu. Viitattu 5.5.2018.
<http://www.instructables.com/id/Control-DC-and-stepper-motors-with-L298N-Dual-Moto/>
- / 27 / DHT22-sensorienohjaamisen lähteenä käytetty verkkosivu. Viitattu 5.5.2018. <https://create.arduino.cc/projecthub/attari/temperature-monitoring-with-dht22-arduino-15b013>
- / 28 / LCD-näytönohjaamisen lähteenä käytetty verkkosivu. Viitattu 5.5.2018.
<https://www.hacktronics.com/Tutorials/arduino-character-lcd-tutorial.html>

/ 29 / Lämpövastustenohjaamisen lähteenä käytetty verkkosivu. Viitattu 5.5.2018. <https://www.arduino.cc/reference/en/language/functions/analog-io/analogwrite/>

/ 30 / Tuulettimienohjaamisen lähteenä käytetty verkkosivu. Viitattu 5.5.2018. <http://forum.arduino.cc/index.php?topic=18742.0>

/ 31/ Autodesk Eagle. Viitattu 5.5.2018. <https://www.autodesk.com/products/eagle/free-download>

/ 32 / Arduino Mega Proto shield rev3. Viitattu 5.5.2018. <https://store.arduino.cc/arduino-mega-proto-shield-rev3-pcb>

/ 33 / SKS Group Oy:n ketjukäyttöisten hammasrattaiden esite. Viitattu 5.5.2018. [http://www.sks.fi/www/sivut/3AC858975CED238DC2257B7A001BA0C7/\\$FILE/Ketjupy%C3%B6r%C3%A4t%20ja%20tarvikkeet.pdf](http://www.sks.fi/www/sivut/3AC858975CED238DC2257B7A001BA0C7/$FILE/Ketjupy%C3%B6r%C3%A4t%20ja%20tarvikkeet.pdf)

LIITE 1 Vastusten tehon jakautuminen.

Taulukko 1. Vastusten tehon jakautuminen ja teoreettinen lämpötila.

Vastusten resistanssi yksittäin	4,7 ohm
Rinnankytkettynä	$4,7/2 = 2,35$ ohm
Vastuksille tuleva jännite	12 VDC
Vastusten ylitse kulkeva virta	$12/2,35 = 5,11$ A
Yksittäisen vastuksen virta	$5,11/2 = 2,55$ A
Yksittäisen vastuksen työ	$2,55*12 = 30,64$ W
Yksittäisen vastuksen teoreettinen maksimilämpö	$30,64*2 = 61,28$ °C

LIITE 2 Asiakkaalta veloittettavat materiaalikustannukset

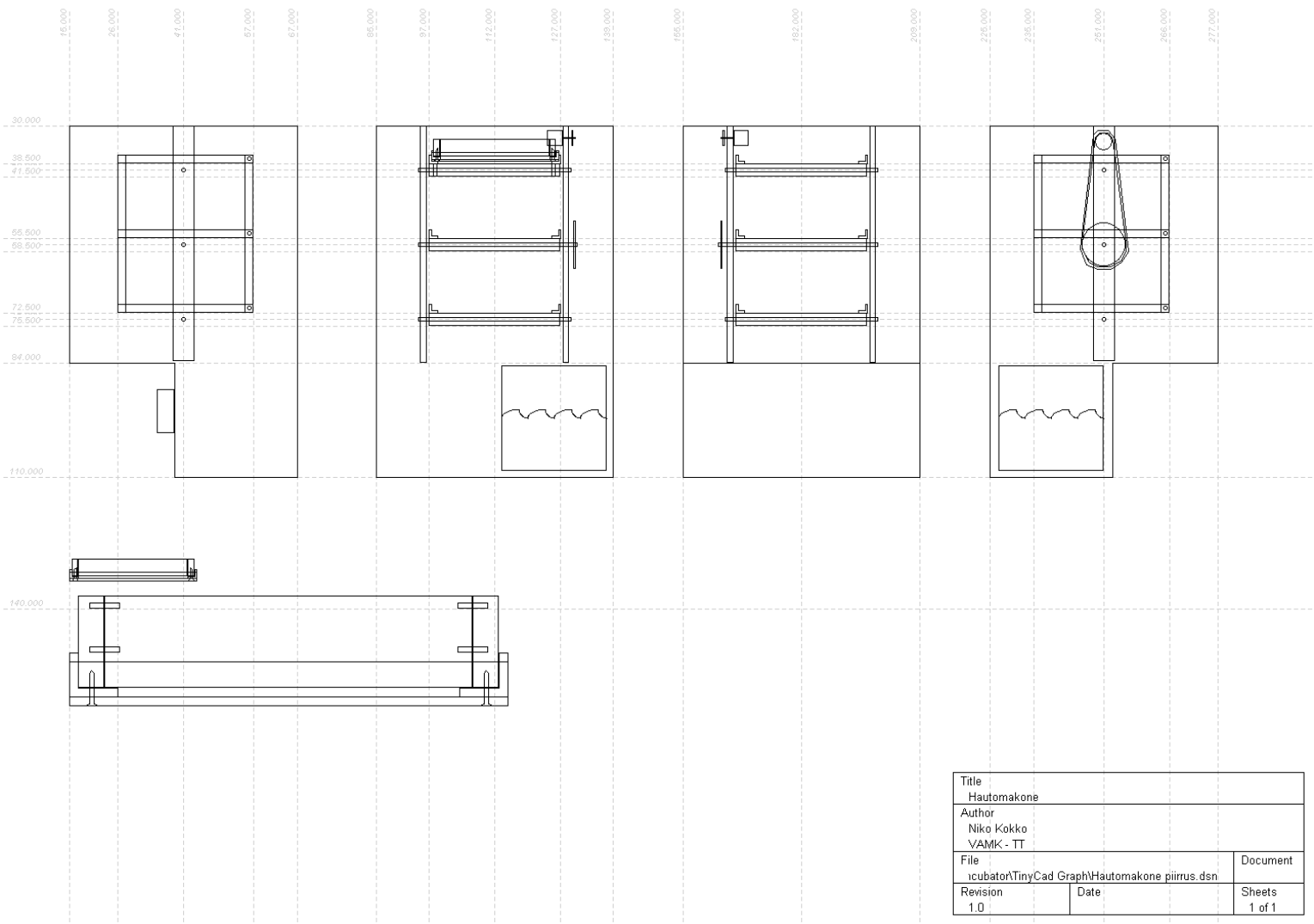
Taulukko 2. Asiakkaalta veloittettavat materiaalikustannukset.

Nimi	Määrä	Tarkoitus	Hinta	Yhteishinta
NEMA23	1	Askelmoottori	32,26 €	32,26 €
Johto 2M	1	Teholähteiden verkkovirtajännite-syöttö	4,99 €	4,99 €
PS-25-24V	1	Hakkuriteholähde 24V 1,1A	15,00 €	15,00 €
DC-2.1P	1	DC-liitin	0,70 €	0,70 €
Alumiiniputki 2m x 30mm	1	Hyllyjen akseliksi	12,90 €	12,90 €
Pyöröterästanko 2m x 10mm	1	Akselin teline	7,90 €	7,90 €
Urakuulalaakeri x 2	3	Hyllyjen kääntyvyys	2,90 €	8,70 €
HSA150-4R7	2	Lankavastus	14,40 €	28,80 €
LCD1604	1	LCD-näyttö	9,60 €	9,60 €
FQP85N06	4	MOSFET	2,90 €	11,60 €
L298N	1	Moottoriohjain	14,80 €	14,80 €
PS150-12V	1	Hakkuriteholähde 12V 12,5A	29,80 €	29,80 €
VM124	1	Tehomuunnin 5V	11,90 €	11,90 €
AJO.5-PU	15	1m punaista kytkentäjohtoa	0,30 €	4,50 €

AJO.5-MU	15	1m mustaa kytkentäjohtoa	0,30 €	4,50 €
AJO.5-HA	35	1m harmaata kytkentäjohtoa	0,30 €	10,50 €
MPT0.5-4	10	Kytkenärima	0,77 €	7,70 €
CH1-3	10	CH-kaapelipistoke	0,08 €	0,81 €
CH1-6	5	CH-kaapelipistoke	0,11 €	0,57 €
CH1-4	10	CH-kaapelipistoke	0,08 €	0,81 €
CH-SG	40	Liitinnasta	0,10 €	3,87 €
PR-80P	1	Piikkirima	0,65 €	0,65 €
Reikälevy kulma 2,5x60x60x40	4	Kulmareikälevy kiinnitykseen	0,50 €	2,00 €
Alumiinilatta 2m x 30x4mm	1	Kampitankomateriaali	17,80 €	17,80 €
Alumiinikulma 2m x 40x40x3mm	1	L-profiilialumiinitanko	15,90 €	15,90 €
Kilokiinnikkeet	1	Pussillinen erinäisiä muttereita yms.	1,92 €	1,92 €
Friulsider kaapelipidike	1	Pussillinen kaapelipidikkeitä	2,90 €	2,90 €
Vulkanoituva teippi	1	Liitoskohtien kiristämiseen	5,90 €	5,90 €
A25ASBB	3	Painike	1,13 €	3,39 €
DHT22	4	Lämpötila- ja kosteussensori	3,59 €	14,36 €

Funduino Mega 2560 R3	1	Ohjauspiirilevy	11,07 €	11,07 €
S8-10	2	10 hampainen hammasratas	0,00 €	0,00 €
S8-50	2	50 hampainen hammasratas	0,00 €	0,00 €
LP04	3	Pistokerunko naaraskoskettimille	0,60 €	1,80 €
LR04	3	Pistokerunko uroskoskettimille	0,80 €	2,40 €
B-0502HA	20	Liitinnasta liitinrungolle, uros	0,15 €	3,00 €
B0502HO	20	Liitinnasta liitinrungolle, naaras	0,15 €	3,00 €
Yhteensä:			308,30 €	

LIITE 3 Hautomakoneen 2D-suunnitelma.



Kuva 17. Hautomakone 2D, versio 3.

LIITE 4 Moottorin hitausmomenttilaskelma.

Hitausmomentti

$$\begin{aligned} m_{\text{Laatikko}} &:= 5\text{kg} & m_{\text{Hammasratas}} &:= 1\text{kg} & m_{\text{Akseli}} &:= 2.5\text{kg} \\ I_{\text{Laatikko}} &:= 300\text{mm} & r_{\text{Hammasratas}} &:= 145\text{mm} & r_{\text{Akseli}} &:= 30\text{mm} \\ w_{\text{Laatikko}} &:= 300\text{mm} \\ h_{\text{Laatikko}} &:= 50\text{mm} \end{aligned}$$

$$J_{\text{Laatikko}} := \frac{1}{12} \cdot m_{\text{Laatikko}} \cdot (w_{\text{Laatikko}}^2 + h_{\text{Laatikko}}^2) = 3.854 \times 10^4 \cdot \text{kg} \cdot \text{mm}^2$$

$$J_{\text{Hammasratas}} := \frac{1}{2} \cdot m_{\text{Hammasratas}} \cdot r_{\text{Hammasratas}}^2 = 1.051 \times 10^4 \cdot \text{kg} \cdot \text{mm}^2$$

$$J_{\text{Akseli}} := \frac{1}{2} \cdot m_{\text{Akseli}} \cdot r_{\text{Akseli}}^2 = 1.125 \times 10^3 \cdot \text{kg} \cdot \text{mm}^2$$

$$J_A := J_{\text{Laatikko}} + J_{\text{Hammasratas}} + J_{\text{Akseli}} = 5.018 \times 10^4 \cdot \text{kg} \cdot \text{mm}^2$$

Kulmakiihtyvyys

$$n_0 := \frac{0}{\text{s}} \quad t_0 := 0\text{s}$$

$$n_1 := \frac{\left(\frac{1}{60}\right)}{\text{s}} \quad t_1 := 0.5\text{s}$$

Kiihtyminen kestää 0.5 s

$$\omega_0 := 2 \cdot \pi \cdot n_0 = 0$$

$$\omega_1 := 2 \cdot \pi \cdot n_1 = 0.105 \frac{1}{\text{s}}$$

$$\alpha_k := \frac{\omega_1 - \omega_0}{t_1 - t_0} = 0.209 \frac{1}{\text{s}^2}$$

Kulmanopeus

$$s_{\text{kääntö}} := \frac{1}{4} \cdot \pi = 0.785 \cdot \text{rad} \quad t_{\text{taitto}} := 10\text{s}$$

Hyllyn kääntäminen kestää 10 s

$$\varphi := \frac{s_{\text{kääntö}} \cdot r_{\text{Hammasratas}}}{r_{\text{Akseli}}} = 3.796$$

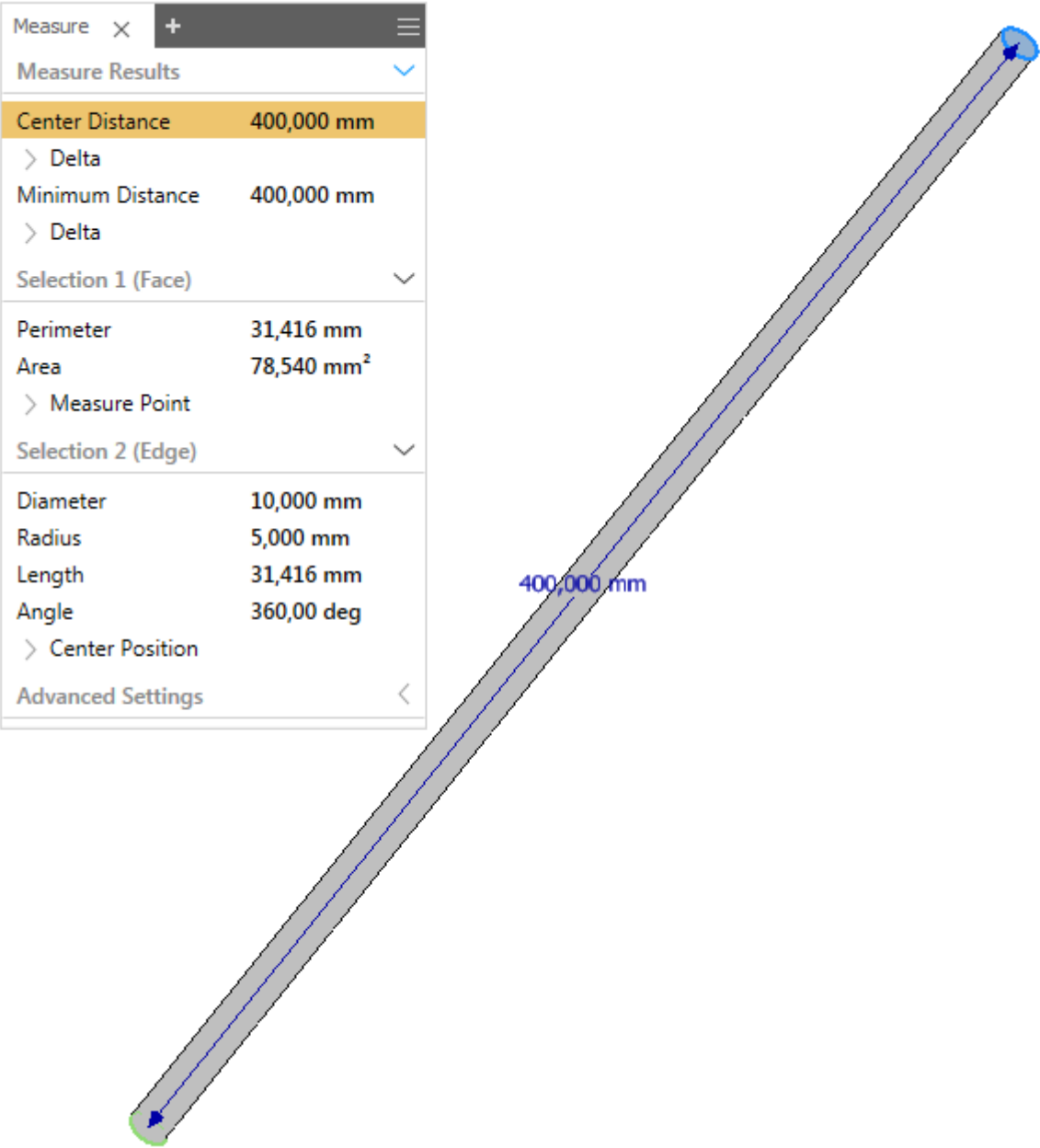
$$\omega_k := \frac{\varphi}{t_{\text{taitto}}} = 0.38 \frac{1}{\text{s}}$$

Vaadittava työ Nm muodossa

$$M_A := J_A \cdot \alpha_k = 0.011 \cdot \text{N} \cdot \text{m}$$

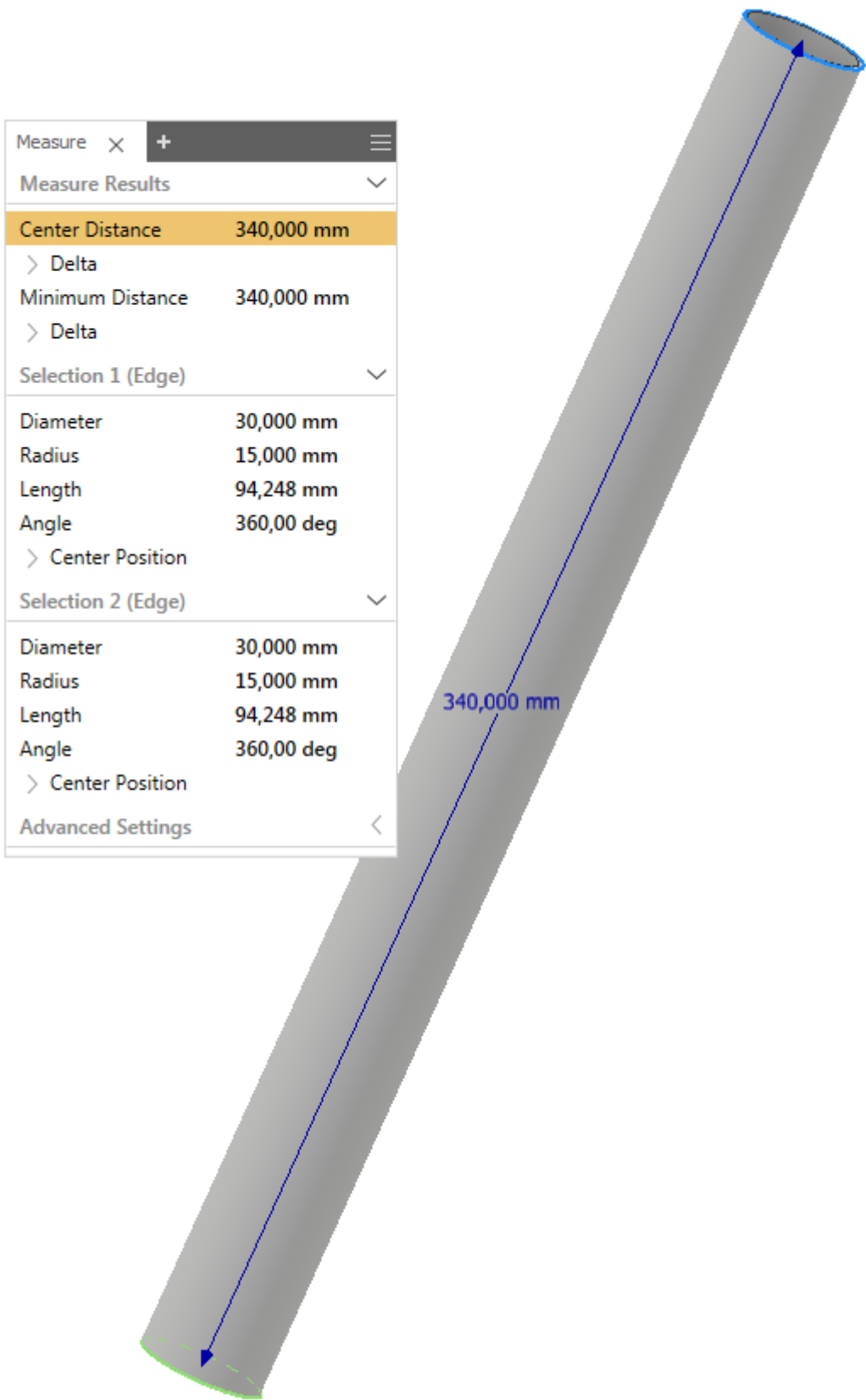
Kuva 18. Moottorin hitausmomentin laskut.

LIITE 5 Akselin telineenä toimiva 10 mm metallitanko.



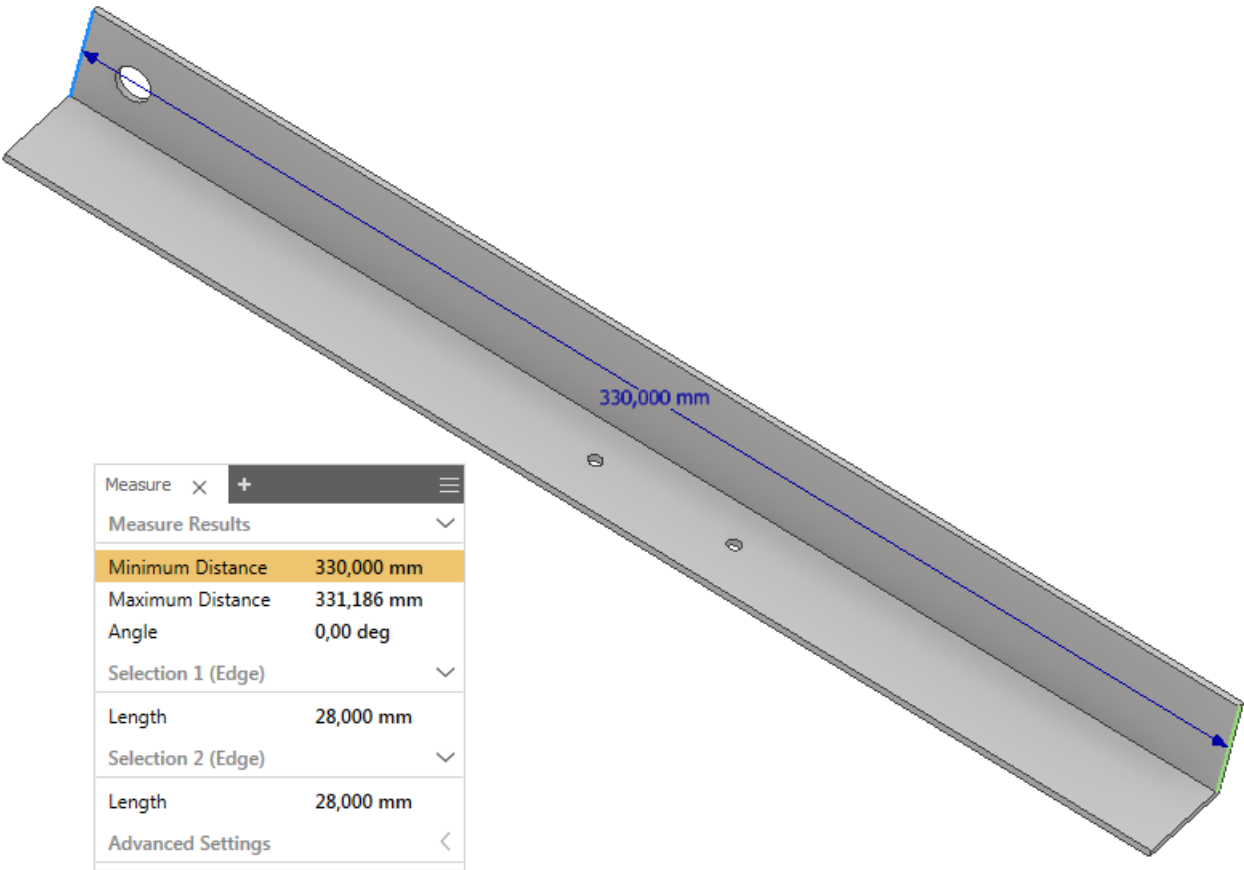
Kuva 19. Akselin telineenä toimiva 10 mm metallitanko.

LIITE 6 Akselina toimiva 30 mm alumiiniputki.



Kuva 20. Akselina toimiva 30 mm alumiiniputki.

LIITE 7 Hyllyjen telineenä toimiva L-profiilialumiinitanko.



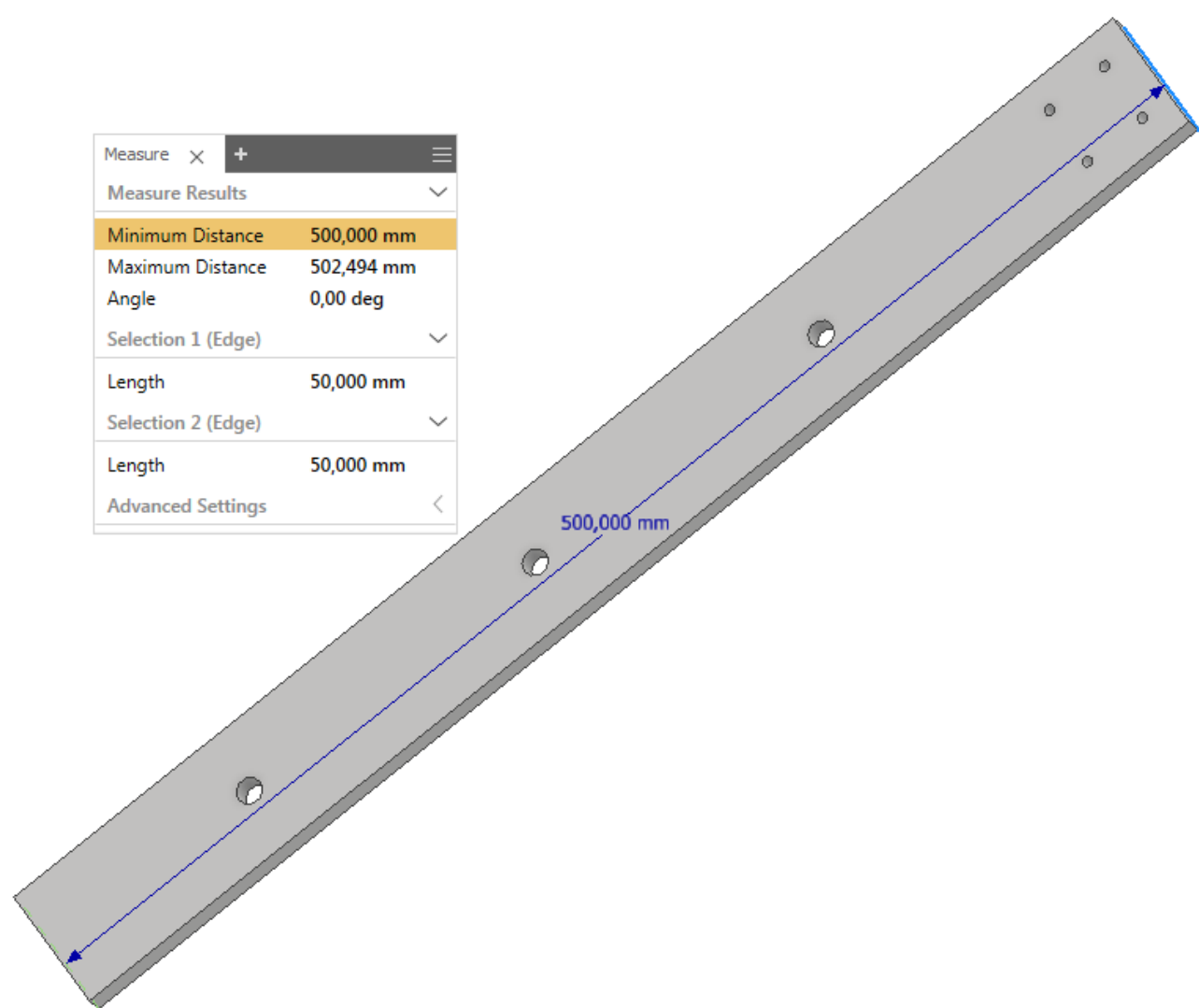
Kuva 21. Hyllyjen telineenä toimiva L-profiilialumiinitanko.

LIITE 8 Hyllyjen kampena toimiva alumiinitanko.



Kuva 22. Hyllyjen kampena toimiva alumiinitanko.

LIITE 9 Hyllyjen telineenä toimiva metallitanko.



Kuva 23. Hyllyjen telineenä toimiva metallitanko.