

Valtteri Vesterbacka

Pilkkupanimon suunnittelu ja valmistus

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Kone- ja tuotantotekniikka

Insinöörityö

15.4.2017

Tekijä Otsikko	Valtteri Vesterbacka Pilkkupanimon suunnittelu ja valmistus
Sivumäärä Aika	60 sivua + 2 liitettä 15.4.2017
Tutkinto	Insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	Kone- ja tuotantotekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	Koneautomaatio
Ohjaajat	Kirjailija ja kustantaja Marko Vesterbacka Lehtori Heikki Paavilainen
<p>Tämä insinööri työ tehtiin kustannusliike Warelialle. Tavoitteena oli suunnitella ja valmistaa interaktiivinen fyysinen versio Pilkkupanimosta kuvataiteilija Mikko Ylisen tekemän Pilkkupanimo-julisteen pohjalta. Työ tehtiin markkinointi- ja opetustarkoitukseen.</p> <p>Työstä laadittiin aluksi konseptisuunnitelma, jonka pohjalta eri osiot suunniteltiin. Suunnitteluprosessiin kuului laitteen ulkoasun suunnittelu, laitteen yli 250 osan 3D-mallintaminen, elektroniikkasuunnittelu sekä ohjelmointi. Valmiiden suunnitelmien pohjalta valmistettiin 3D-tulostetut kappaleet, piirilevyt sekä muut elektroniikkaosat, kotelon puurakenne, akryyliset putkistot sekä muut laitteen osat.</p> <p>Insinööri työnsä lopputuloksena on valmis Pilkkupanimo-laite, joka on kiertänyt Warelian mukana kirjamesseilla, ollut osana Suomalaisen kirjan museo Pukstaavin päänäyttelyä sekä päässyt lehti- ja radiojuttuihin.</p>	
Avainsanat	Tuotesuunnittelu, 3D-tulostus, 3D-mallinnus, elektroniikkasuunnittelu, ohjelmointi, Arduino

Author Title	Valtteri Vesterbacka Design and Fabrication of Comma Brewery
Number of Pages Date	60 pages + 2 appendices 15 April 2017
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Mechanical Engineering
Specialisation option	Machine Automation
Instructors	Marko Vesterbacka, Writer and Publisher Heikki Paavilainen, Senior Lecturer
<p>This Bachelor's thesis was commissioned by the book publishing company Warelia. The objective of this Bachelor's thesis was to design and manufacture an interactive physical version of Comma Brewery, based on the artwork created by the visual artist Mikko Ylinen. This thesis was made for marketing purposes and teaching applications.</p> <p>The project was carried out by first making a concept design of the desired end result, on which the actual design process was based on. The design process included designing the exterior appearances of the device, 3D modeling of over 250 parts of the device, electronics design for the required functionality and programming an Arduino platform to run the electronics of the device. Based on the designs, parts for the device were 3D printed, the electronics boards were manufactured, a wooden case of the device was built and the acrylic pipelines and other various components were manufactured.</p> <p>As a result of this Bachelor's thesis, a finished Comma Brewery was manufactured. The Comma Brewery has been introduced at book fairs, has been displayed for six months in the main exhibition of Pukstaavi, a museum of Finnish books, and it has also been showcased in newspapers and radio shows.</p>	
Keywords	Product design, 3D printing, 3D modeling, electronics design, programming, Arduino

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Työn lähtökohdat	2
2.1	Pilkkuautomaatti	2
2.2	Pilkkupanimo	2
2.3	Vaatimukset	4
3	Suunnittelu	5
3.1	Konseptisuunnittelu	5
3.1.1	Ulkoasu	5
3.1.2	Käyttöliittymä	6
3.1.3	Putkistot	8
3.1.4	Kysymyslaitteet	9
3.1.5	Ohjausjärjestelmä	10
3.2	3D-tulostus	10
3.2.1	Menetelmän ominaisuudet	10
3.2.2	Tulostimen ja materiaalin valinta	11
3.2.3	FDM-tulostuksen rajoitteet mallintamisen lähtökohtana	12
3.3	3D-mallintaminen	13
3.3.1	Kysymyslaitteiden mallintaminen	13
3.3.2	Mekanismit	14
3.3.3	Blender-mallit	19
3.4	Elektroniikkasuunnittelu	22
3.4.1	Himmenninpiiri	22
3.4.2	Vilke-efekti ja muut led-valot	27
3.4.3	DC-moottoreiden ja servon ohjaus	29
3.4.4	Siirtorekisterien kytkentä	30
3.4.5	Piirikaavion ja piirilevyjen suunnittelu	34
3.5	Mikroprosessorin ohjelmointi	36
3.5.1	Painonappien ohjelmointi	37
3.5.2	Servo- ja DC-moottoreiden ohjaus	38
3.5.3	Siirtorekisterien käyttö	39

3.5.4	Tilakoneen ohjelmointi	41
3.6	Kotelon suunnittelu	43
4	Valmistus	45
4.1	3D-tulostaminen	45
4.2	Elektroniikan toteuttaminen	47
4.2.1	Piirilevyjen valmistaminen	47
4.2.2	Johdotus	48
4.3	Kotelon valmistaminen	50
4.4	Osien pintakäsittely	50
4.5	Putkistojen valmistaminen	52
4.5.1	Pienet putket ja tukirakenteet	52
4.5.2	Isot putket	53
4.6	Muiden osien valmistaminen	54
4.6.1	Valokyltit	54
4.6.2	Pullot	55
4.6.3	Ohjauspaneeli	56
5	Pilkkupanimo käytössä	57
6	Yhteenveto	58
	Lähteet	59
	Liitteet	
	Liite 1. Pilkkupanimon piirilevyt	
	Liite 2. Pilkkupanimon UML-kaavio	

Lyhenteet

3D	Kolmiulotteinen
CAD	Computer-aided Design. Tietokoneen käyttö apuvälineenä suunnittelu-työssä.
EL	Elektroluminesenssi. Luminesenssi-ilmiön alalaji, joka esiintyy tietyissä aineissa, jotka kykenevät emittoimaan valoa vahvassa sähkökentässä tai kun niiden läpi virtaa sähköä.
FDM	Fused deposition modeling. Lisäävä valmistusmenetelmä, jossa materiaalia lisätään kerros kerrokselta kolmiulotteisen kappaleen aikaansaamiseksi.
IDE	Integrated Development Environment. Ohjelma, joka tarjoaa työkaluja ohjelmointiin.
LED	Light emitting diode. Puolijohdekomponentti, joka säteilee valoa, kun sen läpi johdetaan sähkövirtaa.
PWM	Pulse Width Modulation. Pulssinleveysmodulaatio on modulointitapa, jossa signaalia säädetään muuttamalla sen päälläoloaika suhteessa värähtelyjakson pituuteen.

1 Johdanto

Kustannusliike Warelia on Marko Vesterbackan vuonna 2007 perustama kustannusliike, joka julkaisee erityisesti kielen- ja historian tutkimuksesta ammentavaa tietokirjallisuutta, kuten kotiseutukirjallisuutta, elämäkertoja ja yritystarinoita. Tämän lisäksi Warelian tuotteistoon kuuluvat myös erilaiset lahjatavarat ja kirjailijavarusteet. Yksi näistä on Vesterbackan keksimän pilkkuautomaatin loogisen kaavion ympärille ideoitu Pilkkupanimo-juliste.

Pilkkupanimo on syvähumoristinen laite, joka ohjaa soveltamaan suomen kielen pilkkusääntöjä mihin tahansa yksittäiseen pilkkutusongelmaan. Samalla se opettaa käyttäjälle pilkkusääntöjen monimutkaista mutta hallittavissa olevaa soveltamislogiikkaa.

Tämän työn tavoitteena oli suunnitella ja valmistaa fyysinen Pilkkupanimo kuvataiteilija Mikko Ylisen tekemän Pilkkupanimo-julisteen pohjalta. Laitteen on tarkoitus toimia kurioositeettina tapahtumissa, näyttelyissä, opetustilaisuuksissa yms. Insinööriyössä käytettiin 3D-tulostuksen, 3D-mallintamisen, elektroniikkasuunnittelun sekä ohjelmoinnin perusteita tuotteen suunnittelussa ja valmistuksessa.



Kuva 1. Valmis Pilkkupanimo

2 Työn lähtökohdat

2.1 Pilkkuautomaatti

Pilkkuautomaatti on Marko Vesterbackan suunnittelema looginen kaavio suomen kielen pilkkusääntöjen ymmärtämisen helpottamiseen. Vesterbacka oli töissä äidinkielen ja kirjallisuuden opettajana Vammalan lukiossa vuosituhaten vaihteessa ja pani merkille, kuinka moni, erityisesti matemaattisesti suuntautunut oppilas kommentoi suomen kieliopin pilkkusääntöjen epäloogisuutta. Näiden kommenttien myötä Marko Vesterbacka kehitti vuokaaviomallin pilkkusääntöjen käyttöön. Tämä vuokaavio sai nimekseen Pilkkuautomaatti. Pilkkuautomaatti löytyy edelleen alkuperäisessä muodossaan osoitteesta <http://pilkkuautomaatti.blogspot.fi/>.

"Pilkkuautomaatti miehille ja muille putkiaivoille 2.0" on ensimmäinen pilkkusääntöjen ymmärtämiseen kehitetty työkalu, jossa kaikki pilkkusäännöt on saatu pakattua 15 yksinkertaiseen "Kyllä/Ei"-kysymykseen. Pilkkuautomaatista on saatavilla sekä pdf- että PowerPoint-versio. Molemmat versiot ovat nähtävissä sekä ladattavissa edellä mainitusta linkistä.

2.2 Pilkkupanimo

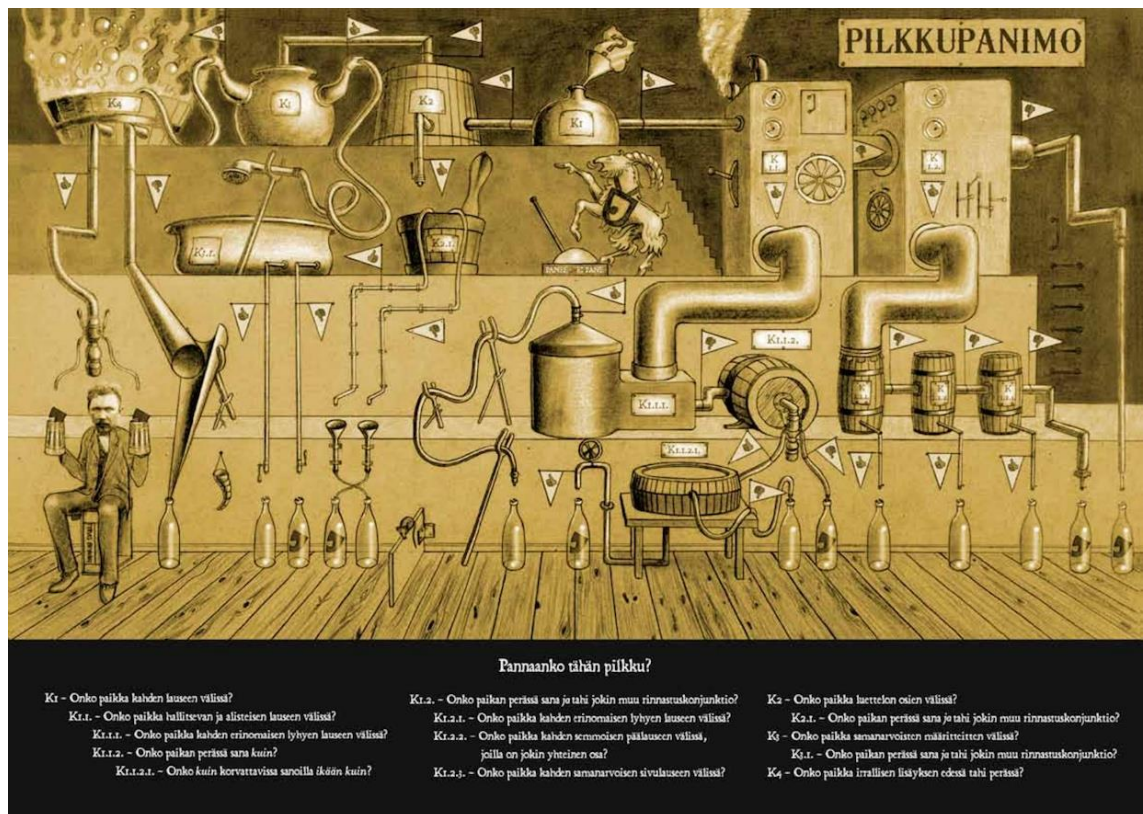
Marko Vesterbackan kustannusliike Warelia tarjoaa kustantamiensa kirjojen lisäksi myös kortteja, sisustusjulisteita sekä kirjailijavälineitä, kuten "Runoilijan maksuvälinekortin". Marko Vesterbacka halusi tuoda pilkkuautomaatin suuremman yleisön tietoisuuteen sekä osaksi Warelian tuotekokonaisuutta. Koska suuri osa Warelian tuotteista liittyy Tyrvään alueeseen, kulttuuriin ja murteeseen, oli Tyrvää täten omiaan myös teemaksi pilkkuautomaatille. Marko Vesterbacka keksi yhdistää vanhan tyrvääläisen, vuonna 1905 raittiusliikkeen toimesta lopetetun olutpanimon (Nälkälänmäen urheilusosiologian laitos 2016; Wikipedia 2016), Tyrvis Bryggerin (joka tyrvääläisten suussa kääntyi muotoon Tyrvään Pryki), sekä pilkun paikalleen panemisen. Tästä syntyi idea Pilkkupanimosta.

"Pilkkupanimo on syvähumoristinen mutta toimiva laite. Se ohjaa soveltamaan suomen kielen pilkkusääntöjä mihin tahansa yksittäiseen pilkutusongelmaan. Samalla se opettaa käyttäjälleen pilkkusääntöjen monimutkaista mutta hallittavissa olevaa soveltamislogiikkaa." (Kustannusliike Warelia 2016.)

Pilkkupanimon visuaalisen toteutuksen teki taiteilija Mikko Ylinen. Hän yhdisti kuvitteellisessa panimossa mahdollisesti käytettäviä laitteita Pilkkuautomaatin vuokaaviomalliin luoden siitä selkeän ja kiinnostusta herättävän kokonaisuuden.

Pilkkupanimossa pääosassa ovat panimon kattilat ja koneet, jotka vastaavat Pilkkuautomaatin kysymyksiä. Jokainen laite vastaa yhtä Pilkkuautomaatin kysymystä, eli pilkun panemisen prosessin vaihetta. Kysymykseen vastaamalla prosessi etenee seuraavaan vaiheeseen ja kysymykseen.

Tämän insinööriyön tavoitteena oli suunnitella ja valmistaa kustannusliike Warelialle interaktiivinen fyysinen versio Pilkkupanimosta Mikko Ylisen taideteoksen (kuva 2) pohjalta. Julisteen kysymykset suurennettuna taulukossa 1.



Kuva 2. Pilkkupanimo-juliste

Pannaanko tähän pilkku?
<p>K I ~ Onko paikka kahden lauseen välissä?</p> <p style="padding-left: 40px;">K I. I. ~ Onko paikka hallitsevan ja alisteisen lauseen välissä?</p> <p style="padding-left: 80px;">K I. I. I ~ Onko paikka kahden erinomaisen lyhyen lauseen välissä?</p> <p style="padding-left: 40px;">K I. I. 2 ~ Onko paikan perässä sana <i>kuin</i>?</p> <p style="padding-left: 80px;">K I. I. 2. I. ~ Onko <i>kuin</i> korvattavissa sanoilla <i>ikään kuin</i>?</p>
<p>K I. 2. ~ Onko paikan perässä sana <i>ja</i> tai jokin muu rinnastuskonjunktio?</p> <p style="padding-left: 40px;">K I. 2. I. ~ Onko paikka kahden erinomaisen lyhyen lauseen välissä?</p> <p style="padding-left: 40px;">K I. 2. 2. ~ Onko paikka kahden semmoisen päälauseen välissä, joilla on jokin yhteinen osa?</p> <p style="padding-left: 40px;">K I. 2. 3. ~ Onko paikka kahden samanarvoisen sivulauseen välissä?</p>
<p>K 2 ~ Onko paikka luettelon osien välissä?</p> <p style="padding-left: 40px;">K 2. I ~ Onko paikan perässä sana <i>ja</i> tai jokin muu rinnastuskonjunktio?</p> <p>K 3 ~ Onko paikka samanarvoisten määritteitten välissä?</p> <p style="padding-left: 40px;">K 3. I ~ Onko paikan perässä sana <i>ja</i> tai jokin muu rinnastuskonjunktio?</p> <p>K 4 ~ Onko paikka irrallisen lisäyksen edessä tai perässä?</p>

Taulukko 1. Pilkkupanimon kysymykset

2.3 Vaatimukset

Työn tekemiseen saatiin Warelialta varsin vapaat kädet, eikä valmiille tuotteelle asetettu kuin muutamia vaatimuksia:

- Pilkkupanimon tarkoituksena on olla näyttävä kuriositeetti, joka herättää ihmisten kiinnostuksen tapahtumissa, joissa laite on esillä.
- Laitteen koon tulee olla riittävän suuri huomion herättämiseksi, kuitenkin niin, että se on helposti kuljetettavissa näytteille kirjallisuusmessuille tai muihin tapahtumiin.
- Laitteen tulee olla niin helppokäyttöinen, että sen ensimmäistä kertaa näkevä henkilö pystyy ilman opastusta päättelemään, miten laitetta käytetään.
- Laitteen tulee myös olla varmatoiminen, niin että se voidaan jättää yleisön käyttöön koko päiväksi ilman valvonnan tai huollon tarvetta.

Näiden vaatimuksien pohjalta aloitettiin Pilkkupanimon suunnittelu.

3 Suunnittelu

3.1 Konseptisuunnittelu

Pilkkupanimon suunnittelu lähti liikkeelle pitkällisestä ideointiprosessista. Ideointivaiheessa pyrittiin selvittämään, mitä ominaisuuksia valmiilla tuotteella halutaan olevan, sekä arvioimaan, miten nämä ominaisuudet voitaisiin toteuttaa. Näihin ominaisuuksiin kuului mm.

- laitteen ulkoasu
- käyttöliittymä
- kysymysten välisten putkistojen toteutus
- kysymyslaitteiden toteutus
- ohjausjärjestelmän valinta.

3.1.1 Ulkoasu

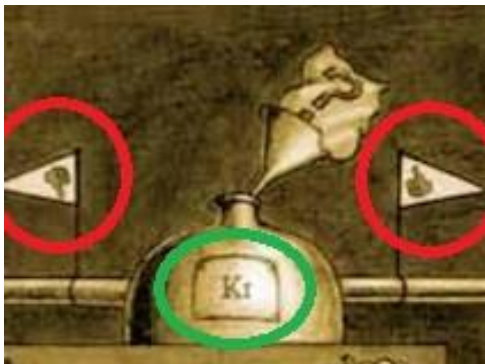
Laitteen tulisi vastata mahdollisimman tarkasti Mikko Ylisen Pilkkupanimo-julistetta (kuva 2). Tällä luotaisiin vaikutelma, jossa Pilkkupanimo-laite olisi se alkuperäinen versio, jonka pohjalta juliste on tehty. Laitteen yleisen ulkoasun tulisi sopia Tyrvään Prykin henkeen. Tämä saataisiin aikaiseksi mm. käyttämällä vanhan näköistä puuta, punaisia tiliä, kulunutta betonia, ruosteista metallia sekä teollisuuteen sopivia elementtejä.

Laitteen ulkomuodoksi kaavailtiin ohuehkoa seinälle ripustettavaa mallia. Tällöin laite olisi ikään kuin syvä kolmiulotteinen taulu. Ongelmaksi kuitenkin muodostui Pilkkupanimo-julisteessa oleva laitteen porrasmainen rakenne, jossa laitteen osat sijoittuvat neljään eri tasoon. Jotta laitteesta saataisiin riittävän ohut seinälle ripustettavaksi, täytyisi näiden tasojen olla suoraan toistensa yläpuolella, eikä porrastetusti kuten julisteessa. Tällöin laitteen putkien kulkureitit jouduttaisiin muuttamaan huomattavasti. Syntyisi myös riski, että osa laitteen osista jäisi pahasti ylempien kerrosten varjoon tai osittain putkien taakse piiloon. Lopulta laitteesta päätettiin tehdä seinälle ripustettavan sijaan pöydälle sopiva syvempi versio, jossa säilyisi julisteessa näkyvä porrastettu rakenne.

3.1.2 Käyttöliittymä

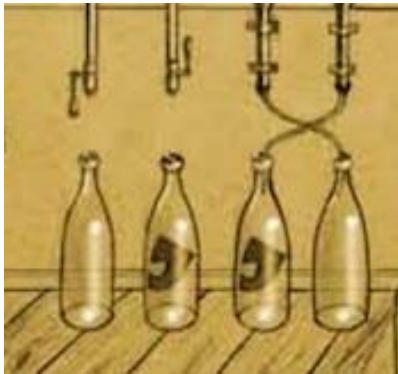
Koska Pilkkupanimo tulee yleisön käyttöön, täytyy sen käyttöliittymän olla selkeä ja helposti ymmärrettävä. Kaikki Pilkkupanimon käyttäjältä esittämät kysymykset ovat yksinkertaisia "Kyllä/Ei"-kysymyksiä. Vähimmäisvaatimuksena voidaan siis pitää kahta nappia, "Kyllä" ja "Ei". Käyttäjä saattaa kuitenkin vahingossa painaa väärää nappia tai ymmärtää kysymyksen väärin ja täten vastata väärällä tavalla. Tällöin on tärkeää, että käyttäjä voi tarvittaessa palata prosessissa taaksepäin korjatakseen virheensä. Koska pisinään kysymysten reitti ei kuitenkaan ole kuutta kysymystä enempiä, voidaan yksinkertaisuuden vuoksi käyttää vain yhtä "Aloita alusta" -nappia takaisin palaamiseen.

Käyttäjän tulee myös kyetä selkeästi näkemään, missä vaiheessa prosessia kussakin tilanteessa ollaan, eli mihin kysymykseen käyttäjä pyrkii vastaamaan. Senhetkisen kysymyksen ilmaisemiseksi kysymyslaitteessa olevan kysymyskoodin (kuva 3, ympyröity vihreällä) tulisi olla taustavalaistu. Tällä tavoin käyttäjä näkisi selkeästi, mihin kysymykseen hänen tulisi vastata. Vastaavasti myös senhetkisen kysymyksen vastausvaihtoehdot (kuva 3, ympyröity punaisella) olisivat taustavalaistuja. Prosessissa kuljetun reitin näyttämiseksi aikaisemmat valitut vastausvaihtoehdot jätettäisiin valaistuiksi.



Kuva 3. Kysymyslaitteen merkkivalot

Vastaavasti myös lopullisen vastauksen esittämisen tulisi olla selkeä, jotta käyttäjä tietää, tuleeko tämän laittaa kyseiseen virkkeen kohtaan pilkku vai ei. Vastauksen esittämiseksi julisteessa näytetään kaksi eri menetelmää. Ensimmäinen niistä on julisteen alareunassa näkyvät pullot. Mikäli prosessin loppuessa pullossa on pilkku, tulee tällöin kyseiseen virkkeen kohtaankin laittaa pilkku. Jos taas pilkku puuttuu, ei sitä myöskään virkkeen kohtaan laiteta. (Kuva 4.)



Kuva 4. Pilkkupanimon pullot

Toisena tapana julisteessa vastaus näytetään julisteen keskivaiheilla seisovan Tyrvään pukin avulla. Pukin edessä on iso vipu, jonka alareunassa lukee "PANEE" ja "EI PANE" (kuva 5). Käyttämällä esimerkiksi servomoottoria pukin edessä oleva vipu saataisiin prosessin lopussa liikkumaan osoittamaan oikeaa lopputulosta, antaen käyttäjälle näin toisen tavan nähdä laitteen tuottama vastaus.

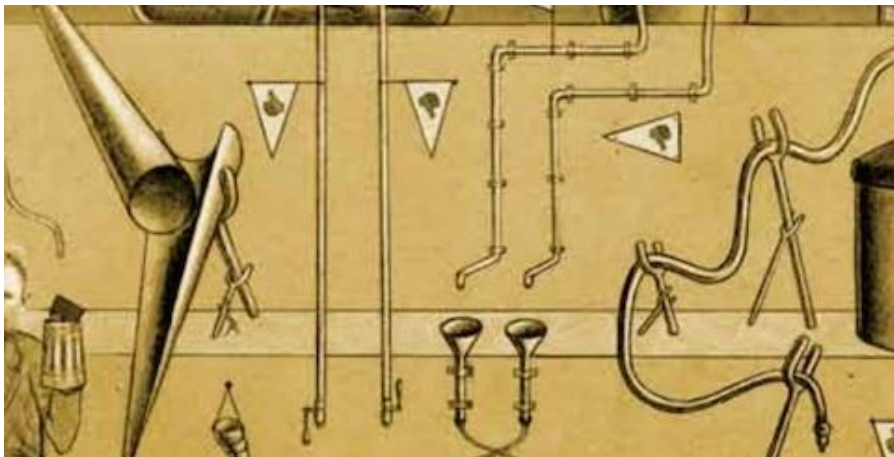
Vastauksen esittämiseksi pohdittiin myös jonkinlaisen näytön käyttämistä, joka kertoisi käyttäjälle lopputuloksen. Tästä ajatuksesta kuitenkin luovuttiin, koska teemaan sopivaa näyttötapaa ei löydetty, eikä sen tarpeellisuudesta oltu vakuuttuneita kahden muun jo olemassa olevan vastauksen esitystavan lisänä.



Kuva 5. Tyrvään pukki ja vipu

3.1.3 Putkistot

Pilkkupanimon putkistojen (kuva 6) toteutukseen mietittiin useita eri vaihtoehtoja. Ensimmäinen idea oli tehdä putkistot siten, että siellä liikkuisi neste eri kysymyslaitteiden välillä. Neste virtaisi putkistossa eteenpäin kysymyksestä toiseen prosessin edetessä. Tässä tapauksessa jokaisen kysymyksen molempiin haaroihin tarvittaisiin venttiilit, joiden avulla nesteen virtausta voitaisiin ohjata. Prosessin loppuun päästessä putkiston annettaisiin tyhjentyä laitteen sisällä piilossa olevaan säiliöön, josta se jälleen voitaisiin pumpata takaisin prosessiin uuden kysymyskierroksen alkaessa. Nesteen käytöstä putkistojen toteutuksessa kuitenkin luovuttiin, koska se olisi aiheuttanut käytännön ongelmia etenkin laitetta kuljettaessa sekä vaatinut enemmän vahtimista ja huoltoa. Jotta putket olisi saatu täytettyä ja tyhjenettyä nesteellä prosessin eri vaiheissa, täytyisi putkiston olla avoin järjestelmä, jossa ilma pääsisi virtaamaan vapaasti putkiin ja niistä pois. Tällöin laitetta kuljettaessa tulisi olla erityisen varovainen, ettei osa nesteestä loiskuisi pois laitteesta. Toisaalta laitteessa oleva neste ajan mittaan myös haihtuisi, joten nesteen pintaa olisi tarkkailtava säännöllisesti ja tarvittaessa laitteeseen olisi lisättävä nestettä.



Kuva 6. Pilkkupanimon putkistoja

Nesteen sijaan päädyttiin käyttämään valoja, joilla simuloitaisiin nesteen virtaus putkistossa. Kunkin putken valot päätettiin toteuttaa hitaasti syttyvänä ja hitaasti sammuvana, mikä loisi nesteen sisään ja ulosvirtaamista muistuttavan efektin. Putkien valaisuun pohdittiin kahta eri ratkaisua. Ensimmäinen vaihtoehto olisi käyttää putkien sisällä EL-lankaa. EL-langan kanssa putket voitaisiin tehdä ontoiksi ja sijoittaa lanka putken sisään sen koko matkalta. EL-lanka vaatii kuitenkin toimiakseen vaihtovirtaa, eikä sen himmentämiseen löytynyt riittävän yksinkertaista ratkaisua. Tästä syystä putkien valaisu päätettiin tehdä ledeillä. Ledien hyvinä puolina ovat niiden pieni energiantarve sekä helpompi

ohjattavuus. Ledien käyttö putkien valaisuun kuitenkin vaatii monimutkaisempia ratkaisuja kuin EL-lanka.

3.1.4 Kysymyslaitteet

Kysymyslaitteet sekä muut pienet ja monimutkaiset laitteen osat päätettiin valmistaa 3D-tulostamalla näyttämään mahdollisimman samalta kuin Ylisen taideteoksessa. 3D-tulostuksesta osana Pilkkupanimon valmistusta oli keskusteltu heti projektin alusta lähtien, joten sen käyttäminen vaikeiden osien valmistukseen oli selvää. Lisäksi suuri osa Pilkkupanimon osista oli muodoltaan niin monimutkaisia, ettei niiden valmistus muilla menetelmillä onnistuisi helposti (kuva 7).



Kuva 7. K3-kysymyslaite

Kysymyslaitteiden suunnittelussa tuli ottaa huomioon putkistojen sekä kysymyskoodien vaatimien LED-valojen kiinnitys. Lisäksi helpomman asennuksen takia kysymyslaitteiden tuli olla irrottavissa Pilkkupanimon muusta rakenteesta. Näihin molempiin asioihin mahdollisena ratkaisuna kysymyslaitteet voitaisiin suunnitella kahtena puolikkaana, tai monimutkaisempien kysymyslaitteiden kohdalla vieläkin useammasta osasta. Tällä helpotettaisiin kysymyslaitteiden sisään tulevien elektroniikkaosien asentamista sekä mahdollistettaisiin esimerkiksi muttereiden upottaminen kysymyslaitteiden pohjaan Pilkkupanimon runkoon kiinnittämistä varten.

3.1.5 Ohjausjärjestelmä

Ohjausjärjestelmän valinnassa tutkittiin pääasiassa harrastajien käytössä suosituksi tulleita mikrokontrollereita ja yhden piirilevyn tietokoneita. Näiden etuna teollisiin vaihtoehtoihin nähden on mm. halvempi hinta, helpompi saatavuus sekä harrastepiirien tekemien oppaiden määrä.

Eri vaihtoehtojen tutkimisen jälkeen päädyttiin valitsemaan neljän yleisimmän laitteen väliltä: Beaglebone Black, Raspberry Pi Model B, Teensy 2.0 ja Arduino Mega. Näistä sopivan järjestelmän valintaan vaikuttivat erityisesti helppo ohjelmitavuus, sisään- ja ulostulojen kokonaismäärä sekä PWM-ulostulojen määrä.

Beaglebone ja Raspberry Pi ovat molemmat yhden piirilevyn tietokoneita. Käyttöjärjestelmänä niissä on yleisimmin käytössä jokin Linux-variantti (esim. Ubuntu tai Rasbian). Arduino ja Teensy sen sijaan ovat mikrokontrollereita, jotka pyörittävät vain yhtä C-ohjelmointikieleen pohjautuvaa ohjelmaa silmukassa. Koska Pilkkupanimon ohjauksessa ei tarvita useita samanaikaisia ohjelmia, on mikrokontrolleri ohjauksen toteuttamiseen riittävä.

Näistä kahdesta mikrokontrollerista Teensy on nopeampi, ja sen erityisenä vahvuutena on suora yhteensopivuus tietokoneen syöttölaitteena. Arduino on kuitenkin saatavilla useammalla ulostulolla, ja sille löytyy valtava määrä valmiita ohjelmointikirjastoja sekä oppaita. Koska Arduino oli lisäksi helpommin saatavilla Pilkkupanimoa suunnitellessa, valittiin se Pilkkupanimon ohjausjärjestelmän pohjaksi.

3.2 3D-tulostus

3.2.1 Menetelmän ominaisuudet

3D-tulostus on materiaalia lisäävä valmistusmenetelmä, jossa materiaalia lisätään ohuina kerroksina siten, että muodostuu kolmiulotteinen kappale. 3D-tulostuksessa materiaalia voidaan lisätä joko materiaaliruiskutuksella, sideaineruiskutuksella, nesteen fotopolymeroinnilla, materiaalin pursotuksella, jauhepetimenetelmällä, suorakerrostuksella tai laminoimalla. (Vihinen 2015.)

3D-tulostuksella mahdollistetaan hyvinkin monimutkaisten kappaleiden valmistus, joita ei perinteisillä menetelmillä pystytä valmistamaan tai joiden valmistaminen muulla tavalla olisi erittäin kallista. 3D-tulostus on erityisen hyödyllistä tilanteissa, joissa tuotteet ovat kustomoituja tai tuotantosarjat lyhyitä. Muita hyötyjä ovat mm. kokoonpanon väheneminen, paikallinen valmistus, pienempi materiaalin kulutus sekä helpompi markkinoille tulo. Huonoina puolina mainittavimpia ovat laitteiden ja materiaalien, erityisesti metallien osalta, suhteellisen kalliit hinnat sekä huomattavan pitkät tulostusajat. Näin ollen 3D-tulostus on usein kannattavaa vain, jos tulostettavan tuotteen valmistaminen muilla tavoin esim. koneistamalla, ei ole helppoa. (VTT 2015.)

3.2.2 Tulostimen ja materiaalin valinta

Työssä käytettiin tulostettavien osien valmistukseen Ultimaker 2 3D-tulostinta. Ultimaker 2 hankittiin sen verrattain hyvän toimintavarmuuden, tarkkuuden sekä useiden positiivisten käyttäjäkokemusten perusteella. (3D Hubs 2014.) Ultimaker 2 on FDM-tulostin, eli sen toimintaperiaatteena on materiaalin pursotus.

FDM-tulostuksessa käytettävän materiaalin tulee olla termoplastista, jotta se voidaan kuumentaa ja pursottaa haluttuun muotoon. Tällaisia muoveja on 3D-tulostuskäyttöön saatavilla mm. ABS-, PLA-, nailon-, PET-, TPU- ja PC-muovi. (3D Hubs, 2014) Näistä kuitenkin saatavuuden sekä hinnan kannalta ainoat varteenotettavat vaihtoehdot olivat ABS- ja PLA-muovi. ABS on tuttu esimerkiksi Lego-rakennuspalikoista, ja se on yleisesti käytössä muun muassa kotitalous- ja konttoritarvikkeissa. PLA-muovi on vähemmän tunnettu biohajoava muovi, jota valmistetaan esim. maissitärkkelyksestä tai sokeriruo'osta. Näistä kahdesta valittiin PLA-muovi sen helpomman tulostettavuuden takia. ABS-muoville tyypillinen lämpölaajeneminen aiheuttaa ongelmia tulostettavan kappaleen mittatarkkuudessa sekä sen tarttumisessa tulostusalustaan. PLA-muovilla tämä ongelma on huomattavasti pienempi. PLA-muovin huonona puolena on sen biohajoavuus, jonka ei kuitenkaan tässä työssä pitäisi aiheuttaa merkittävää haittaa, koska kaikki osat maalataan ja ne ovat pääsääntöisesti suojattuna auringolta ja muilta hajottavilta tekijöiltä.

3.2.3 FDM-tulostuksen rajoitteet mallintamisen lähtökohtana

3D-tulostettavien kappaleiden mallinnuksessa on tärkeää ottaa huomioon 3D-tulostustekniikassa olevat rajoitteet. Koska käytetyssä tulostimessa muovi pursotetaan ohuina kerroksina tulostusalustalle tai edellisen kerroksen päälle, on tärkeää pitää huoli siitä, että jokainen tulostettava kerros pystyy kiinnittymään alempaan kerrokseen tai tulostusalustaan riittävän hyvin. Kappaleissa ei voi olla ulokkeita, jotka tulostuisivat ilmaan tyhjän päälle. Joissain tilanteissa tulostettava kappale sisältää väistämättä muotoja, jotka ovat tulostimelle vaikeita tuottaa. Tällöin kappale voidaan kääntää sellaiseen asentoon, että kriittiset osat saadaan tulostettua ilman suuria siltoja tai liian jyrkkiä tulostuskulmia. Mikäli optimaalista, kaikki osat hyvin tulostavaa, asentoa ei ole mahdollista saavuttaa, voidaan kappale asemoida niin, että vaikeat kohdat osuvat ei-kriittisiin paikkoihin.

3D-tulostuksessa tulee myös huomioida tulostimen tulostuspään suuttimen koko. Ultimaker 2 -tulostin käyttää oletuksena 0,4 mm:n suutinta, joka voidaan kuitenkin tarvittaessa vaihtaa niin pienempään kuin suurempaankin suuttimeen. Tässä työssä kuitenkin päädyttiin käyttämään vakiona olevaa 0,4 mm:n suutinta, koska se on toiminnaltaan varma ja tuottaa riittävän tulostustarkkuuden ilman tulostusajan suurta kasvamista ja koska tulostusohjelmisto Cura on sitä varten optimoitu. Tulostimen suuttimen koko vaikuttaa x-y-tasossa tulostuksessa käytettäviin seinämävahvuuksiin sekä tasossa olevien kerrosten tarkkuuteen. Seinämävahvuudeksi suositellaan aina käytettäväksi suuttimen koolla kerrottua vahvuutta. Tässä tapauksessa se tarkoittaa esimerkiksi 1,2 mm:n (3 x 0,4 mm) tai 2,0 mm:n (5 x 0,4 mm) seinämävahvuuksia. Suurissa seinämävahvuuksissa tällä ei kuitenkaan ole merkitystä, koska tulostusohjelmisto Cura osaa tehdä seinämiin yhden tai kahden kerroksen ulko- ja sisäseinät, joiden välin se täyttää siksak-kuviolla.

Tulostettavissa kappaleissa hyvän tulostusalustaan kiinnittymisen takaamiseksi ensimmäinen kerros tulee tulostaa hyvin lähelle tulostusalustaa. Tällöin ensimmäinen kerros puristuu paremmin tulostusalustaa vasten, mutta sen myötä ensimmäisestä kerroksesta tulee hieman muita kerroksia leveämpi. Mikäli tulostettavan osan on tarkoitus istua tiiviisti toisen osan sisään tai tulla alareunastaan kiinnitetyksi saumattomasti toista osaa vasten, täytyy tämä leveämpi ensimmäinen kerros siistiä esim. askarteluveitsellä ennen osien yhdistämistä.

3.3 3D-mallintaminen

Pilkkupanimon 3D-tulostettavat osat mallinnettiin Autodesk Inventorilla ja Blender Foundationin ilmaisella Blender-ohjelmalla. Blenderiä käytettiin orgaanisten muotojen (Tyrvään pukin sekä Eino Leinon) mallintamiseen, ja Inventoria muiden 3D-tulostettavien osien mallintamiseen. Yhteensä Pilkkupanimoa varten mallinnettiin noin 250 erilaista kappaletta.

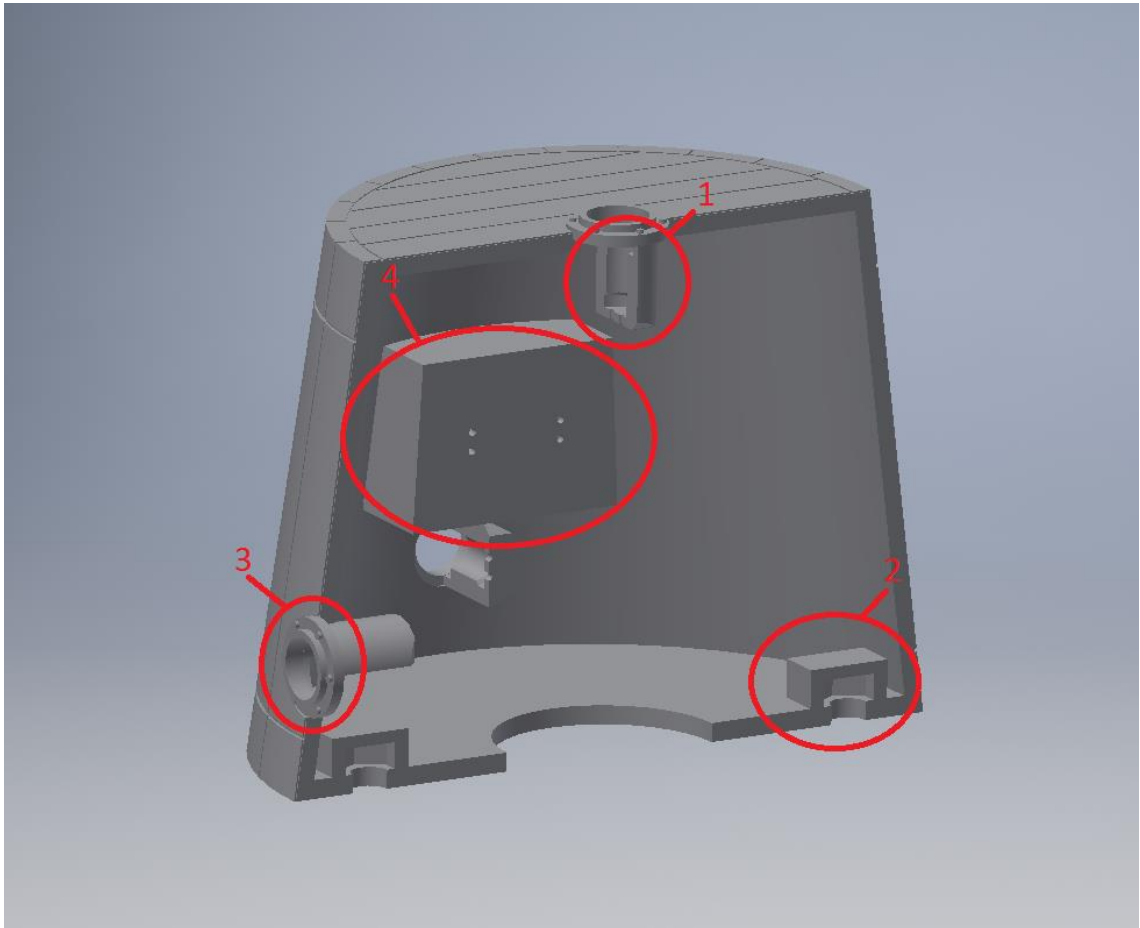
3.3.1 Kysymyslaitteiden mallintaminen

Kysymyslaitteita mallintaessa osien mitoituksessa käytettiin apuna Pilkkupanimo-julistetta. Julisteen leveys ja korkeus mitattiin, lopullisen Pilkkupanimon haluttu koko arvioitiin, ja näiden pohjalta laskettiin tarvittava kerroin, jonka avulla julisteesta otetut mitat kerrottaisiin lopullisen Pilkkupanimon osien mittoihin. Kerroin (k) laskettiin seuraavalla kaavalla, jossa l_J on julisteen leveys ja l_P lopullisen pilkkupanimon leveys:

$$k = \frac{l_P}{l_J} = \frac{900 \text{ mm}}{540 \text{ mm}} = 1,66$$

Kysymyslaitteita mallinnettaessa pyrittiin huomioimaan kappaleen 3D-tulostettavuus pitämällä seinämävahvuudet (etenkin ohuissa kappaleissa) tulostimen suuttimen monikerroina sekä huolehtimalla siitä, ettei kappaleeseen tule liian jyrkkiä ulokkeita tai pitkiä siltoja. Elektroniikka-asennuksen helpottamiseksi kysymyslaitteista mallinnettiin kaksi- tai useampiosaisia, jotta elektroniikkakomponentit ja johdotukset saataisiin paikoilleen ennen kappaleen osien liimaamista yhteen. Kysymyslaitteiden pohjiin mallinnettiin paikat M5-muttereille, joiden avulla ne kiinnitettäisiin Pilkkupanimon runkoon.

Kuvassa 8 on esitetty kysymyslaitteen K2 puolikas. Kuvassa näkyvät kysymyslaitteeseen mallinnetut muttereiden paikat (2) sekä kysymyslaitteeseen kiinnitettävät ledien ja putkien kiinnikkeet (1), kysymyslaitteen perusrunkoon nähden erivärisiksi maalattavat osat (3) ja kysymyslaitteen kyltin kotelo (4).

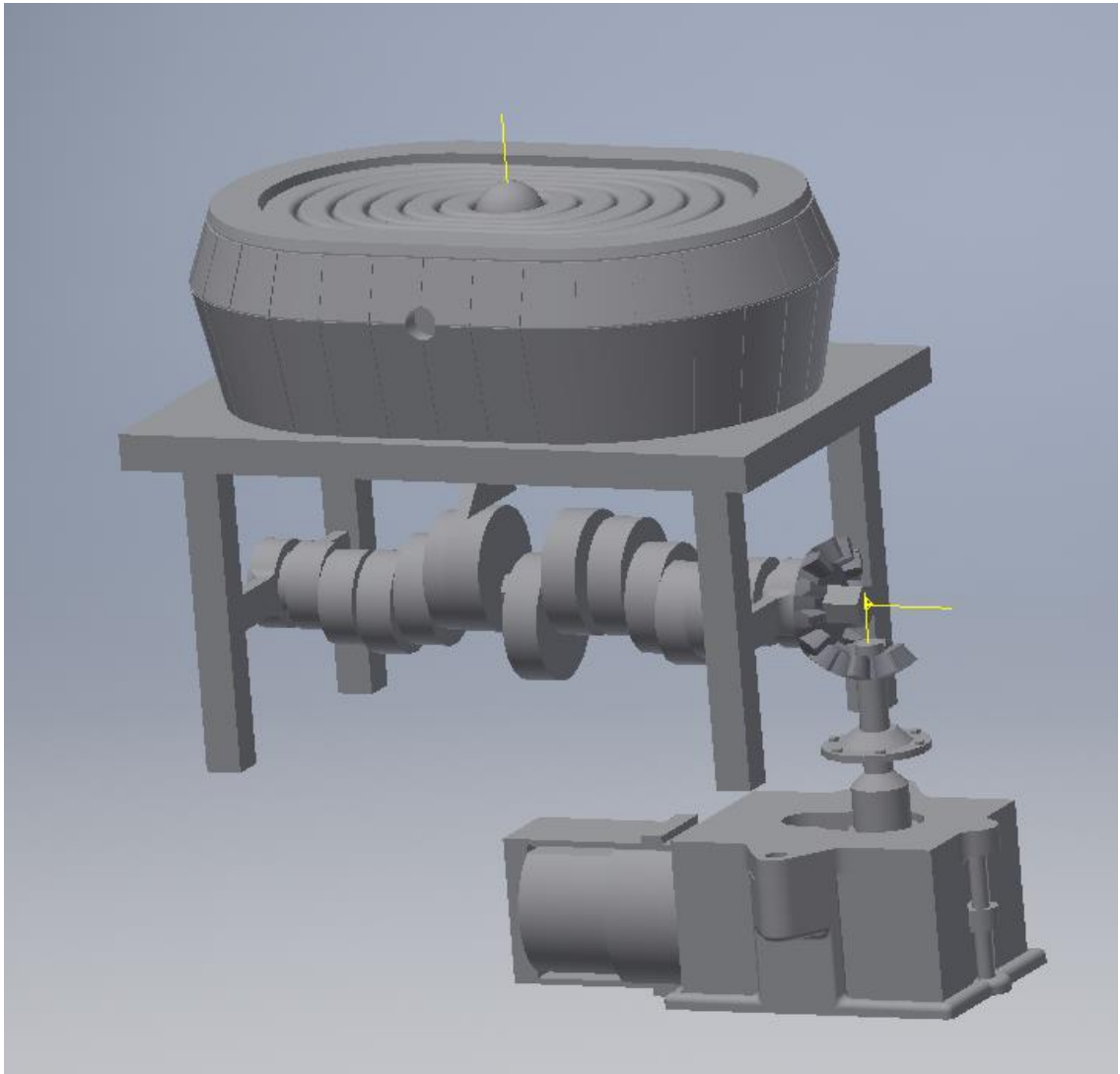


Kuva 8. K2-kysymyslaitteen puolikas

3.3.2 Mekanismit

Kysymyslaitteissa K1.1, K1.2 sekä K1.1.2.1 on valoeffektien lisäksi myös liikkuvia mekanisme. Näiden mekanismien mallintamisessa käytettiin hyväksi Inventorin kokoonpano-osiota, joka salli mekanismien osien kiinnittämisen toisiinsa siten, että ne voivat liikkua toistensa suhteen asetettujen rajoitteiden mukaan.

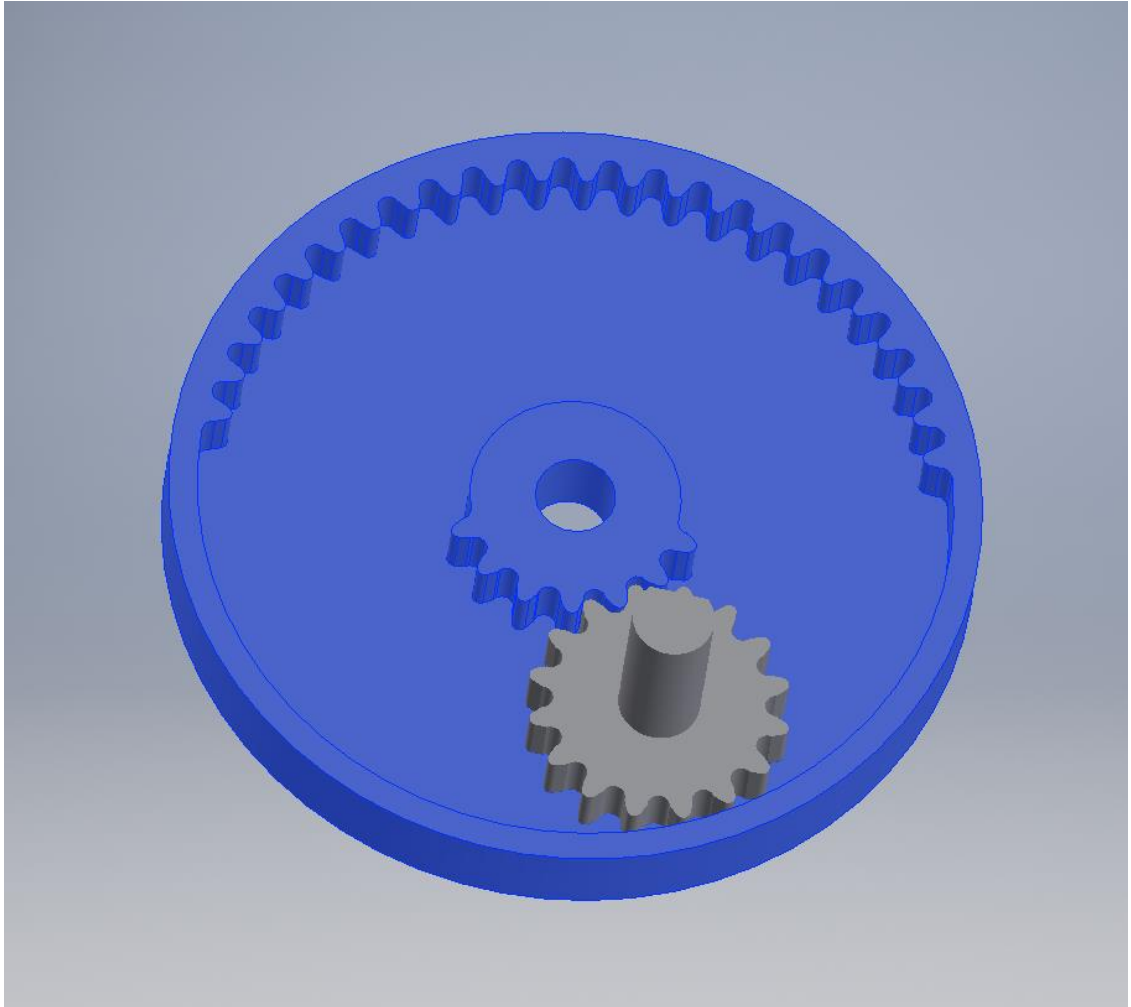
K1.1.2.1 laitteen vesipisaran aiheuttamaa aaltoilua simuloivaan mekanismiin saatiin inspiraatio Dean O'Callaghanin automaattista nimeltä Water Experiment No. 33. (O'Callaghan 2013.) (Kuva 9.)



Kuva 9. K1.1.2.1-kysymyslaite mekanismeimeen

Mekanismin keskipisteenä ovat kysymyslaitteen päällä näkyvät sisäkkäiset renkaat, jotka liikkuvat kampiakselin työntämien tappien mukana. Kampiakseli mallinnettiin 6-kulmaisesta tangosta ja siihen kiinnitettävistä epäkeskorenkaista. Varsinaisten kiertokankien sijaan kampiakselin epäkeskorenkaat työntävät suorita tappeja, joiden paluuliike tapahtuu painovoiman avulla. Koko mekanismia ajetaan Pilkkupanimon lattian alle kiinnitetyllä DC-moottorilla.

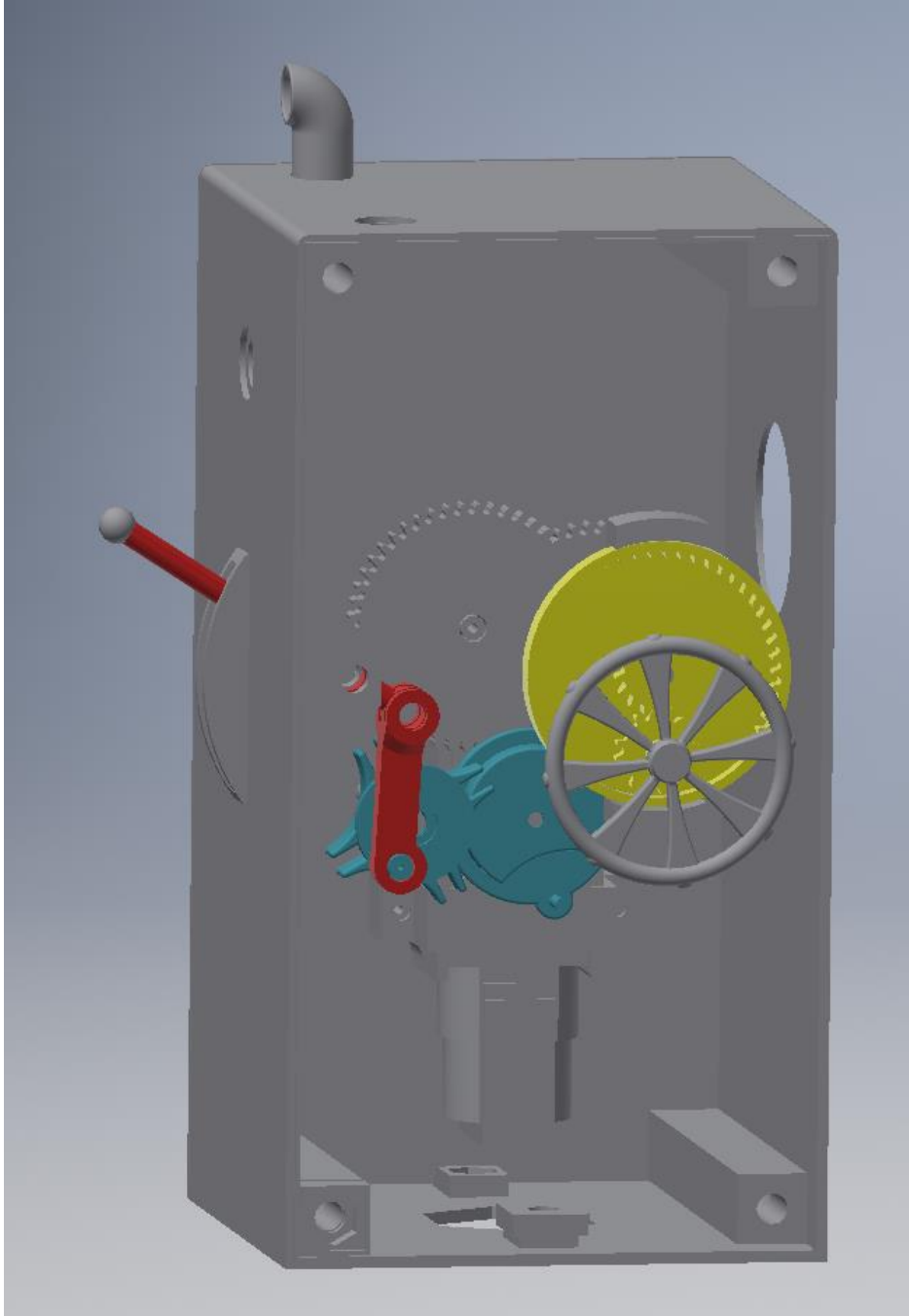
K1.1- ja K1.2-laitteiden sisällä on kummassakin useampia mekanisme. Kummassakin laitteessa toisena päämekanismi on suuntaa ja nopeutta vaihtava ratasjärjestelmä liitettyä kysymyslaitteissa oleviin pyöriin (kuva 10).



Kuva 10. Suuntaa vaihtava ratasjärjestelmä

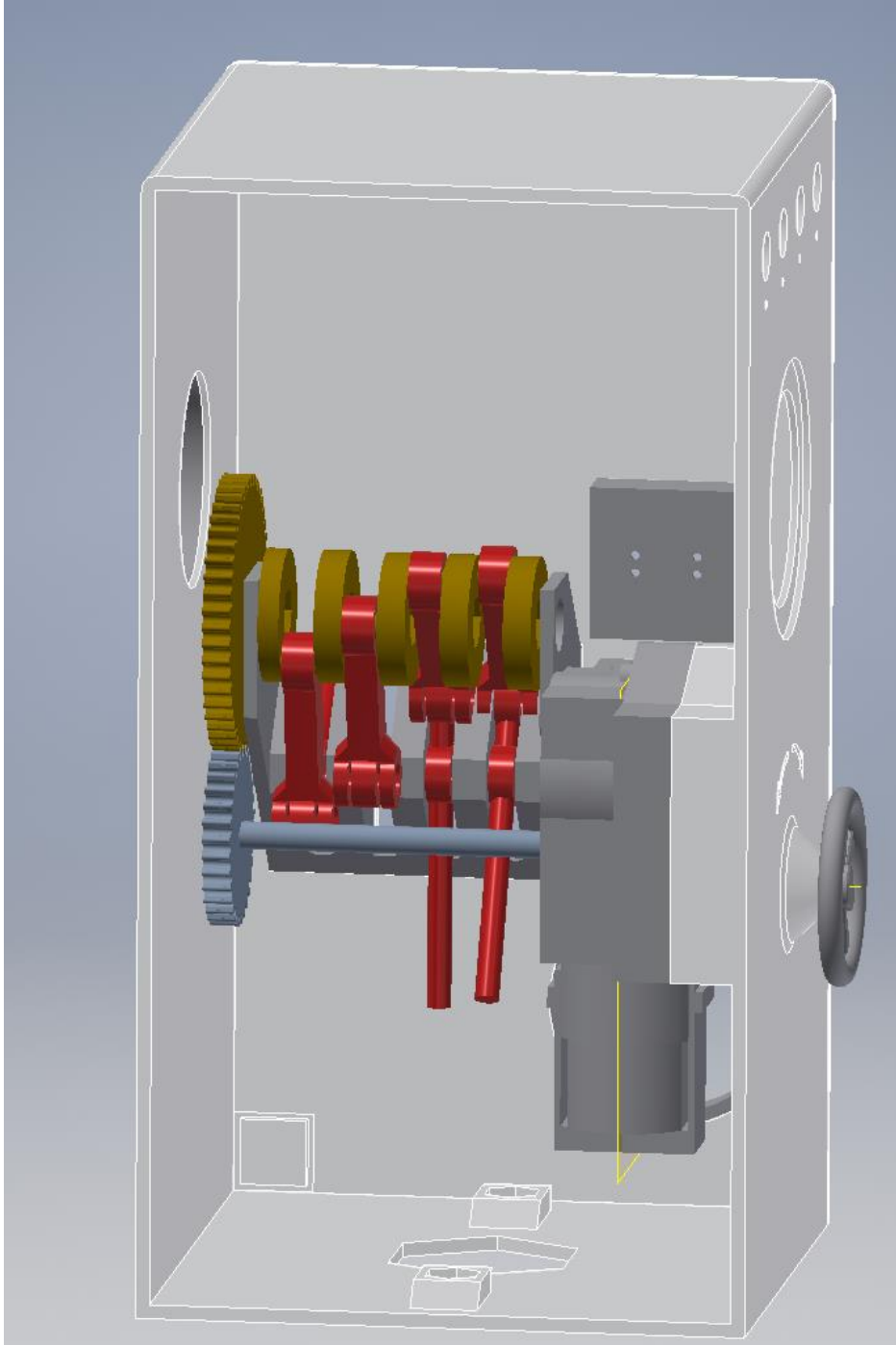
Suuntaa vaihtavassa ratasjärjestelmässä isommassa rattaassa on hampaita keskiosassa sekä ulko-osan sisäreunassa. Ison rattaan pyöriessä myötäpäivään pieni ratas pyörii vastapäivään ollessaan kosketuksissa keskiosan hampaisiin ja myötäpäivään ollessaan kosketuksissa ulkoreunan hampaisiin.

K1.1 laitteessa on lisäksi nelisiipinen ns. Geneve-mekanismi, joka ajaa laitteen kyljessä olevan vivun kampea. Mekanismi muuttaa moottorilta tulevan pyörivän liikkeen syklistiseksi, niin että laitteen kyljessä oleva vipu liikkuu neljäsosan liikeradastaan joka kerran, kun Geneve-mekanismia ajava pyörä pyörähtää yhden kierroksen. (Kuva 11.)



Kuva 11. K1.1-laitteen sisäiset mekaniisit. Geneve-mekanismi on merkitty sinisellä, suuntaa vaihtavat rattaat keltaisella ja vipu sekä vivun kamppi punaisella.

Kysymyslaitteessa K1.2 suunnanvaihtomekanismin lisäksi on kampiakseli, joka liikuttaa kysymyslaitteen etureunassa olevia vipuja aaltomaisessa liikkeessä. Kampiakseli on ratasvedolla liitetty vastakkaisessa seinässä olevaan suunnanvaihtomekanismiin, jota ajetaan niin ikään ratasvedolla DC-moottorilta. (Kuva 12.)



Kuva 12. K1.2-laitteen sisäiset mekanismit. Kiertokanget ja vivut on merkitty punaisella, kampiakseli keltaisella.

3.3.3 Blender-mallit

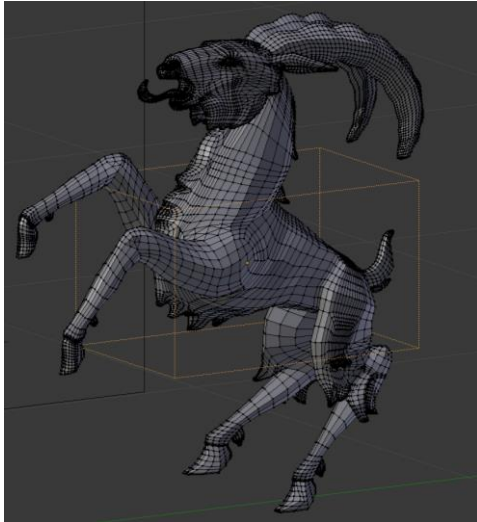
Blenderillä mallinnettavien kappaleiden mallintamisen apuna käytettiin YouTube-video-palvelusta löytyviä opastusvideoita, joissa esiteltiin vastaavien kappaleiden mallinnusprosesseja yksityiskohtaisesti.

Tyrvään pukin mallintamisessa oppaana käytettiin Jjannaway3D:n viisiosaista velociraptorin mallinnusvideosarjaa (Jjannaway3D 2011.). Mallintamisen referenssikuvana käytettiin Tyrvään vaakunaa (kuva 13). Mallintaminen aloitettiin tekemällä yksinkertainen matalapolygoninen versio pukin kropasta, käyttäen peilausmuunninta pukin pitämiseksi symmetrisenä. Koska Tyrvään pukista oli saatavilla referenssikuva vain sivusuunnasta, täytyi syvyysuuntaiset mittasuhteet arvioida silmämääräisesti. Yksityiskohtia lisättiin vähän kerrallaan jakamalla ja pursottamalla mallin polygoneja ja siirtelemällä yksittäisten polygonien kulmia tarkasti paikoilleen.



Kuva 13. Tyrvään vaakuna vuodelta 1950

Kun kaikki yksityiskohdat olivat halutunlaiset, peilausmuunnin otettiin pois käytöstä ja pukin jalkojen asentoja muutettiin vastaamaan vaakunassa näkyvää asentoa. Lopuksi pukki leikattiin kahdeksi puolikkaaksi 3D-tulostuksen helpottamiseksi. (Kuva 14.)



Kuva 14. Valmis Blender-malli, rautalankamalli näkyvissä

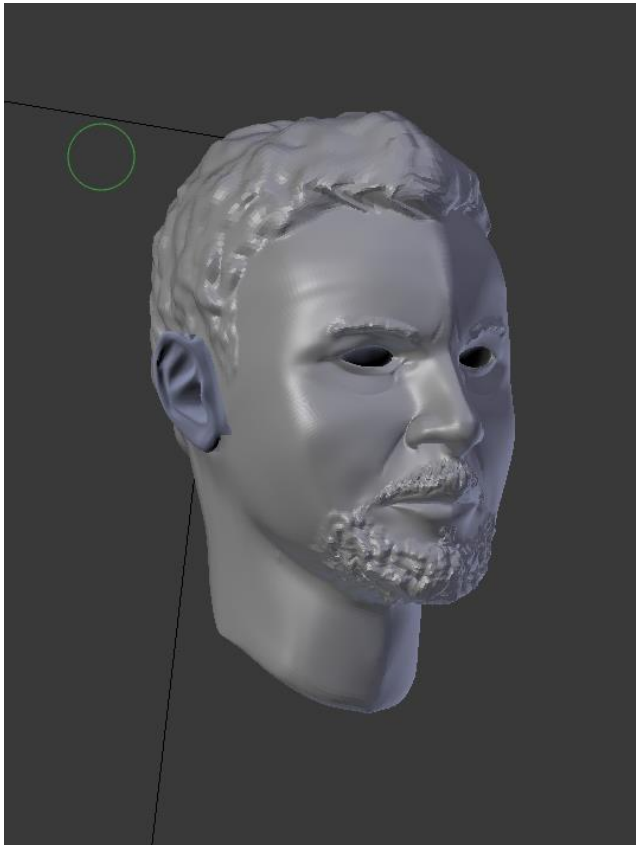
Eino Leinon mallintamisen pääasiallisena apuna oli Joshua Algerin video ihmiskasvojen mallintamisesta Blenderissä (Alger 2011). Referenssikuvien (kuva 15) löytäminen nuoresta Leinosta osoittautui kuitenkin vaikeaksi, mistä johtuen Leinon sivuprofiilin referenssiksi valittiin satunnainen kuva ihmiskasvoista, joiden piirteet muistuttivat hieman Leinon piirteitä.



Kuva 15. Eino Leinon mallintamisessa käytetty referenssikuva

Tyrvään pukin mallintamisesta poiketen Leinon päätä mallinnettaessa alkukohtana ei käytetty kolmiulotteista laatikkomallia, vaan tasoa, jota jaettiin ja venytettiin sopimaan Leinon kasvojenpiirteisiin, samalla sovittaen sitä syvyysuunnassa sivuprofiilireferenssiin. Tasoa muotoiltiin ensin karkeasti vastaamaan referenssejä, ja yksityiskohtia lisättiin pikkuhiljaa varoen turhaa monimutkaistamista.

Kun kasvonpiirteet ja pään muoto olivat halutulla tasolla, vaihdettiin editointimoodista muovailu/kuvanveistomoodiin, jossa muovaustyökaluilla lisättiin Leinolle hiukset sekä parta. Vaikka lopullisesta mallista (kuva 16) saatiinkin varsin inhimillisen näköinen, ei se suoraan sanottuna näytä erityisesti Eino Leinolta. Tähän vaikuttivat varmasti epäoptimaaliset referenssikuvat, mutta myös oma harjoituksen puute ihmiskasvojen piirtämisessä ja mallintamisessa. Niiden kasvonpiirteiden hahmottaminen, jotka tekevät ihmisestä juuri kyseisen ihmisen näköisen, vaatii selvästi enemmän harjoitusta kuin muuttaman ohjevideon katselun.



Kuva 16. Valmis malli Eino Leinon päästä

3.4 Elektroniikkasuunnittelu

Elektroniikkasuunnittelu aloitettiin hajottamalla tarvittavat toiminnot mahdollisimman pieniin osiin, suunnittelemalla osat erikseen ja yhdistämällä ne lopuksi yhdeksi piirikaavioksi. Tällä tavalla monimutkaisesta piirikaaviosta saatiin huomattavasti helpommin ratkaistava.

3.4.1 Himmenninpiiri

Putkistojen virtaavaa nestettä simuloiva ledien himmennys aiheutti elektroniikkasuunnittelussa eniten päänvaivaa. Koska valitussa mikrokontrollerissa olevien PWM-ulostulojen määrä ei riittänyt kaikkien ledien ohjaamiseen, jouduttiin ledien himmentäminen toteuttamaan eräänlaisella hidastuspiirillä, joita ohjattaisiin yksinkertaisilla ”on/off”-käskyillä mikrokontrollerilta.

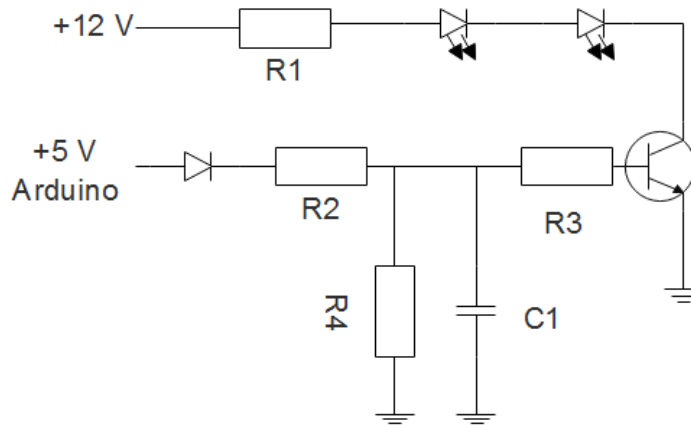
Piirin toimintaperiaatteena on transistorin käyttäminen säädettävänä etuvastuksena ledeille. Transistorin kantavirtaa saadaan säädettyä sen kanssa rinnankytketyn kondensaattorin avulla, joka ohjausvirran päällä ollessa varautuu hitaasti ja virran katkettua purkautuu hitaasti.

Piirin (kuvio 1) yläosassa näkyvät piirillä ohjattavat led-valot sekä niiden etuvastus R1. Vastuksen R1 arvo riippuu ledien määrästä (x) ja kynnysjännitteestä (U_{LED}), NPN-transistorin kollektorin ja emitterin välisestä jännitehäviöstä (U_{CE}), sekä ledeille halutusta virrasta (I_{LED}). (Linja-aho 2014.)

$$R_1 = \frac{12 V - x * U_{LED} - U_{CE}}{I_{LED}}$$

Piirin alaosassa on varsinainen himmenninpiiri. Kun Pilkkupanimon ohjelmassa ledit kytketään päälle, mikrokontrolleri kytkee piirin 5 V:n jännitteeseen. Tällöin kondensaattori C1 alkaa latautua vastuksen R2 kautta. Kondensaattorin napojen välisen jännitteen kasvaessa myös transistorin kannan ja emitterin välinen jännite (U_{BE}) kasvaa. Kun jännite U_{BE} on kasvanut yli transistorin kynnysjännitteen, siirtyy transistori aktiivitilaan, jolloin ledit alkavat loistaa. Kondensaattorin jännitteen edelleen kasvaessa transistori päästää

jatkuvasti enemmän virtaa lävitseen ja ledit loistavat kirkkaampina, kunnes transistori saapuu saturaatiotilaan ja ledit ovat kirkkaimmillaan.



Kuvio 1. Varhainen versio himmenninpiiristä

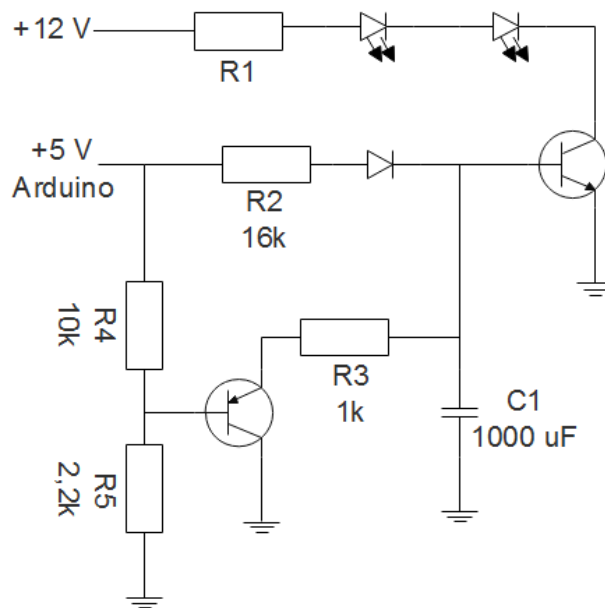
Mikrokontrollerin jännitteen kytkeytyessä pois päältä sama tapahtuu käänteisenä. Kondensaattori purkaa varauksensa vastuksen R4 läpi aiheuttaen ledien himmentymisen. Varauksen pudottua riittävästi transistori siirtyy suljettuun tilaan eikä ledien läpi enää kulje virtaa. Vastuksen R2 ja Arduino-signaalin välissä oleva diodi estää kondensaattorin purkuvirran pääsyn mikrokontrollerille.

Himmenninpiirin varautumisen nopeutta voidaan muuttaa vastusten R2 ja R3 avulla, ja sen purkunopeutta vastuksen R4 avulla. Vastukset R2 ja R4 muodostavat keskenään jännitteenjakajan, mikä tulee ottaa huomioon vastuksia mitoittaessa. Mikäli R4:n arvo on liian korkea R2:n suhteen, ei transistorin kannan ja emitterin välinen jännite riitä avaamaan transistoria.

Piirin suunnittelussa käytettiin apuna Autodeskin ilmaista selainpohjaista Autodesk Circuits -ohjelmaa, jonka avulla piirin toimintaa voitiin simuloida. Simulointiohjelmalla voitiin turvallisesti kokeilla piirin toimintaa vastusten R2, R3 ja R4 sekä kondensaattorin C1 eri

arvoilla. Sopivien arvojen löytäminen ei kuitenkaan sujunut halutulla tavalla, koska piirissä päällekytketymistä muuttaessa myös himmentyminen muuttuu, eikä molemmille samaan aikaan sopivaa arvoa löytynyt.

Saman ongelman kanssa työskennelleitä suunnittelijoita on ollut onneksi muitakin, ja ratkaisu löytyi kuviossa 2 näytetyistä muutoksista. (Lazaridis 2010.)



Kuvio 2. Himmenninpiirin lopullinen kaavio

Piiriä on muutettu niin, että kondensaattorin purku ja lataus on erotettu toisistaan. 5 V:n signaalin ollessa kytkettynä päälle kondensaattorin lataukseen vaikuttaa pelkästään vastus R2. Tällöin latauksen aikavakio (τ) voidaan laskea $\tau=C_1 \cdot R_2$.

Kondensaattorin purkautuminen sen sijaan tapahtuu vastuksen R3 ja PNP-transistorin kautta, kun 5 V:n signaali on pois päältä. Vastuksien R4 ja R5 avulla saadaan aikaiseksi jännitteenjakaaja, joka pitää huolen siitä, ettei PNP-transistori päästä virtaa 5 V:n signaalin ollessa päällä. Kun signaali kytketään pois ja kondensaattoriin C1 on varautunut virtaa, aukeaa PNP-transistori ja päästää kondensaattoriin varautuneen virran purkautumaan vastuksen R3 läpi.

PNP-transistorin U_{BE} kynnysjännitteen (noin 0,6 V) takia kondensaattori ei kuitenkaan purkaudu kokonaan (vuotovirtaa lukuunottamatta). Tästä syystä käyttötauon jälkeen en-

simmäinen lataus vie hieman pidempään kuin seuraavat lataukset, joissa kondensaattorissa on jo pieni lataus jäljellä. Testauksissa tämä kuitenkin todettiin merkitykseltään niin pieneksi, ettei sen muuttaminen ollut tarpeen.

Piirissä käytetyt transistorit valittiin niiden virtavahvistuskertoimen (H_{FE}), suurimman sallitun kollektorivirran ($I_{C_{MAX}}$) ja kollektori-emitteri-jännitteen (U_{CEO}) sekä saatavuuden perusteella. NPN-transistoriksi valittiin BC547 ja PNP-transistoriksi BC557.

Testausten perusteella sopivaksi kondensaattorin kapasitanssiksi valittiin 1 000 uF. Sillä mahdollistettiin riittävän hidas latausaika, pitäen samalla kondensaattorin hinta alhaisena.

Latausvastuksen R2 arvo laskettiin käyttäen 1 s:n latausaikaa lähtöjännitteestä 0,6 V (BC557-transistorin aiheuttama alkulataus kondensaattorilla) jännitteeseen 0,9 V (BC547-transistorin saturaatiojännite ledeille käytetyillä virroilla) 4,4 V:n latausjännitteellä (Arduino-signaali – diodin kynnyksjännite):

$$V = V_0 \left(1 - e^{-\frac{t}{RC}}\right) \Rightarrow \frac{V}{V_0} = 1 - e^{-\frac{t}{RC}} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \frac{0,9 V - 0,6 V}{4,4 V} = 1 - e^{-\frac{t}{RC}} \Rightarrow e^{-\frac{t}{RC}} = 0,932$$

$$\Rightarrow \frac{t}{RC} = 0,070 \Rightarrow R = \frac{t}{0,070 * C} = \frac{1 s}{0,070 * 0,001 F} = 14 285 \Omega$$

Purkuvastuksen R3 arvoksi laskettiin 1 s:n purkuajalla 0,9 V:sta 0,6 V:iin:

$$V = V_0 \left(1 - e^{-\frac{t}{RC}}\right) \Rightarrow \frac{V}{V_0} - 1 = -e^{-\frac{t}{RC}}$$

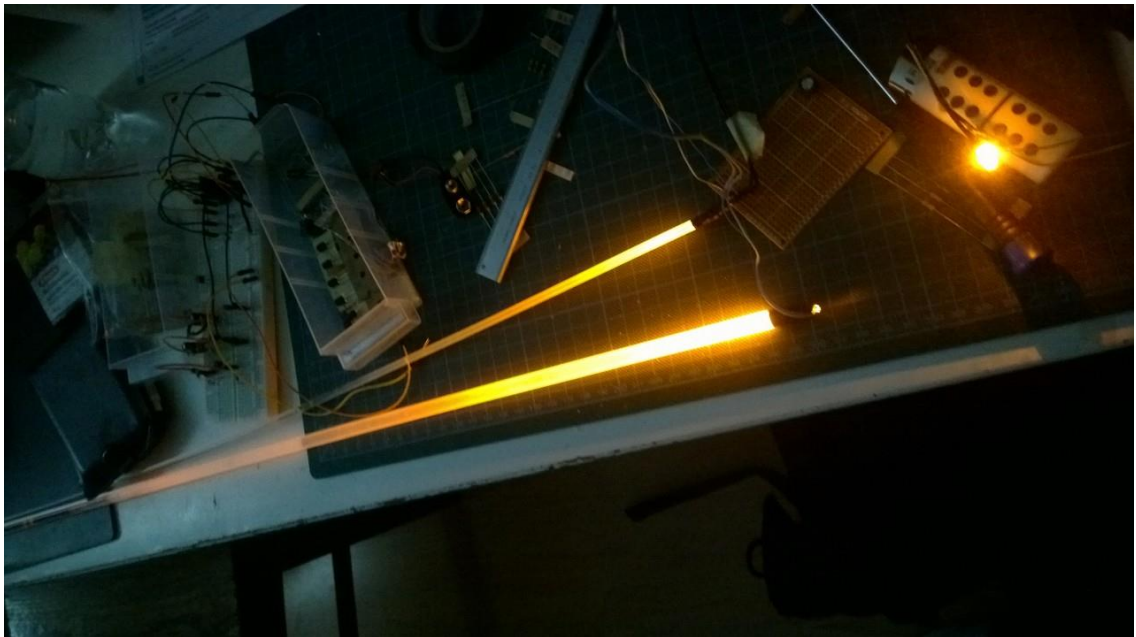
$$\frac{0,6 V}{0,9 V} - 1 = -e^{-\frac{t}{RC}} \Rightarrow 0,333 = e^{-\frac{t}{RC}}$$

$$\Rightarrow 1,10 = \frac{t}{RC} \Rightarrow R = \frac{t}{1,10 * C} = \frac{1 s}{1,10 * 0,001 F} = 909,9 \Omega$$

Jännitteenjakajan vastusten R4 ja R5 arvot valittiin siten, ettei PNP-transistori päästä kondensaattoria purkamaan signaalin ollessa päällä. PNP-transistorin kannalle valittiin jännitteeksi 0,9 V, joka varmistaa, ettei PNP-transistori avaudu edes NPN-transistorin ollessa saturaatiotilassa. Vastuksen R4 arvoksi valittiin 10 kOhm, jolloin mikrokontrolleerilta otettava virta pysyy turvallisen pienenä. Täten vastuksen R5 arvoksi saadaan:

$$U_5 = R_5 \frac{U}{R_4 + R_5} \Rightarrow R_5 = \frac{U_5 * R_4}{U - U_5} = \frac{0,9 V * 10000 \Omega}{5 V - 0,9 V} = 2195 \Omega$$

Tarvittavien ledien määrä testattiin liittämällä ledit putkina käytettävien akryylitankojen päihin ja mittaamalla, kuinka pitkän matkan akryylitankoa ledit valaisivat tehokkaasti (kuva 17). Näin selvitettiin, kuinka monta lediä kukin Pilkkupanimon putkista tarvitsi, ja arvioitiin, mihin putken kohtiin ledit tulisi sijoittaa.



Kuva 17. Ledin valaisuteho akryylitangossa

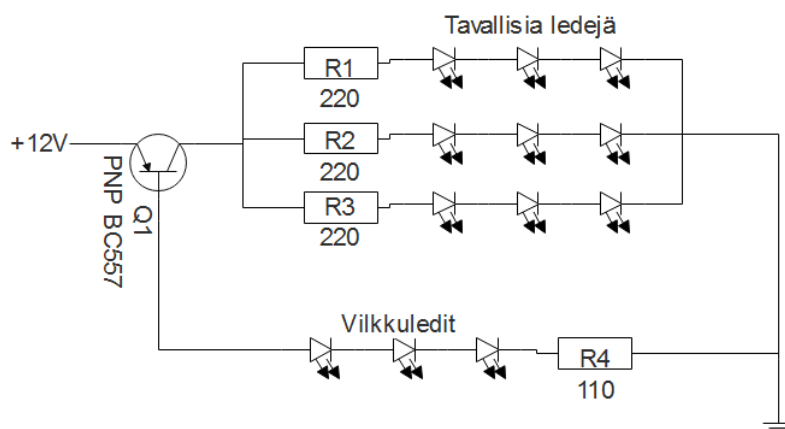
3.4.2 Vilke-efekti ja muut led-valot

K4-kysymyslaitteen kuplivan altaan (kuva 18) simulointiin valittiin sähkökynttilöistä löytyviä vilkkuvia led-valoja. Vilkkuledit ovat ulkoisesti täysin tavallisen 5 mm:n ledin näköisiä, mutta erona näissä led-valoissa on sisäänrakennettu mikropiiri, joka vilkuttaa lediä näennäisesti satunnaiseen tahtiin, simuloiden oikean liekin liikkeitä.



Kuva 18. K4-kysymyslaite

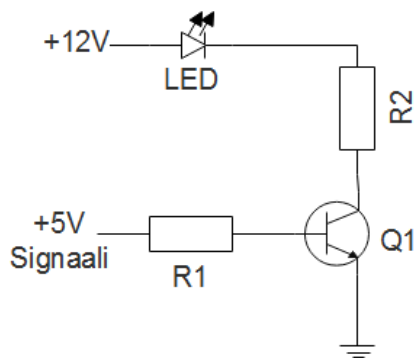
Erityisen mielenkiintoisia vilkkuledeistä tekee se, että niiden mikropiiri ohjaa ledin vilkkumisen lisäksi myös koko vilkkuledin kantojen läpi kulkevaa virtaa. Toisin sanoen vilkkuledin toimintaa voi mitata esimerkiksi oskilloskoopilla suoraan ledin anodin ja katodin väliltä. Tämä mahdollistaa myös ledin käyttämisen muiden kuormien ohjaamiseen yhdessä PNP-transistorin kanssa. (Oskay 2011.) Pilkkupanimossa käytetty vilkepiiri on esitetty kuviossa 3.



Kuvio 3. Vilkepiiri

Kyseinen piiri mahdollistaa erilaisten ledien synkronoimisen vilkkuledien kanssa. Pilkkupanimon tapauksessa oranssien vilkkuledien kanssa käytettiin punaisia ja oransseja ledejä. Piiriä suunniteltaessa huomattiin, ettei kyseisellä PNP-transistorilla (Q1) yksittäinen vilkkuledi kyennyt ajamaan kuin muutamaa tavallista lediä. Useamman vilkkuledin lisäys sarjaan kuitenkin auttoi vahvistamaan vilkkuledien signaalia isomman ledimäärän ohjauksiksi.

Vilkepiirin sekä Pilkkupanimon muiden ledien ohjauksessa käytettiin NPN-transistoreita kytkimenä. Arduino-mikroprosessorissa yksittäisen I/O-pinnin maksimivirta on 40 mA ja kaikkien I/O-pinnien yhteenlaskettu maksimivirta on 200 mA (Wolf 2013). Koska Pilkkupanimossa on yhteensä yli 200 led-valoa, kolme DC-moottoria sekä yksi servomoottori yhdistettynä Arduinon ulostuloihin, täytyy jokaista yksittäistäkin lediä ohjata transistorin kautta ulostulojen virrantarpeen minimoimiseksi (kuvio 4).



Kuvio 4. Led-valojen ohjaus

Riippuen led-valojen määrästä ja niiden virrantarpeesta NPN-transistoriksi (Q1) valittiin joko BC547 (max 100 mA) tai 2N2222 (max 800 mA). Vastuksen R1 arvoksi valittiin 2 kOhm, jolloin sen läpi kulkevan signaalivirran arvoksi saadaan:

$$U = R_1 I \Rightarrow I = \frac{U}{R_1} \Rightarrow I = \frac{5 V}{2000 \Omega} = 2,5 mA$$

Pilkkupanimossa on tällaisia led-paketteja yhteensä 44 kpl, jolloin ne vievät kokonaisuudessaan noin 110 mA ollessaan yhtä aikaa päällä.

Ledien etuvastus R2 laskettiin himmenninpiirissäkin käytetyllä kaavalla, jossa x on ledien lukumäärä ja U_{kok} on syöttöjännite miinus ledien ja transistorin yhteensä kuluttama jännite:

$$U_{kok} = R_2 I \Rightarrow R_2 = \frac{U_{kok}}{I} \quad R_2 = \frac{12 V - x * U_{LED} - U_{CE}}{I_{LED}}$$

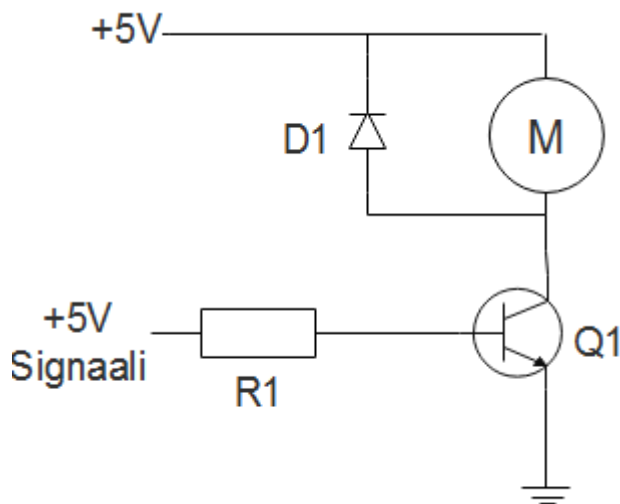
Täten esimerkiksi kolmelle valkoiselle led-valolle saadaan etuvastuksen R2 arvoksi:

$$R_2 = \frac{12 V - 3 * 3,5 V - 0,6 V}{0,020 A} = 45 \Omega$$

Tällöin lähin standardivastus ylöspäin pyöristettynä on 47 Ohm.

3.4.3 DC-moottoreiden ja servon ohjaus

Kysymyslaitteissa K1.1, K1.2 ja K1.1.2.1 käytettävien DC-moottoreiden ohjaus toimii pääpiirteittäin samalla tavalla kuin led-valojen ohjauskin. Moottoria ohjataan NPN-transistorin kautta, joka saa signaalinsa Arduinon ulostuloilta (kuvio 5).

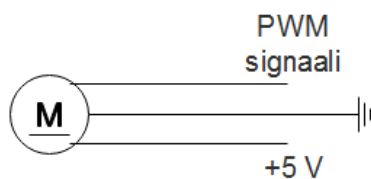


Kuvio 5. DC-moottorin ohjaus

DC-moottoreiden halutun pyörimisnopeuden hitauden takia moottoreita käytetään 5 V:n jännitteellä, ja nopeutta hidastettiin edelleen PWM-ohjaussignaalin avulla. Vastuksen R1

arvona käytettiin samaa 2 kOhm kuin ledienkin ohjauksessa. NPN-transistoriksi (Q1) valittiin 2N2222 virrankeston varmistamiseksi. DC-moottoreiden käämien induktanssi tuottaa piiriin jännitepiikin moottorin pyörimisnopeuden muuttuessa, erityisesti moottorin pysähtyessä. Moottorin kanssa rinnan kytketty diodi (D1) toimii piirissä transistorin Q1 suojadiodina estämässä jännitepiikkien pääsyn transistorille. (Lathrop 2014.)

Pilkkupanimon Tyrvään pukin edessä olevan kahvan (kuva 5) ohjauksessa käytettiin servomoottoria. Servomoottorit ovat moottoreita, joissa on sisäänrakennettu takaisinkytketty asema-anturi. Niillä voidaan ohjata kohteen paikkaa tai pyörimistä suurella tarkkuudella. Pilkkupanimossa käytetty servomoottori on pienikokoinen, esimerkiksi radio-ohjattavien lelujen ohjauksessa tyypillinen servomoottori, jossa on sisäänrakennettu ohjauspiiri mahdollistaen sen kytkemisen suoraan Arduinon PWM-ulostuloon. Servomoottorin kytkentä käy siis yksinkertaisesti yhdistämällä moottorin datapinni mikrokontrollerin PWM-ulostuloon, plus-napa 5 V:n linjaan ja miinus-napa maahan. (Kuvio 6.)



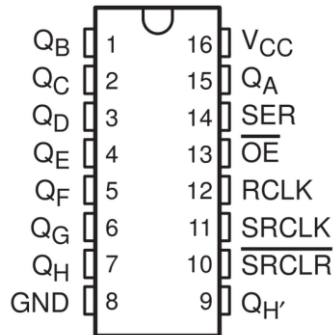
Kuvio 6. Servomoottorin kytkentä

3.4.4 Siirtorekisterien kytkentä

Pilkkupanimon kaikkien ledien, moottoreiden ja kytkinten määrän takia mikrokontrollerilla ohjattavia kohteita on yhteensä noin 80. Vaikka mikrokontrolleriksi valitussa Arduino Megassa on verrattain paljon sisään- ja ulostuloja, eivät ne siitä huolimatta riitä alkuunkaan. Ulostulojen määrän lisääminen päätettiin toteuttaa siirtorekistereiden avulla.

Siirtorekisteri on logiikkapiiri, jossa käytetään kiikkuja vastaanottamaan binääridataa ja pitämään sitä muistissaan tai siirtämään sen eteenpäin. Siirtorekistereitä on neljää eri tyyppiä: SISO (serial-in, serial-out), SIPO (serial-in, parallel-out), PISO (parallel-in, serial-out) ja PIPO (parallel-in, parallel-out). (AspenCore 2016.) Näistä tässä työssä kiin-

nostavin on SIPO-tyypin siirtorekisteri, joka mahdollistaa sarjamuotoisen signaalin jakamisen usealle rinnakkaiselle ulostulolle. Siirtorekistereinä käytettiin Texas Instrumentsin SN74HC595N-siirtorekisteriä (kuvio 7).



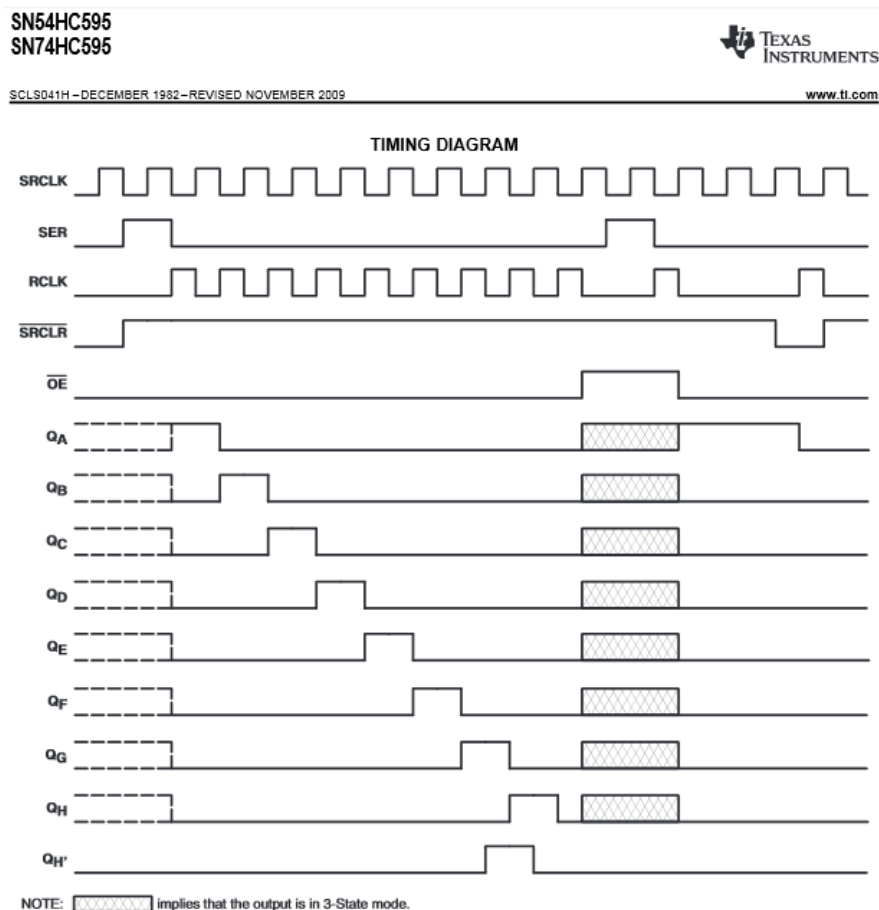
Kuvio 7. SN74HC595N pin-out -kaavio

SN74HC595N-siirtorekisterissä on 8-bittinen serial-in, parallel-out siirtorekisteri, joka syöttää dataa D-tyypin muistirekisterille. Muistirekisterillä on rinnakkaiset 3-tilaulostulot, ja kumpaakin rekisteriä ohjataan erillisillä kelloilla (Texas Instruments 1982). Siirtorekisterin pinnit toimivat seuraavasti:

- Siirtorekisterin pinnit 1–7 ja 15 (QA-QH) ovat ulostulopinnejä.
- Pinni 8 (GND) kytketään maahan ja pinni 16 (VCC) +5 V:n linjaan.
- Pinni 9 (QH') on useamman siirtorekisterin sarjaan kytkemiseen käytettävä sarjaulostulo. Siirtorekistereitä yhdistettäessä edellisen rekisterin QH' kytketään seuraavan rekisterin SER-pinniin.
- Pinni 10 (SRCLR) on siirtorekisterin nollauspinni. SRCLR kytketään +5 V:n linjaan, koska kytkeytyessään maahan se nolaa siirtorekisterin muistin. Jos nolaukselta halutaan hyödyntää ohjelmoinnissa, voidaan pinni kytkeä Arduinon ulostuloon sekä ylös vetovastuksella +5 V:n linjaan.
- Pinni 11 (SRCLK) on kello, jonka laskiessa siirtorekisteri ottaa vastaan sarjatulon (SER) senhetkisen arvon. SRCLK kytketään Arduinon digitaaliulostuloon.

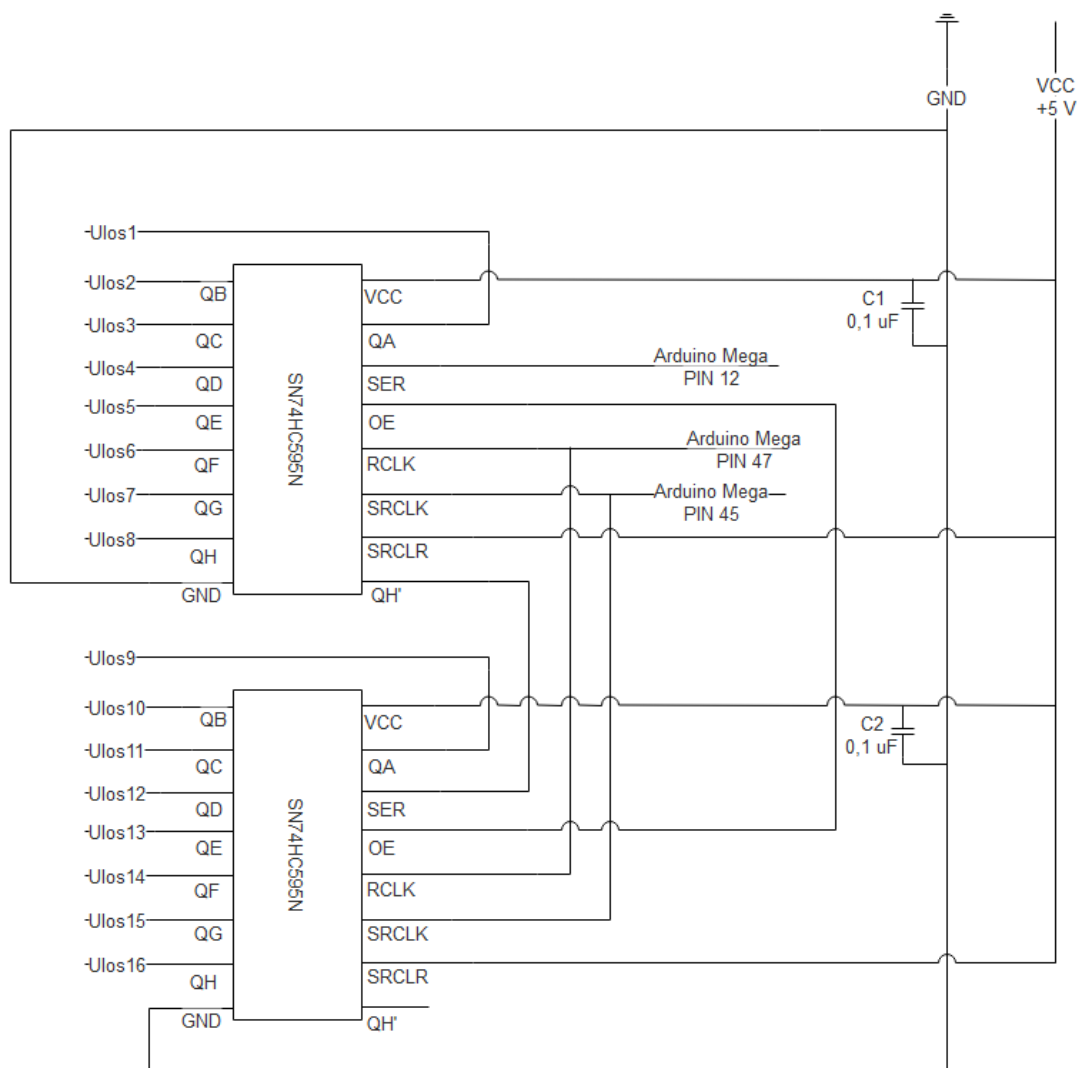
- Pinni 12 (RCLK) on asetustulo (latch), jonka noustessa viimeisin luettu arvo päivitetään ulostuloille ja edellisiä arvoja siirretään eteenpäin. RCLK kytketään Arduinon digitaaliulostuloon.
- Pinni 13 (OE) on ulostulon aktivointi, joka kytketään Arduinoon, sekä alaspäin vastuksen kautta maahan varmistamaan tuloliitännän tila nollassa silloin, kun Arduinolta ei tule signaalia. Kun ulostulon aktivointi (OE) on päällä, ulostulot ovat korkean impedanssin tilassa, eli käytännössä poistettuina piiristä. Ulostulon aktivoinnin voi myös ohittaa kokonaan kytkemällä se pelkästään maahan.
- Pinni 14 (SER) on sarjasisääntulo, joka Pilkkupanimon tapauksessa ottaa vastaan Arduinolta tulevaa sarjasignaalia.

Siirtorekisterin toiminta on esiteltyä kuvion 8 aikakaaviossa.



Kuvio 8. SN74HC595-aikakaavio

Sarjarekisterien kytkentä Arduinoon suoritettiin kuvion 9 kaavion mukaisesti. Sarjarekisterin kello- ja latch-pinnit liitettiin Arduinon digitaalisiin ulostuloihin, ja sarjasisääntulo PWM-ulostuloon. Sarjasisääntulonkin voi joissain tapauksissa liittää tavalliseen digitaaliseen ulostuloon, mutta Pilkkupanimon ohjelmoinnissa käytetyssä sarjarekisterikirjastossa ulostulot eivät toimineet halutulla tavalla ennen kuin sarjasisääntulo oli liitetty PWM-ulostuloon. Kuviossa 9 on esitetty vain kahden siirtorekisterin kytkentä, mutta Pilkkupanimossa käytettiin yhteensä 9:ää siirtorekisteriä sarjassa. Lisätyt siirtorekisterit kytkettiin toistensa perään samoin kuin kuviossa 9. Pitkistä johtimista sekä virtalähteen jännitteen epätasaisuudesta johtuen jokaisen siirtorekisterin maan ja +5 V:n pinnien väliin kytkettiin 0,1 uF:n keraaminen kondensaattori tasaamaan jännitemuutoksia.

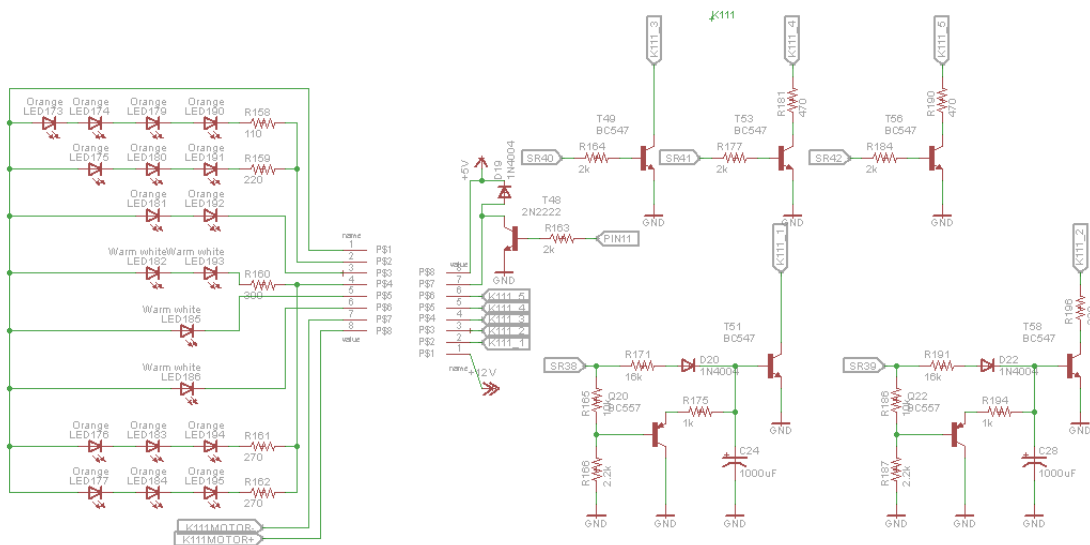


Kuvio 9. Siirtorekistereiden kytkentäkaavio

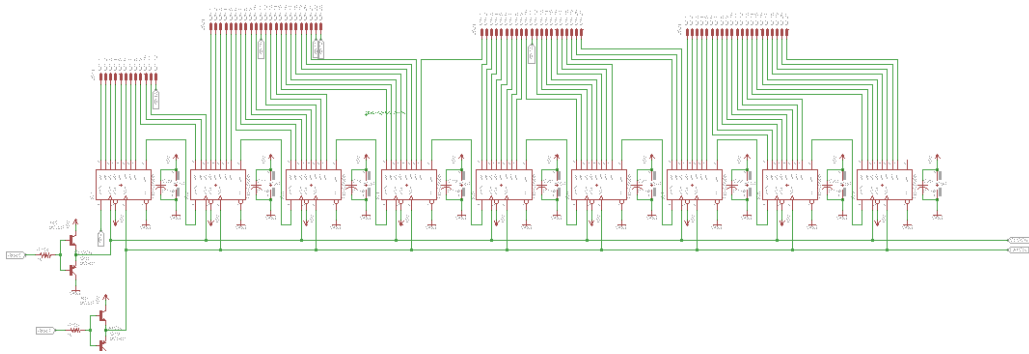
3.4.5 Piirikaavion ja piirilevyjen suunnittelu

Pilkkupanimon piirikaavion ja piirilevyjen suunnitteluun käytettiin CadSoft EAGLE (Easily Applicable Graphical Layout Editor) -ohjelmistoa. EAGLE on piirikaavioiden ja piirilevyjen suunnitteluohjelma, jossa on laaja komponenttikirjasto, helppokäyttöinen piirikaavioeditori ja komponenttien sijoitusalueista piirilevyjen valmistukseen sekä mahdollisuus tehokkaaseen piirilevyn johteiden automaattiseen reititykseen. Autodesk osti EAGLE:n vuonna 2016.

Pilkkupanimon piirikaavioiden suunnittelu aloitettiin suunnittelemalla yksi iso kaikki toiminnot ja komponentit sisältävä piirikaaviokokonaisuus, joka sitten jaettiin pienempiin yksittäisten piirilevyjen omiin piirikaavioihin. Piirikaaviokokonaisuus rakennettiin hyödyntäen yksittäisille toiminnoille suunniteltuja kytkentäkaavioita. Halutut elektroniikkakomponentit etsittiin EAGLE:n komponenttikirjastosta, asetettiin mahdollisimman helppolukuisen järjestykseen ja yhdistettiin johteilla. Komponenttien (esim. vastusten, kondenssattoreiden yms.) tarvittavat arvot laskettiin ja merkittiin kullekin komponentille. Kaikkien komponenttien löydettyä paikkansa ja saatua oikeat arvot piirikaaviot tarkastettiin EAGLE:n ERC (Electric Rule Checking) -toiminnolla, ja löydetty virheet käytiin läpi ja korjattiin. Esimerkkeinä Pilkkupanimon piirikaavion osista kuvat 10 ja 11.



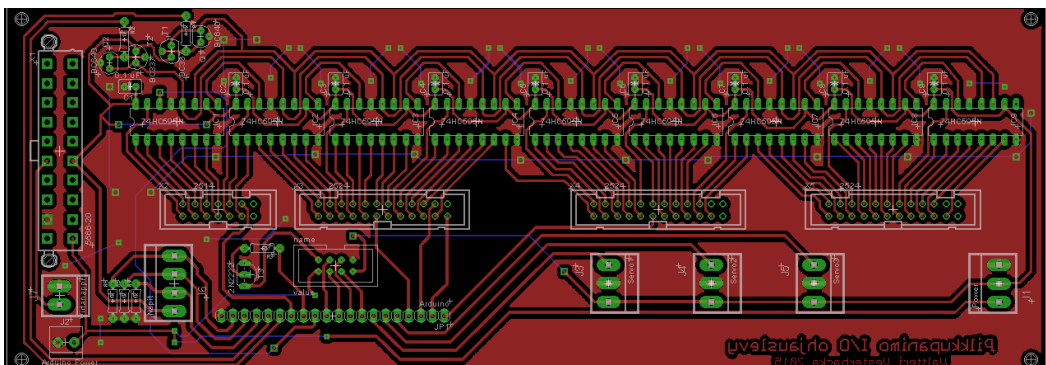
Kuvio 10. Kysymyslaitteen K1.1.1 piirikaavio



Kuvio 11. Siirtorekistereiden piirikaavio

Kun koko piirikaaviokokonaisuus oli suunniteltu, se jaoteltiin viiteen osaan valmistettavien piirilevyjen mukaan: ohjauskaavio (Arduinoon kytkettävät johdot, siirtorekistereiden kytkennät, ohjauspaneelin nappien kytkennät sekä eteenpäin seuraaville piirilevyille lähtevät liittimet), kysymyslaitteiden K1 ja K2 kaaviot, kysymyslaitteiden K3–K4 kaaviot, kysymyslaitteiden K1.1–K1.1.2.1 kaaviot sekä kysymyslaitteiden K1.2–K1.2.3 kaaviot.

Piirilevyjen suunnittelu aloitettiin sijoittamalla piirilevyille tulevat komponentit paikoilleen. Koska piirilevyt valmistettiin kotikonstein, ei monikerroksisten piirilevyjen suunnittelu ollut vaihtoehto. Tämän takia komponenttien sijoittelussa oli ensisijaisen tärkeää minimoida risteävien johtimien määrä. Komponenttien sijoittelussa ensimmäisenä huomioitiin liittimien ja niihin yhteydessä olevien komponenttien paikat. Liittimien korkean pinnimäärän takia niiden sijoituspaikan valinta vaikuttaa vahvasti siihen, miten muut komponentit voidaan sijoittaa. Näiden jälkeen etsittiin paikat muille komponenteille, kokeillen erilaisia asetelmia parhaan lopputuloksen löytämiseksi. Komponenttien väliset johteet vedettiin pääosin manuaalisesti, koska tällöin johteet voitiin vetää yksitellen ja tarvittaessa siirrellen komponentteja johteiden tieltä. Kaikkia johteiden risteämiä ei voitu välttää, joten näissä tapauksissa käytettiin läpivientejä, joiden välille juotettiin yksisäikeistä kytkentälankaa. (Kuva 19.)



Kuva 19. Piikkupanimon ohjauspiirilevy

Piirilevyjen suunnittelussa valmistustavasta johtuvia rajoitteita oli kerrosten lisäksi myös johteiden ja niiden välien vahvuudessa sekä läpivientien koossa. Hyväksi todettuja kojoja sekä muita piirilevysuunnitteluun liittyviä vinkkejä löytyi Acidbourbon blogista (Wiebusch 2014). Näistä vinkeistä piirilevyjen suunnittelussa käytettiin seuraavia:

- Johteiden oletuskokona käytettiin 0,6 mm (=24 mil, eli 24 tuuman tuhannesosaa) ja minimikokona ahtaissa paikoissa 0,4 mm (=16 mil).
- Johteiden, reikien ja tassujen välisenä minimietäisyytenä 0,25 mm (=10 mil).
- Läpivientien ja tavallisten komponenttien, kuten vastusten ja kondensaattoreiden, reikäkokona 0,8 mm.
- Mikropiirien ja liittimien reikäkokona 1 mm.
- Tyhjien kohtien käyttäminen maadoitusalueina vähentää syövytysaikaa sekä syövytysaineen kulutusta.

Kun piirilevyjen suunnittelu oli valmis, niistä valittiin alapuolen johdin ja maadoituskerrokset sekä läpivientien ja komponenttien tassujen kerrokset tulostettavaksi syövytystä varten. Nämä kerrokset tulostettiin peilikuvana, jotta ne tulisivat lopulliseen piirilevyyn oikein päin. Piirilevyn yläpuolelle valittiin komponenttien paikat, nimet ja arvot sisältävät kerrokset tulostettavaksi ja siirrettäväksi piirilevyille komponenttien asettelun helpottamiseksi. Kaikki piirilevyt ovat nähtävillä liitteessä 1.

3.5 Mikroprosessorin ohjelmointi

Arduino on helppokäyttöiseen laitteistoon sekä ohjelmistoon perustuva avoimen lähdekoodin elektroniikka-alusta. Arduino-alustat voivat lukea sisääntuloja – valosensorin signaali, painikkeen painallus tai Twitter-viesti – ja muuttaa ne ulostuloiksi – moottorin aktiivointi, ledin päälle kytkeminen, sisällön julkaiseminen verkossa. Laitteelle voi kertoa, mitä sen tulee tehdä, lähettämällä joukon ohjeita laitteella sijaitsevalle mikrokontrollerille. Nämä ohjeet lähetetään käyttämällä Wiring-ohjelmointikieleen perustuvaa Arduino-ohjelmointikieltä sekä Processing-ohjelmointikieleen ja ohjelmointiympäristöön perustuvaa Arduino-ohjelmistoa (IDE). (Arduino 2014.)

Arduino Mega -mikroprosessori ohjelmoitiin C++-kielellä Arduino IDE-käyttöliittymällä. Arduinon valinta projektissa käytetyksi mikroprosessoriksi helpotti huomattavasti ohjelman kirjoittamista, sillä Arduinolla on valtava aktiivinen käyttäjäkunta, minkä vuoksi esimerkkejä ja kirjastoja on tarjolla kaikkiin yleisimpiin tarpeisiin. Kaikki ohjelmoinnissa käytetyt esimerkit on noudettu Arduinon kotisivujen tutoriaaleista <http://www.arduino.cc/en/tutorial/>, ellei toisin mainita.

Ohjelmoinnin pohjaksi luotiin UML-kaavio Pilkkupanimon toimintaprosessista (liite 2). Kaavio sisältää kaikki ohjelman tilat sekä tiloihin saavuttaessa toteutettavat tapahtumat.

3.5.1 Painonappien ohjelmointi

Painonappien käytössä tulee ohjelmassa ottaa huomioon käyttäjän inhimillinen hitaus nappia painaessa. Mikäli ohjelmassa pelkästään tunnistetaan napin painallus ja toimitaan heti kun painallus on huomattu, päädytään tilanteeseen, jossa käyttäjä ei ehdi irrottaa napista ennen kuin ohjelma jo palaa uudestaan tarkastamaan napin tilaa ja päättelee sen olevan jälleen painettuna. Yksi keino tämän ehkäisemiseksi on lisätä ohjelmaan tauko napin painalluksen havaitsemisen jälkeen. Nappien toimintaa testatessa huomattiin, että 500 ms:n tauko on riittävän pitkä estämään epätoivotut kaksoispainallukset, olematta kuitenkaan niin pitkä, että käyttäjä ehtii epäillä, rekisteröityikö painallus ollenkaan. Jossakin muussa käyttötarkoituksessa 500 ms:n tauko olisi tietenkin ehdottomasti liikaa, mutta Pilkkupanimon tapauksessa napinpainallusten välissä on pääsääntöisesti useiden sekuntien, jopa minuuttien tauot. (Koodiesimerkki 1.)

```
const int alustaNappi = 53;    // Esitellään käytetty nappi ja kerrotaan sen pinni Arduinolla

void setup()
{
  pinMode(alustaNappi,INPUT); // Asetetaan pinni sisääntuloksi
}

void loop()                  // Varsinainen ohjelma kirjoitetaan loop-silmukan sisään
{
  if(digitalRead(alustaNappi)==HIGH) // Jos "aloita alusta" -nappia painetaan
  {
    delay(500);              // Toivotut tapahtumat lisätään {}-tägien väliin delay-komennon perään,
  }
}
```

Koodiesimerkki 1. Painonapin käyttö

3.5.2 Servo- ja DC-moottoreiden ohjaus

DC-moottoreiden ohjaus toteutettiin käyttämällä Arduinon PWM-ulostuloja. PWM-ulostuloa käytettäessä DC-moottorin nopeutta voidaan säätää muuttamalla sille syötettävän pulssin ja pulssien välisten taukojen pituuksia. Arduinon PWM-signaali toimii 500 MHz:n taajuudella, ja se on jaettu 256 arvoon välillä 0–255. Käytännössä siis Arduino säätää moottoria päälle 2 ms:n sykleissä ja päälläoloaika määräytyy valitun arvon mukaan. Esimerkiksi arvolla 191 moottori on päällä ensimmäisen 75 % jokaisesta 2 ms:n syklistä. Moottorien pyörimisnopeutta testattiin useilla eri PWM-taajuuksilla, joista sopivimmaksi Pilkkupanimon tarpeisiin valittiin 65, eli moottorit ovat päällä noin 25 % ajasta.

Koska moottoreiden haluttiin pysyä päällä tietyn ajan mahdollistaen kuitenkin käyttäjän siirtymisen prosessissa eteenpäin nappeja painamalla, täytyi ajoituksessa käyttää tauon (delay) sijaan ajastinta, joka toimii erillään muusta ohjelmasta. Ajastimen käyttöä varten ohjelmaan lisättiin erillinen elapsedMillis-kirjasto. Seuraavana on esimerkkiohjelma (2) ajastinta ja DC-moottoria käyttäen.

```
#include <elapsedMillis.h>    // Lisätään ajastinkirjasto

elapsedMillis timer1;        // Luodaan uusi ajastin
const int interval1 = 5000;  // Asetetaan ajastimelle raja-arvo

const int moottoriK11 = 10;  // Esitellään moottori ja asetetaan sille pinni

void setup()
{
  pinMode(moottoriK11, OUTPUT); // Asetetaan moottori ulostuloksi

  timer1 = 0;                 // Asetetaan ajastimen alkutilaksi 0
}

void loop()                  // Varsinainen ohjelma kirjoitetaan loop-silmukan sisään
{
  if ((timer1 > interval1)   // Jos ajastin ylittää raja-arvon
  {
    analogWrite(moottoriK11, 0); // Asetetaan moottori pois päältä
    delay(500);                 // Odotetaan 0,5 s
    analogWrite(moottoriK11, 65); // Asetetaan moottori uudelleen päälle
    timer1=0;                  // Nollataan ajastin
  }
}
```

Koodiesimerkki 2. DC-moottorin ohjaus sekä ajastinkirjaston käyttö

Servomootorissa on DC-moottorista poiketen sensori servon tilan tunnistamiseksi. Servomootoria ohjelmoitaessa käytetään siihen suunniteltua kirjastoa, joka ottaa vastaan asentotietoja ohjattaville servoille. Servon nopeuteen ei siis voida vaikuttaa, vaan voidaan pelkästään ilmoittaa sille, mihin asentoon sen tulee seuraavaksi liikkua. Asentotiedon syöttämiseksi servolle tulee käyttää Arduinon PWM-ulostuloa, koska syötetyn signaalin pituus, mikrosekunneissa mitattuna, kertoo servolle sen halutun asennon. Ohjelmassa asentotiedon voi antaa joko asteina 0–180 asteen välillä tai mikrosekunteinä. Oletusarvoina mikrosekunteja käytettäessä on minimi 544 μ s ja maksimi 2400 μ s. Esimerkkikoodina käytetään Arduino-tutoriaaleistakin löytyvää koodia, joka kääntää servoa sen maksimiarvosta toiseen (koodiesimerkki 3).

```
#include <Servo.h>           // Lisätään ajastinkirjasto
Servo pukkiServo;           // Esitellään servo

void setup()
{
  pukkiServo.attach(7);      // Liitetään servo haluttuun Arduino pinniin (7)
  pukkiServo.write(0);       // Asetetaan servolle alkuasento asteina
}

void loop()                  // Varsinainen ohjelma kirjoitetaan loop-silmukan sisään
{
  for (pos = 0; pos <= 180; pos += 1) // servo liikkuu asennosta 0 asentoon 180 yhden asteen askeleissa
  {
    pukkiServo.write(pos);      // kertoo servolle siirtyä asentoon "pos"
    delay(10);                  // odottaa 10 ms, jotta servo ehtii siirtyä asentoonsa
  }
  for (pos = 180; pos >= 0; pos -= 1) // servo liikkuu asennosta 180 asentoon 0 asteen askeleissa
  {
    myservo.write(pos);        // kertoo servolle siirtyä asentoon "pos"
    delay(10);                  // odottaa 10 ms, jotta servo ehtii siirtyä asentoonsa
  }
}
```

Koodiesimerkki 3. Servomootorin ohjaus

3.5.3 Siirtorekisterien käyttö

Siirtorekistereiden tarkoitus Pilkkupanimon elektroniikassa oli lisätä Arduinon ulostulojen määrää huomattavasti. Yhdeksällä lisätyllä siirtorekisterillä saatiin käyttöön 88 lisäulostuloa. Siirtorekistereiden pinnien käyttö yksittäisten ulostulojen tapaan vaatii jälleen uuden kirjaston hyväksikäytön. Sopivaksi kirjastoksi valittiin Shifter.h (bildr 2011), joka sallii yksittäisten siirtorekisteripinnien ohjaamisen yksinkertaisella tavalla. Shifter-kirjasto vaa-

tii toimiakseen tiedon siitä, mihin Arduinon pinneistä siirtorekisterin kello- (SRCLK), asetus- (RCLK) ja sarjasisääntulopinni (SER) on kytketty. Lisäksi kirjasto tarvitsee tiedon siirtorekistereiden kokonaismäärästä. Tämän jälkeen pinnejä voi ohjata seuraavilla komennoilla:

- `shifter.clear();` – asettaa kaikkien siirtorekistereiden kaikki pinnit pois päältä.
- `shifter.setPin(x, HIGH)` – asettaa pinnin x päälle (HIGH/LOW).
- `shifter.write()` – näyttää tehdyt muutokset.

Esimerkkinä 4 siirtorekisterin käytöstä katkelmia Pilkkupanimon ohjelmasta.

```
#include <Shifter.h>           // Lisätään siirtorekisterikirjasto

//Siirtorekistereiden pinnit
const int SRCLK_Pin = 45;     // clock pin (kello)
const int RCLK_Pin = 47;     // latch pin (asetus)
const int SER_Pin = 2;       // data pin (liitä PWM ulostuloon)

//Siirtorekistereiden lukumäärä + alusta shifter Shifter kirjastolla
const int NUM_REGISTERS = 9;
Shifter shifter(SER_Pin, RCLK_Pin, SRCLK_Pin, NUM_REGISTERS);

//Nimetään siirtorekistereiden pinnit:

const int K2_putki = 2;       // Pinnin numero vastaa siirtorekisterin pinniä. Esim. 1 on
const int K11_putki = 0;     // ensimmäisen siirtorekisterin pinni QA
const int K1_kysymys = 4;
const int K1_merkki = 6;
const int K2_lippu = 8;
const int K11_lippu = 10;

void setup()
{
  shifter.clear();           // Asettaa kaikki pinnit alas
  shifter.write();          // Lähettää tiedot rekistereille ja näyttää ne
}

void loop()                  // Varsinainen ohjelma kirjoitetaan loop-silmukan sisään
{
  -----                   // Ohjelmasta leikattu osia pois

  shifter.setPin(K1_merkki, HIGH); //Käytetään shifter.setPin funktiota ulostulojen ohjaukseen
  shifter.setPin(K1_kysymys, HIGH);
  shifter.setPin(K2_lippu, HIGH);
  shifter.setPin(K11_lippu, HIGH);
  shifter.write();          // Kirjoitetaan tehdyt muutokset
}
```

Koodiesimerkki 4. Siirtorekisterin ohjaus

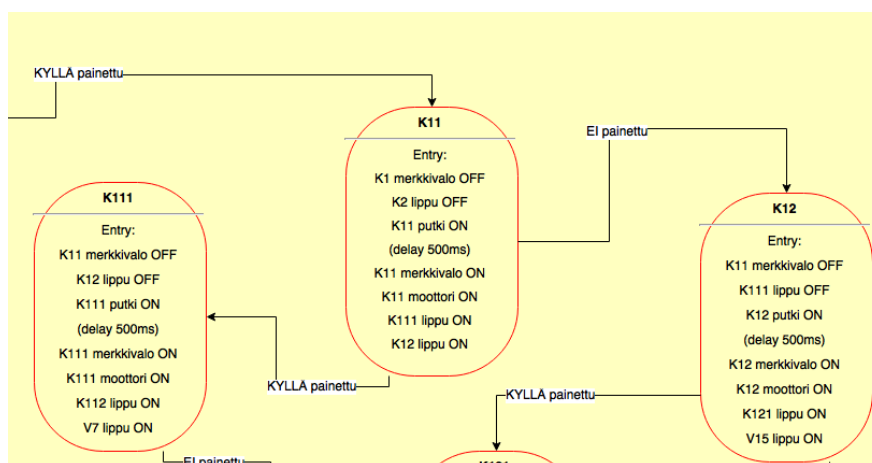
3.5.4 Tilakoneen ohjelmointi

Pilkkupanimon mielekkään käytettävyyden vuoksi päädyttiin pitämään Pilkkupanimon ohjauspaneeli mahdollisimman yksinkertaisena. Ainoat käyttäjän käytettävissä olevat painikkeet ovat Kyllä-, Ei- ja Aloita alusta -napit. Täten Pilkkupanimon ohjelman täytyy aina tietää, missä vaiheessa prosessia ollaan, jotta se voi reagoida napin painallukseen oikealla tavalla. Ratkaisuna tähän käytettiin tilakonetta.

Tilakone on järjestelmä, joka kullakin ajan hetkellä voi olla kerrallaan vain yhdessä olemassa olevista tiloistaan. Ennalta määriteltyjen ehtojen tullessa voimaan voi tilakone siirtyä tilasta toiseen. Tilaan tultaessa tai sieltä poistuttaessa tilakone voi suorittaa sille määriteltyjä tilakohtaisia toimintoja. (Daciuk 1998.)

Pilkkupanimon tapauksessa tilakoneen tiloiksi asetettiin Pilkkupanimon kysymykset ja vastaukset. Kukin tila sisältää toimintoja, jotka tapahtuvat tilaan tultaessa. Esimerkiksi Pilkkupanimon käynnistyessä ohjelma ajaa ensin alkuasetuksensa, minkä jälkeen tilakone siirtyy automaattisesti ensimmäiseen tilaansa, joka on määritelty tilaksi K1 (=kysymys 1). K1-tilaan tultaessa varmistetaan, että kaikki Pilkkupanimon ulostulot on asetettu oikein.

Kun tilakone tunnistaa uuden tapahtuman (Kyllä-, Ei- tai Aloita alusta -napin painalluksen), siirtyy se tapahtuneen tapahtuman mukaan seuraavaan tilaan. Jos esimerkiksi tilassa K1 oltaessa käyttäjä painaa nappia ”Kyllä”, siirtyy tilakone tilaan K1.1. Saavuttaessa tilaan K1.1 tehdään jälleen tarvittavat muutokset Pilkkupanimon ulostulojen tiloihin. (Kuva 20.)



Kuva 20. K1.1-tila

Tilakoneen ohjelmoinnissa käytettiin apuna Arduino-keskustelupalstalta löydettyä tilakone-esimerkkiä (wildbill 2011). Esimerkki ei kuitenkaan ollut tapahtumaohjattu, joten sitä jouduttiin soveltamaan Pilkkupanimon ohjaukseen sopivaksi. Tilakonetta ohjelmoitaessa luodaan ensin vakiomuuttujat kullekin tilalle "const int" -toiminnolla (esim. const int K1=1, const int K2=2 jne.) sekä varsinainen tilamuuttuja "int state". Näiden muuttujien avulla tilakone muistaa, missä tilassa se kullakin hetkellä on. Tämän jälkeen jokaiseen tilaan saapumiselle luodaan oma oliionsa. Tilaolioiden avulla ohjelma saadaan suorittamaan tarvittavat toiminnot tilaan tultaessa. Käytetään esimerkkinä tilalle "K1" luotua "TultiinK1" -oliota (koodiesimerkki 5).

```
void TultiinK1()
{
  //Yleiset: näytön valot, panimokyltin valot, kattovalot, servojen asennot, askelmoottori kotiin
  //K1: K1 merkkivalo ON, K1 kysymyslippu ON, K2 lippu ON, K11 lippu ON

  //Yleiset:
  pukkiServo.write(90);
  //einoServo.write(100);
  //varaServo.write(100);
  digitalWrite(naytonValot, HIGH);
  digitalWrite(kyltinValot, HIGH);
  digitalWrite(K31_amme, LOW);
  analogWrite(moottoriK11, 0);
  analogWrite(moottoriK12, 0);
  analogWrite(moottoriK111, 0);
  analogWrite(moottoriK1121, 0);

  //K1:
  shifter.setPin(K1_merkki, HIGH);
  shifter.setPin(K1_kysymys, HIGH);
  shifter.setPin(K2_lippu, HIGH);
  shifter.setPin(K11_lippu, HIGH);
  shifter.write();
  state = K1;
  Serial.println("K1");
}
```

Koodiesimerkki 5. Tilakoneen tila K1

Viimeisenä osana tilakoneen ohjelmoinnissa ovat ehtolauseet (if-then), joiden perusteella tilakone kuuntelee tapahtumia ja siirtyy sen perusteella seuraavaan tilaan switch-case-rakenteen avulla. Ehtolauseet muodostavat ohjelman varsinaisen rungon, joka kirjoitetaan toistorakenteen (void loop()) sisään. Switch-case-rakenne seuraa, mikä arvo halutulla muuttujalla (tässä tapauksessa "state") on, ja suorittaa toiminnon sen mukaan. Esimerkkinä 6 Kyllä-napin painallus kysymystiloissa oltaessa:


```

if(state < 15 && digitalRead(kyllaNappi)==HIGH) // Jos ollaan kysymystilassa (tilat 1-14) ja "kyllä" -nap-
pia painetaan
{
  delay(500);
  Serial.println("Kyllä -painettu");
  switch(state)
  {
    case K1:
      TultiinK11();
      break;
    case K2:
      TultiinK21();
      break;

// osa tiloista poistettu tilan säästämiseksi

    case K123:
      TultiinV13();
      break;
    default:
      Serial.println("Unknown state ");
      break;
  }
}

```

Koodiesimerkki 6. Switch-case-rakenne

3.6 Kotelon suunnittelu

Kotelon suunnittelu jätettiin työssä lähes viimeiseksi asiaksi, koska kaikkien osien lopullinen koko ei ollut aikaisemmin tiedossa. Konseptisuunnitteluvaiheessa koteloksi kaavailtiin syvää taulumaista koteloa, jonka voisi tarvittaessa ripustaa seinälle. Osia kuiva-sovitettaessa kuitenkin huomattiin, että tässä sijoitustavassa osa laitteen osista päätyisi kotelon seinien ja välitasojen varjoihin siten, että käyttäjä joutuisi kumartelemaan ja turhaan liikkumaan laitteen ympärillä nähdäkseen, mitä siinä tapahtuu. Työn ohjaajan kanssa asiasta keskusteltaessa todettiin, ettei kotelon syvyyttä tarvitse merkittävästi rajoittaa, koska laite voidaan asettaa myös pöydälle ilman ongelmia. Täten kotelon muotoa muutettiin siten, että kaikki Pilkkupanimon tasot tehdään porrastetusti kuten alkuperäisessä julisteessa.

Kotelon suunnittelu aloitettiin tekemällä pahvinen malli panimon tasojen porrastuksesta (kuva 21). Mallin päälle asetettiin kaikki panimon osat mittakaavan tarkastamiseksi. Kun panimon osat oli saatu aseteltua paikoilleen, tehtiin pahvimalli kotelon alaosalle ja ohjauspaneelille. Ohjauspaneelin kulma muuhun laitteeseen nähden määriteltiin silmämääräisesti asettamalla pahvimalli panimon osien kanssa pöydälle ja arvioimalla, missä kulmassa ohjauspaneelin kysymyslaatat näkyisivät mahdollisimman selvästi ja napit olisivat

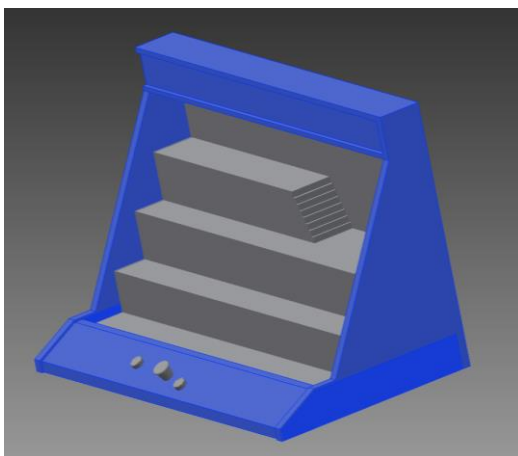
helposti käytettävissä. Ohjauspaneelin ”Kyllä”-, ”Ei”- ja ”Aloita alusta” -napit asetettiin ohjauspaneelin keskelle jättäen riittävästi tilaa kysymyslaatoille nappien kummallekin puolelle.



Kuva 21. Kotelon pahvimalli

Konseptisuunnitteluvaiheessa ohjauspaneeliin suunniteltu näyttö päätettiin tässä vaiheessa jättää kotelosta kokonaan pois. Näytön lisääminen ohjauspaneeliin olisi lisännyt laitteen korkeutta ja syvyyttä huomattavasti, tehden ohjauspaneelista suhteettoman suuren muuhun laitteeseen nähden.

Pilkkupanimon kotelon sivujen suunnittelussa ja Pilkkupanimo-kyltin sijoittamisessa käytettiin hyväksi Autodesk Inventor -ohjelmaa. Eri ajatukset sivujen muodosta mallinnettiin Inventorissa, ja niiden sopivuus kokonaisuuteen arvioitiin silmämääräisesti (kuva 22). Pilkkupanimo-kyltti päätettiin sijoittaa kotelon yläreunaan, jossa se olisi mahdollisimman selvästi nähtävissä.

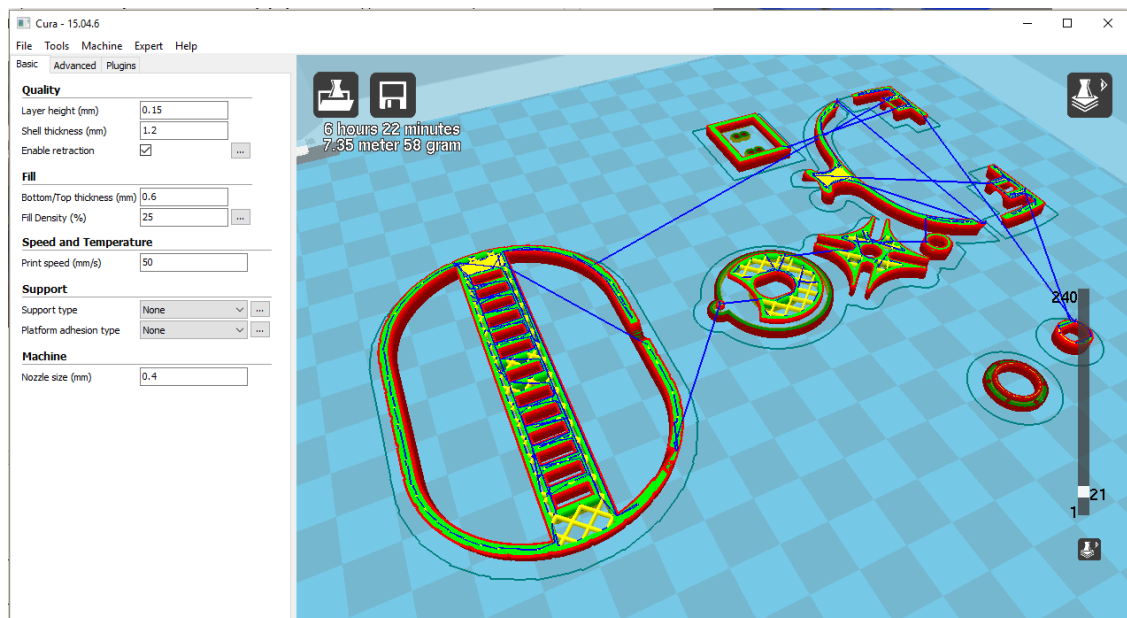


Kuva 22. Kotelon suunnittelua Inventorissa

4 Valmistus

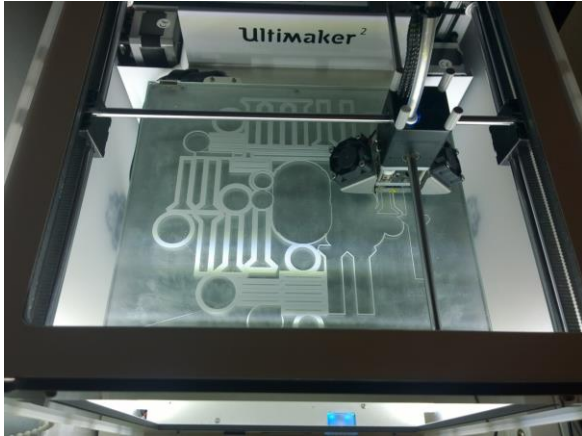
4.1 3D-tulostaminen

3D-tulostettavat osat valmistettiin tulostamista varten Cura 15.01 -ohjelmalla, joka viipa-
loi tulostettavat 3D-mallit kerroksiin ja tuottaa tulostimelle G-code-tiedoston. Curassa tu-
lostettavat mallit asetetaan tulostusalustalle haluttuihin asentoihinsa ja tulostusparamet-
reja muutetaan toivotun tulostusnopeuden ja tarkkuuden mukaan. Cura tarjoaa visuaali-
sen käyttöliittymän mallien tarkasteluun sekä mahdollisuuden tulostuksen aikana tarvit-
tavien tukirakenteiden automaattiseen luomiseen. (Kuva 23.)



Kuva 23. Tulostettavien osien kerrosten tarkastelua Curassa

Valmis G-code-tiedosto tallennetaan SD-muistikortille ja siirretään 3D-tulostimelle. Tu-
lostimessa tulostettava tiedosto valitaan tulostimen omalta näytöltä, minkä jälkeen tulos-
tusnopeutta sekä alustan ja sulatuspään lämpötiloja voidaan vielä tarvittaessa säätää.
(Kuva 24.)



Kuva 24. Useita osia tulostumassa samanaikaisesti

Suurin osa tulostetuista osista tulostettiin 0,1 mm:n tai 0,15 mm:n kerrosvahvuudella. Tämä kerrosvahvuus todettiin pinnanlaadultaan tarkoitukseen riittäväksi. Lisäksi suuremman 0,15 mm:n kerrosvahvuuden huomattiin tuottavan osiin (tulostusasennosta riippuen) efektin, joka vastasi hieman puun pinnanmuotoja (kuva 25). Tämä sopi erityisen hyvin sellaisiin kysymyslaitteisiin kuin K2 tai K1.1.2.1, jotka maalattaisiin näyttämään puusilta.



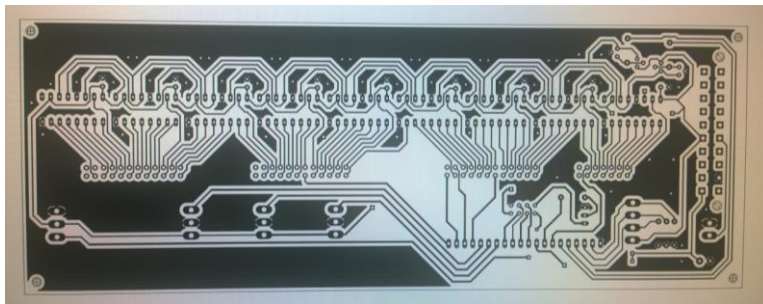
Kuva 25. Kerrosten luoma puu-efekti tynnyrimäisen osan pinnalla

4.2 Elektroniikan toteuttaminen

4.2.1 Piirilevyjen valmistaminen

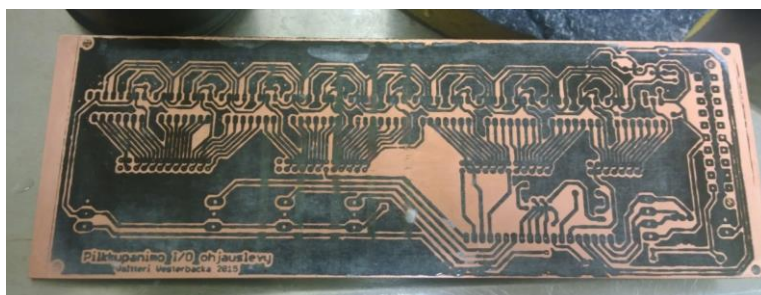
Aika- ja hintarajoitteiden vuoksi piirilevyt valmistettiin kotitekoisin menetelmin. Piirilevyjen valmistuksessa käytettiin ns. Toner Transfer -menetelmää, jossa piirilevyn johteet tulostetaan paperille ja muste siirretään paperilta piirilevyllä syövytystä varten (Dunki 2012). Seuraavana valmistusmenetelmä osiin jaettuna:

1. Piirilevyyn tarvittavat kerrokset valitaan Eagle-ohjelmassa ja tulostetaan kiiltävälle pinta-aineelle paperille lasertulostimella (kuva 26). Piikkupanimon tapauksessa piirilevyn kuparipuolelle valittiin johteiden ja läpivientien kerrokset, ja piirilevyn toiselle puolelle komponenttien jalanjälkien kerros.



Kuva 26. Valitut kerrokset tulostettuna

2. Tulostetut paperit kiinnitetään piirilevyyn esim. teipillä mustepinta piirilevyä vasten. Muste siirretään paperista piirilevyllä painamalla kuumaa silitysrautaa piirilevyä vasten.
3. Piirilevy papereineen upotetaan veteen paperin pehmittämiseksi. Kun paperi on kostunut läpikotaisin, se poistetaan varovasti pesusienen avulla. (Kuva 27.)



Kuva 27. Muste siirretty kuparille ja paperi poistettu

4. Piirilevy tarkastetaan silmämääräisesti ja mahdolliset puuttuvat johteet korjataan vedenpitävällä tussilla.
5. Piirilevy syövytetään natriumpersulfaattiliuoksessa. Liuos syövyttää piirilevyn paljaat kuparipinnat, jättäen musteen alla olleet kuparipinnat koskemattomiksi. Syövytyksen jälkeen piirilevyt huuhdellaan puhtaalla vedellä ja muste poistetaan asetonilla.
6. Läpivientien, kiinnitysruuvin ja johtimien jalkojen reiät porataan piirilevyyn.
7. Piirilevyn johtimet tarkastetaan jatkuvuusmittarilla, minkä jälkeen komponentit juotetaan piirilevyyn ja valmis piirilevy testataan toiminnan varmistamiseksi. (Kuva 28.)



Kuva 28. Valmiit piirilevyt, virtalähde ja Arduino Mega

4.2.2 Johdotus

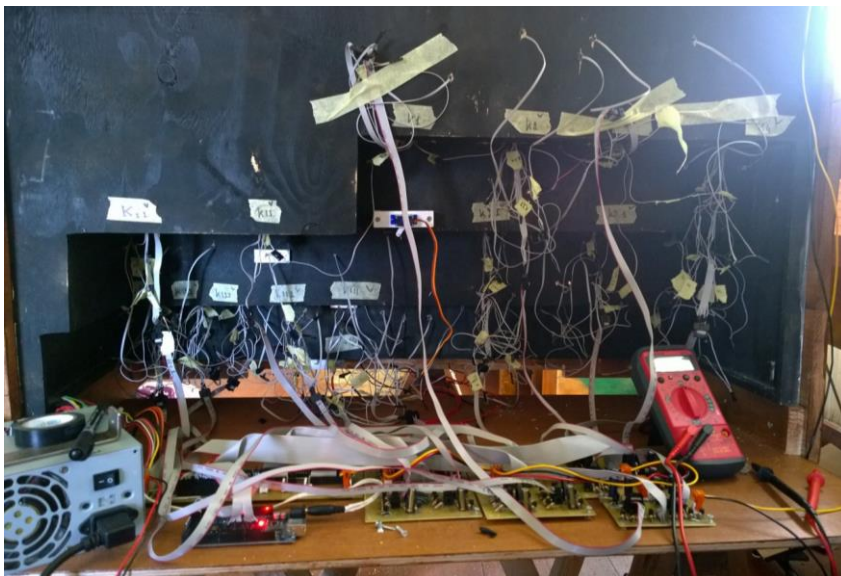
Johdotus suoritettiin kytkentäkaavion mukaisesti. Kysymyslaitteiden sisään tulevat ledit ja moottorit kiinnitettiin paikoilleen, ja niihin juotettiin lattakaapeli, jonka johtimet kiinnitettiin kysymyslaitteen liittimeen sekä putkistojen johdotuksiin.

Kysymyslaitteiden sisäisten johdotusten (kuva 29) jälkeen kysymyslaitteet kiinnitettiin omille paikoilleen laitteiden välistä johdotusta sekä putkistojen johdotusta varten. Koska johtoja oli paljon, tarvittiin erityistä tarkkuutta oikeiden johtojen löytämisessä ja yhdistämisessä.



Kuva 29. K1-kysymyslaitteen sisäinen johdotus

Kun kaikki johdot olivat paikoillaan (kuva 30), Pilkkupanimon toiminta testattiin yksinkertaisella koodilla, joka laittoi kaikki mikrokontrollerin ulostulot päälle samanaikaisesti. Tämä helpotti virheellisten kytkentöjen paikallistamisessa ja korjaamisessa. Testauksen jälkeen johdotus siistittiin sen lopulliseen muotoon.



Kuva 30. Pilkkupanimon johdotusta testauksen aikana

4.3 Kotelon valmistaminen

Pilkkupanimon kotelon valmistuksessa käytettiin apuna suunnitteluvaiheessa tehtyjä pahvimalleja ja CAD-mallinnuksia. Kotelon porrask rakenne ja taustalevy valmistettiin vanerista. Porrask rakenteiden betonitekstuuri saatiin aikaiseksi paksulla maalaus pohjan pohjustusaineella, gessolla, ja takaseinän tiilit tekstuuri kananmunapakkausten kartongilla. Kotelon muut osat valmistettiin kuormalavalaidoista puretusta puutavarasta. Isoja kylkipaneeleita varten puutavarasta tehtiin liimalevyt tappiliitoksilla. (Kuva 31.)



Kuva 31. Kotelo maalausta vaille valmiina

4.4 Osien pintakäsittely

Pilkkupanimon kotelon rungon pintakäsittelyyn käytettiin ruskeaa petsiä ja sisäosiin mustaa spray-maalia. Kotelon porrask rakenteessa ja kysymyslaitteiden pintakäsittelyssä käytettiin pienoismalliharrastajien käyttämiä tekniikoita erilaisten materiaalien pintojen simulointiin. Osat maalattiin pääasiassa pienoismalleihin tarkoitetuilla akryylimaleilla, spray-maleilla sekä öljymaleilla.

Kotelon porrarakenteiden betoniosiin sekoitettiin öljymaaleista harmaa pohjaväri, joka levitettiin tasaisesti koko rakenteeseen. Pohjaväriin kuivuttua maalipintaa säistettiin reilusti ohennetulla mustalla, ruskealla ja vihreällä öljymaalilla, jotka siveltiin rakenteen kulmiin, nurkkiin ja muihin alueisiin, joihin haluttiin erityistä kulumaa. Ennen maalin kuivumista se pyyhittiin pois, jolloin jäljelle jäävä maali tuotti luonnollisen näköistä kulumaa. Lopuksi pintaan kuivasiveltiin vaaleampaa harmaata korostusväriksi.

Puu- ja metalliefektien tuottamiseen käytettiin pienoismalleille tarkoitettuja akryylimaalajeja, minkä jälkeen ne säistettiin samoilla tekniikoilla kuin betoniosatkin. Metalliosien ruoste-efekteissä käytettiin punertavan ruskeaa öljyväriä edellä esitellyllä säistämistekniikalla. (Kuvat 32 ja 33.)



Kuva 32. Maalattuja puuosia



Kuva 33. Maalattuja metalliosia

Kotelon tiiliseinä maalattiin pelkillä öljyväreillä, käyttäen useita eri punaisen sävyjä tiilien maalaamiseen luonnollisen lopputuloksen saavuttamiseksi.

4.5 Putkistojen valmistaminen

4.5.1 Pienet putket ja tukirakenteet

Pilkkupanimon pienemmät putket valmistettiin 4 ja 8 mm:n akryylitangosta. Tankojen pinnat hiottiin sameaksi hiekkapaperilla, ja ne taivutettiin muotoonsa lämmittämällä taivutuskohtaa kuumailmapuhaltimella. Putket sovitettiin paikoilleen kysymyslaitteiden ollessa pultattuina omille paikoilleen. Putkien taivutukset tehtiin silmämääräisesti ja sovitamalla putkia, kunnes ne istuivat paikoilleen halutulla tavalla. Pitkissä putkissa, jotka vaativat lisäledejä koko putken valaisuun, lisäledien paikat määritettiin aikaisemmin testatulla pisimmällä mahdollisella putken pituudella/ledi ja sovitamalla lisäledit putken niihin kohtiin, joissa ne eivät häiritse putken taivetta tai osu visuaalisesti epämieluisalle paikalle.

Osa pitemmistä putkista oli sellaisenaan varsin huteria, joten niihin lisättiin tukirakenteita rikkoontumisen estämiseksi. Pilkkupanimo-julisteessa näkyviä puisia Y-tukia käytettiin samoissa paikoissa, joissa ne julisteessakin olivat. Lisäksi esimerkiksi K4-kysymyslaitteesta Einon tuoppeihin vievät putket tarvitsivat omia lisätukiaan, jotka pyrittiin tekemään niin, että ne sopivat Pilkkupanimon yleisilmeeseen mahdollisimman hyvin. Tukirakenteista tehtiin lisäksi sisältä ontoja, jotta lisäledien virtajohdot saatiin kuljetettua niiden läpi näkymättömissä. (Kuva 34.)



Kuva 34. Pieni putki tukirakenteineen

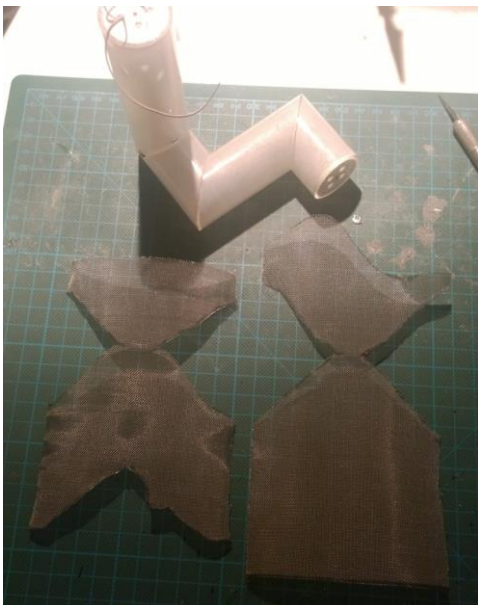
4.5.2 Isot putket

K1.1- ja K1.2-kysymyslaitteista lähtevät isot putket valmistettiin 30 mm:n akryyliputkesta, joka peitettiin pienisilmäisellä teräsverkolla. Putket sahattiin jiirisahalla 45 asteen kulmiin ja sovitettiin paikoilleen. (Kuva 35.)



Kuva 35. Isoja putkia mittaansa sahattuna

Putkien sisään laitettiin putkeen tulevat ledivalot, jotka keskitettiin putken sisään 3D-tulostettujen osien avulla. Ledien ollessa paikallaan putken osat liimattiin yhteen ja sopivuus tarkistettiin ennen liiman kuivumista. Putkien pinnat himmennettiin hiomapaperilla samalla menetelmällä kuin pienissä putkissa tasaisen valaistuksen aikaansaamiseksi. Putkien ympärille asetettava teräsverkko sovitettiin putkien päälle ja leikattiin muotoonsa. (Kuva 36.)



Kuva 36. Putken peittävät metalliverkot leikattuna muotoonsa

Teräsverkkojen liitoskohdat pyrittiin pitämään putken alla tai takana mahdollisimman näkymättömissä. Leikatut teräsverkot liimattiin valmiiden putkien päälle, ja putket asennettiin lopullisille paikoilleen. (Kuva 37.)



Kuva 37. Valmis iso putki

4.6 Muiden osien valmistaminen

4.6.1 Valokyltit

Kysymyslaitteiden kyltit ja suuntaliput valmistettiin 2 mm:n akryylilevystä ja kylttien merkinnät tulostettiin vanhalla voimakkaasti kellertyneelle piirustusmuoville, joka antoi valokylteille vanhan vaikutelman. Suuntalippujen akryylilevyt olivat kaikki samankokoisia, joten niille tulostettiin sabluuna, jota hyödynnettiin levyjen leikkaamisessa. Kysymyslaitteiden kyltit leikattiin yksitellen karkeasti oikeisiin mittoihin ja sovitettiin paikalleen. Osassa kysymyslaitteita akryylilevyjä taivutettiin kuumailmapuhaltimen avulla, jotta levyt saatiin sopimaan kysymyslaitteen kaarevaan muotoon.

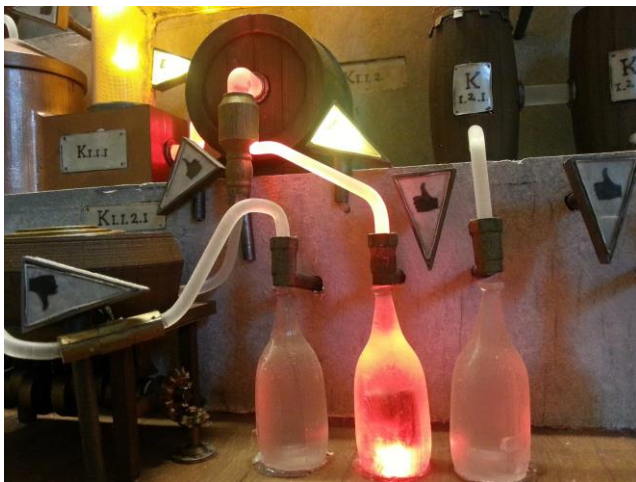
4.6.2 Pullot

Pilkkipanimon alaosan pullot sekä Einon tuopit valmistettiin valamalla ne 3D-tulostettuihin muotteihin läpinäkyvästä polyesterivaluhartsista. Pullon muoto suunniteltiin Autodesk Inventorissa, minkä jälkeen pullon ympärille mallinnettiin kaksiosainen valumuotti. (Kuva 38.)



Kuva 38. Valetut tuopit ja niiden valumuotit

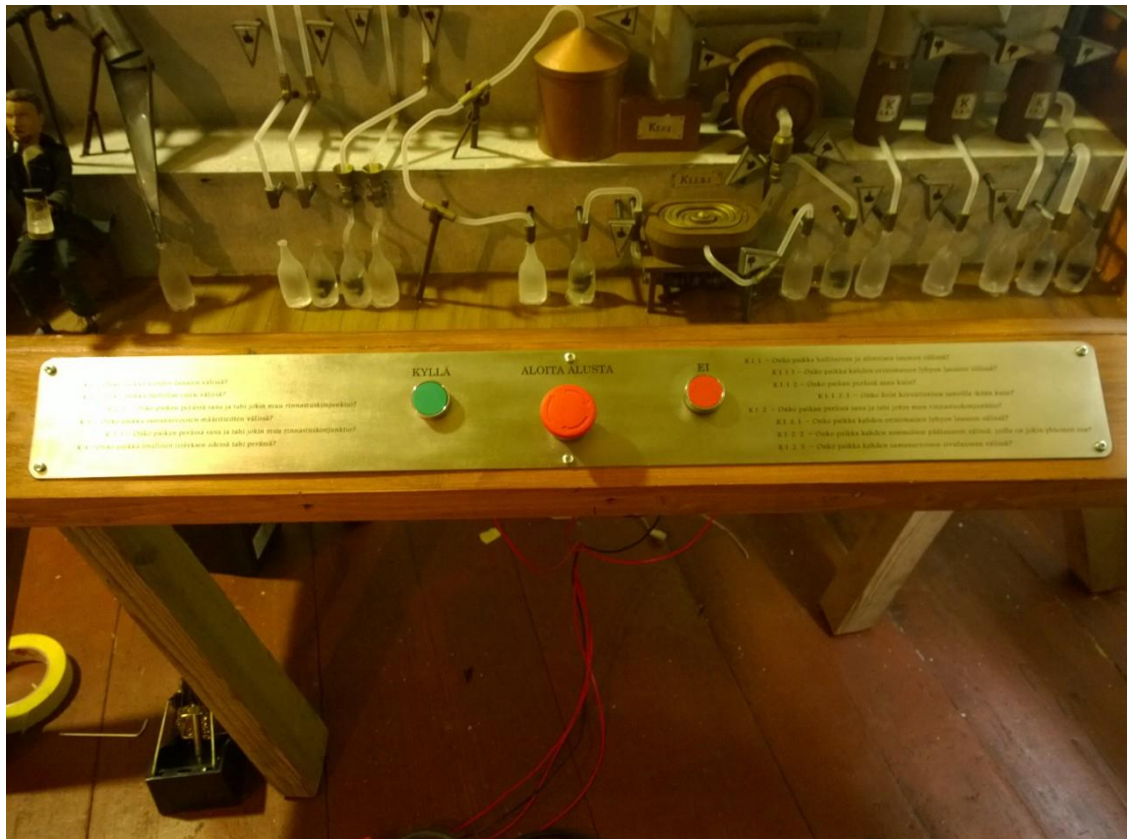
Osaan pulloista valettiin 3D-tulostettu pilkku pullon sisään. Nämä valut suoritettiin kahdessa osassa. Valumuotti täytettiin ensin polyesterihartsilla noin puoliväliin ja hartsin annettiin kuivua muutaman minuutin. Kun hartsi alkoi muuttua tahmeaksi, asetettiin pilkku valun keskelle. Hartsin jähmetyttyä riittävästi lisättiin vanhan hartsin ja pilkun päälle uusi kerros, jolla muotti täytettiin kokonaan. (Kuva 39.)



Kuva 39. Valmiita pulloja

4.6.3 Ohjauspaneeli

Ohjauspaneelin taustamateriaaliksi valittiin 2 mm:n ruostumaton teräslevy. Levyyn porattiin reiät ohjauspaneelin napeille ja sen pinta harjattiin tasaiseksi hiomapaperilla. Pilkkupanimo-julisteessa näkyvät kysymykset aseteltiin ohjauspaneelin painonappien kummallekin puolelle. Kysymykset yritettiin ensin painaa teräslevylle samalla Toner Transfer -menetelmällä, jota käytettiin myös piirilevyjen valmistuksessa, mutta lopputulos ei ollut tyydyttävä. Kysymykset päätettiin teettää tarrana, joka liimattiin peittämään koko teräslevy. Kuvassa 40 näkyy valmis paneeli.



Kuva 40. Valmis ohjauspaneeli kysymyksineen

5 Pilkkupanimo käytössä

Pilkkupanimon ensiesiintyminen tapahtui lokakuussa 2015 Helsingin kirjamesseilla. Sittemmin Pilkkupanimo on vierailut mm. Tyrvään Sanomien ja Yle Tampereen toimituksissa sekä viettänyt noin puoli vuotta Suomalaisen kirjan museo Pukstaavissa Sastamalassa osana museon päänäyttelyä (kuva 41). Tällä hetkellä Pilkkupanimon kotipaikkana on Warelian liiketila Tyrvään Pryki Sastamalan ydinkeskustassa.



Kuva 41. Pilkkupanimo Suomalaisen kirjan museo Pukstaavissa

Pilkkupanimon ympärille on syntynyt myös muutamia muita siihen liittyviä tuotteita, joista yksi esimerkki on Tyrvään Pukki -yleiskirjatuki.

Lisätietoa Pilkkupanimosta ja sen liikkeistä löytyy Pilkkupanimon Facebook-ryhmästä, ja Pilkkupanimoon liittyvistä tuotteista kerrotaan Tyrvään Prykin verkkokaupassa <http://www.tyrvää.fi>.

6 Yhteenveto

Tämän insinööriyön tavoitteena oli suunnitella ja valmistaa kustannusliike Warelialle interaktiivinen fyysinen versio Pilkkupanimosta Mikko Ylisen suunnitteleman Pilkkupanimo-julisteen pohjalta.

Työn alussa luotiin konseptisuunnitelma Pilkkupanimon ulkonäöstä ja sen toiminnoista. Konseptisuunnitelman pohjalta edettiin laitteen osien mallintamiseen, elektroniikkasuunnitteluun, ohjelmointiin ja lopulta Pilkkupanimon valmistukseen.

Pilkkupanimo on otettu hyvin vastaan yleisötilaisuuksissa, joissa se on vierailut, ja se on ollut myös muutaman lehti- ja radiojutun keskiössä. Yleisön reaktioiden perusteella voidaan sanoa työn tavoitteiden täytyneen.

Pilkkupanimon avoimen rakenteen takia sitä on jouduttu korjaamaan muutamaan otteeseen kiinnostuneiden käsien päädyttyä liian lähelle herkempiä osia. Korjaukset ovat kuitenkin olleet yksinkertaisia ja nopeita, joten avoimen rakenteen sallima koskettaminen on luonut enemmän kiinnostusta ja luottamusta kuin ongelmia. Isompi ongelma ovat kysymyslaitteiden K1.1 ja K1.2 suuntaa vaihtavat rattaat, joiden hampaat ovat kuluneet niin, että kyseisten kysymyslaitteiden mekanismit jumittuvat usein. Näiden rattaiden suunnanvaihdot aiheuttavat rattaiden hampaisiin suurempia voimia kuin 3D-tulostetut rattaat kestävät. Korjauksena ongelmaan voidaan joko mekanismia yksinkertaistaa poistamalla suunnanvaihto-ominaisuus tai teettää rattaat kestävämmästä materiaalista.

Mikäli Pilkkupanimosta tulisi valmistaa toinen versio, edellämainittujen rattaiden korjaamisen lisäksi myös putkistojen valaistuksen muuttamista EL-lankapohjaiseksi tulisi miettiä uudestaan. Nykyisenlaisen putkiston valmistus oli odotetua enemmän aikaavievä prosessi, joka helpottuisi huomattavasti käyttämällä putkien valaisuun putkien sisällä kulkevaa EL-lankaa.

Kaiken kaikkiaan Pilkkupanimo oli projektina laaja ja haastava. Sen suunnittelu ja valmistus vaativat monen uuden asian opettelua, ja se herätti kiinnostuksen niin elektroniikkasuunnittelua kuin 3D-tulostamistakin kohtaan.

Lähteet

3D Hubs. (2014). Ultimaker 2. Verkkodokumentti. <<https://www.3dhubs.com/3d-printers/ultimaker-2>> (Luettu 28.11.2013.)

3D Hubs. (2014). Which FDM 3D-printing plastic is best for my application? Verkkodokumentti. <<https://www.3dhubs.com/knowledge-base/which-fdm-3d-printing-plastic-best-my-application>> (Luettu 13.01.2014.)

Alger, J. (2011). Modeling the Human Head Made Easy. YouTube. Verkkodokumentti. <https://www.youtube.com/watch?v=86JiuZpbi_w> (Luettu 15.02.2014.)

Arduino. (2014). Introduction. Verkkodokumentti. <<https://www.arduino.cc/en/Guide/Introduction#>> (Luettu 08.01.2014.)

AspenCore. (2016). The Shift Register. Electronics Tutorials. Verkkodokumentti. <http://www.electronics-tutorials.ws/sequential/seq_5.html> (Luettu 05.02.2017.)

bldr. (2011). Arduino: Individually Control Shift Register Pins. Verkkodokumentti. <<http://bldr.org/2011/08/74hc595-breakout-arduino/>> (Luettu 02.03.2014.)

Daciuk, J. (1998). Finite State Automata. Verkkodokumentti. <<http://galaxy.eti.pg.gda.pl/katedry/kiw/pracownicy/Jan.Daciuk/personal/thesis/node12.html>> (Luettu 20.03.2014.)

Dunki, Q. (2012). Revisiting my PCB Etching. Blondihacks. Verkkodokumentti. <<http://quinndunki.com/blondihacks/?p=835>> (Luettu 10.03.2014.)

Jjannaway3D. (2011). Modeling A Velociraptor in Blender Part 1. YouTube. Verkkodokumentti. <<https://www.youtube.com/watch?v=Dut5qb3KR74>> (Luettu 17.02.2014.)

Kustannusliike Warelia. (2016). Pilkkupanimo-kortti. Tyrvään Prykin verkkokauppa. Verkkodokumentti. <<https://holvi.com/shop/tyrvaanpryki/product/f103fe2cba32ce3c9fb23c6a325bb480/>> (Luettu 23.10.2016.)

Lathrop, O. (2014). Electrical Engineering. StackExchange. Verkkodokumentti. <<http://electronics.stackexchange.com/questions/95140/purpose-of-the-diode-and-capacitor-in-this-motor-circuit>> (Luettu 09.03.2014.)

Lazaridis, G. (2010). Led Fade-In Fade-Out Dimmer. PCB Heaven. Verkkodokumentti. <http://pcbheaven.com/circuitpages/LED_Fade_In_Fade_Out_Dimmer/> (Luettu 15.03.2014.)

Linja-aho, V. (2014). Tuhat kalvoa sähkötekniikkaa ja elektroniikkaa. SlideShare. Verkkodokumentti. <<https://www.slideshare.net/linjaaho/tuhat-kalvoa-shktekniikkaa-ja-elektroniikkaa>> (Luettu 12.08.2016.)

Näikälänmäen urheilusosiologian laitos. (2016). Tyrvään Panimo. Verkkodokumentti. <http://www.kolumbus.fi/tyrvaa/MUUT/Tyrvaan_Panimo.htm> (Luettu 03.12.2016.)

O'Callaghan, D. (2013). Water Experiment No. 33 Automata Video. Youtube. Verkkodokumentti. <<https://www.youtube.com/watch?v=ZqzjAmPFND8>> (Luettu 09.02.2014.)

Oskay, W. (2011). Does this LED sound funny to you? Evil Mad Scientist. Verkkodokumentti. <<http://www.evilmadscientist.com/2011/does-this-led-sound-funny-to-you/>> (Luettu 01.03.2014.)

Proto Stack. (2010). Introduction to 74HC595 Shift Register - Controlling 16 LEDs. Verkkodokumentti. <<https://protostack.com.au/2010/05/introduction-to-74hc595-shift-register-controlling-16-leds/>> (Luettu 06.03.2014.)

Texas Instruments. (1982). SNx4HC595 8-Bit Shift Registers With 3-State Output Registers. SN54HC595, SN74HC595. Verkkodokumentti. <<http://www.ti.com/lit/ds/symlink/sn74hc595.pdf>> (Luettu 06.03.2014.)

Wiebusch, M. (2014). 2 YEARS OF TONER TRANSFER – TIPS THAT WON'T HURT YOU. AcidBourbon. Verkkodokumentti. <<https://acidbourbon.wordpress.com/2014/04/05/pcbtips/>> (Luettu 10.04.2014.)

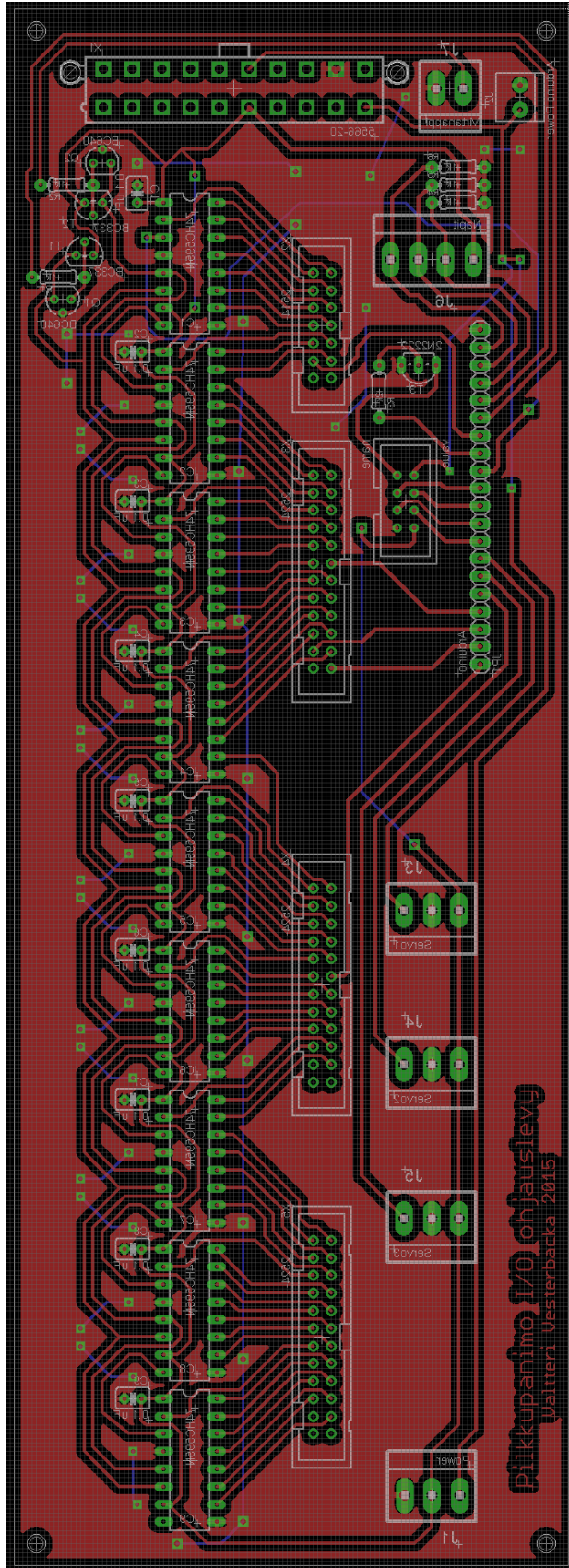
Vihinen, J. (2015). 3D-tulostustekniikat. Tampereen teknillinen yliopisto. Verkkodokumentti. <http://www.vtt.fi/files/services/mav/3D%20-tulostustekniikat_Vihinen.pdf> (Luettu 16.10.2016.)

Wikipedia, vapaa tietosanakirja (2016). Tyrvään Oluttehdas. Verkkodokumentti. <https://fi.wikipedia.org/wiki/Tyrv%C3%A4%C3%A4n_Oluttehdas>. (Luettu 03.12.2016.)

wildbill. (2011). WVO Fuel System Controller. Arduino Forum. Verkkodokumentti. <<http://forum.arduino.cc/index.php/topic,71867.0.html>> (Luettu 15.03.2014.)

Wolf, C. (2013). Electrical Engineering. StackExchange. Verkkodokumentti. <<http://electronics.stackexchange.com/questions/67092/how-much-current-can-i-draw-from-the-arduinios-pins>> (Luettu 25.04.2014.)

VTT. (2015). Metallien 3D-tulostus – uudet liiketomintamahdollisuudet. VTT, Teknologian tutkimuskeskus. Verkkodokumentti. <http://www.vtt.fi/files/services/mav/Metallien_3D-tulostus_uudet_liiketoimintamahdollisuudet_2015_Puukko_VTT%20_%20for_web_pages.pdf> (Luettu 16.10.2016.)



Kuva 5. Ohjauksipiirilevy

Piikkupanimon UML-kaavio

