

Aku Koivumäki

STRING RAY -TIEDEKESKUSKOHTEN SUUNNITTELU

STRING RAY -TIEDEKESKUSKOHTTEEN SUUNNITTELU

Aku Koivumäki
Opinnäytetyö
Syksy 2021
Konetekniikan tutkinto-ohjelma
Oulun ammattikorkeakoulu

TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu
Konetekniikka, koneautomaatio

Tekijä: Aku Koivumäki

Opinnäytetyön nimi suomeksi: String Ray -tiedekeskuskohteen suunnittelu

Opinnäytetyön nimi englanniksi: String Ray, a science centre exhibition design

Työn ohjaaja: Annukka Tyni

Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: syksy 2021

Sivumäärä: 37 + 11 liitettä

Opinnäytetyössä suunniteltiin näyttelykohde, String Ray, Oulun kaupungin tiedekeskus Tietomaahan osaksi näyttelyä Valon ja varjon viehätys. Työn tavoitteena oli suunnitella, valmistaa ja ottaa käyttöön näyttelykohde kokonaisuudessaan.

Näyttelykohteen perusideana oli naruefekti, jossa löysällä olevaa narua pyöritetään moottorin välityksellä, jolloin narun aikaansaama ilmiö kuvastaa jaksollisia funktioita aaltomuodossa. Kuvia voi korostaa erivärisillä stroboskooppivaloilla, joiden välkkymisnopeuksia käyttäjä voi säätää. Kohteessa on nähtävissä näytöltä reaaliajassa akseleiden pyörimisnopeudet.

Työ aloitettiin esisuunnittelulla ja komponenttivalinnalla, jossa nopeasti päädyttiin kolmeen varteenotettavaan vaihtoehtoon, jotka olivat kaksimoottorinen kokoonpano rakennetulla ohjaimella, kaksi moottoria mikro-ohjaimella ja yhdellä moottorilla toimiva hihnapyöräkokoonpano. Vaihtoehtoja vertailtiin keskenään, ja lopulliseksi vaihtoehdoksi valikoitui yhdellä moottorilla käytettävä hihnapyöräkokoonpano. Tämän pohjalta valittiin komponentit alustavasti. Komponenteiksi valikoituivat mikro-ohjain, moottorinohjain, stroboskooppivalot, anturi ja laakerit. Rakenteelliset osat suunniteltiin ja valmistettiin itse 3D-tulostamalla. 3D-tulostetuista osista tehtiin 3D-mallit ja tekniset piirustukset. Elektronisista kokoonpanoista tehtiin kytkentäkaaviot.

Komponenttivalinnan jälkeen kokoonpanosta rakennettiin prototyyppi toimivuuden todistamiseksi. Lopulliseen kokoonpanoon korjattiin prototyyppissä havaitut kehittämismahdollisuudet: ylemmät laakeripesät käännettiin pystysuoraan akseliin nähden rakenteen lujuuden varmistamiseksi ja laakeripesien alle rakennettiin kannatinlevyt modulaarisuuden vuoksi. Prototyypin jälkeen laite rakennettiin kokonaisuudessaan valmiiksi.

Asiasanat: tiedekeskus, jaksollinen funktio, tuotesuunnittelu, 3D-mallinnus

ABSTRACT

Oulu University of Applied Sciences
Mechanical engineering, machine automation

Author: Aku Koivumäki
Title of thesis: String Ray, a science centre exhibition design
Supervisor: Annukka Tyni
Term and year when the thesis was submitted: Autumn 2021
Pages: 37 + 11 appendices

This thesis was based on the design and building of a science centre exhibit titled String Ray. The exhibit was part of an exhibition named “The allure of light and shadow” in science centre Tietomaa, located in Oulu, Finland.

The main purpose of the exhibit was to visualize periodic functions through a motorised shaft with an attached string. The revolving string combined with a stroboscope light creates the desired effect. Both the RPM of the motor and the frequency of the stroboscope were adjustable. The appeal of the effect was improved with an additional stroboscope of a different colour. The exhibit also included a monitor which printed the motors RPM in real time.

The work began with preliminary design and component selection. The aforementioned processes presented three viable design choices: a two-motor system with a built controller, a two-motor system with a microcontroller and a motorised shaft-pulley system. The three were compared against one another and the final pick consisted of a motorised shaft-pulley system. Adequate components were chosen to accommodate the design choice. Afterwards a prototype was built as a proof of concept. Any shortcomings and enhancement were noted on the final build.

The build consisted of several 3D-printed parts, all of which were documented including technical drawings and models. In the same manner all electrical couplings were documented with circuit diagrams.

Keywords: science centre, periodic function, product design, 3D-modeling

ALKULAUSE

Tätä projektia ja siitä seurannutta aikaansaannosta voidaan pitää Tietomaa-urani luonnollisena kulminaationa. Kiinnostuneet voivat käydä kokeilemassa kohdetta Oulun kaupungin Tietomaassa tammikuusta 2022 alkaen. Kiitän kovasti koko organisaatiota näistä vuosista ja erityisesti tässä projektissa näyttelyrakennuksen väkeä. Tiedätte, keitä olette.

1 460 kunnian päivää.

Oulussa 7.9.2021

Aku Koivumäki

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ	3
ABSTRACT	4
ALKULAUSE	5
SISÄLLYS	6
1 JOHDANTO	8
2 AALTO JA JAKSOLLINEN FUNKTIO	9
2.1 Aalto	9
2.2 Jaksollinen funktio	9
2.3 Trigonometriset funktiot	9
3 TOTEUTUSMENETELMÄN VALINTA	11
3.1 Vertailtavat menetelmät	11
3.1.1 Kaksi moottoria rakennetulla ohjaimella	11
3.1.2 Kaksi moottoria mikro-ohjaimella	12
3.1.3 Yksi moottori ja hihnapyörä	13
3.2 Valittu toteutusmenetelmä	14
4 KOMPONENTTIEN VALINTA	15
4.1 Hammashihnasysteemi	15
4.2 Valmistettavat osat	16
4.3 Elektroniset komponentit	17
4.4 Budjetti	19
5 KOKOONPANON SUUNNITTELU	20
5.1 Prototyyppi	20
5.2 3D-tulostetut osat	21
5.3 Runko	25
5.4 Elektroniikka	27
5.4.1 Arduino-kokoonpano	28
5.4.2 Moottori	30
5.4.3 Stroboskooppivalot	30
5.4.4 Virranjako	31
5.5 Kotelointi	32
5.6 Käyttöturvallisuus	34

6 YHTEENVETO

36

LÄHTEET

37

LIITTEET

1 JOHDANTO

Opinnäytetyön tavoitteena on suunnitella ja rakentaa String Ray -tiedekeskuskohde osana Tietomaan tulevaa kahdeksan näyttelykohteen kokonaisuutta Valon ja varjon viehätys. Valon ja varjon viehätys -näyttely esittelee valoa luonnonlakien, keksintöjen, illuusioiden ja hahmopsykologian näkökulmasta. Näyttelykokonaisuus avataan yleisölle Oulun kaupungin tiedekeskus Tietomaassa tammikuussa 2022.

String Ray naruefektikohteessa löysällä olevaa narua pyöritetään moottoroituna siten, että vastakkaiset akselit ovat täysin synkronoituina keskenään. Käyttäjä voi säätää akselien pyörimisnopeutta, jolloin saadaan aikaan erilaisia jaksollisia aaltokuvioita. Kuvioita voi korostaa erivärisillä stroboskooppivaloilla, joiden välkkymisnopeuksia käyttäjä voi säätää. Kohteessa on nähtävissä näyttöltä reaaliajassa akselien pyörimisnopeudet.

Opinnäytetyö sisältää esisuunnittelun, yksityiskohtaisen suunnittelun sisältäen komponenttivalinnan, rakenne- ja ohjelmistosuunnittelun sekä kohteen näyttelykelpoiseksi rakentamisen vaadittavalla yleisilmeellä ja estetiikalla. Vastaavanlaisia ratkaisuja tiedekeskusympäristöissä ei ole, joten laitteen kestävyys tulisi taata innovatiivisilla rakenneratkaisuilla.

2 AALTO JA JAKSOLLINEN FUNKTIO

String Ray -kohteen aikaansaama ilmiö kuvastaa jaksollisia funktioita aaltomuodossa. Nämä aaltokuviot vastaavat trigonometrinen funktioiden aaltomuotoja, esimerkiksi sini- ja kosiniaallot. Aallot ovat fysiikan peruskäsitteitä, joiden opiskelu ja tutkiminen kuuluvat ensimmäisen ja toisen asteen koulutuksen oppimääriin sekä teknillisten korkeakoulujen matemaattisfyysisten kurssien sisältöihin.

2.1 Aalto

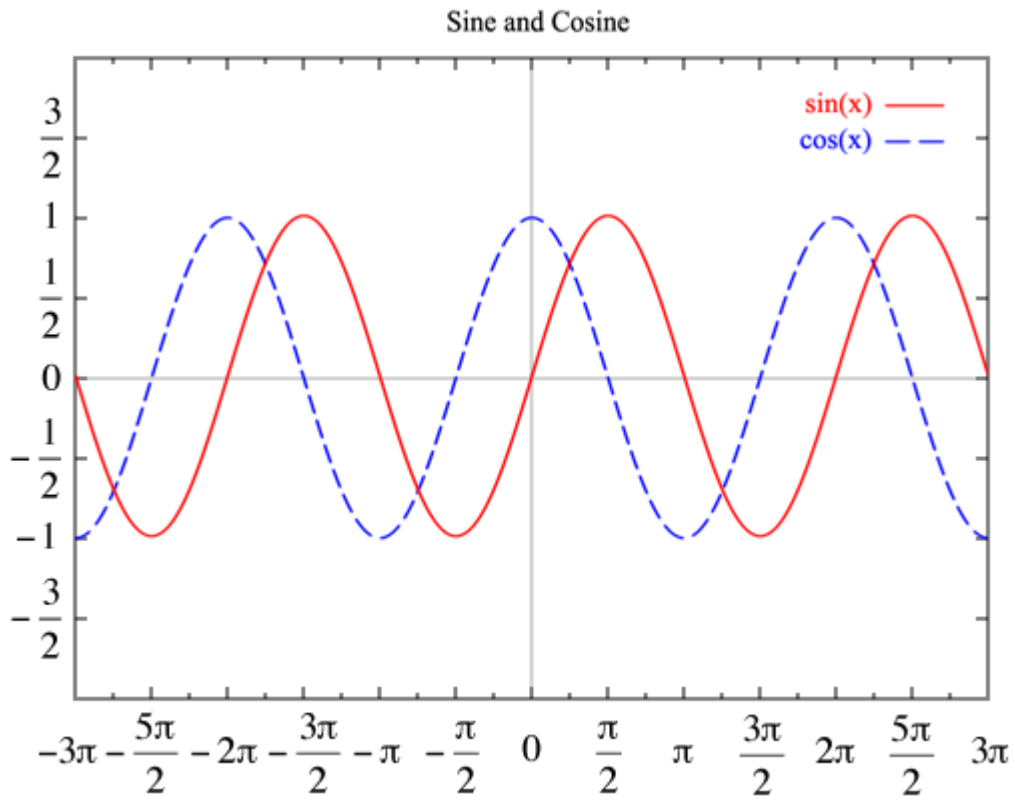
Aalto on avaruudessa esiintyvä ajan mukaan vaihteleva suure. Aaltoliikkeen perusyhtälö kuvaa aallon pituuden, nopeuden sekä aaltoliikkeen värähtelytiheyden eli taajuuden välistä suhdetta. (1.)

2.2 Jaksollinen funktio

Jaksollinen funktio on nimensä mukaisesti funktio, joka saa samat arvot tietyn matkan välein koko määrittelyjoukossaan. Funktio f on jaksollinen, jos on olemassa vakio $a \in \mathbb{R}$ siten, että $f(x + a) = f(x)$ kaikilla muuttujan x arvoilla funktion f määrittelyjoukossa. Funktion jakso on tällöin luku a . (2.)

2.3 Trigonometriset funktiot

Trigonometriset funktiot sini, kosini ja tangentti ovat kaikki jaksollisia funktioita. Siniaalto on sinifunktion muotoinen aaltomuoto. Siniaallon voi ajatella syntyvän pyörivän osoittimen kärjen kiertäessä ympyrän kehää vastapäivään tasaisella kulmanopeudella ω . Silloin osoittimen kärjen projektio suoralle, esimerkiksi koordinaatiston y -akselille, piirtää sini-käyrän (kuva 1).



KUVA 1. Sini- ja kosiniaalto kuvattuna (3)

3 TOTEUTUSMENETELMÄN VALINTA

Suunniteltavan laitekokonaisuuden toteutukseen on lukuisia vaihtoehtoja. Vaatimuksina kohteelle on, että se on elektronisesti ohjattu, huoltoystävällinen ja kestävä. Toteutuksessa tulee myös ottaa huomioon laitteen käyttöympäristö: tiedekeskuksessa laitteella saattaa olla yhden päivän aikana yli 500 käyttäjää, joista merkittävä osa on lapsia. Näin ollen käyttöturvallisuuden on oltava ehdoton, eikä se saa vaarantua käyttöiän kasvaessa. Vaadituista ominaisuuksista ja toiminnoista laadittiin asiakkaan kanssa vaatimuslista (kuva 2). Vaatimuslistan laatiminen myös selkeytti komponenttivalintaa ja suunnittelua.

V/T	Toiminto/Ominaisuus
V	Moottoroitu narunakseli
V	Säädettävä kierrosnopeus
V	Stroboskooppivalot
V	Stroboskooppien väläysten säätö
T	Kierrosnopeuden luku näytöltä
T	Kustannustehokas
T	Huoltovapaa
V	Asiakaskäyttöön soveltuva
V = Vaatimus	
T = Toive	

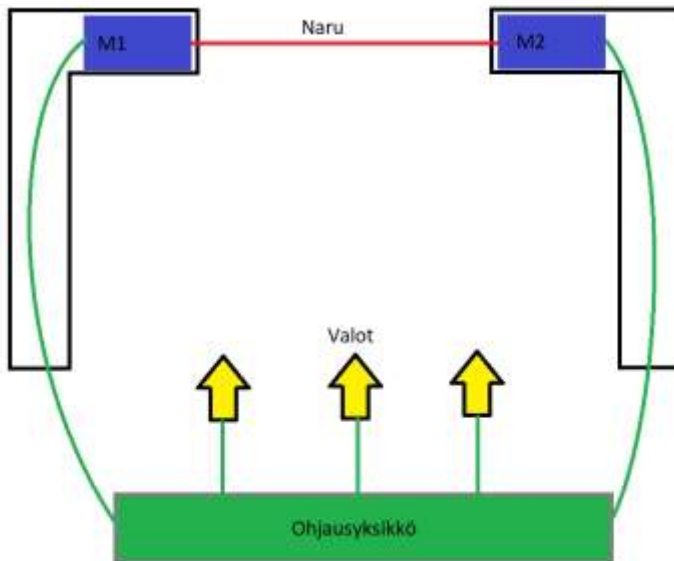
KUVA 2. Vaatimuslista

3.1 Vertailtavat menetelmät

Työn esisuunnittelussa toteutusratkaisuiksi saatiin kolme vartenotettavaa vaihtoehtoa. Kaikissa vaihtoehtoissa voimantuottajana toimi tasavirtasähkömoottori, mutta laitteiston kontrolleri oli eri. Lopullisen päätöksen valinnasta teki työn tekijä itse.

3.1.1 Kaksi moottoria rakennetulla ohjaimella

Ensimmäisessä ratkaisuvaihtoehdossa narun pyörykseen käytetään kahta tasavirtasähkömoottoria, joita ohjataan itse rakentamalla ohjausyksiköllä. Ohjausyksikkö sisältää myös tarvittavat komponentit stroboskooppivaloille (kuva 3).



KUVA 3. Kaksi moottoria M1 & M2 ja ohjausyksikkö

Ongelmaksi vaihtoehdossa nousee ohjausyksikön rakentamisen tarpeeton haastavuus, sillä valmiita yksiköitä on saatavilla. Moottoreiden pyörimisnopeuden synkronointi tuottaisi myös haasteita ilman erillistä koodattua ohjelmaa.

3.1.2 Kaksi moottoria mikro-ohjaimella

Toinen ratkaisuvaihtoehto sisältäisi myös narun pyörimisen kahden tasavirtasähkömoottorin avulla, mutta moottoreita ohjattaisiin mikro-ohjaimella. Tähän tarkoitukseen parhaiten sopiva mikro-ohjain on Arduino Uno (kuva 4). Mikro-ohjainta käyttämällä voidaan tehdä käyttöohjelma, jonka avulla moottoreita pystytään ohjaamaan erittäin tarkasti halutulla tavalla. Ohjaimen käyttö mahdollistaa myös esimerkiksi kierrosnopeuden piirron erilliselle monitorille.

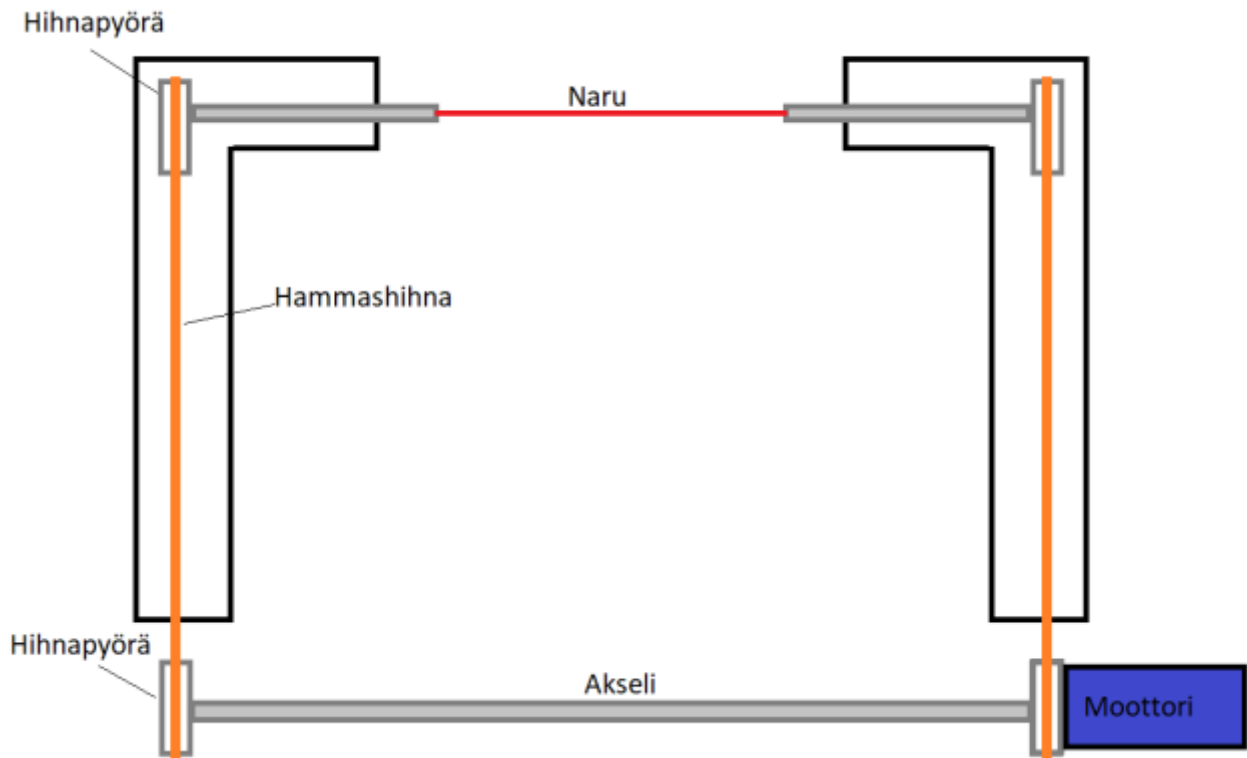


KUVA 4. Arduino Uno -mikro-ohjain (4)

Kahta moottoria käytettäessä ongelmaksi ilmenee moottoreiden alttius epäsynkronialle, mikä johtaisi narun rullautumiseen ja epätarkkaan kierroslukuun. Epäsynkronian estämiseksi tulisi laitteistoon tehdä tarkkailusensori ohjelmineen, joka tarkkailisi moottoreiden akseleita. Toiseksi ongelmaksi tulisi moottoreiden suuri virrantarve. Arduino itsessään ei kykene luotettavasti antamaan moottorille tarvittavaa virtaa, eikä varsinkaan kahdelle moottorille. Usean virtalähteen käyttäminen ahtaassa tilassa ei ole toivottua, sillä virtalähteet lämpenevät käytettäessä. Ahtaassa tilassa tämä luo tulipaloriskin etenkin vikatilanteessa.

3.1.3 Yksi moottori ja hihnapyörä

Kolmas ratkaisuvaihtoehto poistaisi toisen moottorin kokonaan, ja narun pyöritys toteutettaisiin hammashihnojen välityksillä. Tällöin moottori voidaan sijoittaa lähelle mikro-ohjainta kytkentöjen helpottamiseksi ja rakentaa voimavälitykselle oma kokonaisuus (kuva 5).



KUVA 5. Moottori ja hammashihnasyteemi

Yhden moottorin käyttö eliminoi epäsynkronian mahdollisuuden sekä tarpeettoman monen virtalähteen käytön. Hihnapyörävälitystä käytettäessä narun akselit pyörivät varmasti aina identtisesti, eikä niiden korjaus mahdollisessa ongelmatilanteessa ole haastavaa.

3.2 Valittu toteutusmenetelmä

Toteutusmenetelmäksi valittiin kolmanneksi esitelty vaihtoehto, moottori-hihnapyöräsystemi. Tämä menetelmä nähtiin toimintavarmimmaksi ja huoltoystävällisimmäksi vaihtoehdoksi. Minkä tahansa komponentin hajotessa tai vian ilmetessä ei varinaisen korjauksen lisäksi tarvitse huolehtia välillisistä ongelmista, kuten uudelleensynkronoinnista. Tarvittavat komponentit ovat edullisia ja helposti saatavissa.

4 KOMPONENTTIEN VALINTA

Työhön valittu toteutusmenetelmä edesauttoi komponenttivalintaa siinä määrin, ettei vaihtoehtojen määrään tarvinnut hukkaa. Mikro-ohjaimeksi valittiin Arduino Uno (kuva 4). Arduino Uno on edullinen ja monipuolinen mikro-ohjain, jonka toimivuuteen voi luottaa erityisesti yksinkertaisissa, paljon toistoja vaativissa toteutuksissa. Kokonaisuudessa tullaan käyttämään hyödyksi 3D-tulostettuja komponentteja aina, kun se on järkevää ja toteutettavissa. Tämä tuo varsinkin kulutusosien kannalta omavaraisuutta ja pitkällä aikavälillä pienempiä kustannuksia, kun komponentit lopulta kuluvat loppuun. Loput osat tilataan asiakkaalle jo ennestään tutuilta toimittajilta. Täydellinen osaluettelo tietoineen on liitteenä 1.

4.1 Hammashihnasysteemi

Hammashihnasysteemiin tarvittavat hihnat ja hihnapyörät päätettiin tilata erilliseltä toimittajalta. Valittuna hihnana toimii MXL-profiilinen hammashihna, jonka tarkemmat tiedot ovat listattuna kuvassa 6.

Hammasluku	256 kpl
Jako	2,032 mm
Materiaali	Kumi, Polyuretaani
Pituus	520,19 mm
Profiili	MXL
Leveys	6,4 mm

KUVA 6. Hammashihnan tiedot

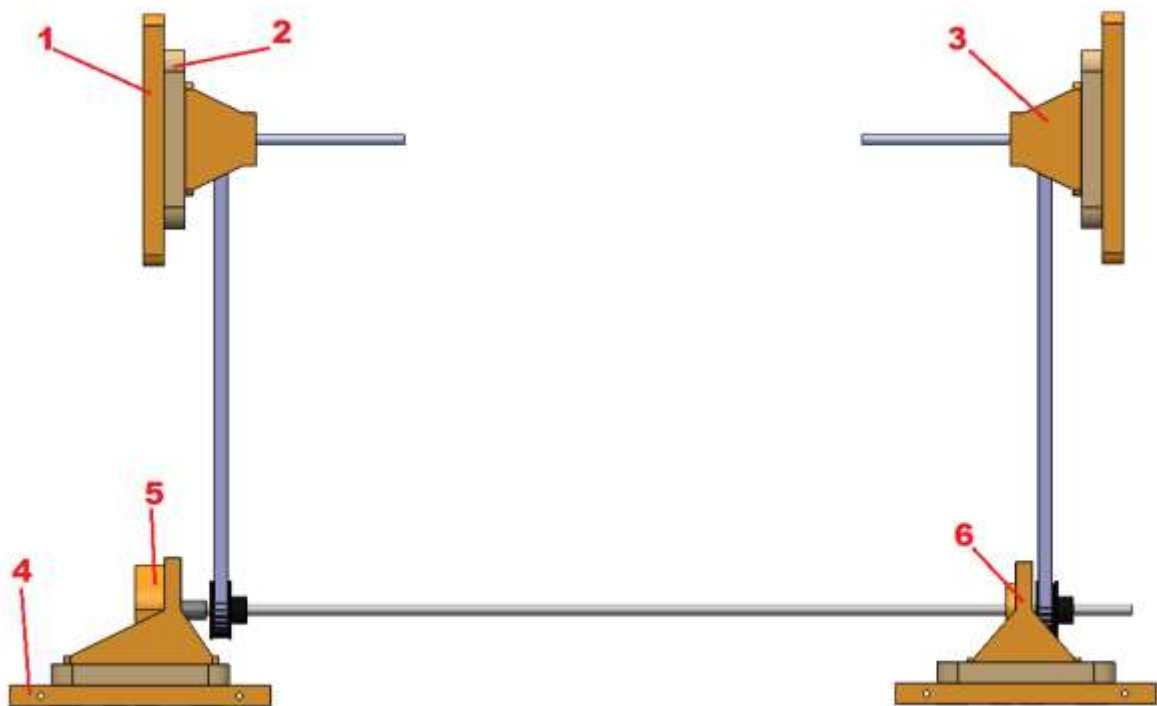
Hammaspyöräksi valittiin MXL-profiilinen hammaspyörä, jonka tiedot ovat ilmoitettu kuvassa 7. Laakereina toimii SKF 635-2Z urakuulalaakeri. Akselina toimii halkaisijaltaan 5 millimetriä oleva geneerinen pyörötanko, materiaalina S355J2 C+C.

Hammasluku	36 kpl
Jako	2 mm
Materiaali	Alumiini, Polykarbonaatti
Hihnaleveys	6,4 mm
Akselireikä	5 mm

KUVA 7. Hammaspyörän tiedot

4.2 Valmistettavat osat

Rungon ja rakenteiden osat rakennettiin itse puusta, metallista ja 3D-tulostamalla. Kuvassa 8 on esiteltyä hihnapyörä-kokoonpanon keskeinen rakenne komponentteineen. Rakenteen perusidea on samankaltainen kuin kuvassa 4.



KUVA 8. Hihnapyörä-kokoonpano

Kuvassa 8 näkyvät numeroidut komponentit valmistetaan itse 3D-tulostamalla, pois luki- osan numero 2, joka valmistetaan puusta. Tulostusmateriaalina toimii PLA-muovi sen saatavuuden ja edullisen hinnan takia. Osat ovat luetteloituna kuvassa 9.

Numero	Osa
1	Kannatinlevy, ylä
2	Aluslevy
3	Laakeripesä, ylä
4	Kannatinlevy, ala
5	Moottorinkannatin
6	Laakeripesä, ala

KUVA 9. Valmistettavat osat

Tulostettavat osat suunniteltiin SolidWorks-nimistä 3D-mallinnusohjelmistoa käyttäen. Osien suunnitteluun paneudutaan tarkemmin luvussa 5.

4.3 Elektroniset komponentit

Laitteiston niin sanotun älykkään puolen hoitaa jo aiemmin mainittu mikro-ohjain Arduino Uno (kuva 4). Mikro-ohjaimen tehtävänä on mitata moottorin kierrosnopeutta akselista, Hall-anturia (kuva 10) hyväksikäyttäen. Moottoriksi valikoitu geneerinen 12 voltin tasajännitemoottori (kuva 11). Moottorin kierrosnopeuden ohjaamiseen valittiin ohjainlevy RS Pro 417–9728 (kuva 12). Valoefekti luodaan stroboskooppivaloilla. Valonlähteeksi valittiin Eurolite Disco Strobe 25 (kuva 13). Näytöksi valittiin tyyppillinen nestekidenäyttö (LCD) LCD BC1602 (kuva 14). Luvussa 5 käsitellään tarkemmin elektronista kokoonpanoa.



KUVA 10. Hall-anturi (5)



KUVA 11. Tasajännitemoottori



KUVA 12. Moottorinhjain RS Pro 417-9728



KUVA 13. Eurolite disco strobe 25



KUVA 14. LCD BC1602

Hall-anturi

Hall-anturi mittaa mitattavan alueen magneettikentän muutosta. Näin ollen magneettikentän muutoksen havaitessaan anturi toimii ikään kuin kytkimenä, joka lähettää signaalin mikro-ohjaimelle. Tätä ominaisuutta käyttäen tullaan mittaamaan moottorin kierrosnopeutta. Anturin saama signaali muutetaan suoraan verrannollisesti yhdeksi revoluutioksi mikro-ohjaimen koodissa, joka esitetään kierrosnopeutena näytöllä. Laitteistossa käytettäväksi Hall-anturiksi valittiin yleisesti käytetty A3141 Hall effect switch.

4.4 Budjetti

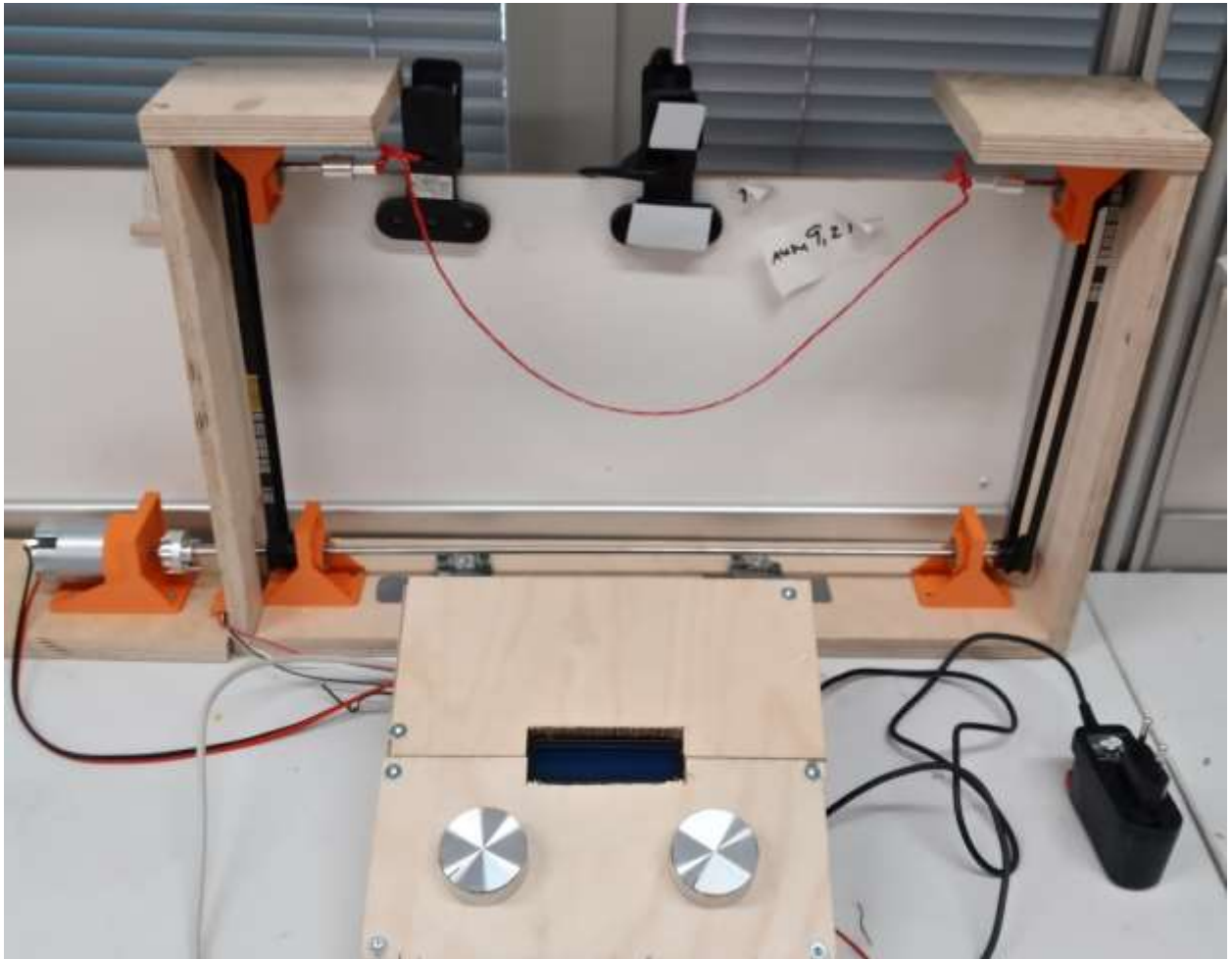
Projektille ei ollut tarkkaan laadittua budjettia, mutta asiakkaan yhtenä toiveena oli kustannustehokkuus. Projektin kokonaishintaa laskettiin käyttämällä hyödyksi 3D-tulostusta ja kierrätysosia. Tilattavien komponenttien kohdalla huomioitiin hinta-laatusuhde ostamalla komponentteja vain tutuilta toimittajilta, joiden komponentit olivat ennestään todettu laadukkaiksi ja kohtuuhintaisiksi. Kierrätysosia oli laajasti saatavilla, sillä vanhoja näytelykohteita ei asiakkaan toimesta hävitetä, vaan kaikki menevät uusiokäyttöön, jos vian mahdollista. Tilausosille hintaa tuli noin 200 euroa, sillä kaikkia osia tilattiin useita huoltoja silmällä pitäen.

5 KOKOONPANON SUUNNITTELU

Rakenteen kokoonpanolle ei ollut asiakkaan toimesta mitään esivaatimuksia. Näin ollen suunnittelussa oli varsin vapaat kädet. Pääpiirteittäinen rakenne on nähtävissä kuvassa 8. Rakenteella pyrittiin yksinkertaisuuteen ja varmatoimisuuteen. Rakenteessa yhdellä moottorilla pyöritetään akselia, joka kahden hihnan välityksellä pyörittää kahta eri akselia, joiden päihin on kiinnitetty halutun efektin aikaansaamiseksi tarkoitettu naru. Näin akselien kierrosnopeudet pysyvät aina samoina ja vakiona. 3D-tulostettavia osia suunniteltaessa pyrittiin kompakteihin, mutta kestäviin ratkaisuihin. Rakenteet kiinnitettiin puusta tehtyyn runkoon, millä kokonaisuudesta saatiin helposti liikutettava, jäykkä ja jyrävä. Vanhan rungon ansiosta ulkoisissa rakenteissa ei tarvinnut huomioida muuta kuin esteettisyys ja käyttäjäturvallisuus.

5.1 Prototyyppi

Ennen varsinaisen laitteiston rakentamista tehtiin kokonaisuudesta prototyyppi kuvien 5 ja 8 mukaisesti (kuva 15). Prototyyppi toimi halutulla tavalla ja sen pohjalta tehtiin myös muutoksia lopulliseen rakenteeseen. Lopulliseen rakenteeseen prototyypissä näkyvä vasen ala laakeripesä poistettiin. Laakeripesän tilalle sijoitettiin moottori kannattimiseen, sekä hihnapyörä liitettiin suoraan akseliin. Myös ylempien laakeriyksiköiden rakenne muutettiin niin, että ne kytkettiin pystysuoraan pääakseliin nähden (kuva 8).



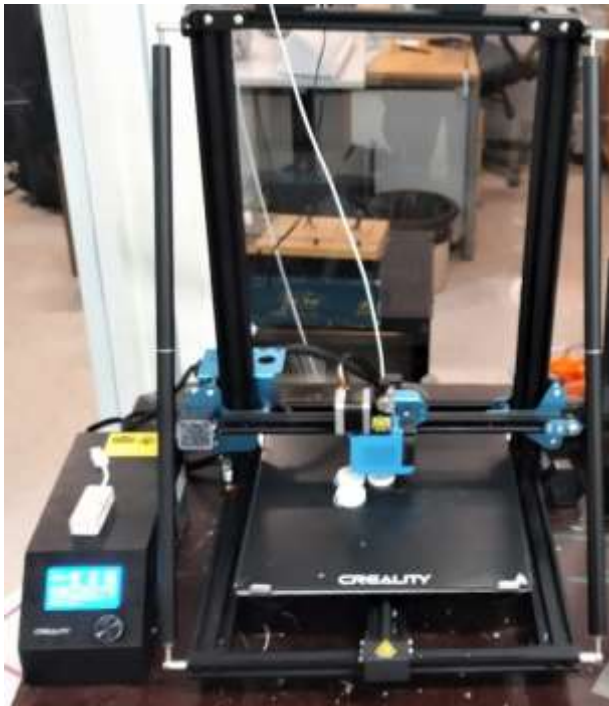
KUVA 15. Prototyyppi

5.2 3D-tulostetut osat

3D-tulostetut osat suunniteltiin ja mallinnettiin SolidWorks-ohjelmistolla. Itse tulostimena käytettiin Creality CR-10 V3 -tulostinta. Osia suunnitellessa tuli huomioida tulostimen rajoitukset esimerkiksi filamentin paksuudessa ja pursottimen halkaisijassa. Tulostuskappaleissa ei ollut erityisen pieniä yksityiskohtia, joten pursotuskoko ei ollut ongelma. Suunnitteluvaiheessa pyrittiin eliminoimaan jälkikoneistuksen tarve kappaleissa, esimerkiksi laakeripesät ja akselireiät tulostettiin kahden millin välyksellä. Osissa hyödynnettiin tavanomaisia ratkaisuja rakenteen kestävyuden varmistamiseksi, kuten kolmioliitoksia kulmissa (kuva 18). Ulkonäöllisiin seikkoihin ei ollut tarvetta paneutua, sillä osat ovat piilossa laitteen sisällä. Osien rakenteiden lujuuksia ei tarvinnut erikseen laskea, sillä niihin kohdistuvat voimat pysyvät varsin pieninä. Tästä syystä osien kestävyys pystyttiin luottamaan hyvän suunnittelutyön pohjalta.

Tulostin Creality CR-10 V3

Creality CR-10 V3 (kuva 16) on keskikokoinen FDM-tulostin. Ominaisuuksiltaan tulostin on kattava. Tulostimessa on täysmetallinen suutin, kaksi jäähdytystuuletinta, hiljainen emolevy, virtaturva, filamenttianturi, vakaa virtalähde ja metallinen runko (6, Merkit-> Creality-> Creality CR-10 V3).

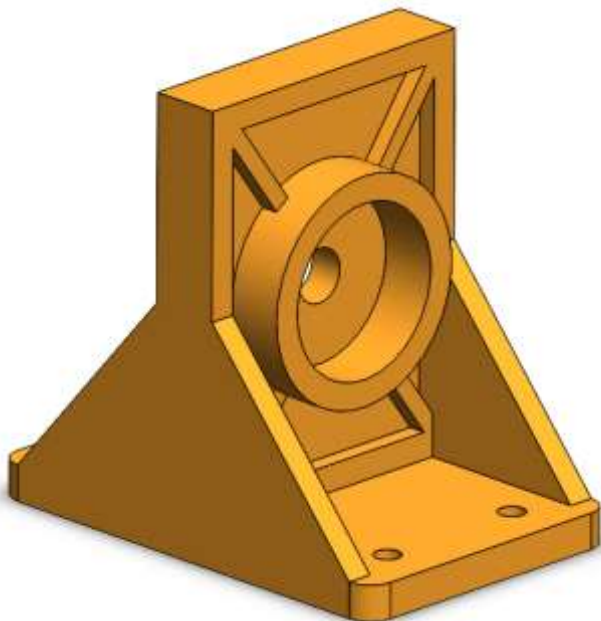


KUVA 16. Creality CR-10 V3

Ominaisuuksistaan huolimatta tulostin on hinnaltaan edullinen. Syyskuussa 2021 tulostimen hinnaksi tulee 450–500 euroa riippuen toimittajasta. Kuvassa 17 on listattuna tulostimen teknisiä tietoja.

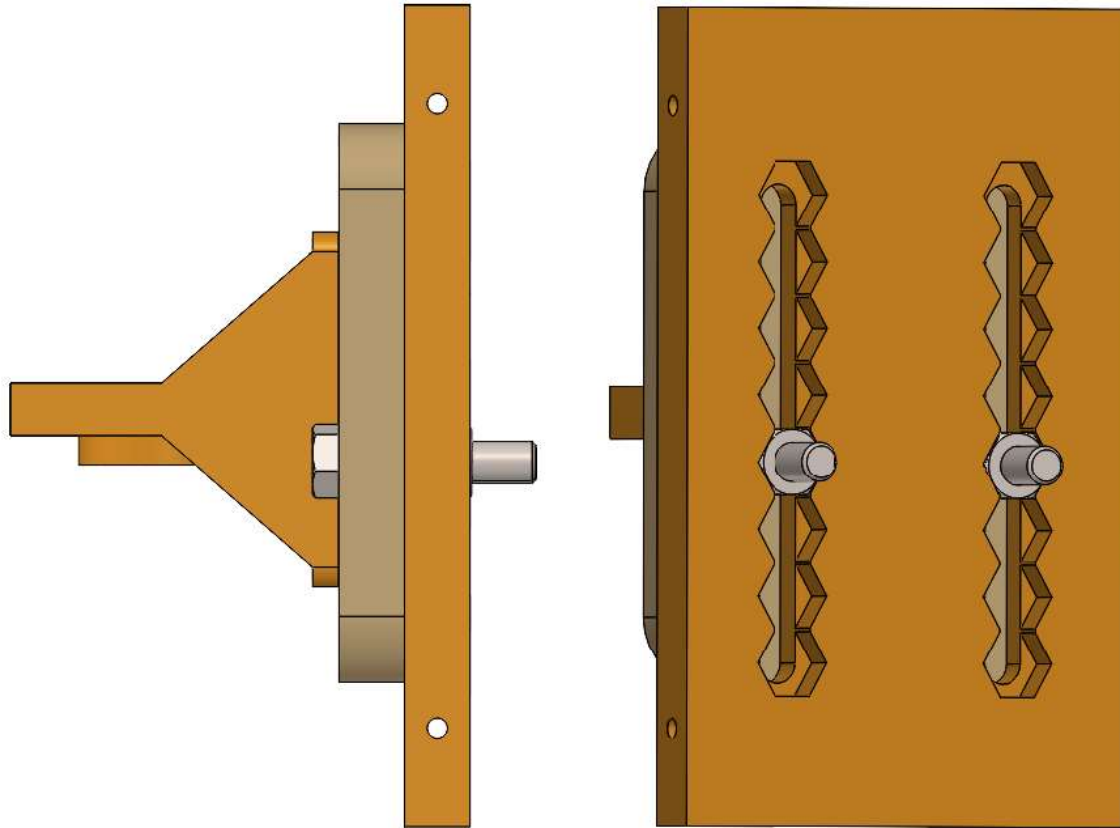
Tulostusteknologia	FDM
Näyttö	LCD
Tuetut käyttöjärjestelmät	Windows 7+, Mac OS X (10.7 +), Linux (Ubuntu 12.04 +)
Pursottimen tyyppi	Suorasyöttö
Pursottimien lukumäärä	1
Liitännät	SD-kortti
Tuetut tiedostomuodot	STL, OBJ
Lämmitetyt alustat	1
Filamentin halkaisija	1,75 mm
Tulostustila	300 x 300 x 400 mm
Min. kerroskorkeus	100 µm

KUVA 17. Creality CR-10 teknisiä tietoja



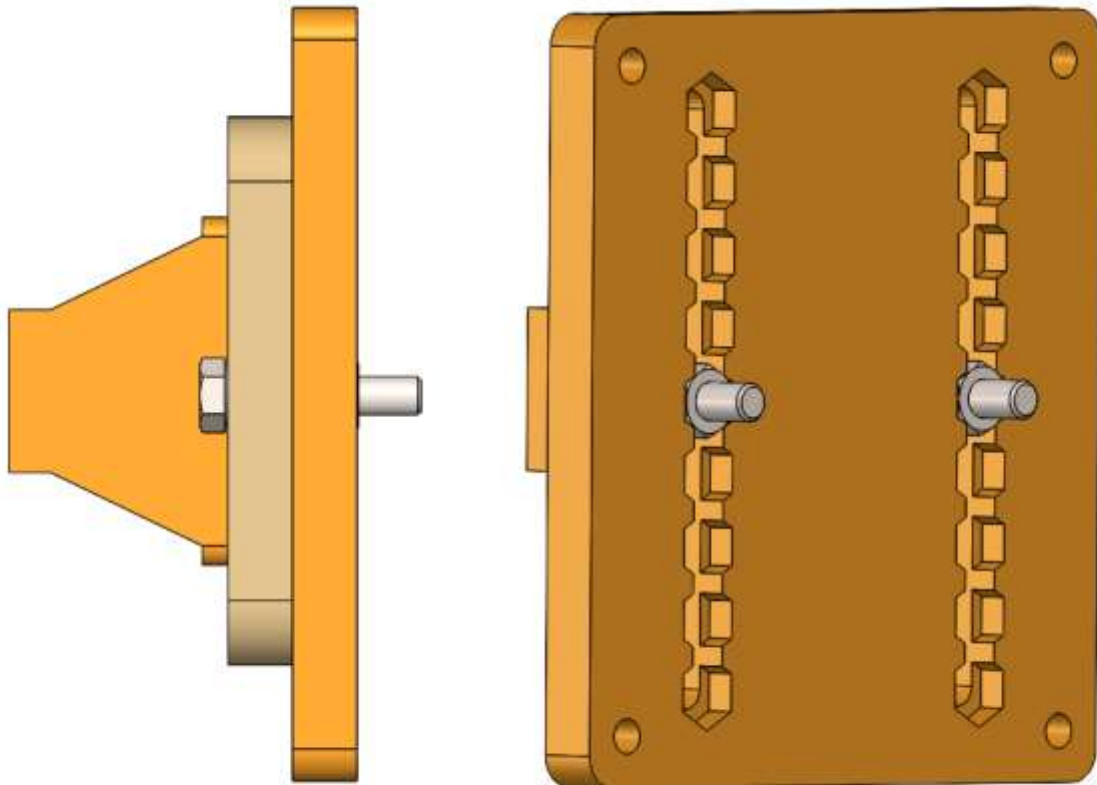
KUVA 18. Laakeripesä, ala. Huomaa suuret kolmioliitokset pysty- ja vaakalevyn välillä

Hihnapyöräkoonpanon osat suunniteltiin modulaarisiksi, jotta niitä olisi mahdollista käyttää tulevaisuudessa eri kohteissa. Kuvassa 19 nähdään laakeripesä kiinnitettynä aluslevyn kanssa kannatinlevyyn. Laakeripesää voidaan liikuttaa kannatinlevyssä pituus-suunnassa aluslevyn kanssa löysämällä siinä olevat M6-mutterit.



KUVA 19. Laakeripesä kiinnitettynä aluslevyyn ja kannatinlevyyn

Samaa periaatetta noudatettiin ylempien laakeripesien kanssa. Laakeripesät kiinnitettiin aluslevyn kanssa kannatinlevyyn, joka on kiinni puurungossa (kuva 20).

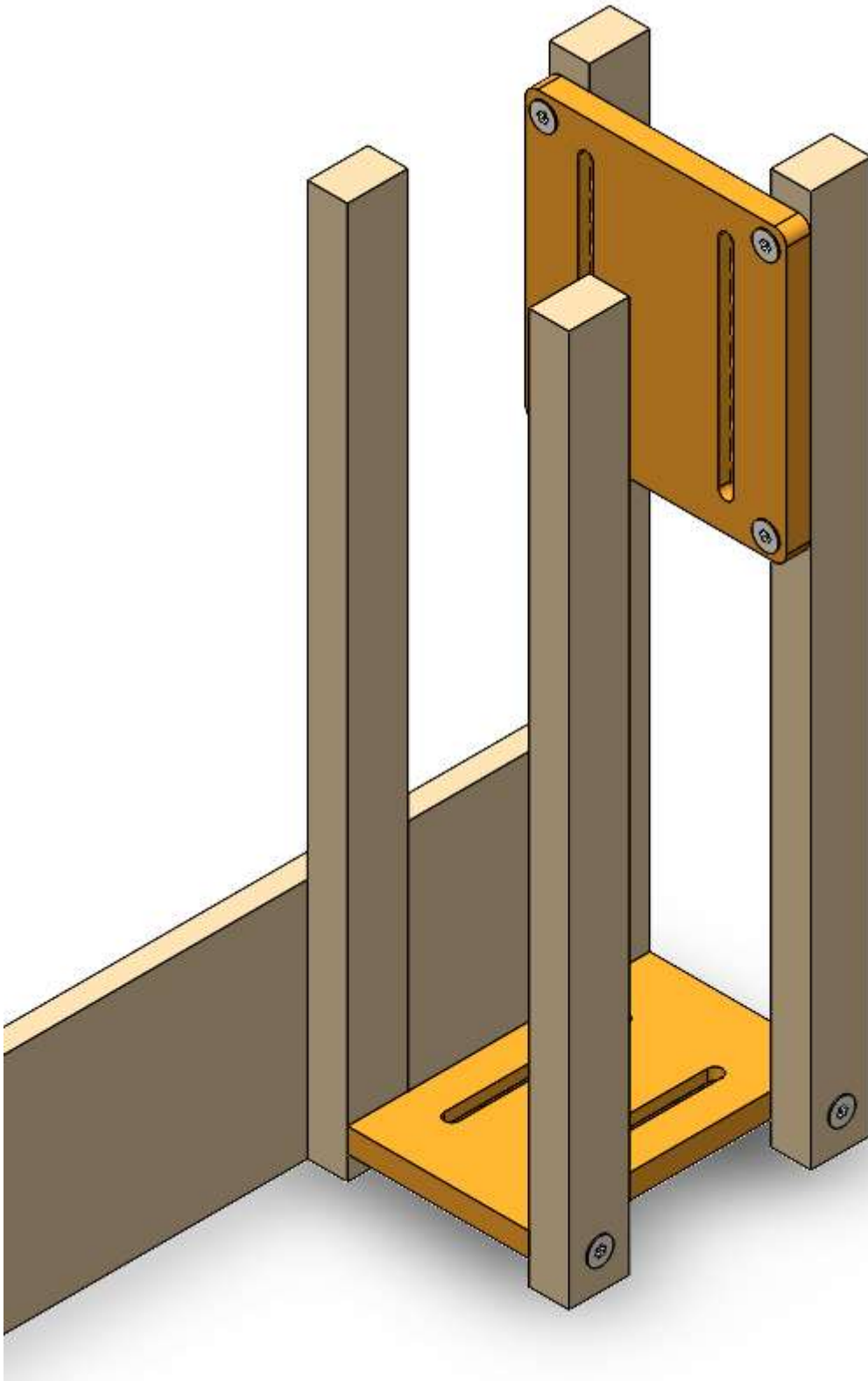


KUVA 20. Ylempi laakeriyksikkö kasattuna

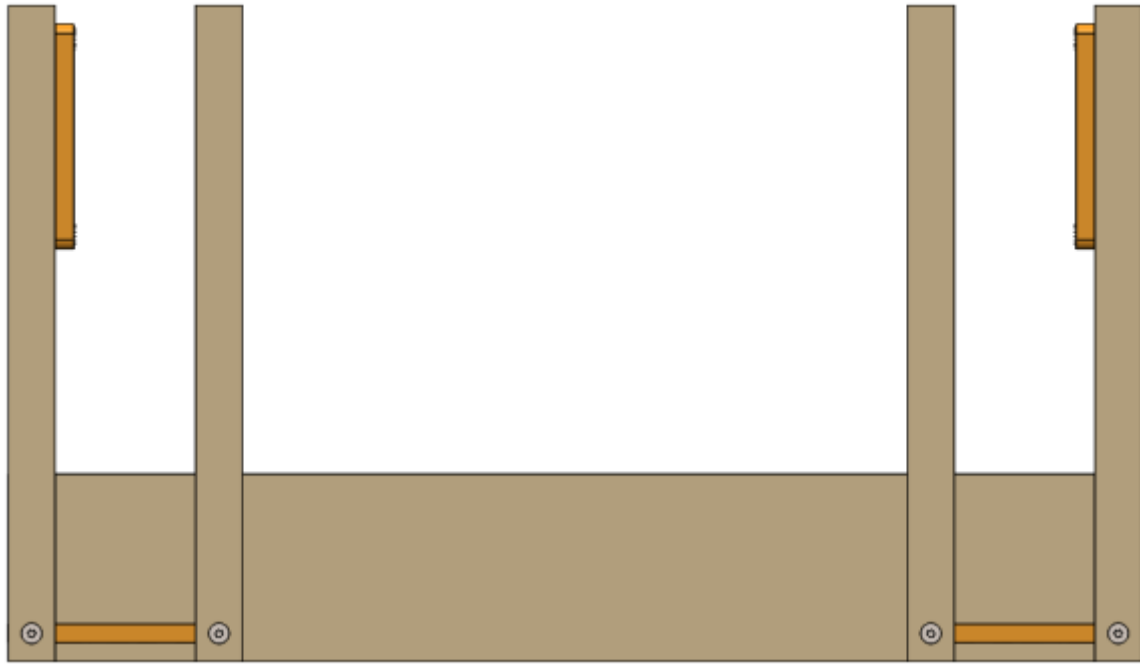
Laakeripesien liikuttavuus kannatinlevyssä helpottaa kohteen huoltotoimenpiteitä, mutta se myös mahdollistaa perinpohjaisten muutoksien tekemisen rakenteen muotoon. Myös hihnan pituutta voidaan haluttaessa vaihtaa. Osien tulostusmateriaalina käytettiin oranssia, 1,75 mm paksua PLA-filamenttia. Kaikkien tulostuskappaleiden tekniset piirustukset ovat tämän dokumentin liitteinä 2–6.

5.3 Runko

Kohteen runko valmistettiin 25 x 15 mm kertopuusta ja 10 mm paksusta vanerista. Runko jäykistettiin poikkivanerin ja kannatinlevyjen toimesta. Kuvissa 20 ja 21 nähdään runko koottuna, jossa kannatinlevyt ja poikkivaneri ovat kiinnitettyinä. Rungon design on yksinkertainen, mutta vankka. Poikkivaneri toimii myös elektronisten komponenttien kiinnitysalustana. Tulee huomioida, että poikkivanereita tulee rungon molemmin puolin. Kuvissa 21 ja 22 toinen vanereista on jätetty pois näkyvistä.



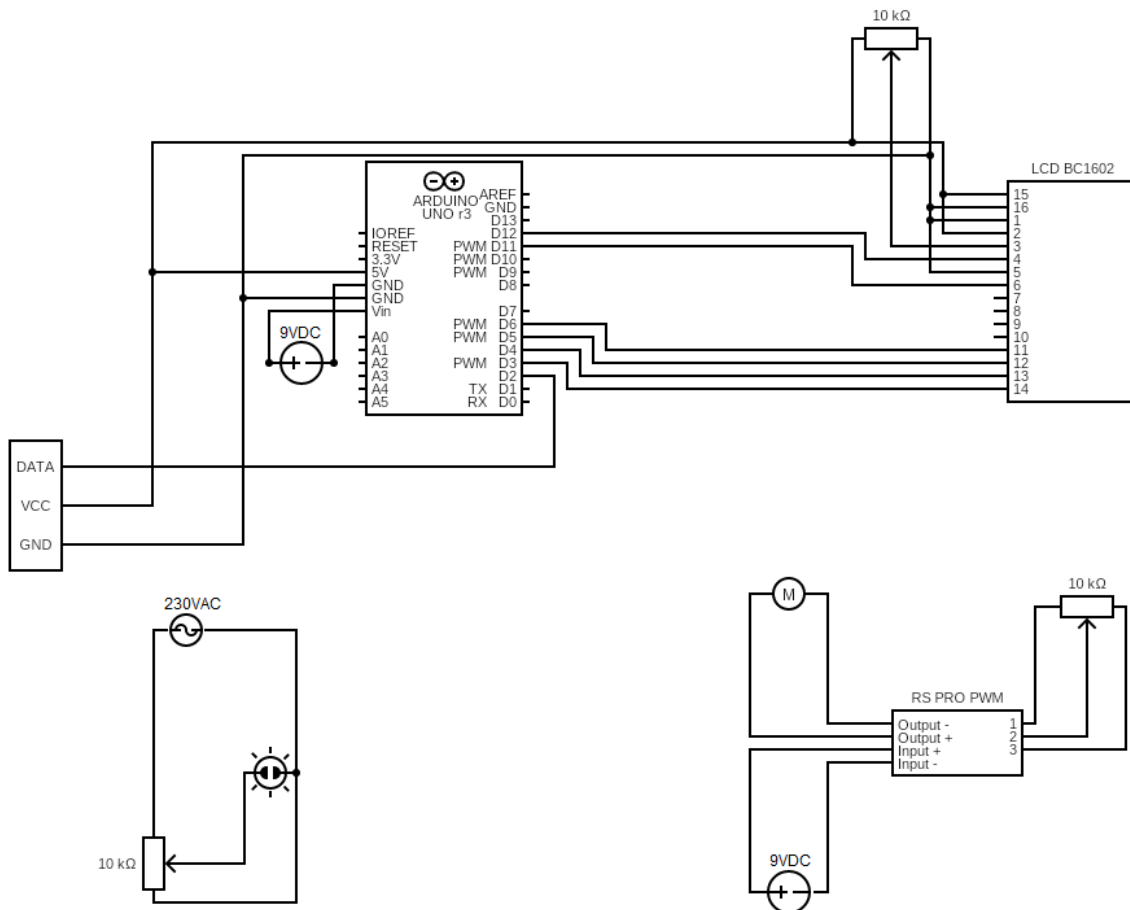
KUVA 21. Koottu runko kannatinlevyineen



KUVA 22. Koottu runko kannatinlevyineen

5.4 Elektroniikka

Laitteen elektroninen kokoonpano koostuu Arduino Uno -mikro-ohjaimen kytketystä anturoinnista ja monitorista, moottorista ja sen ohjaimesta, sekä stroboskooppivaloista (kuva 23). Asiakaskäytön huomioiden laitteen päävirta kytkettiin ajastinreleeseen, joka pitää laitetta kerrallaan päällä 30 sekuntia, ennen kuin se kytkee virran pois. Tällä estetään laitteen tarpeeton päällä olo ja turhat käyttötunnit. Releestä virta jaetaan näille kolmelle kokonaisuudelle seuraavanlaisesti: Arduino ja moottori kokoonpanoille 9VDC ja stroboskooppivaloille 230VAC.



KUVA 23. Elektroninen kokoonpano

5.4.1 Arduino-kokoonpano

Mikro-ohjaimen tehtävänä kohteessa on lukea anturin dataa ja piirtää se näytölle. Arduinon kytketty Hall-anturi lukee pääakseliin kiinnitettyä magneettia, jonka signaali muutetaan kierrosluvuiksi. Tätä toimintoa varten Arduinolle kirjoitettiin koodi, millä määritettiin kierroslukujen lasku ja sen piirto näytölle. Virtalähteenä käytettiin yhdeksän voltin tasajännitettä. Koodi on luettavissa liitteenä 11. Arduinon koodina toimii Arduinon oma, C ja C++:aan perustuva ohjelmointikieli.

5.4.1.1 Näyttö LCD BC1602

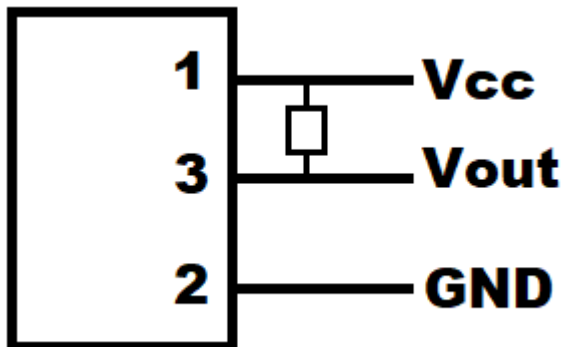
LCD BC1602 on nestekidenäyttö, joka kykenee näyttämään 16 merkkiä kahdella rivillä. Näytöllä tullaan näyttämään ainoastaan teksti "RPM" ja kierrosluku, joka on maksimissaan neljä merkkiä pitkä, joten 16x2 koko on adekvaatti. Näytön kytkentä on esitettyä kuvassa 23 ja tarkemmin liitteessä 7. Näytön pinnien funktiot ovat esitettyä kuvassa 24.

Pin No.	Symbol	Level	Description
1	V _{ss}	0V	Ground
2	V _{dd}	5.0V	Supply Voltage for logic (option +3V)
3	V _o	(Variable)	Operating voltage for LCD
4	RS	H/L	H: DATA, L: Instruction code
5	R/W	H/L	H: Read (MPU→Module)L: Write (MPU→Module)
6	E	H,H→L	Chip enable signal
7	DB0	H/L	Data bit 0
8	DB1	H/L	Data bit 1
9	DB2	H/L	Data bit 2
10	DB3	H/L	Data bit 3
11	DB4	H/L	Data bit 4
12	DB5	H/L	Data bit 5
13	DB6	H/L	Data bit 6
14	DB7	H/L	Data bit 7
15	A / NV	-	Power supply for LED backlight (+) / Negative voltage output
16	K	-	Power supply for LED backlight (GND)

KUVA 24. LCD BC1602 pinnien funktiot (7)

5.4.1.2 Hall-anturi A3141

Hall-anturin kytkentä on varsin yksinkertainen. Kytkentä on nähtävissä kuvassa 23 ja tarkemmin liitteenä 7. Anturin pinnien funktiot ovat esitettynä kuvassa 25.



KUVA 25. Hall A3141 pinnien funktiot

Anturi kytkettiin suoraan Arduinon pinniin 2 ja virtalähteeseen. Loput anturin toiminnasta hoitaa koodi.

5.4.2 Moottori

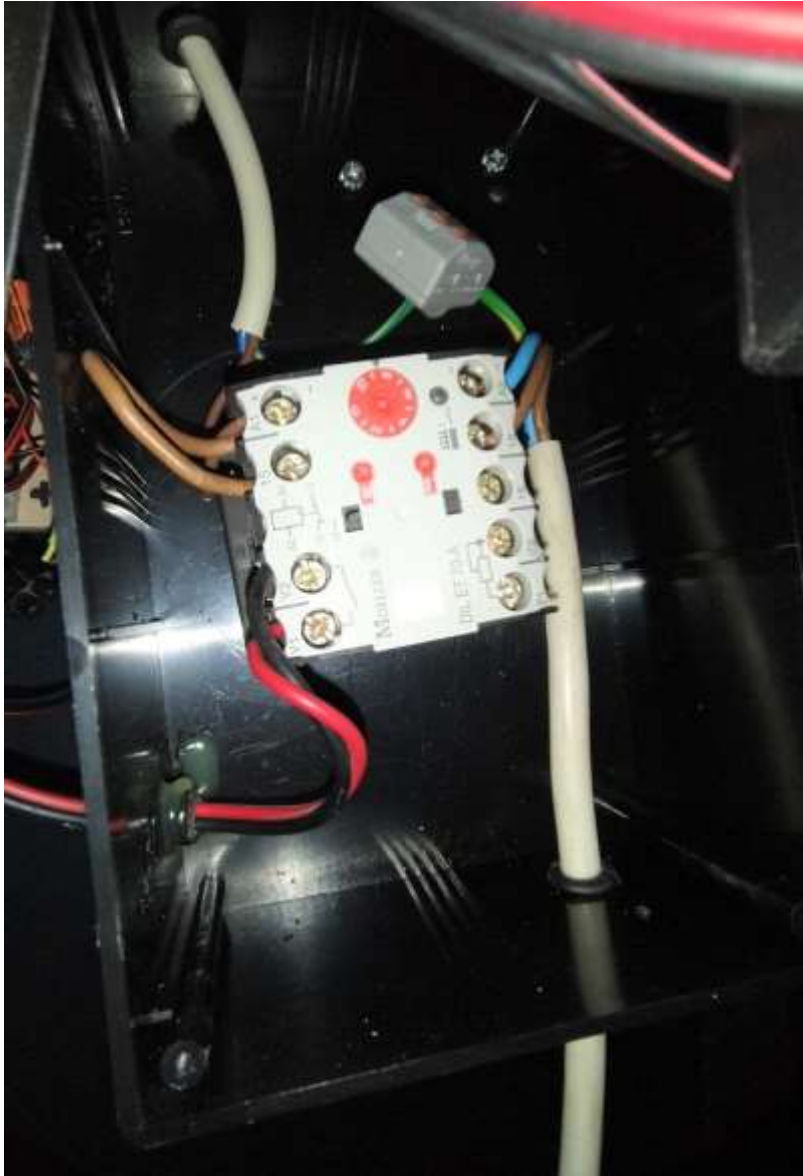
Moottori ja sen ohjainpiiri muodostivat oman kokonaisuutensa erillisenä Arduinosta. Moottorikokonaisuuden kaavio on nähtävissä kuvassa 23. ja tarkemmin liitteenä 8. Moottorinohjaimella moottorin pyörimisnopeutta voidaan säätää portaattomasti potentiometrin avulla. Ohjainlevy kytkettiin suoraan 9VDC -virtalähteeseen.

5.4.3 Stroboskooppivalot

Stroboskooppivalot Eurolite Disco strobe 25 (kuva 13) luovat kohteessa varsinaisen valoilmion pyörivän narun kanssa. Kohteeseen laitettiin kaksi valoa, joista toinen on sininen. Kahden eri värisen valon ansiosta luodaan illuusio kahdesta erivärisestä aaltoilevasta kuvaajasta. Valojen välkkymistaajuuksia pystyy säätämään erikseen välillä 1–10 Hz, eli yhdestä kymmeneen väläystä per sekunti. Stroboskooppivalot kytkettiin erilliseen virtalähteeseen, sillä niiden tarvitsema käyttöjännite on 230 VAC, eli toisin sanoen verkkovirtaa. Kytkentäkaavio on nähtävissä kuvassa 23 ja tarkemmin liitteenä 9.

5.4.4 Virranjako

Laitteiston päävirta tulee tavanomaisesta verkkoliitännästä releen kautta jakorasiale, josta se jaetaan edelleen Arduinolle ja moottorille tasavirtana ja stroboskooppivaloille verkkovirtana (kuva 26). Tällä ratkaisulla säästyttiin usealta virtalähteeltä ahtaassa tilassa, mikä on varteenotettava turvallisuusongelma. Myös ajastinreleenkäyttö edesauttaa laitteiston käyttöturvallisuutta. Virranjaon kytkentäkaavio on nähtävissä liitteenä 10.



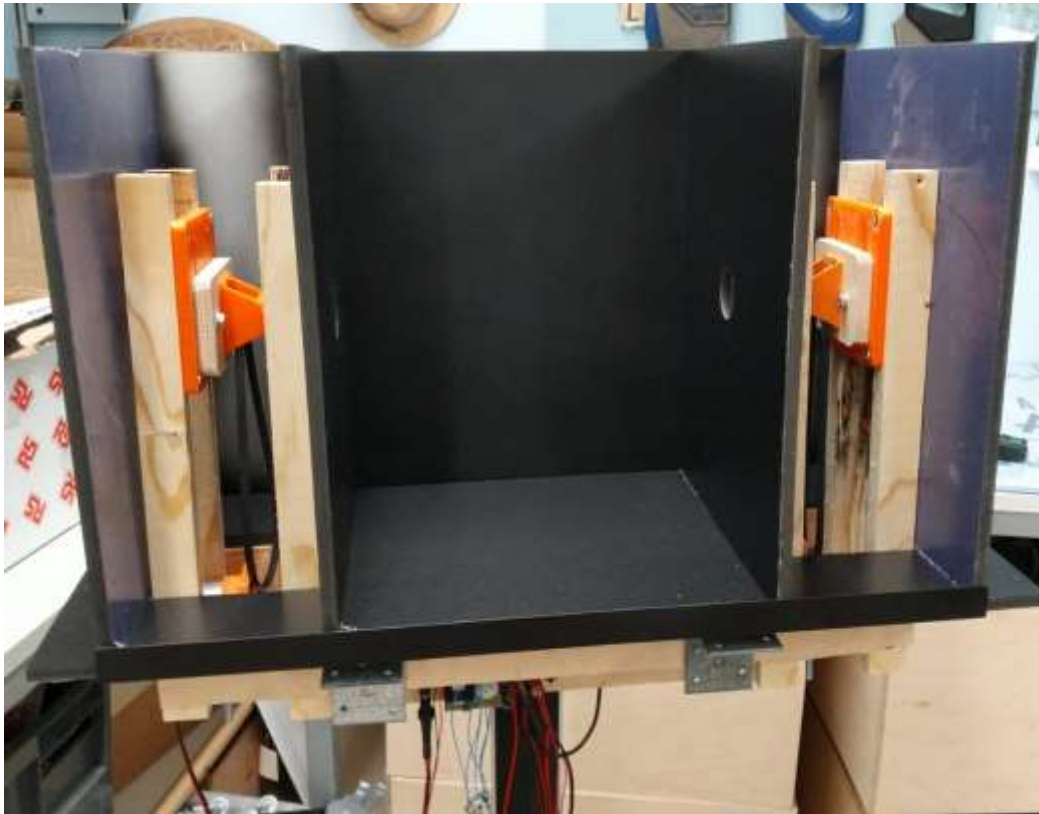
KUVA 26. Virranjakosysteemi

5.5 Kotelointi

Laitteen ulkomuoto suunniteltiin yhdessä asiakkaan visuaalisen suunnittelijan kanssa vastaamaan näyttelyn yleispiirrettä. Kotelona voitiin käyttää valmista metallista ahiota, joka oli ylijäämänä vanhasta näyttelystä (kuva 27). Kotelon mitat ovat 900 x 750 x 570 mm. Kotelossa on huoltoluukku, josta laitteen elektroniikkaan päästään tarvittaessa helposti käsiksi. Huoltoluukku on lukittava, ettei asiakkailta ole mahdollisuutta avata sitä. Laitteen puurunko kiinnitettiin kulmaraudoilla liimapuulevyyn, joka on kiinnitettyä metallikotelon päälle (kuva 28).

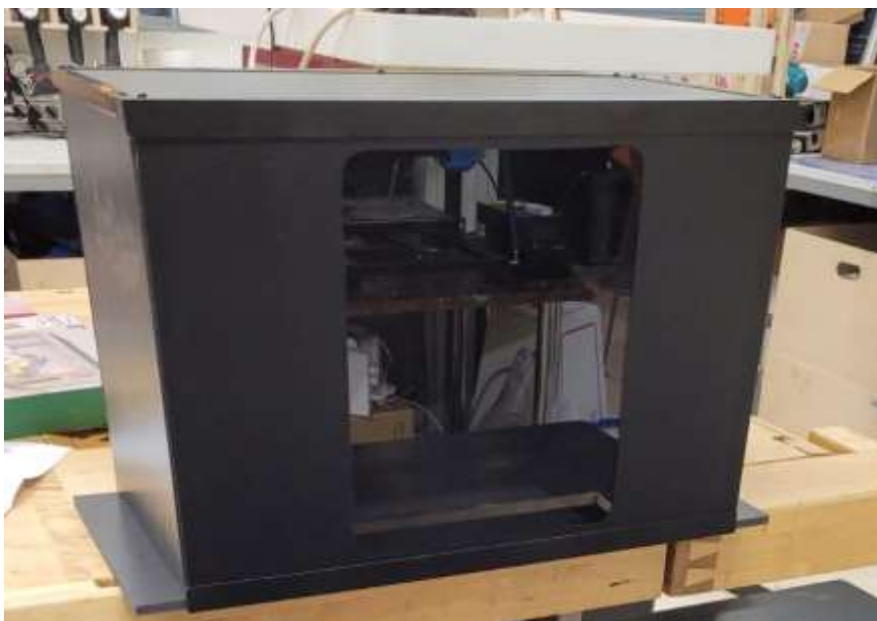


KUVA 27. Metallikotelo



KUVA 28. Puurunko kulmarautoineen kotelon sisällä

Efektiosa kotelotiin erillisellä 9 mm paksuisesta MDF-levystä rakennetulla kotelolla, jossa on akryyli-ikkuna (kuva 29). Näin asiakkailla ei ole mahdollista koskea komponentteihin aiheuttaen mahdollisesti vikatilan tai huonossa tapauksessa loukata itseänsä.



KUVA 29. Efektiosan kotelo ikkunan kanssa

5.6 Käyttöturvallisuus

Asiakaskäyttöön meneviä laitteita suunniteltaessa käyttöturvallisuus on erityisen tärkeää. Suunnittelutyötä on tämän johdosta tehtävä asiakasnäkökulmasta: kaikki mahdolliset käyttötilanteet ja -tavat tulee ottaa huomioon. Asiakaskäytössä olevat kohteet ovat luonnollisesti myös usein huollettavina suurien käyttötuntien takia, joten huoltoturvallisuus on yhtä lailla ensiarvoisen tärkeää. Kohteelle tehtiin riskienarviointi (kuva 30) standardien SFS-EN ISO 12100 ja SFS-ISO/TR 14121-2 pohjalta rakennetulla riskienarviointityökalulla (8).

Nr. No.	Vaaravyöhyke Hazardous area	Työvaihe Working phase	Vaara Hazard	Vaarallinen tilanne Hazardous situation	Vaarallinen tapahtuma Hazardous event	S	F	O	A	Riskiluokka; Risk Index	Riskin suuruus; Estimated risk
1	Kohteen ulkopinnat	Kaikki	Sähköisku	Näyttelykohteen käyttö	Sähköiskun saaminen	2	2	2	1	4	Kohtalainen
2	Kohteen sisätila	Huolto	Sähköisku	Kohteen elektroniikan huoltaminen	Sähköiskun saaminen	2	1	3	1	3	Kohtalainen
3	Kohteen mekaaniset osat	Kaikki	Sormien puristuminen/vääntyminen	Kohteen väärinkäytön ollessa päällä	Sormien joutuminen pyörvien ja mekaanisten osien väliin	1	2	3	1	2	Vähäinen
4	Kohteen ulkopinnat	Kohteen käyttö	Välkkyvä valo	Kohteen tarkoituksenmukainen käyttö	Epileptinen kohtaus	2	2	1	2	4	Kohtalainen
5	Kohteen sisätila	Kaikki	Tulipalo	Liian korkea lämpötila/vikatiila	Tulipalon syttyminen	2	2	2	1	4	Kohtalainen

KUVA 30. Riskienarviointitaulukko

Taulukoiduista riskeistä lähes kaikki ovat vältettävissä hyvällä suunnittelutyöllä. Pelkätään riskiä numero 4 ei voida poistaa suunnittelun keinoin. Epileptisen kohtauksen vaarasta ilmoitetaan näyttelytilan ulkopuolella ja erikseen näyttelykohteen yhteydessä olevassa ohjetaulussa. Riskien eliminointiratkaisut ovat listattuna kuvassa 31.

Nr No.	Suositeltavat toimenpiteet; Recommended actions	Toteutettu suojaustoimenpide; Realized protective action
1	Elektroniset komponentit eivät saa olla näkyvillä ja niiden tulee olla maadoitettuja oikein.	Kohteen komponentit sijoitettiin koteloinnin sisälle, johon asiakkailla ei ole pääsyä. Kaikki maadoitukset ovat myös tehty asianmukaisella tavalla.
2	Elektroniset komponentit tulee olla oikein kytketty ja tarpeeksi väljästi aseteltuina. Myös asianmukainen maadoitukset tulee hoitaa oikein.	Komponentit kiinnitettiin asennuslevyyn ja johdot järjesteltiin siististi ja selkeästi. Maadoitukset tehtiin asianmukaisella tavalla.
3	Liikkuvat osat tulee peittää tai piilottaa.	Liikkuvat osat sijoitettiin koteloinnin sisälle ja näkyvät osat peitettiin akryylilevyllä.
4	Asiakkaiden varoittaminen hyvissä ajoin, sekä erillinen varoitus kohteen välittömässä läheisyydessä.	Epilepsiariskistä ilmoitetaan näyttelytilojen ulkopuolella, sekä erikseen näyttelykohteen välittömässä läheisyydessä.
5	Lämpöä keräävien komponenttien määrän rajoittaminen, komponenttien sijoittaminen väljästi, sekä ahtaiden tilojen välttäminen.	Laitteiston virranjako suoritettiin mahdollisimman vähillä virtalähteillä. Virranjako rakennettiin ajastinreleen taakse. Koteloinnin sisällä on reilusti tilaa sekä aukkoja, josta ilma pääsee vaihtumaan.

KUVA 31. Riskien eliminointitoimenpiteet

6 YHTEENVETO

Opinnäytetyön tavoitteena oli rakentaa tiedekeskuskohde Oulun kaupungin tiedekeskus Tietomaahan. Kohde tuli osaksi Tietomaan tulevaa näyttelyä Valon ja varjon viehätys. Opinnäytetyössä toimittiin tavoitteiden mukaisesti, eli näyttelykohteen esisuunnittelu, yksityiskohtainen suunnittelu, komponenttivalinta sekä prototyypin ja lopullisen kohteen rakennus vietiin läpi onnistuneesti.

Kaikista valmistettavista osista luotiin 3D-mallit ja tekniset piirustukset, jotta niitä voi myöhemmin käyttää hyödyksi huollettaessa tai laitteen mahdollisessa uudelleensuunnittelussa tulevaisuuden kohteissa. 3D-malleja myös tulostettiin varaosiksi valmiiksi, ettei komponentin äkillisen rikkoutumisen sattuessa uutta tulostusta tarvitsisi odottaa.

Asiakkaan kannalta työ valmistui hyvään aikaan siltä osin, että sitä ehditään hyvissä ajoin betatestata ennen asiakaskäyttöön ottoa tammikuussa. Asiakkaan tavoitteisiin ja toiveisiin päästiin muutenkin varsin onnistuneesti, eikä juuri ongelmia ilmennyt. Työn kustannukset pysyivät varsin matalina kierrätysosien ja itse valmistettujen osien ansiosta. Työ suunniteltiin myös kierrätystä silmällä pitäen, joten sen osia voi tulevaisuudessa käyttää uusiin kokoonpanoihin. Jatkossa kohteeseen voisi halutessaan lisätä ominaisuuksia, kuten pystyakseli, jolloin efektiä voitaisiin ilmentää xy-koordinaatiston mukaisesti.

Kohde tulee asiakaskäyttöön tammikuussa 2022, jolloin kaikki halukkaat ja kiinnostuneet pääsevät tutustumaan siihen tarkemmin. Kohde on osa laajempaa teemakokonaisuutta, joten samassa hengessä olevia kohteita on samalla myös nähtävissä ja koettavissa.

LÄHTEET

1. Aalto (fysiikka). 2021. Wikipedia. Saatavissa: [https://fi.wikipedia.org/wiki/Aalto_\(fysiikka\)](https://fi.wikipedia.org/wiki/Aalto_(fysiikka)). Hakupäivä 24.5.2021.
2. Kerkkänen, Jukka-Pekka 2021. Jaksollinen funktio. Opinnot.net. Saatavissa: https://opinnot.net/kokonaisuudet/index.php?id_kokon=622. Hakupäivä 24.5.2021.
3. Siniaalto. 2021. Wikipedia. Saatavissa: <https://fi.wikipedia.org/wiki/Siniaalto>. Hakupäivä 24.5.2021.
4. Harrison Broadbent, 2020. Arduino Uno electronics board. Unsplash. Saatavissa: <https://unsplash.com/photos/f2S93diaVn0>. Hakupäivä 13.9.2021.
5. Hall-anturi. 2021. SP-Elektroniikka. Saatavissa: https://www.spelektro-niikka.fi/graphics/products/to_226_3_to_92_3_short_body_21e732c1.jpg. Hakupäivä 1.9.2021.
6. Creality CR-10 v3 3D-tulostin. 2021. 3D Cadsolutions Oy. Saatavissa: <https://www.an-cadsolutions.fi/tuote/creality-cr-10-v3-3d-tulostin/>. Hakupäivä 13.9.2021.
7. LCD BC1602 Datasheet. 2021. Electronics Source. Saatavissa: <https://www.es.co.th/Schemetic/PDF/BC1602.PDF>. Hakupäivä 6.9.2021.
8. METSTA ry:n koneturvallisuuskomitea K 114. 2017. Riskinarviointityökalu. METSTA ry. Saatavissa: <https://metsta.fi/wp-content/uploads/2020/05/Riskinarviointilomake-2017-05-04-julkinen.xlsx>. Hakupäivä 13.9.2021.

LIITTEET

Liite 1 Osaluettelo

Liite 2 Kannatinlevy, ala

Liite 3 Kannatinlevy, ylä

Liite 4 Laakeripesä, ala

Liite 5 Laakeripesä, ylä

Liite 6 Moottorinkannatin

Liite 7 KytKentäkaavio, Arduino

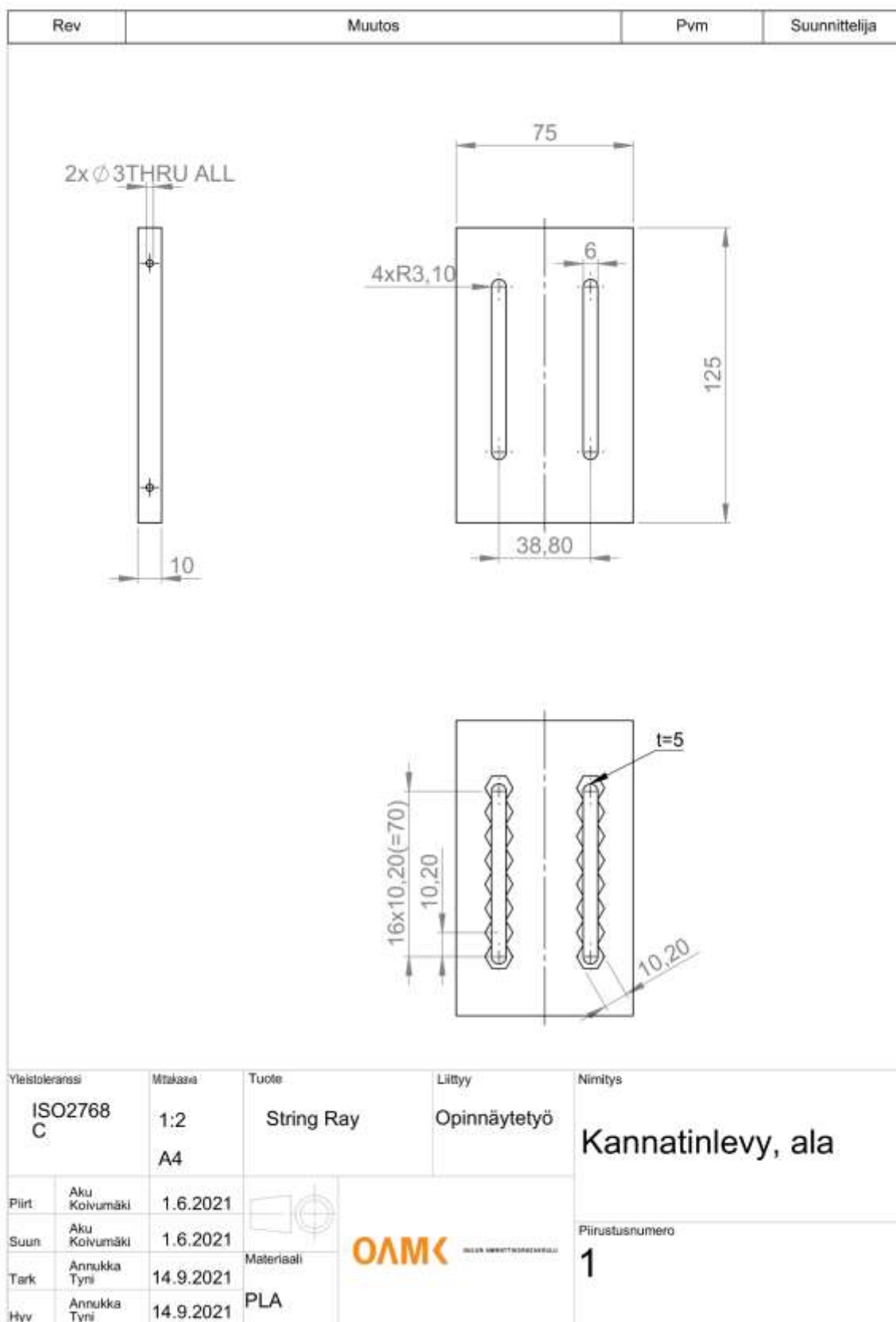
Liite 8 KytKentäkaavio, Moottori

Liite 9 KytKentäkaavio, Stroboskooppivalot

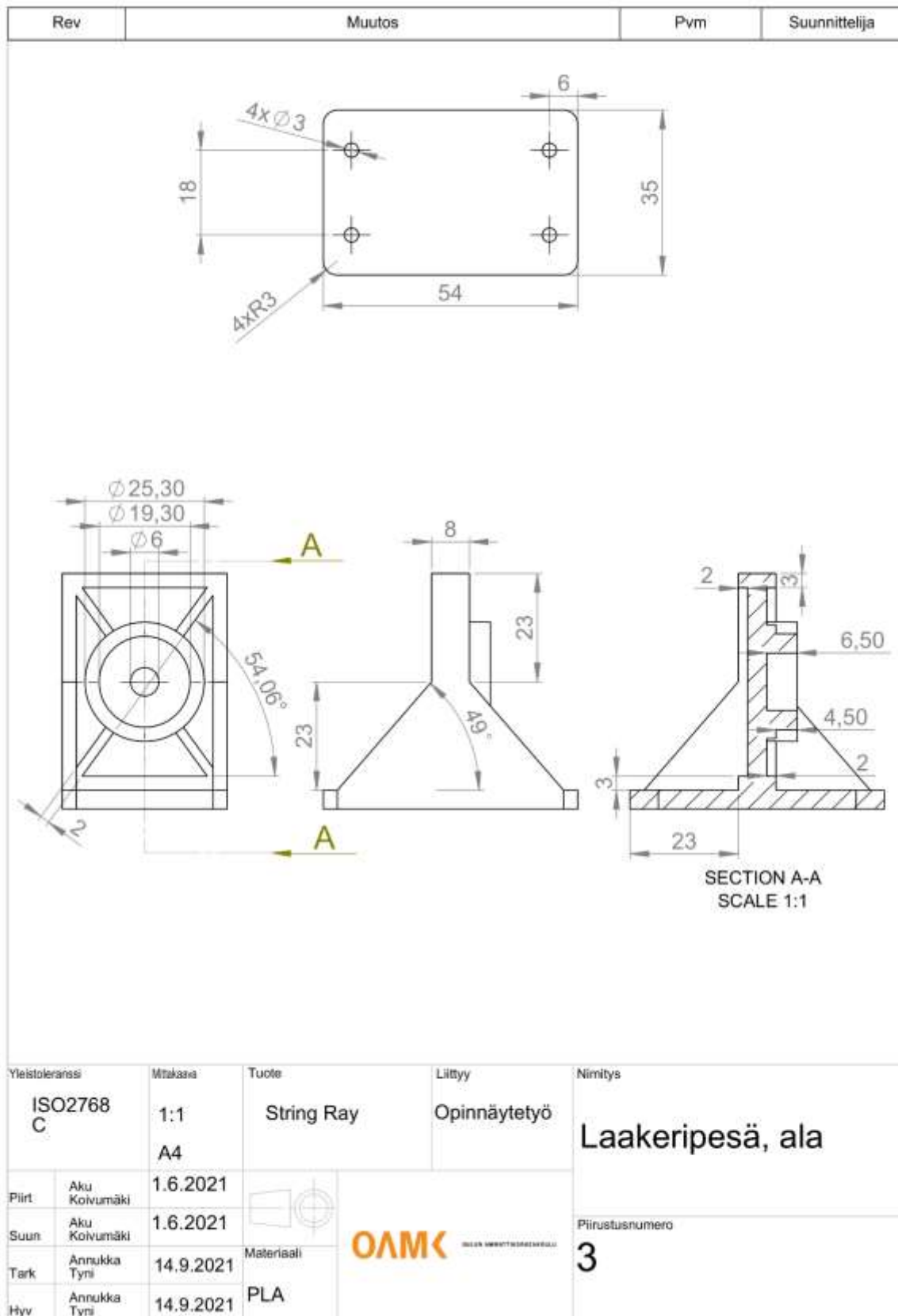
Liite 10 KytKentäkaavio, Virranjako

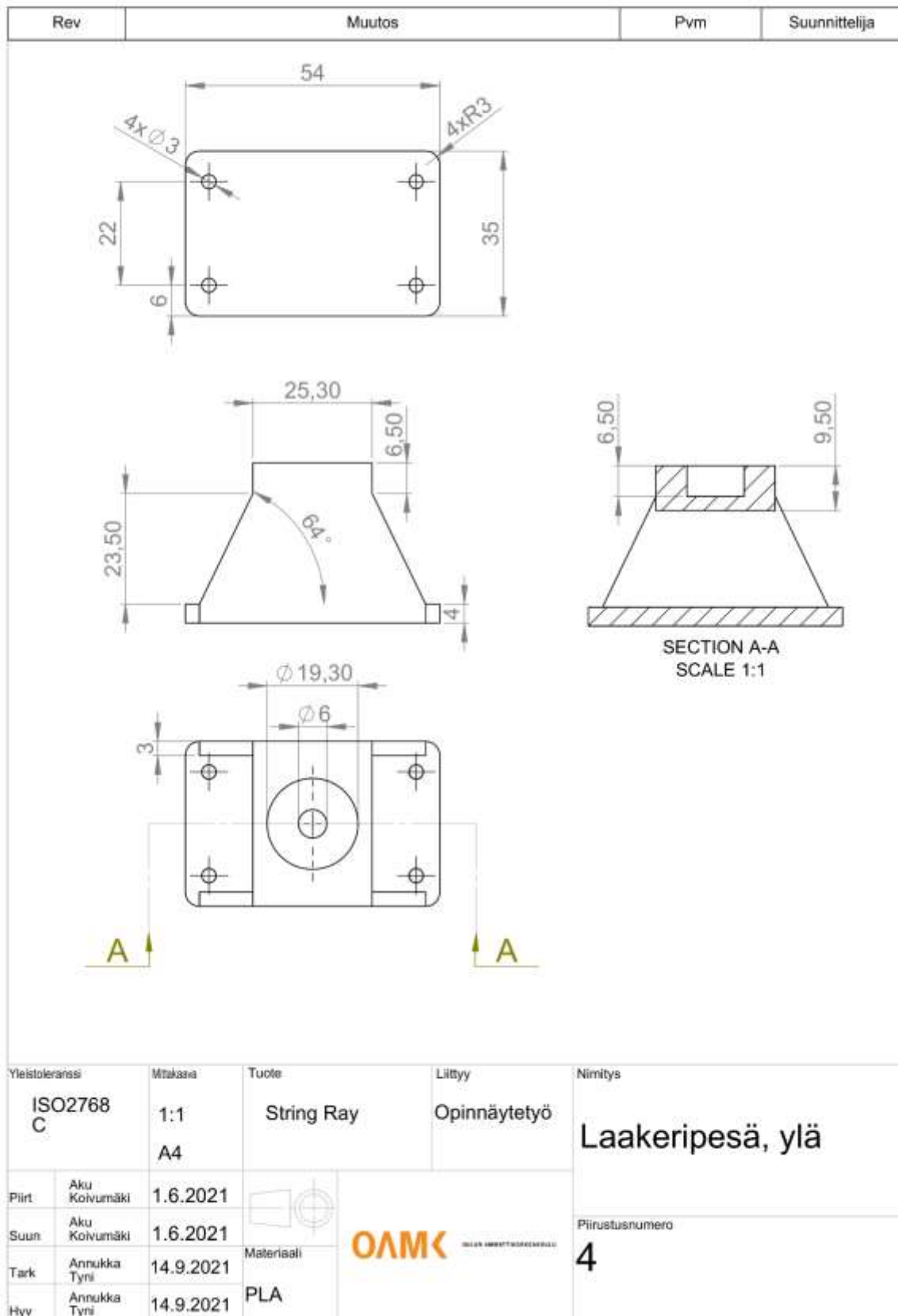
Liite 11 Arduino koodi

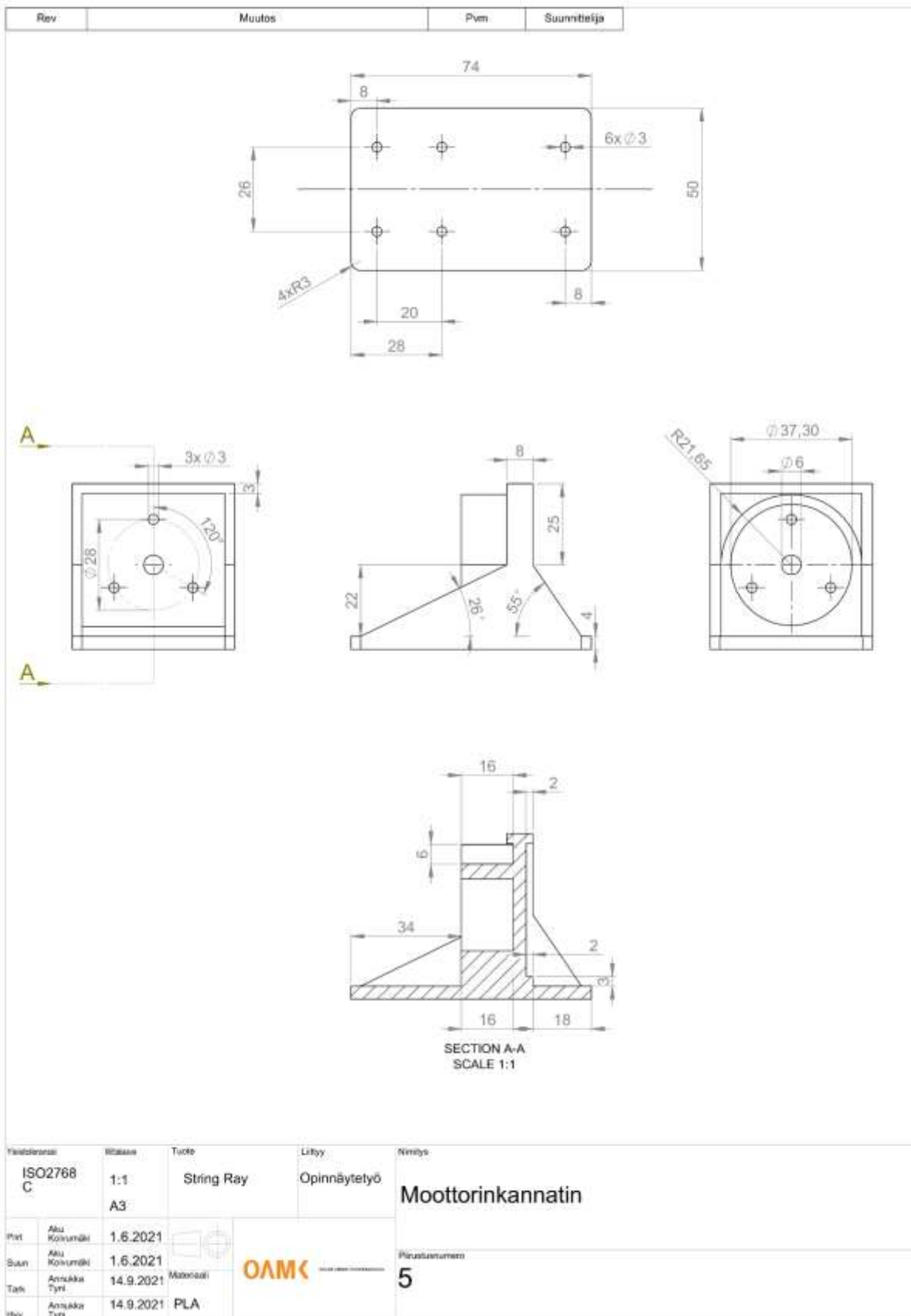
Osa	Määrä	Toimittaja
Arduino Uno	1	RS Components
Hammashihna MXL 2048	2	RS Components
Hammasyörä MXL025 TYPE B 5mm	4	RS Components
Laakeri SKF 635-2Z	5	RS Components
Moottorinohjain RS Pro 417-9728	1	RS Components
Moottori 12VDC DMN37KA	1	RS Components
LCD-Näyttö LCD BC1602	1	RS Components
HALL-anturi A3141	1	SP-Elektroniikka
Akselikytkin 5mm/5mm	1	SP-Elektroniikka
Stroboskooppivalo Disco Strobe 25	2	Thomann
Pyörötanko S355J2 C+C D50mm	1 metri	Oma varasto
Virtalähde 9VDC	1	Oma varasto
Ajastinrele Moeller DILET70-A	1	Oma varasto
Kannatinlevy, ylä	2	Valmistetaan
Kannatinlevy, ala	2	Valmistetaan
Laakeripesä, ylä	2	Valmistetaan
Laakeripesä, ala	1	Valmistetaan
Moottorinkannatin	1	Valmistetaan
Aluslevy	4	Valmistetaan
Akselinkannatin	1	Valmistetaan

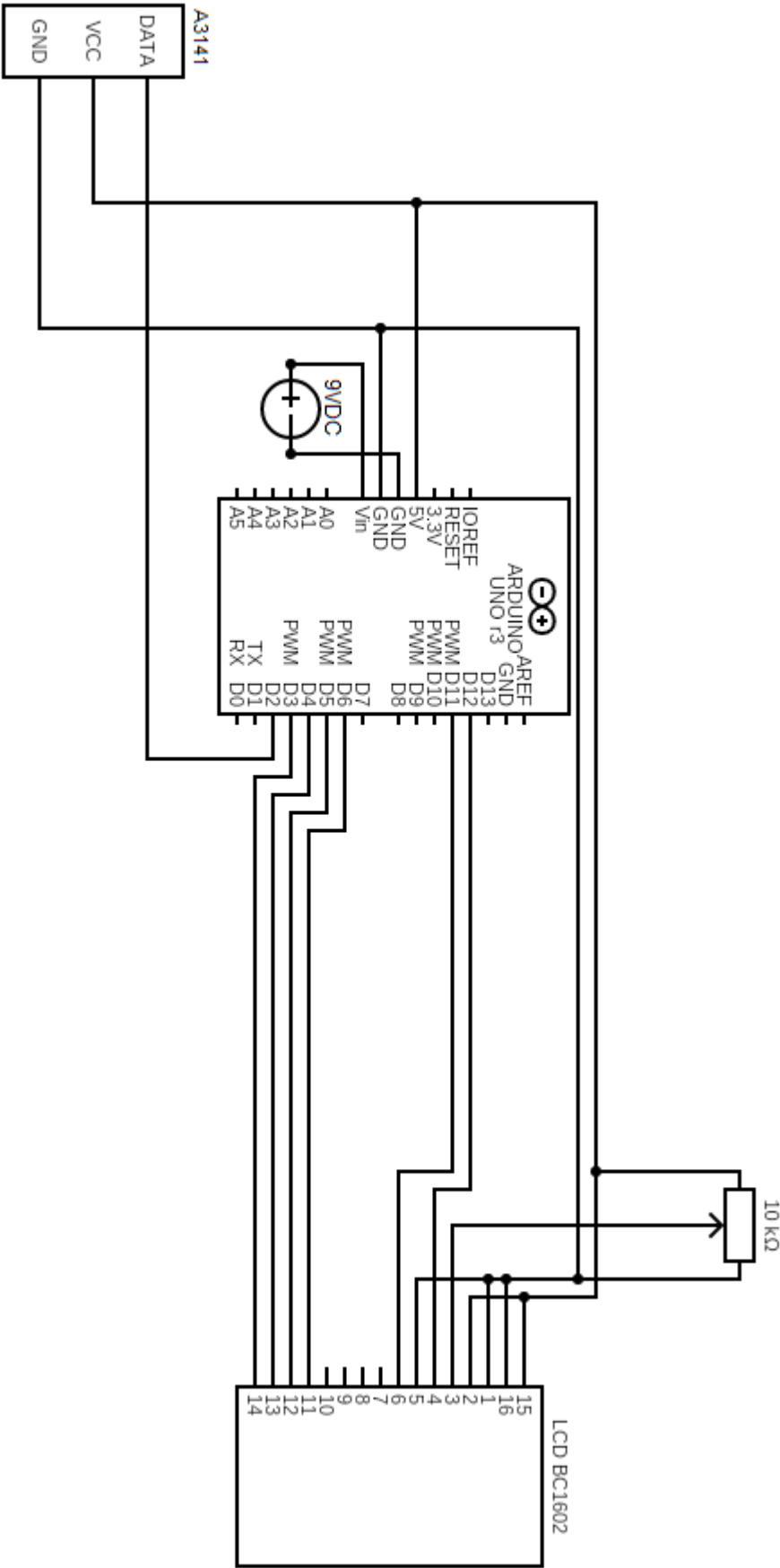


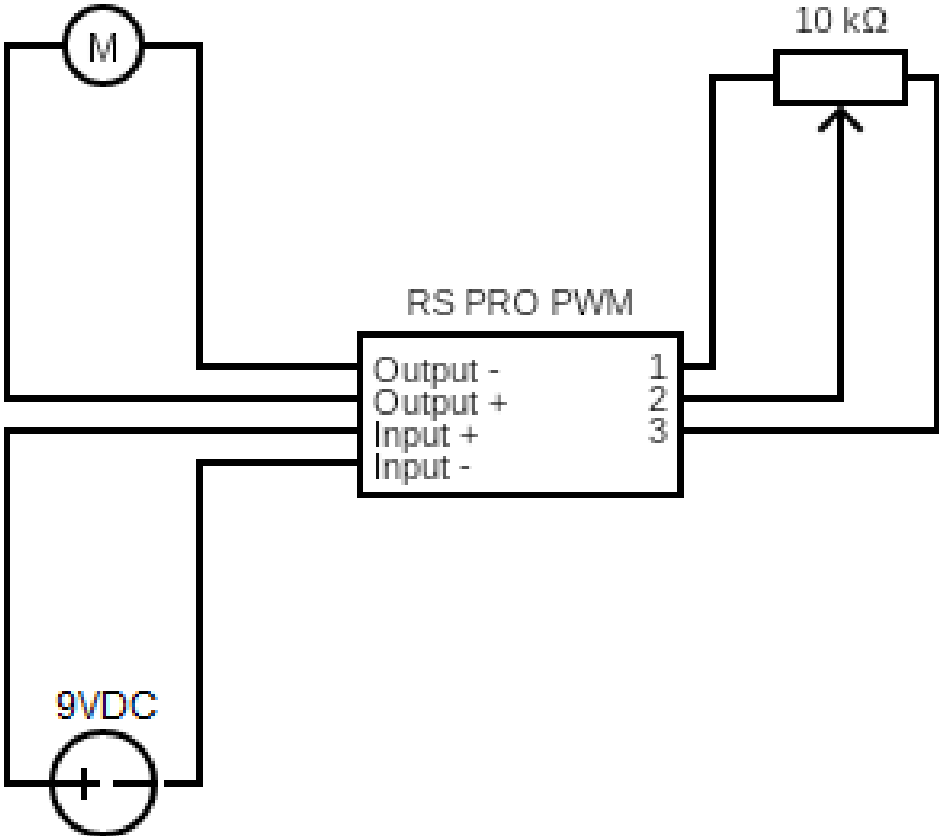
Rev	Muutos		Pvm	Suunnittelija
Yleistoleranssi	Mitakaasa	Tuote	Litty	Nimitys
ISO2768 C	1:2 A4	String Ray	Opinnäytetyö	Kannatinlevy, ylä
Piirt	Aku Koivumäki	1.6.2021		Piiustusnumero 2
Suun	Aku Koivumäki	1.6.2021		
Tark	Annukka Tyni	14.9.2021		
Hyv	Annukka Tyni	14.9.2021		
		Materiaali		
		PLA		

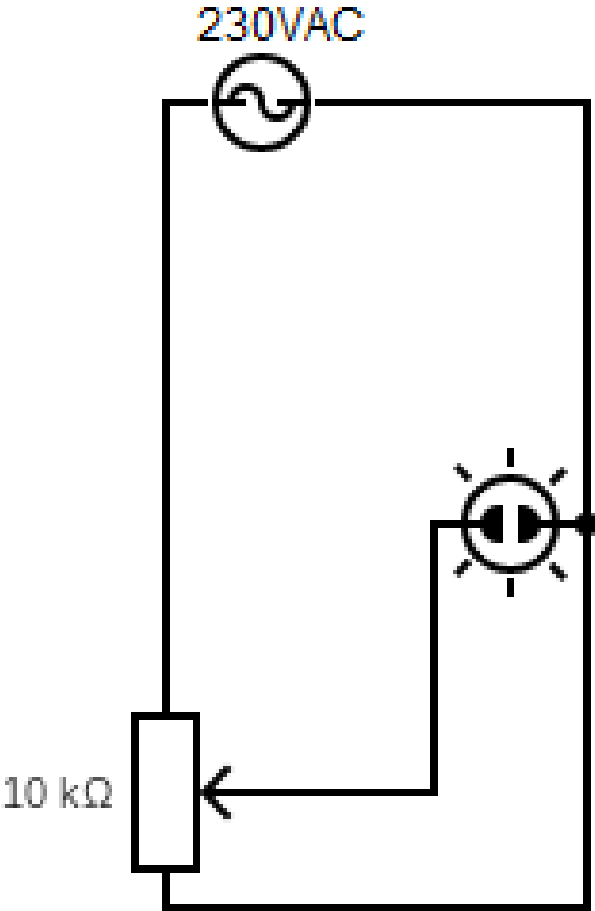


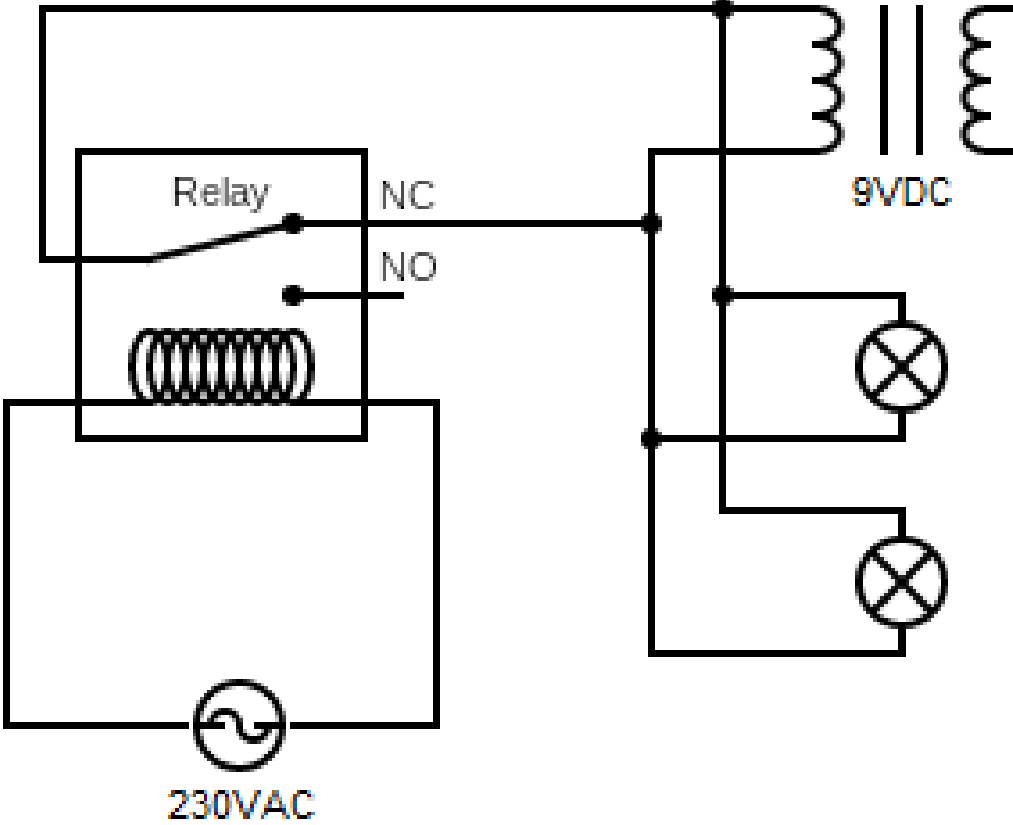













```
#include <LiquidCrystal.h>
#define DISPLAY_W 16 // Määritetään LCD-näytön leveys, 16 merkkiä
LiquidCrystal lcd(12, 11, 6, 5, 4, 3); // Määritetään LCD-näytön tulot mikro-ohjaimen

float revolutions=0; // Määritetään RPM alkutilassa nollassa
int rpm=0;
long startTime=0;
long elapsedTime;

void setup()
{
  pinMode(2, INPUT_PULLUP); // Määritetään pin 2 HALL-anturin tuloksi ja ylösvedoksi
                             // (=tulo on "ylätilassa" eli ykkönen silloin, kun liitäntään ei
                             // tule muuta signaalia)
  lcd.begin(16,2); // Määritetään näytön asetukset, tekstin paikka ja itse teksti,
                  // joka on "RPM"
  lcd.setCursor(5,0);
  lcd.print("RPM:");
  Serial.begin(9600);
}

void loop() { // Määritetään anturi laskemaan kierroksia sekunnin ajalta
              // (1000 millisekuntia)

  revolutions=0; rpm=0;
  startTime=millis();
  attachInterrupt(digitalPinToInterrupt(2),interruptFunction,RISING);
  delay(1000);
  detachInterrupt(2);

  elapsedTime=millis()-startTime;

  if(revolutions>0)
  {
    rpm=(max(1, revolutions) * 60000) / elapsedTime; // Itse laskutoimitus RPM laskemiseksi
```

```
    }  
    lcd.setCursor(5,0); // Piirtää lasketun RPM:n näytölle  
    String outMsg = String("RPM:") + rpm;  
    fillMessage2DisplayWidth(outMsg);  
    lcd.print(outMsg);  
    Serial.println(outMsg);  
}  
  
void interruptFunction()  
{  
    revolutions++;  
}  
  
void fillMessage2DisplayWidth(String & message) // Näytön tekstien formatointia  
{  
    if(message.length() < DISPLAY_W+1)  
    {  
        while(message.length() < DISPLAY_W)  
        {  
            message+=" ";  
        }  
        return;  
    }  
  
    message = message.substring(0, DISPLAY_W-1);  
}
```