

Petri Tuominen

Sukellusrobotti ROV

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Tietoverkot

Insinöörityö

15.1.2014

Tekijä Otsikko	Petri Tuominen Sukellusrobotti ROV
Sivumäärä Aika	41 sivua + 2 liitettä 15.1.2014
Tutkinto	Insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	Tietotekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	Tietoverkot
Ohjaaja(t)	Marko Uusitalo, Lehtori
<p>Opinnäytetyöllä ei ole suoraa toimeksiantajaa, mutta idean lähteenä toimii sukeltaja Antti Höyden.</p> <p>Tarvittiin sukellusrobotti, joka sukeltaisi syvyyksiin ja joka toimisi etäohjattavana videolaitteena ohjausmoottoreiden avulla. Laitteeseen haluttiin myös manipulaattori, eli kauko-ohjattava ”käsi”, jolla voi poimia esineitä vedenalaisista kohteista, sekä valaistus, joka valaisee videoitavan kohteen. Näiden tavoitteiden pohjalta muodostui laite, jolla voitiin kuvata vedenalaisia kohteita.</p> <p>Opinnäytetyössä esitellään yleisesti sukellusrobotit ja niiden historia, mihin niitä käytetään ja minkälaisia eri ROV-kokoluokkia on olemassa. Opinnäytetyön työosuudessa esitellään sukellusrobotin rakennusvaiheet ja raportoidaan demovaiheen testisukelluksista. Käydään läpi elektroniikka, ohjelmistot ja tekniikat. Näiden lisäksi esitellään projektin aikaiset kehitys-ideat ja minkälaisia ratkaisuja on testattu ja mitä ongelmia niissä on tullut vastaan.</p> <p>Projektin rakennusvaiheiden aikana muodostui selkeä mielikuva, miten projektia voidaan kehittää eteenpäin. Näitä kehitysideoita käydään läpi yleisellä tasolla loppupäätelmissä ja jatkokehitysosuudessa.</p>	
Avainsanat	Sukellusrobotti, vedenalainen tutkimus

Author Title	Petri Tuominen Diving robot ROV
Number of Pages Date	xx pages + x appendices 15 September 2012
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Information technology
Specialisation option	Data networks
Instructor(s)	Marko Uusitalo, Senior Lecturer
<p>This thesis is not directly commissioned by a client, but the idea came from diver Antti Höyden.</p> <p>Mr Höyden needed a diving robot for deep diving, which would be able to record video and could be controlled by remotely operated engines. Furthermore the device needed a manipulator, in other words, a remote-controlled "hand" that could pick up objects underwater, and a light that illuminates the subject. Thus, based on these objectives, a device to examine underwater objects was created.</p> <p>This thesis gives an overview of diving robots and their history. It explains the main uses of the devices and introduces the different ROV size classes available. The practical part of this thesis presents the construction phases of the robot including reports from the demo stage test dives. Electronics, software and techniques are also reviewed. In addition to these, this thesis presents the different ideas and solutions that have been tested during the project as well as problems that the author has encountered.</p> <p>A clear image of how the project can be developed further was formed during the construction phases of the robot. These ideas for future development are discussed at a general level in the final conclusions.</p>	
Keywords	Remote Operated Vechile, Underwater research

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
1.1	Projektin esittely	1
1.2	Tavoitteet	2
2	Sukellusrobotit maailmalla	3
2.1	Historia	4
2.2	Monenlaiset sukellusrobotit	5
2.2.1	Erittäin raskas luokka	5
2.2.2	Työluokka	6
2.2.3	Sähkösyötöllinen keskiluokka	7
2.2.4	Pieni luokka	8
2.3	Markkinat	9
3	Rakennustyön esittely	10
3.1	Runko	10
3.2	Kaapelointi	14
3.3	Elektroniikka	16
3.3.1	Arduino	17
3.3.2	Ohjauspiiri	17
3.4	Tietotekniikka	19
3.4.1	USB-kamera	20
3.4.2	Mini-PC vaihtoehdot	20
3.5	Valaistus	21
3.6	Ohjausmoottorit ja ohjaus	22
3.7	Ohjelmisto	24
3.7.1	Arduino rov_1_3.pde	24
3.7.2	Processing	25
3.7.3	Videontoisto ja nauhoitus	27
4	Sukellukset	28
4.1	Ensisukellus kaivoon	28
4.2	Sukellus Lauttasaaren merisatamassa	29

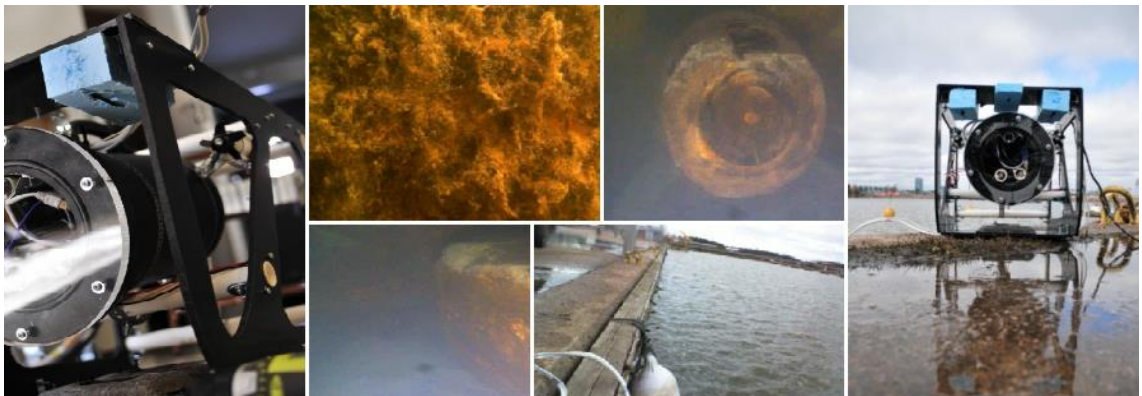
4.3	Sukellus Pallada	31
5	Jatkokehitys	32
5.1	Ohjausmoottorit	32
5.2	Manipulaattori, runko ja kaapelointi	34
5.3	Anturit	34
5.4	Kamerat ja infonäyttö	36
5.5	Käyttöliittymä	36
6	Kustannuslaskelma	37
7	Loppupäätelmät	38
	Lähteet	40
	Liitteet	
	Liite 1. Koodi Arduinolle	
	Liite 2. Processing-koodi	

Lyhenteet

ROV	Remote Operated Vehicle, kauko-ohjattava ajoneuvo.
CURV	Cable-Controlled Underwater Recovery Vehicle. Kaapeliohjattava vedenlainen noutaja-ajoneuvo
PoE	Power over Ethernet, virransyöttötekniikka Ethernet kaapelin kautta.
HD	High-definition video. Mahdollistaa resoluution 1920 x 1080, 60fps.
FPS	Frames per seconds, kuvaa per sekunti.

1 Johdanto

Tämän insinööriyön tarkoituksena on suunnitella ja rakentaa kauko-ohjattava sukellusrobotti, jota kutsutaan myös lyhenteellä ROV. Projektin tarkoitus ei ole rakentaa täydellistä sukellusrobottia tuotantovalmiiksi, vaan hahmottaa tämän tekniikan mahdollisuuksia ja ongelmakohtia demomallilla. Tämä tehdään niin, että sukellusrobotilla voidaan sukeltaa useampaan kymmeneen metriin, ohjata sitä live-kuvan avulla ja että videokameralla voidaan tallentaa otokset myöhempää tarkastelua varten.



Kuva 1. Kooste projektista.

1.1 Projektin esittely

Sukellusrobotiprojektin suunnittelu alkoi vuonna 2011 pienimuotoisen tehtävänannon seurauksena. Tehtävänantajalla on sukellusharrastus, joka keskittyy hylkyjen etsintään. Hänellä on tarve päästä tutkimaan hylkyjä, jotka ovat harrastelijasukeltajan ulottumattomissa, tai syvyydessä, joka kuristaa sukeltajan vierailuajan kohteessa liian lyhyeksi. Tähän tarkoitukseen tarvittiin kauko-ohjattava sukellusrobotti. Sukellusrobotti, joka välittää reaaliaikaista videokuvaa pinnalla työskenteleville ja sitä voi ohjata tarkasti lähellä hylkyä. Itämeren syvyyksissä jo kymmenen metrin syvyydessä voi olla hyvinkin pimeää, joten valaistuksen osuus oli tärkeä osa suunnittelua.

Projekti aloitettiin tutkimalla muiden valmistajien laitteistoa ja hahmottelemalla, minkälaiset ominaisuudet ja mihin kokoluokkaan laite rakennetaan. Sukellusrobotti rakennettiin hyväksi todettujen mallien mukaan kopiaimalla muiden ammattilaitteiden ratkaisuja ja

päättelemällä, miksi mikäkin asia oli toteutettu sillä tavalla, kuin se kuvissa tai dokumentaatioissa esitettiin.

Sukellusrobotin suunnittelussa ja rakentamisessa on pyritty minimoimaan kustannukset. Tämän projektin rakentamisvaiheessa on hyödynnetty muiden yritysten ilmaiseksi tarjoamia materiaaleja sekä laitteita. Selvää on, että projektia varten on pitänyt hankkia hinnakkaita osia, mutta projektin kokonaiskustannukset jäivät silti melko pieneksi. Työn kustannuslaskelmassa tullaan esittämään keskeisimmät materiaalit, työkalut, osat ja niiden hinnat.

1.2 Tavoitteet

Tavoitteena oli rakentaa mahdollisimman pienillä kustannuksilla laite, jolla voi ohjatusti videokuvata vedenalaisia kohteita laitteen oman valaistuksen varassa.

Sukellusrobotille asetettiin vaatimuksia, että sitä tulee voida kauko-ohjata pinnalta käsin, sen tulee voida kääntyä ohjauspotkurien avulla paikallaan sivuttaissuuntaisesti, liikkua eteenpäin ja taaksepäin. Tämän lisäksi sukellusrobotin piti pystyä liikkumaan pystysuuntaisesti alas ja ylös.

Sukellusrobotin pääominaisuus eli video-kuva tuli tavoitteiden mukaan välittyä ylös laitetta ohjaavalle käyttäjälle. Tämän kuvan tuli olla reaaliaikaista sekä mahdollisimman hyvälaatuista ja tallennettavissa myöhempää analyysia varten. Asetimme riman korkealle, vaikka tiedostimme valon määrän vähentyvän hyvin nopeasti mentäessä jo muutamman metrin syvyyteen.

Videokuvaa tukevan laitteen oma valaistus asetettiin hyvin tärkeäksi kuvanlaadun kannalta. Valaistuksen tuli olla tehokas ja sijoitettuna niin, että valon aiheuttama keila sakeassa merivedessä ei häittäisi videokuvaa.

Laitteen tiiviidenkestoksi määriteltiin noin 100 m, joka vastaa absoluuttisesta nollapaineesta noin +11 barin korotusta. Tämä paineenkesto ja tiiviys haluttiin kotelolle johon sijoitetaan kontrollerit, elektroniikka ja kamera. Sama paineenkestokyky piti olla myös ohjauspotkurien koteloinnilla sekä valaistuksella ja niiden läpivienneillä.

Laitteen kaapelin pituudeksi piti miettiä maksimisyvyys ja siihen lisätään mahdollinen kallistuskulma ja varalla oleva pituus. Tämä tehdään siksi, että ohjausaluksen tai veneen sijainti voi hyvinkin nopeasti vaihtua tuulen ja aallokon vaikutuksesta.

Laitteen painoksi suunniteltiin yli kymmentä kiloa, jotta ohjattavuus olisi mahdollisimman vakaa. Mitä painavampi laite, sitä vähemmän meriveden virtaukset aiheuttavat nopeita liikkeitä laitteeseen.

Projektin lopputulokseksi odotettiin prototyyppiä, joka ei välttämättä kykene kaikkeen, mitä on suunniteltu mutta mistä voitaisiin uusien ideoiden pohjalta aloittaa seuraavan version suunnittelu ja rakennustyö.

2 Sukellusrobotit maailmalla

Kauko-ohjattava sukellusrobotti on tarkoitettu vedenalaisten töiden tekemiseen, mitä yleisimmin töiden joita ei voida teettää sukeltajilla syvyyden tai muuten vaarallisten ja hankalien olosuhteiden takia. Veden alla saatetaan viettää pitkiä aikoja tehden raskasta mekaanista työtä.

Sukellusrobottien kokoluokat vaihtelevat suurista tonnin painoisista tietoliikennekaapeleiden asettajista pieniin jalkapallon kokosiin videokuvan välittäjiin [1, s. 12.]

Sukellusrobottien käyttö muiden miehitettyjen alusten rinnalla on tarpeen: pieni koko tarvittaessa, pienet kustannukset ja pienet riskit. Tutkimuskäytössä etäohjattava sukellusrobotti on helppo laskea syvyysiin ja työtä voidaan tehdä pitkiä aikoja tauotta vain vaihtamalla operaattoria ohjausaluksella. Sukellusrobotit pystyvät toimimaan suurissa syvyyksissä nolla-näkyvydessä erinäisten anturien avustamina.

Sukellusrobotteja käytetään muun muassa öljynporauslautoilla, sillan rakenteiden tutkimisessa, tietoliikennekaapelin asettamisessa, komponenttien vaihtamisessa, miinanraivauksessa, hylkyjen etsinnöissä, merenpohjan kartoituksessa, roskien siivouksessa, näytteiden ottamisessa tai vaikka merielämän seuraamisessa napajäätikön alla.

2.1 Historia

Yksi ensimmäisistä sukellusroboteista oli nimeltään ”Cutler”. Yhdysvaltain laivaston kehittämä ja käyttämä kauko-ohjattava sukellusrobotti, joka etsi ja haki torpedoja harjoitusoperaatioissa. [2, s. 8.]

Tarpeeseen kehitettiin myös kylmän sodan aikainen kaapeliohjattava vedenalainen sukelluslaite (CURV), joka rakennettiin sotaharjoituksissa käytettyjen aseiden noutamiseen merenpohjasta. Todellinen tarve tällaiselle laitteelle tuli vuonna 1966, kun Yhdysvaltain pommikone B-52 menetti ydinaseen Espanjan rannikolla sattuneessa onnettomuudessa. Näitä laitteita valjastettiin etsintätöihin, ja jokaisella oli oma rooli etsien tai nostaan kohdetta. [1, s. 33.]



Kuva 2. CURV noutamassa torpedoa merenpohjasta kuvitetussa kuvassa

Suomessa vuonna 1994 uponnut M/S Estonia paikallistettiin ja varmistettiin sukellusrobotilla. Tutkimuksissa haluttiin tietoa keulaportin vaurioista, joita epäiltiin onnettomuuden aiheuttajiksi. Keulaportin visiiriä etsittiin kaikuluotaamalla ja sukellusrobotti varmisti löydön oikeellisuuden. Tämän työn suoritti Suomen rajavartiolaitoksen saaristomeren Merivartiosto tukialuksenaan öljyntorjunta-alus Halli. [3.]



Kuva 3. Kuvattu sukellusrobotilla M/S Estoniasta

2.2 Monenlaiset sukellusrobotit

Sukellusrobottien perheeseen kuuluu itsenäisiä sukellusrobotteja, jotka etsivät omatoimisesti kohdetta tai tekevät muuta määrättyä tutkimustyötä, tai kauko-ohjattavia laitteita, jotka tekevät työtä suoraan ohjattuna. Sukellusrobottien koko vaihtelee tarpeiden mukaan. Raskaamman työn raatajat vaativat tehoa sekä vakautta ja videokuvaukseen erikoistuneet voidaan tehdä ketterimmiksi ja kevyiksi.

2.2.1 Erittäin raskas luokka

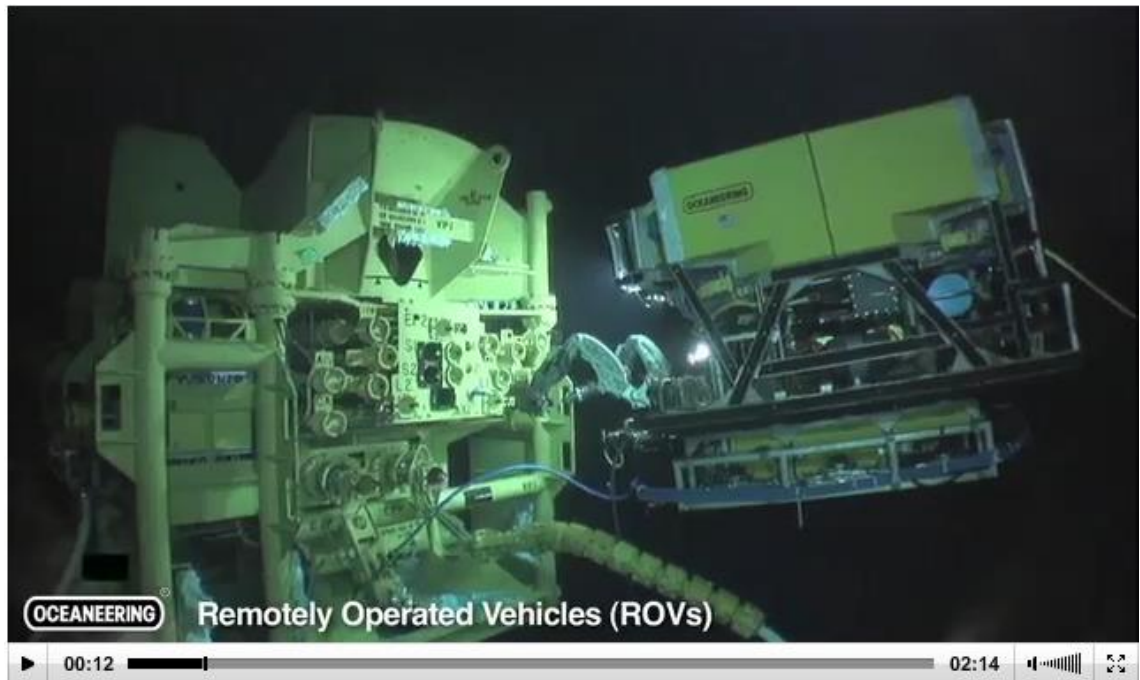
Raskaanluokan sukellusrobotteihin kuuluvat laitteet toimivat öljy ja kaasutuotannon tukena. Öljyputkien asettelu, komponenttien vaihtaminen ja venttiilien operointi ovat tämän laitteen leipätyötä [4, 5.] Raskaansarjan sukellusroboteilla voi olla painoa yli 5000 kiloa ja kyky toimia jopa 6000 metrin syvyydessä. Näiden laitteiden tehotarve voi olla yli 230kW, joka tuotetaan hydraulisella Diesel-teholähteellä [1, s. 50, 6.] Hydraulisella Diesel-teholähteellä pystytään tuottamaan kova paine hyvinkin pieneen putkeen, joka ohjataan sukellusrobotin hydraulisille moottoreille [7.] Sukellusrobotille syötetään myös suora jännite sähkölaitteille, jotka kontrolloivat sukellusrobotin laitteita. Valaistukseenkin varataan teholähteeltä useita kymmeniä kilowatteja [8.] Videokuva, ohjaus ja muu informaatio kulkevat valokuitua pitkin pinnalle kaapelissa.



Kuva 4. Erittäin raskaan luokan sukellusrobotti [9.]

2.2.2 Työluokka

Työluokan sukellusrobotit toimivat myös öljyteollisuuden avustustöissä, tehden poraus-
aputöitä, kaapelien tai putkien tarkastuksia ja muita raskaita töitä. Nämä laitteet painivat
sarjassa 1000–3600 kg. Laitteiden ominaisuuksiin kuuluu kauko-ohjattavat manipulaat-
torit ja kyky jopa 680kg nostovoimaan. Tehontarve laitteilla voi olla jopa 150kW. [1, s.
50.]



Kuva 5. Työluokan sukellusrobotti operoi vedenalaista laitteistoa [10.]

2.2.3 Sähkösyötöllinen keskiluokka

Keskiluokan sukellusrobotit kuuluvat sarjaan, jossa toimitaan pinnalta tulevan sähkösyötön varassa. Näiden laitteiden tehontarve on pienempi kuin raskaansarjan sukellusroboteilla. Näiden laitteiden työtehtävät keskittyvät aputöihin, joissa ei vaadita suurta nostovoimaa tai painavia apulaitteita. Laitteiden paino pysyttelee 1000 ja 2000 kilogramman välillä ja tehonkäyttö on maksimissaan 75 kW. Kuormaa laitteille voidaan asettaa muutamia satoja kiloja, jos on tarvetta viedä tai noutaa tarvikkeita. Laitteissa on yleensä vain yksi tai maksimissaan kaksi manipulaattoria, joilla voidaan tehdä yksinkertaisia toimenpiteitä. Näillä laitteilla sukelletaan 900 metristä jopa 6000 metriin. Näiden laitteiden käyttäjäkuntaa ovat sotateollisuus ja meritutkimus. [1, s. 50.]



Kuva 6. Saabin valmistama Seaeye Jaguar keskisarjan sukellusrobotti [11.]

2.2.4 Pieni luokka

Pienet elektroniset sukellusrobotit toimivat lähes aina valokuvaus- tai videokuvaustöissä. Laitteiden kokoluokka lähentelee jalkapalloa tai maksimissaan kymmeniä kiloja. Laitteiden hintaluokka pysyttelee hyvin alhaisena verraten raskaampiin sukulaisiin. Halvimmillaan laitteen voi saada 10 000 € hintaan ja ominaisuuksien kasvaessa voidaan joutua maksamaan jopa 100 000 €. Manipulaattoreita näihin laitteisiin ei yleensä asenneta. Jos asennetaan, niin toimenpiteinä on mahdollisesti esineiden poiminta, kiinnikkeiden liittäminen tai pintoihin tarttuminen ja pienien aputöiden teko. [1, s. 50.]



Kuva 7. AC-ROV 100. 3 kg, 100 m syvyyteen yltävä ja 300 W maksimiteholla toimiva. [12.]

2.3 Markkinat

Suomessa yritysten käyttämät sukellusrobotit on pääsääntöisesti hankittu ulkomailta. Yritykset tarjoavat palveluina kartoituksia, tutkimustyötä, mittausta ja muita tehtäviä. Laitteistoihin asennetaan tarpeen vaatiessa antureita, kaikuluotaimia ja paikannuslaitteistoja. [13.]

Isossa Britanniassa toimiva sukellusrobotteja suunnitteleva yritys Saab Seaeye on valmistanut sukellusrobotteja vuodesta 1986 lähtien. Seaeye-mallisto koostuu eri käyttötarkoituksiin suunnitelluista laitteista, pienestä sukellusrobotista suureen työluokan sukellusrobottiin. Yritys valmistaa myös nostureita, joilla kehiöt lasketaan veteen tukialuksesta. Seaeye-malliston tuotteisiin kuuluu myös erikseen myytävät ohjausmoottorit, led-valaistus, kamera-yksiköt ja läpivientiliittimet. [14.]



Kuva 8. Seabeam TMS Type 8 -kehikko johon on kiinnittyneenä Panther-XT ROV [14.]

3 Rakennustyön esittely

Sukellusrobotti työstettiin runkoa myöten opiskelija-asunnossa Helsingin Kumpulassa vuosien 2011 ja 2012 aikana. Rakennustyön lomassa tehtiin testisukelluksia videokuvan testaamiseksi ja tasapainon säätämiseksi. Sukellusrobotin kehitystyötä on tarkoitus jatkaa pitkälle prototyypin valmistumisen jälkeen.

Sukellusrobotin työvaiheet, tulevaisuudennäkymät ja testisukelluksien kuvamateriaalit tullaan esittelemään tässä opinnäytetyössä. Työssä esitellään demovaiheen aikainen kokoonpano laitteelle ja käydään läpi meneillään olevaa kehitystyötä ja sitä, mitä parannuksia laitteeseen on suunniteltu ja tehty demovaiheen jälkeen.

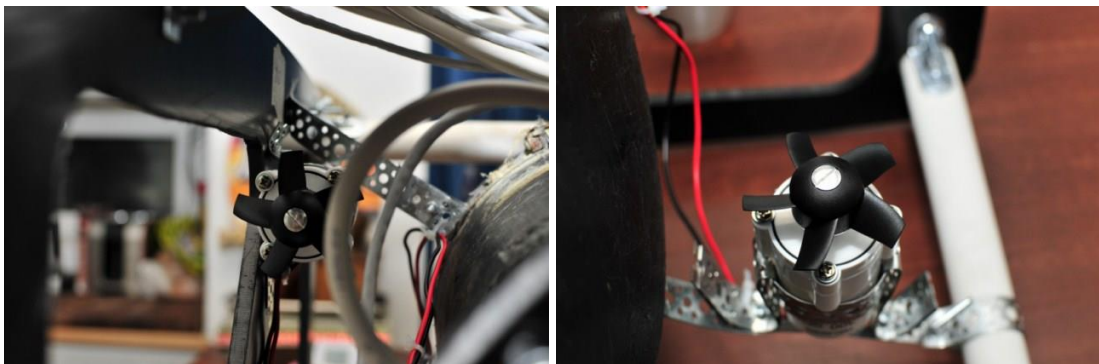
3.1 Runko

Runko suunniteltiin niin, että sen rakenne tukee painavaa keskusyksikköä ja että siihen on helppo lisätä mahdollisia lisäosia. Rungon suunnittelussa otettiin huomioon painopiste pinnalla ja veden alla. Keskusyksikön kahvan kohta on painopisteessä keskellä, jotta laitteen siirtäminen, lasku veteen ja nosto olisivat helposti tehtävissä.

Kehikko, jonka tarkoitus on tukea sukellusrobotia, on rakennettu 8 mm paksuisesta polyeteenilevystä. Kehikon sivuseinämät on leikattu ja muotoiltu niin, että vesi pääsee virtaamaan sukellusrobotin läpi ja virtauksien vaikutukset laitteeseen voitiin minimoida. Kehikon sivuseinämien muodot on osittain kopioitu muiden valmistajien laitteista, mutta myös ajateltu niin, että lisäosien ja keskusyksikön liittäminen runkoon onnistuu ja painopiste pysyy keskellä. Sivuseinämät toisiinsa yhdistävät polyeteenilevyt kiinnittävät sivut yhteen ja kolme valkoista 400 mm:n pituista muoviputkea tukevat kehikon sivuja sekä keskusyksikköä. Alalevy toimii lyijypainojen tukialustana, kun taas sivulevyt toimivat ohjausmoottorien tukialustana. Rungon sivu- ja poikittaislevyjen kiinnitykset on pultattu teräksisillä kulmakiinnityslevyillä. Valkoiset muoviputket on liimattu ja myös pultattu kulmalevyillä. Kehikon ulkomitat ovat 400x400x600 mm (K x L x S).



Kuva 9. Kuvakooste rungon rakentamisvaiheista



Kuva 10. Kuvakooste ohjausmoottoreiden kiinnityksistä

Keskusyksikkö on rakennettu ontosta muoviputkesta, jonka sisähalkaisija on 150 mm. Keskusyksikön pääty on tiivistetty sovittamalla ja liimaamalla putken ulkohalkaisijan mittainen muovikiekko, jonka paksuus on 21 mm ja halkaisija 200 mm. Keskusyksikön etupää on tiivistetty niin, että putken päähän on laitettu halkaisijaltaan 250 mm ja paksuudeltaan 21 mm oleva muovikiekko, jossa on keskellä halkaisijaltaan 150mm oleva pyöreä reikä. Kiekon reiän ympärille on jyrskyttävä ura O-renkaalle. Ura kiertää kiekon ympäri 87,5 mm päässä kiekon keskipisteestä. Uran syvyys on 5mm ja halkaisija 8 mm. O-renkaan paksuus on 7 mm. Keskusyksikön ikkuna on tehty tilaustyönä läpinäkyvästä ja kovasta muovista, jonka paksuus on 15 mm ja halkaisija 250 mm. Ikkuna on kiinnitetty keskusyksikön etupuolella olevaan muovikiekkoon kuudella pultilla. Kiekon ja ikkunan välissä tiiviyden tuottaa O-rengas. Kahva on kiinnitetty keskusyksikköön teräsnauhalla. Kahva on laitteen painopisteen keskellä.

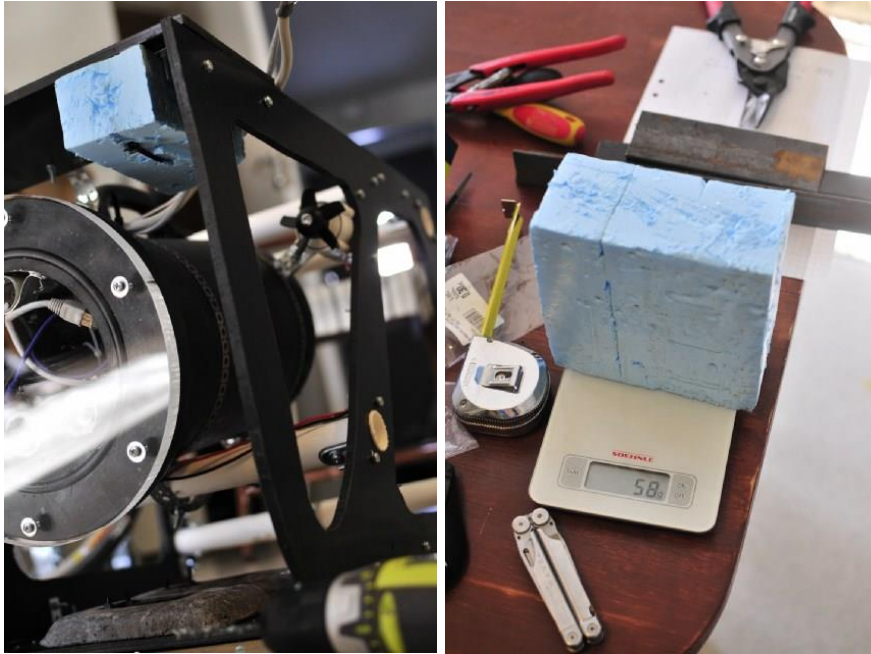


Kuva 11. Keskusyksikössä oleva kahva

Läpiviennit on tehty poraamalla halkaisijaltaan 1-2 mm suuremmat reiät kaapeleille kuin kaapeleiden oma halkaisija on. Läpiviennit on tiivistetty LOCKTITE POWER EPOXY -liimalla, sekä kumimaisella silikonilla.

Kellukkeet on työstetty sinisestä, paineenkestävästä polystereeni-eristelevystä [15.] Kellukkeiden määrä ja nostovoima mitattiin ja laskettiin summittaisesti ennen testisukellusta ja niiden paikat hahmoteltiin niin, että sukellusrobotin asento on täysin sama kuin maalle asetettaessakin. Tasapainotussukelluksen jälkeiset muutokset rungossa ja laitteistossa vaativat aina uuden tasapainotuksen. Vaahtomuovia on kiinnitetty ylälevyyn eteen ja

kummankin takaputken sisustat on täytetty vaahtomuovilla. Vaahtomuovin kokoonpainuminen voi olla ongelma paineen kasvaessa, jolloin sukellusrobotin tasapainoon voi tulla muutoksia.



Kuva 12. Kuvakooste kellukkeiden kiinnityksistä

Lyijypainoja on kaksi kappaletta, ja yhteinen mitattu paino niillä on 7.04 kg. Lyijypainojen sijainti on oleellinen laitteen tasapainon vuoksi. Mahdollisimman matala ja keskitetty sijainti takaavat sukellusrobotin asennon pysymisen vedessä. Sukellusrobotti ilman tietoliikenne- ja virtakaapeleita painaa 21,6 kg.



Kuva 13. Lyijypainot

Demovaiheen jälkeisessä kehitysvaiheessa sukellusrobotin runkoon on tullut muutoksia valaistuksen sijainnissa ja läpivientien määrässä. Valaistukseen käytettävät lamput on siirretty keskusyksikön ulkopuolelle, koska valonlähteen valokeila esiintyy videokuvassa sitä enemmän, mitä lähempänä valot ovat kameraa.

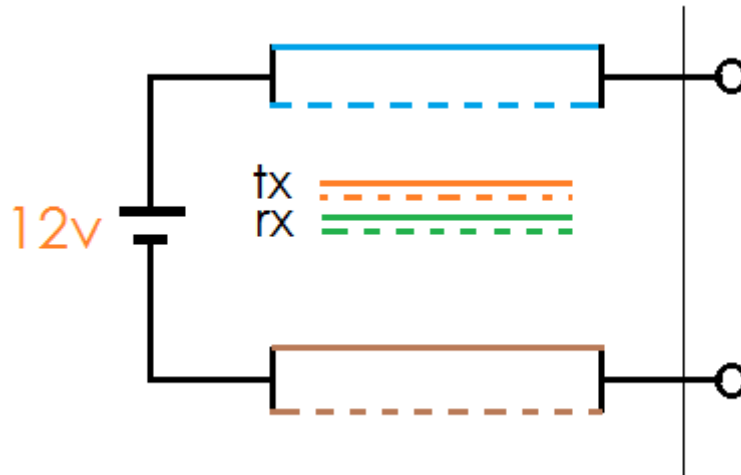
Läpivientejä on vaatinut valaistus, jossa kaksi LED-pohjaista lamppua vaativat kummatkin omat kaapeloinnit keskusyksikön sisälle ohjainkortille. Myös vanha MMJ-kaapelin paikka on hyödynnetty toisella Ethernet-kaapelilla, joka tuo mahdollisuuden liittää erinäisiä antureita järjestelmään.

3.2 Kaapelointi

Ensimmäisessä ja toisessa demosukelluksessa käytettiin virransyöttöön MMJ-kaapelia, jonka kolme johdinta veivät +12 V, +5 V ja maan laitteelle 15 m kaapelia pitkin. Tämä kaapelin pituus ja johtimien pinta-ala ei aiheuttanut ongelmia resistanssin kanssa, mutta kaapelin paino ja jäykkyys eivät olleet omiaan käyttötarkoitukseen, jossa vaaditaan keveyttä ja joustavuutta.

Demovaiheen jälkeisessä kehitysvaiheessa sukellusrobotin kaapeleita on kahdella eri ulkohalkaisijalla, CAT-5 Ethernet-kaapelit sekä ohjausmoottorien ja valaistuksen virtakaapelit. Läpivientejä Ethernet-kaapeleille on kaksi kappaletta, joista toinen kaapeli tuo pinnalta virran ja ohjaussignaalin sekä toinen on varalla keskusyksikön ulkopuolelle tulevia antureita varten. Ohuempia 4 mm:n reikiä keskusyksikön seinämässä on 10 kappaletta, joista viedään virta ohjausmoottoreille ja valaistukselle.

Dataliikenne ja virta tullaan kuljettamaan sukellusrobotille samaa kaapelia pitkin. Kaapeliksi valikoitui CAT-5 -standardin Ethernet-kaapeli, jonka ominaisuuksiin kuuluu kahdella parikaapelilla toteutettu tietoliikenneyhteys sekä jäljelle jääneille kahdelle parikaapelille sovellettu PoE-virransyöttö. Yhdistämme sukellusrobotin ja pinnalla olevan käyttäjän Fast Ethernet (100Base-TX) tekniikan tarjoamalla 100 Mbps:n yhteydellä, ja käyttövirta kuljetetaan 12 V:n jännitteellä kahta paria käyttäen. Kahteen johtimeen jaettu virransyöttö vähentää resistanssin puoleen johtimien yhteenlasketun poikkipinta-alan tuplaantuessa.



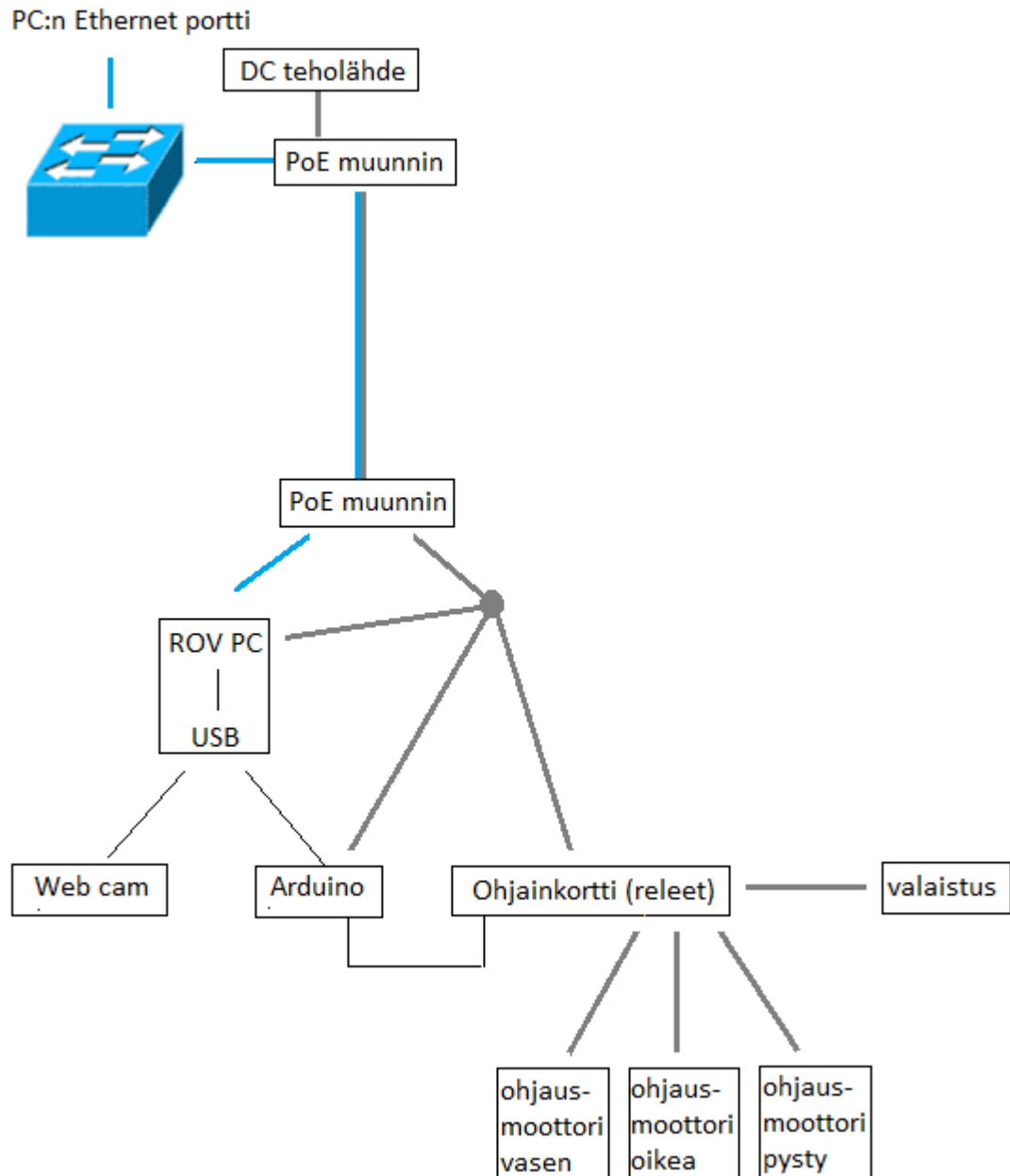
Kuvio 1. PoE-kytkentä

Kehitysvaiheessa oleva virransyöttö PoE-menetelmällä sukellusrobotille on vielä muutamman ongelman takana. Kaapelin pituuden tuoma resistanssi laskee jännitteen melko alas virran kasvaessa ja asettaa laitteen tehon käytölle rajoituksia. Tämä asettaa rajoitteet laitteille, ohjausmoottoreille ja valaistukselle, joiden pitäisi saada virta kaapelia pitkin. PoE-virransiirrossa yleisesti käytetty 48 V:n jännite voisi tuoda tässä tapauksessa hyödyn tehon pysyessä samana jännitteen kasvaessa ja virran pienetessä.

CAT-5 UTP-kaapeli, jota käytetään sukellusrobotin ja pinnan välillä, mahdollistaa siirtonopeuden gigabittiin sekunnissa, mutta lähiverkko, johon sukellusroboti ja käyttäjä-PC ovat kytkettyinä, mahdollistaa vain 100 Mbps:n nopeudella. Tämä nopeus riittää hyvin etäohjaussignaalien ja HD-tasoisien videokuvan välittämiseen kaapelia pitkin.

Kaapelin paino on mitattu niin, että voidaan kumota veden alla vaikuttava negatiivinen noste. Kaapeliin tullaan kiinnittämään tasaisin välein nosteen omaavaa kovaa vaahtomuovia. Tällä minimoidaan haittanoste, joka kaapelista aiheutuu sukellusrobotille. Kaapelin kuorma aiheuttaa vastusta liikuttaessa veden alla, eli mitä enemmän kaapelia on veden alla, sitä enemmän tarvitaan ohjausmoottoreiden tehoa, jotta voidaan liikkua samalla nopeudella vetäen kaapelia perässä.

Demosukelluksissa kaapelin painoa ei huomioitu pienen matkan takia, mutta sillä oli silti vaikutusta laitteen liikkuvuuteen, koska MMJ-kaapeli on hyvin jäykkää ja se jäykistyy entisestään kylmässä merivedessä. Sukelluksessa virransyöttöön käytettiin MMJ-kaapelia ja tiedonsiirtoon Ethernet-kaapelia.



Kuva 14. Piirros sukellusrobotin komponenttien välisistä yhteyksistä

3.3 Elektroniikka

Sukellusrobotin keskusyksikkö sisältää Arduino Uno -mikrokontrollerin, teholedit sekä ohjainpiirin valaistukselle ja ohjausmoottoreille. Keskusyksikön sisällä on myös kaapeleiden kiinnitysrimat ja kytkentärasiat.

3.3.1 Arduino

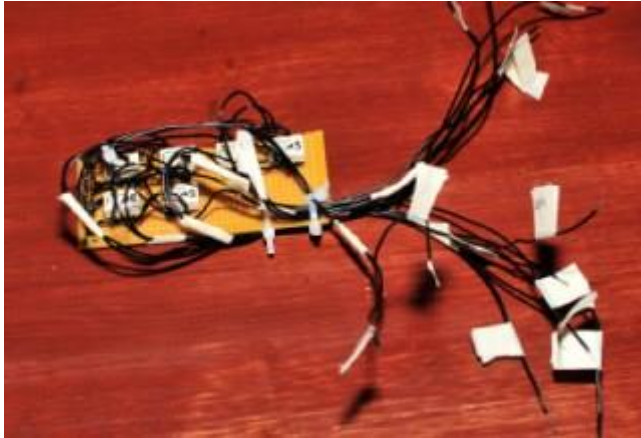
Sukellusrobotin keskusyksikön sisällä on Arduino Uno -mikrokontrolleri. Arduinon tehtävänä on kuunnella käyttäjän tietokoneella lähettämiä ohjaussignaaleja, joiden perusteella Arduino ohjaa ohjausmoottoreita ja valaistusta.

Arduino on halpa ja pieni mikrokontrolleri, joka on laajassa harrastekäytössä demolaitteiden suunnittelussa maailmalla. Arduinossa on useita digitaalisia ja analogisia liitäntöjä, jotka voidaan tapauskohtaisesti asettaa joko lukemaan tai syöttämään jännitettä. Arduinon syöttämä jännite on tarkoitettu pienivirtaisiin komponentteihin, joilla tarpeen vaatiessa ohjataan suurempitehoisempia laitteita releiden tai transistorien avulla.

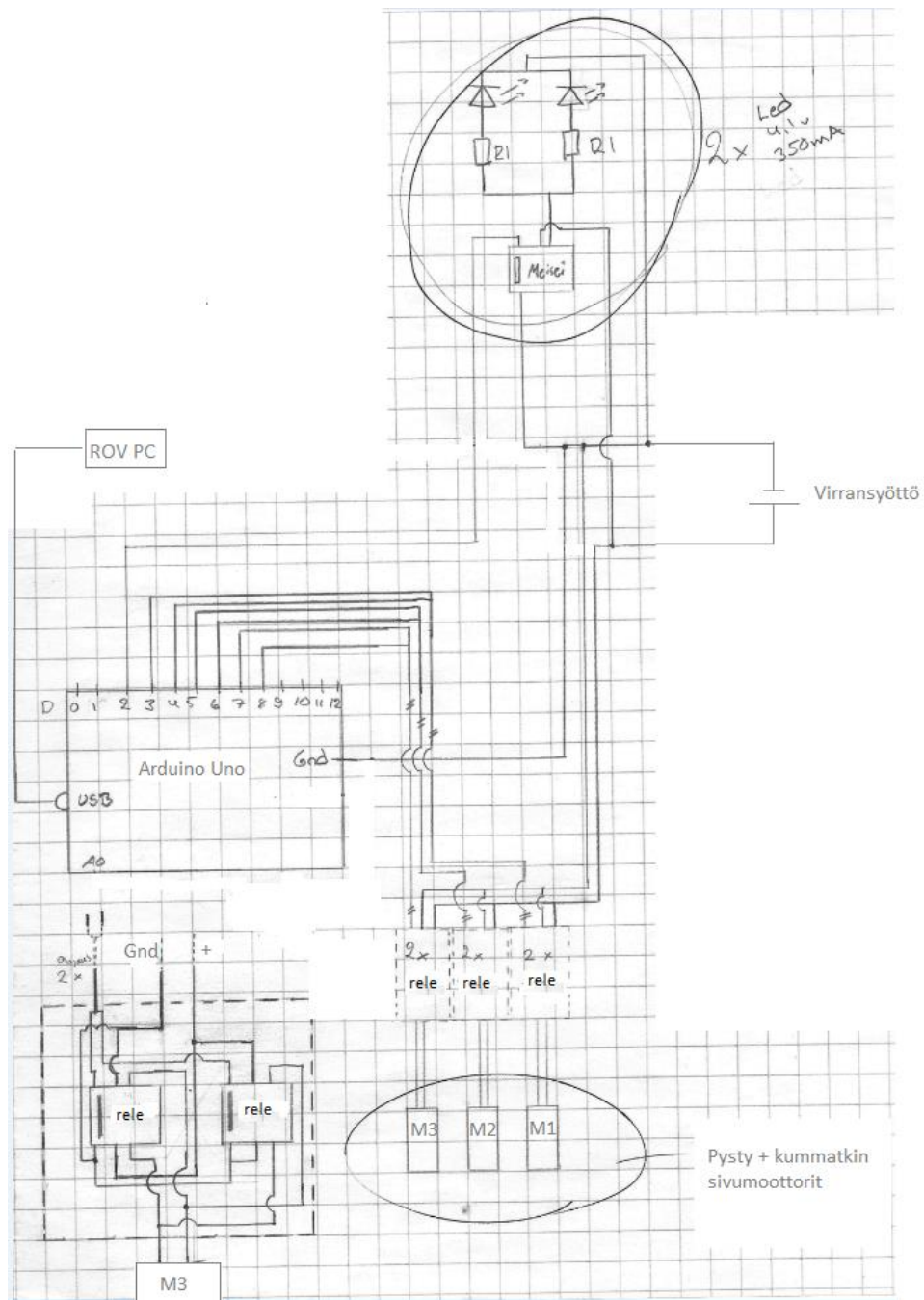
Arduinon nimellisjännite on 5 V, ja mikrokontrolleri on ohjelmoitavissa tietokoneen USB-portin kautta. Arduinon ohjelmointiin käytetään Arduinon omaa ohjelmistoa, jossa testataan tuotettu koodi ja ajetaan mikrokontrollerin FLASH-piirille. Ohjelmoinnin jälkeen Arduino suorittaa ohjelmoitua ohjelmaa kunnes toisin käsketään. Arduinon voidaan myös kiinnittää analogisia ja digitaalisia antureita, joiden dataa voidaan analysoida tietokoneella tai itse mikrokontrollerissa ja muuttaa reaaliaikaisesti käyttäjän ymmärtämään muotoon.

3.3.2 Ohjauspiiri

Ohjainpiirin tehtävänä on kuunnella Arduinon seitsemän digitaalista ulostuloa. Riippuen ulostulon signaaleista se ohjaa virran releiden kautta joko moottoreille tai valaistukselle. Käyttäjä syöttää Processing-ohjelman kautta merkkejä Arduinolle, joka tulkitsee ne tapauskohtaisesti ja käskää ulostulopinneille jännitteet. Moottorinohjausreleet ovat keskitetyksi yhdellä piirilevyllä, valaistuksen ohjaus omalla pienellä piirilevyllään. Releiden suositeltu ohjausjännite on 5 V, joka on Arduino Unon digitaalisen pinnin ulostulojännite.



Kuva 15. Ohjauspiiri moottoreille ja valaistukselle



Kuva 16. Piirikaavio ohjauspiirin ja mikrokontrollerin (Arduino) yhteistoiminnasta

3.4 Tietotekniikka

Demosukelluksien aikana videokuva siirrettiin USB OVER ETHERNET -menetelmällä ja sen rajoitteina oli 15 m pituus Ethernet-kaapelille. Tämä menetelmä tuki pelkästään USB 1.0 -standardia ja videokuvan resoluutioksi saatiin maksimissaan 640 x 425 px.

Sukellusrobotin keskusyksikön sisälle on suunniteltu tietokonetta, joka välittää videokuvan ja ohjaussignaalin pinnan ja sukellusrobotin välillä. Tämä laite tulee olemaan joko Raspberry-pi tai Windows-pohjainen Zotac mini-pc.

Tietokoneen tehtävän keskusyksikön sisällä on toimia käyttöjärjestelmänä, joka välittää tietoliikenteen pinnan ja laitteen välillä ja kytkentäalustana Arduinon USB-liitännälle. Se, että saadaan tietokone prosessoimaan tietoliikennettä, mahdollistaa kaapelin pituudeksi jopa 100 m, joka on myös suositeltu Ethernet-kaapelin maksimipituus normaalissa lähiverkossa.

Jos laitteen tietokoneeksi valitaan Raspberry-pi, niin käyttöjärjestelmänä laitteessa tulee olemaan Raspbian Wheezy [16.] Jos laitteeseen asennetaan Zotac mini-pc, niin käyttöjärjestelmänä tulee olemaan Windows.

3.4.1 USB-kamera

Kamerana sukellusrobotin keskusyksikön sisällä on Microsoftin USB Lifecam Cinema laajakulmakamera. Kamera on kiinnitetty keskusyksikön sisällä runkoon kiinni, niin että linssi on kiinni keskusyksikön ikkunassa. Kameran maksimi resoluutio on 1080x1920 kuvapistettä, eli noin 2 miljoonaa kuvapistettä. Kuvan nopeus eli FPS on maksimissaan 30 ruutua sekunnissa.

3.4.2 Mini-PC vaihtoehdot

Sukellusrobotin keskusyksikön ohjauskoneeksi mahdollisesti valittava Zotac mini-pc on laite johon pinnalla oleva käyttäjä ottaa yhteyden sukellusrobottia käytettäessä. Mini-pc:n ulkokuoren koko on 127x127x45 mm.

Zotac mini-pc:hen kytketään Ethernet-kaapeli, virransyöttö (12 V), USB-kamera, Arduino Uno, sekä infrapunasensori "HIBERNATE" tilasta palautumista varten. Laitteen tehontarve pienellä kuormalla on noin 19 W.

Zotac -mini-pc:n suorituskyky perustuu kaksisyttimiseen AMD E350 -suorittimeen, AMD RADEON HD 6310 -näytönohjaimeen ja DDR3-muistiin. Laitteessa on 4 USB-väylää joista kaksi on USB 3.0 -standardin mukaisia.



Kuva 17. Zotac mini-pc

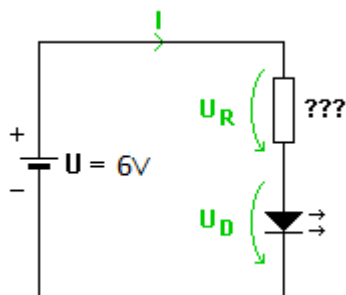
Toinen vaihtoehto pienemmällä virrankulutuksella on Raspberry-pi -pienoistietokone. Raspberry-pi:n etuihin kuuluu alle 5 W käyttöteho, joka soveltuisi PoE-virransyötölle parhaiten. Raspberry-pi on yhden piirilevyn tietokone, jonka koko on 85,6 x 53,98 x 17 mm ja hinta alle 50 € [17.] Tässä tietokoneessa voidaan suorittaa kevyitä Linux-käyttöjärjestelmiä, jotka soveltuvat tämän tietokoneen suorituskykyyn.



Kuva 18. Raspberry-pi

3.5 Valaistus

Demosukelluksissa käytetty valaistus oli rakennettu kahdesta teholedistä. Teholedit kytkettiin etuvastuksien kautta rele-ohjaukseen, joka ohjataan Arduinon digitaalisesta ulostulosta. Teholedien etuvastukset laskettiin 6 V jännitteen mukaan. Teholedien käyttöjännite on 4.1 V ja virrankulutus 350 mA. Valotehoa yksittäisellä teholedillä on 80 lm, 110 asteen valaisukulmalla. Etuvastukset ledeille laskettiin kuvassa osoitetulla tavalla [18.]



Kuva 19. Etuvastuksen laskeminen

Lasketaan etuvastuksen navoilla vaikuttava jännite:

$$U - U_D = U_R. \text{ Eli } 6,00 \text{ V} - 4,10 \text{ V} = 1,90 \text{ V}$$

Sitten lasketaan etuvastukselle resistanssi:

$$U_R / I = R. \text{ Eli } 1,90 \text{ V} / 0,35 \text{ A} = 5,43 \text{ Ohm}$$

Laskemme myös vastuksen tehohäviön, jotta saamme tarpeeksi kestävästä vastuksesta:

$$U_R * I = P_R. \text{ Eli } 1,90 \text{ V} * 0,35 \text{ A} = 0,67 \text{ W}$$

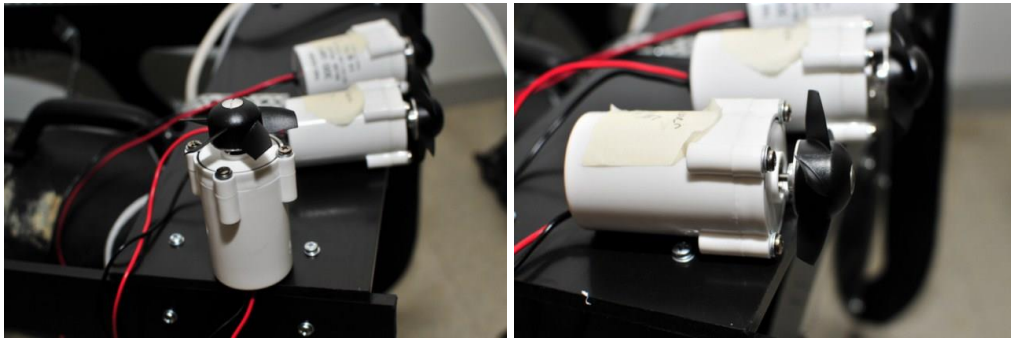
asetimme 5,6 ohmin tehovastuksen 5 watin tehokestolla. 5 W tehonkesto valittiin, koska elektroniikkakaupasta sen sai edullisesti. Asetimme kummallekin teholedille oman tehovastuksen, koska ledit kytketään rinnan.

3.6 Ohjausmoottorit ja ohjaus

Ohjausmoottorit on rakennettu uppopumpuista. Uppopumpun normaali ohjausmuotti ja sekoitin on poistettu ja akseliin on kytketty viisisiipinen potkuri, jonka lapa-alueen halkaisija on 60 mm. Ohjausmoottorien optimaalinen jännite on 12 V ja työntöteho riittävä prototyyppiä varten. Ohjausmoottoreita on kolme kappaletta, joista kaksi on asetettu kehi-
kon kummankin sivulevyn sisäpuolelle osoittamaan suoraan eteenpäin. Yksi ohjausmoottoreista on asetettu keskusyksikön taakse osoittamaan ylöspäin.

Ohjausmoottoreiden ohjaus toimii niin, että kun kummatkin sivuohjausmoottorien potkurit pyörivät myötäpäivään, työntövoima ohjaa sukellusrobotia eteenpäin. Kun potkurit pyörivät vastapäivään, etenee sukellusroboti taaksepäin. Kääntyminen paikallaan tapahtuu niin, että sivumoottorit pyörivät vastakkaisiin suuntiin. Pystyliike saadaan aikaa pystysuunnassa olevalla ohjausmoottorilla.

Ohjausmoottorien akselien tiiviys on varmistettu O-renkaalla, joka ympäröi akselia. Kaapelien läpiviennit ohjausmoottorin kotelosta on tiivistetty kumisella läpiviennillä.



Kuva 20. ohjausmoottorit odottamassa asennusta.

Ohjausmoottoreihin ei ole tehty muutoksia kahden ensimmäisen demosukelluksen jälkeen. Jännite ja virta on mitattu ja todettu, että PoE-virransyötöllä ei saada täydellistä suorituskykyä valaistuksen ollessa päällä.

Ohjausmoottoreille mitattiin seuraavan taulukon mukaisia virtoja syöttöjännitteen ollessa 6 V. Mittaukset tehtiin kuivalla maalla, niin että ohjausmoottoreilla ei ollut vesikuormaa. Yhden ohjausmoottorin teho (P) on 2,8 W.

Taulukko 1. Yhden ohjausmoottorin virta ja mitattu jännite

Mitattu virta I (A)	Mitattu jännite U (V)
0,45 - 0,48	5,82 - 5,84

3.7 Ohjelmisto

Sukellusrobotia ohjataan Arduinoa tukevalla Processing-ohjelmistolla, johon projektin aikana koodattiin ohjausmoottoreiden ja valaistuksen ohjausnäkyvä. Tämä ohjelma suoritetaan käyttäjän ohjauskoneella.

Demovaiheessa Arduino kytkettiin suoraan pinnalla olevaan ohjaustietokoneeseen USB OVER ETHERNET -tekniikalla. Näin saatiin suora kontrolli Arduinon ohjaamaan ohjainkorttiin, jolla ohjattiin valaistusta ja ohjausmoottoreita.

Kehitysvaiheessa asennettavaan pienoistietokoneeseen tullaan asentamaan oikea ja suorituskyvyllinen USB OVER ETHERNET -tekniikan mahdollistava välitysohjelmisto tai pienoiskoneeseen otetaan etäyhteys ja sitä kautta ohjataan Arduino-mikrokontrolleria.

3.7.1 Arduino rov_1_3.pde

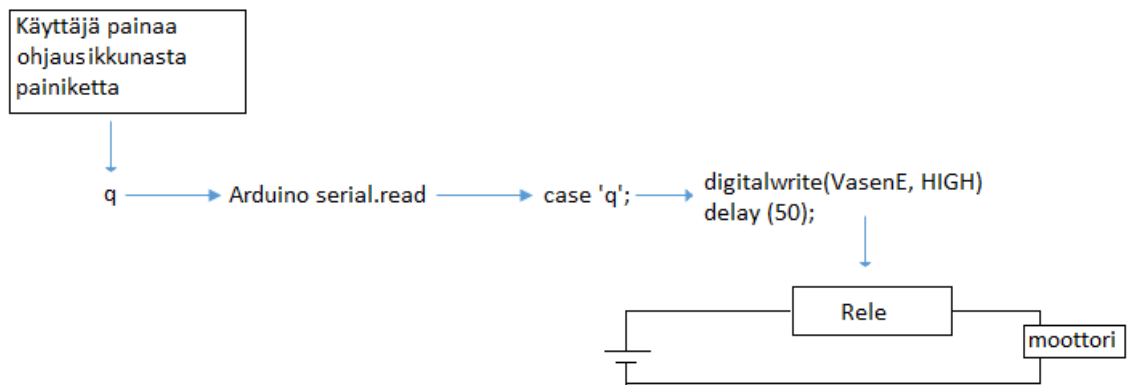
Arduino-mikrokontrollerissa on asennettuna täysin tarpeen mukaan rakennettu ohjelma, joka ohjaa potkureita sekä valaistusta. Mikrokontrolleriin on mahdollista kytkeä esimerkiksi tippa-anturi varoittamaan vuototilanteista suoraan ohjauskoneen ruudulle Processing-ohjelman kautta.

Avaan seuraavassa esimerkissä C-koodilla ohjelmoitua (PDE) tiedostoa, joka on Arduinon FLASH-piirillä.

```
if (Serial.available() )
{
    incomingChar = Serial.read();
}

switch (incomingChar)
{
    case 'q':
        digitalWrite(vasenE, HIGH);
        delay(50);
        break;
}
```

Kuva 21. Arduino ohjelman esimerkki Serial.read.



Kuva 22. Kaavio ohjauksen vaiheista kuvasta 20.

Koodissa Arduino Uno kuuntelee sarjaporttiliikennettä jatkuvasti. Kun Processing-ohjelmisto lähettää merkin q, ohjaa Arduino digitaaliselle ulostulolle "vasenE" arvon 1, eli 5 V. Tämän johdosta rele, jonka ohjauspinni on kytketty kyseiseen digitaaliseen ulostuloon, kytkee virran potkurille. Potkuri, joka tässä tapauksessa sijaitsee sukellusrobotin vasemmalla puolella, aloittaa pyörimisen vastapäivään.

Jokaiselle potkurin pyörimissuunnalle on oma ohjausreleensä. Valaistukselle on myös oma rele. Koodissa on eri määritelmä valaistukselle sekä potkureille. Ulostulopinnit potkureiden releille saavat digitaalisen arvon nolla, jos Serial.read-olio ei havaitse mitään. Valaistukselle arvo kuitenkin jää, kunnes toisin käsketään. Potkureille on myös asetettu 50 ms viive, jotta pikaiset ohjauksen muutokset eivät aiheuttaisi potkureille raskaita. Tämä tehdään siksi, koska potkurin on kyettävä pysähtymään ennen suunnanmuutosta.

3.7.2 Processing

Processing-ohjelmiston tarkoitus on tässä tapauksessa piirtää käyttäjälle ohjausliittymä. Ohjausliittymän painikkeiden painaminen lähettää sarjaporttidataa, jota taas Arduino lukee 9600 baudin nopeudella. Painikkeet on nimetty omilla merkeillä, joista jokainen tulkitaan Arduinossa potkurien ohjauksina tai valaistuksen ohjauksina. Seuraava esimerkki kuvaa Processing-koodin tekstin piirtämistä.

```

fill(0, 077, 053);
// Tekstin väri
text("Vasen eteen", 67, 40);
// 67: tekstin etäisyys vasemmasta reunasta, 40 ylhäältä
  
```

Kuva 23. Processing-ohjelman esimerkki, painikkeen tekstin määrittäminen

Seuraavassa koodilainauksessa kuvataan painikelaatikoiden paikat.

```
int xve = 50; //etäisyys vasemmasta reunasta
int yve = 50; //etäisyys yläreunasta
int wve = 100; // painikkeen leveys
int hve = 75; // painikkeen korkeus
```

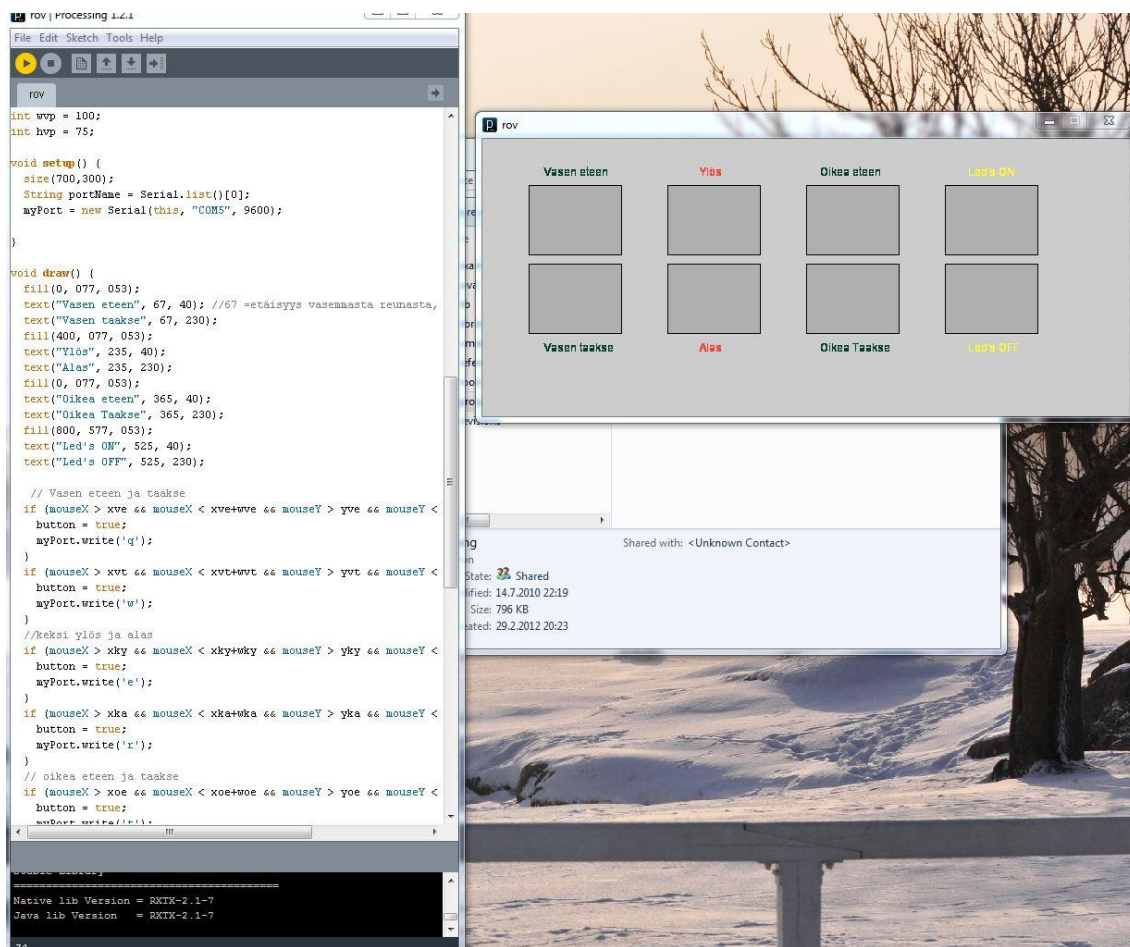
Kuva 24. Processing-ohjelman esimerkissä määritellään painikkeiden paikat.

Seuraavassa koodilainauksessa kuvataan aktiivinen painikealue, jossa hiiren painallus saa aikaan "MYPORT.WRITE" -metodin suorittamisen.

```
if (mouseX > xoe && mouseX < xoe+woe && mouseY > yoe && mouseY <
yoe+hoe && mousePressed) {
    button = true;
    myPort.write('q');
```

Kuva 25. Processing-ohjelman esimerkissä määritellään painikealueet.

Yllä olevassa koodilainauksessa määritellään arvot, joiden täytyessä lähetetään sarjaporttiin merkki q. Eli jos hiiren sijainti X-akselilla on enemmän kuin "xoe" (350) ja vähemmän kuin "xoe+woe" (350+100), sekä Y-akselilla enemmän kuin "yoe" (50) ja vähemmän kuin "yoe+hoe" (50+75) ja hiiren painike on painettuna alaspäin, niin "q" merkki lähtee matkaan.



Kuva 26. Processing-ohjelman piirtämä käyttöliittymä.

3.7.3 Videontoisto ja nauhoitus

Demosukelluksissa käytettiin videon katsomiseen WEBCAMVIEWER -sovellusta, joka on ilmainen FREEWARE-ohjelma. Tämä ohjelma on pelkästään livekuvan katsomista varten, mutta mahdollisesti kuvakaappauksien ottamisen. Ohjelma on tarkoitettu käytettäväksi paikallisesti tietokoneessa, jossa kamera on kiinni, joten tämä ohjelma soveltui käyttöön USB OVER ETHERNET -tekniikan ansioista, joka toi kameran paikalliseksi laitteeksi ohjauskoneeseen. Ongelmaksi muodostui USB 1.0 -standardin rajoitteet tiedonsiirrossa, joka aiheutti sen että videokuva toistettiin alhaisella 640 x 425 px resoluutiolla.

Kehitysvaiheessa on testattu videokuvan välittämistä Raspberry-pi -tietokoneella ja Zotac mini-pc:llä. Näiden etuna on kovalle täysi resoluutio 1980x1080px, joka voidaan välittää käyttäjälle täysilaatuisena ja nauhoittaa pinnalla olevalla ohjaustietokoneella.

4 Sukellukset

Sukellusrobotilla on takana kolme sukelluskertaa, joista yksi on merivedessä, yksi uimaltaassa ja yksi kaivossa. Syvimmillään sukellusrobotti on ollut 5 m syvyydessä Lauttasaaren merisatamassa.

4.1 Ensisukellus kaivoon

Ensimmäinen testisukellus suoritettiin Parkanossa 2012 tammikuussa. Keskusyksikkö upotettiin painojen kanssa noin 5 metriä syvään kaivoon. Tarkoituksena oli testata videokuvan välitys veden alta, keskusyksikön tiiviys ja valaistuksen valokeilan mahdollinen haittavaikutus. Sukelluksesta tallentui kuvia sekä vedenalaisia ääniä USB-kameran mikrofonin kautta. Kaivon vesi oli sen verran kirkasta, että ledien tuottama valokeila ei häirinyt videokuvaa.



Kuva 27. Kaivon seinämästä otettu kuva sukellusrobotin keskusyksikön ensimmäisessä testisukelluksessa.



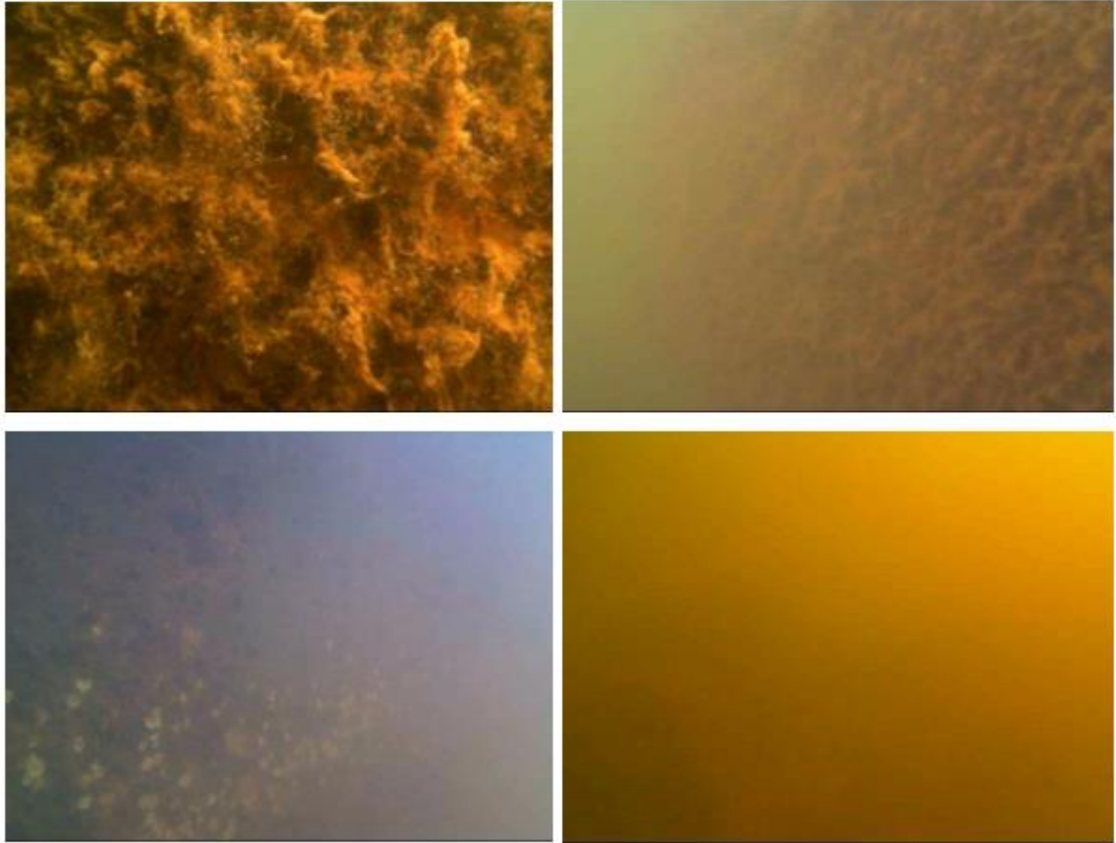
Kuva 28. Kaivon seinämässä parrun pääty

4.2 Sukellus Lauttasaaren merisatamassa

Keväällä 2012 rakennusvaiheen työläimmät osuudet olivat takana ja sukellusrobotin ensisukellus meriveteen edessä. Sukellusrobotti laskettiin Lauttasaaren laivalaiturissa suoraan kylmään meriveteen. Laite oli jo tasapainotettu ja tarkoituksena oli lisätä vaahtomuovia tarpeen mukaan. Sukellusrobotin tasapainotus onnistui kohtalaisesti johtuen kaapelin painosta. Ohjaus, joka oli keväällä rakennettu sukellusrobotin kehikkoon, ei toiminut halutulla tavalla, koska käyttöjännite oli tarkoituksellisesti alle puolet suositellusta ohjausmoottoreiden käyttöjännitteestä. Videokuva ja valaistus toimivat halutulla tavalla ja sukellusrobotilla pystyttiin ottamaan useita valokuvia laiturialueen seinämästä ja pohjasta. Maksimisukellussyvyys arvioiden mukaan oli noin 5 m.



Kuva 29. Kuvakooste sukellusrobotin laskeminen meriveteen käsikonstein



Kuva 30. Kuvakooste laituralueella kuvatuista kuvista sukellusrobotin kameralla

4.3 Sukellus Pallada

Pallada oli Venäjän keisarikunnan panssariristeilijä. Pallada upposi syvään veteen avomerelle 16.5 km:n päähän Russarön eteläkärjestä eteläkaakkoon. Pallada makaa pohjassa nurinpäin 40–50 m syvyydessä [19.]

Sukellusrobotin tehtävänä on sukeltaa yhdessä sukeltajien kanssa Palladan hyllylle ja toimia videokuvaajana. Tämä tehtävä on testimielessä suunniteltu sukellus, jonka onnistuminen tai epäonnistuminen ei haittaa sukeltajien tavoitteita. Tämä testisukellus tullaan suorittamaan mahdollisesti 2014 kesällä, jos kehitysvaiheen ongelmat saadaan ratkottua ennen sitä.

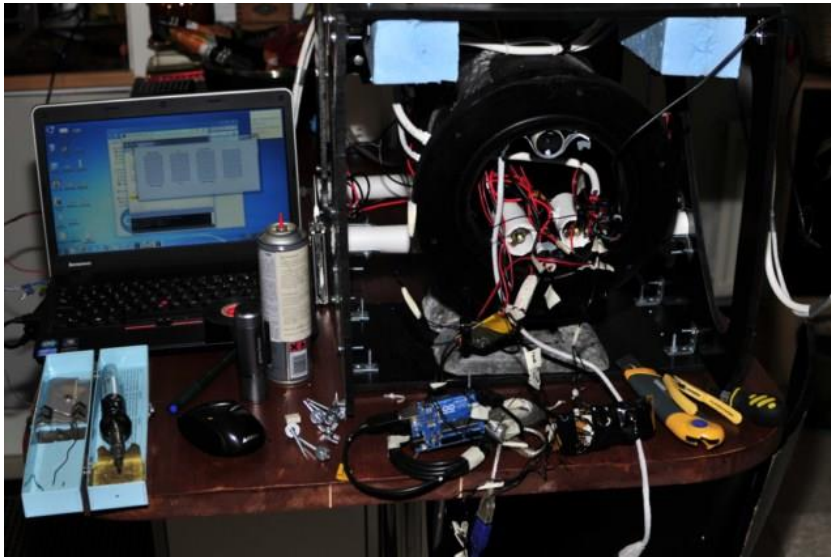
Tästä sukelluksesta saatu videokuva antaa paljon informaatiota, miten tätä sukellusrobotia voidaan jatkokehittää. Samalla tulee testattua laitteen ohjattavuus pitkän kaapelin varassa ja täysin valottomassa ympäristössä. Laitteen vesitiiviys on suurin huolenaihe,

jonka takia ennen sukellusta on laitteeseen asennettava antureita ilmoittamaan mahdollisista vesivuodoista.

Tukialuksena sukellukselle käytetään Teredo Navalis -alusta [20.]

5 Jatkokehitys

Selkokiehityksen insinööryödokumentaation tekeminen tästä aiheesta luo erittäin hyvän pohjan jatkokehitykselle. Projektin aikana on tullut esille monia kehitysideoita, joita listataan tässä osiossa.



Kuva 31. Kytcentöjen asennus ja testaus

5.1 Ohjausmoottorit

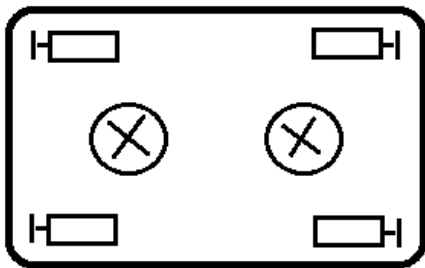
Ohjausmoottoreiden jatkokehitys on yksi keskeisimmistä asioista, joihin tulee paneutua.

Ohjausmoottoreiden kotelointia tulisi parantaa. Kotelon tulee olla avattavissa huoltotoimenpiteitä varten. Kotelon tiivytteen pitää kiinnittää huomiota akselin ulostulokohdassa sähkönsyötön läpiviennin kohdalla sekä kohdasta, josta kotelo avautuu huoltotoimenpiteitä varten. Todennäköinen kotelovaihtoehto on valmiiksi vesitiiviiksi rakennettu vedenalainen pumppu, jossa on kiinnitetty huomiota akselin tiivistykseen. Toinen vaihtoehto

on täyttää kotelo nesteellä, joka poistaa ulkoisen paineen vaikutuksen. Nesteen tulee olla sähköä johtamatonta, eikä se saa aiheuttaa korroosiota. Nesteen viskositeetin tulee myös olla mahdollisimman pieni, jotta moottorien virrankulutus pysytään pitämään mahdollisimman alhaalla. [21.]

Ohjausmoottoreiden potkurien tehoa tulee kasvattaa, että saadaan työntövoimaa tilanteissa, joissa virtaus ohjaa laitetta tai pitää tehdä nopeita ja tarkkoja asennon muutoksia. Tämän myötä ohjausmoottoreiden sijainti tulee vaihtaa.

Ohjausmoottoreiden lukumäärää tulee kasvattaa niin, että laite on mahdollista asettaa eri asentoihin. Ohjausmoottoreita tulisi olla 4 + 2, joista kahden potkurit osoittaisivat taaksepäin, kaksi eteenpäin, kaksi ylöspäin. Laitteen jokaisessa kulmassa olisi yksi ohjausmoottori sekä keskellä kaksi pitkittäissuuntaisesti.



Kuva 32. Kuva esittää ohjausmoottoreiden paikat ylhäältäpäin katsottuna

Ohjausmoottoreiden potkureiden suojaus tulee rakentaa niin, että merilevä ja merikasvit eivät pääse sotkeutumaan potkureihin. Ohjausmoottorit potkureineen asennetaan kehi-
kon sisään niin, että sukeltaessa laitteen kylkien osuminen pintoihin ei vahingoita potkureita.

Potkureiden ohjaukselle ohjelmoidaan ohjelmisto, johon voidaan kytkeä kädessä pidettävä ohjain, jolla voidaan viedä laitetta eteenpäin, taaksepäin, pyörittää paikallaan, muuttaa kaltevuuskulmaa ja säätää nopeutta.

5.2 Manipulaattori, runko ja kaapelointi

Manipulaattorin tarkoitus on toimia etäohjattavana tartuntavälineenä, jolla voi poimia esi-
neitä tai tarttua kohteisiin tai liikuttaa niitä. Manipulaattorin rakentaminen tulisi tehdä säh-
kömootoreilla ohjattaviksi. Sähkömoottorit tulee tiivistää asianmukaisesti. Ohjaus tapah-
tuisi ohjaimella joka liitetään käyttäjän tietokoneeseen. Mahdollisesti samalla ohjaimella
ohjataan sukellusrobotin liikkeitä. Ohjauskomennot suoritetaan Arduino Uno -mikrokont-
rollerin avulla.

Runko tulisi rakentaa uudestaan paksummasta polyeteenilevystä, jotta saadaan lait-
teesta vakaampi. Rungon kokoa tulisi kasvattaa, jotta voidaan asettaa ohjausmootto-
reille isommat potkurit ja mahdollistaa muiden lisäkomponenttien asentamisen.

Nykyisen CAT-5 Ethernet -kaapelin korvaaminen joustavammalla ja kevyemmällä kaa-
pelilla. Tietoliikenneyhteys muodostettaisiin valokuidulla ja virta vietäisiin omassa kaa-
pelissaan. Kaapelin pituuden kasvaessa rullattavalle kelalle tulee tarvetta.

5.3 Anturit

Sukellussyvyyden tietäminen on hyvin oleellista. Paineen avulla voidaan mitata tarkkaa
sukellussyvyyttä, kun tiedetään veden ominaisuudet. Paineanturi asennettaisiin kehikon
sisälle keskusyksikön alle suojaisaan paikkaan. Anturin data voidaan lukea Arduino Uno
-mikrokontrollerilla, joko digitaalisena 1-wire datana tai mittaamalla analogisen pinnan
kautta jännite-eroa. Arduinon lukema-arvo tuotaisiin käyttäjän ruudulle Processing ohjel-
man ikkunaan. Tehdyn tiedustelun mukaan anturien hinnat lähtevät muutamasta sa-
dasta eurosta ylöspäin, tarkkuuden ja painekeston kasvaessa.

Tippa-anturin asentaminen keskusyksikön sisälle niin, että veden tullessa sisään saa-
daan hälytys, ennen kuin vesi on saavuttanut muut elektroniset osat. Arduinon analogi-
seen pinniin kytketty johdin lukee jännite-eroja johtimesta. Kaksi johdinta on asetettu
keskusyksikön lattiatasolle noin sentin päähän toisistaan. Arduinon mittaama arvo on
ohjelmoitu mikrokontrollerin ohjelmaan ja sen ylittyessä lähetetään Processing-ohjelman
ikkunaan ilmoitus vesivuodosta. Näitä johtimia voidaan viedä muihinkin tiloihin, joissa
tulee seurata vesitiivyyttä.

Veden lämpötilan mittaus voidaan toteuttaa helposti. Dallas DS20B18 -lämpötila-anturi asennetaan Arduino Uno -mikrokontrollerin digitaaliseen pinniin 1-Wire -tekniikalla, joka mahdollistaa useamman anturin kytkemisen sarjaan. Anturien tuottama data voidaan viedä Processing-ikkunaan reaaliaikaisesti väripalkkina tai lukuna.

Sukellusrobotin asennon seuraamiseen reaaliaikaisesti voidaan käyttää Arduino-yhteensopivaa ADXL335 -kiihtyvyyssanturia. Anturi kertoo reaaliaikaisen asentotiedon x-, y- ja z-akselilla. Käyttäjälle voidaan myös piirtää kuva laitteesta, jonka asento muuttuu laitteen kaltevuuden mukaan. Tämä on tärkeä, koska veden virtausten aiheuttamat asennon muutokset on helpompi havaita anturin tiedoista kuin kameran kuvan välittämästä tiedosta.

Videokuvasta etäisyyden hahmottaminen on hyvin hankalaa. On hyvä tietää liikkuessa, kuinka kaukana lähenevä kohde on. Sukellusrobottiin voi rakentaa kahdesta laservalosta etäisyyden hahmottamiseen kelpaavan työkalun. Laservalot voidaan asentaa keskusyksikön kummallekin sivulle ja suunnata ne risteämään yhden tai kahden metrin päässä. Näiden laservalojen pisteiden seuraaminen kertoo käyttäjälle pisteiden yhdistymisellä, että kohteeseen on tietty matka sukellusrobotilta. Etäisyyden hahmottamiseen on hyvä pohtia muitakin tapoja, esimerkiksi kaikuluotaus, jolla saataisiin laajempi kokonaisuus kohteista ja niiden muodoista.

Sukellusrobotin asennon hahmottamisen lisäksi käyttäjän on hyvä tietää, mihin ilmaansuuntaan sukellusrobotin kamera osoittaa. Magneettikenttäanturi KMZ10A on muutamman euron arvoinen komponentti, joka on yhdistettävissä Arduinon analogiseen pinniin. Anturi tullaan asentamaan keskusyksikön ulkopuolelle ja arvoja luettaessa on huomiotava läheisten metalliosien vaikutus magneettikenttään ja anturi tulee kalibroida asennuksen jälkeen. Anturin tarkkuus on myös hyvin kyseenalainen, jos sukellusrobotin tutkittavana kohteena on hylky, jonka rakenteissa hyvin todennäköisesti on metallia. Anturin data voidaan tuoda käyttäjän ruudulle asteina tai ohjelmaan voidaan piirtää graafinen liikkuva kompassi, jonka keskiössä sukellusrobotin ääriviivat on.

LDR-valovastuksen käyttö valonmäärän mittaamiseen voisi löytyä perustelut. Valonmäärän kirjaaminen eri syvyyksissä ja eri sijainneissa voi tuoda tietoa veden laadusta ottaen huomioon sen hetkisen pilvisyyden ja auringon sijainnin. Tämä data voisi olla kiinnostavaa tietoa sukellusta harrastaville. Tämän anturin hinta on hyvin pieni, alle euron. Arduino mittaa LDR-valovastuksen resistanssia, joka muuttuu valonmäärän mukaan.

5.4 Kamerate ja infonäyttö

Videokameroilla voitaisiin kattaa isompi kuva-ala. Tarvetta olisi kameralle joka näyttää suoraan alaspäin ja kameralle, joka näyttää taaksepäin. Kamerate tulisi koteloida niin, että ne voidaan asentaa keskusyksikön ulkopuolelle ja niiden tulisi kestää veden aiheuttama paine. Kamerate liitettäisiin mini-pc:n USB-porttien kautta ja niiden kuva välitettäisiin käyttäjän ruudulle, sekä kaikki kuvadata tallennettaisiin myöhempää analysointia varten. Kameroilla tulisi voida myös zoomata ja tarkentaa etäohjauksen avulla.

Infonäytöksi soveltuisi maksimissaan 10” halkaisijaltaan oleva LCD- tai TFT-näyttö, asennettaisiin sukellusrobotin kehikkoon niin, että sukeltajat voisivat tarkastella näytössä olevia tietoja. Näitä tietoja voisi olla esimerkiksi osa anturien tuottamasta tiedosta, kuvayhteys pinnalla olevaan käyttäjään ja tekstisanomien näyttäminen sukeltajille. Sukeltajalle olennaisia tietoja voisivat olla sukellukseen käytetty aika, syvyys, lämpötila ja ilman-suunnat.

Näytön aiheuttama valosaaste videokameroille tulisi minimoida. Näytössä teksti voitaisiin esittää tummalla taustalla ja näyttö voitaisiin asentaa sukellusrobotin kylkeen.

5.5 Käyttöliittymä

Käyttäjälle kaikki tarpeellinen tieto ja ohjauksenhallinta tulisi avautua samassa sovelluksessa.

- Useamman kameran videokuvat, kameroiden ohjaus ja mahdollisen valovoiman säätäminen ja tallennuksen käynnistäminen kamerakohtaisesti
- Anturien arvojen näyttäminen omassa lohkossaan numeroina tai graafisesti
- Ohjauspainikkeet ohjausmoottoreille ja valoille
- Sukelluksen tehtävännumero
- Infonäytölle vietävän informaation ohjausmahdollisuus. Tekstin kirjoitus ja videokuvan lähetys tuli olla tehtävissä.

6 Kustannuslaskelma

Projektin kustannukset tässä prototyypissä ja kehitysvaiheessa jäivät alle 650 euron. Ilman sponsorointia työkalujen ja materiaalin osalta kokonaissumma olisi voinut tuplaantua.

Tuote	kustannukset
Polyeteenilevy 8mm, 2 nelimetriä	Sponsoroitu
Muoviputki	Sponsoroitu
Keskusyksikön runkomateriaalit	Sponsoroitu
Keskusyksikön ikkuna -tilaustyö	Sponsoroitu
Arduino Uno 2x	50
Releet ja komponentit	15
MS Lifecam Cinema	45
Zotac min-PC	250
Keskusmuisti mini-PC:hen	25
Raspberry-pi	49
raspberry-pi SD ja kotelo	20
Ethernetkaapeli 200m	Sponsoroitu
Pultit ja mutterit	20
Teräksiset kulmalevyt	Sponsoroitu
Lyijypainot	Sponsoroitu
Uppopumput	30
Potkurit	15
Liimat ja tiivisteaineet	15
Nippusiteet	5
Ohjelmistot	Koulun kautta
4mm läpinäkyvä pleksi	20
Polymorph muotoiltava muovi	45
Vahtomuovi	Sponsoroitu
Kelluva muovinaru 30m	10
monisäikeiset kaapelit elektroniikkaan	5
Piirilevyt	Sponsoroitu
Liitin tupakansytyttimeen	5
Teräsnauha	5
Rautasaha	10
Virtalähde testaukseen	Sponsoroitu
Peltisakset	10
Muut työkalut	Sponsoroitu
Pistosaha	Sponsoroitu
Juotin	Sponsoroitu
Yleismittari	Sponsoroitu

7 Loppupäätelmät

Projektin tavoitteisiin on päästy melko hyvin heti rakennus- ja kehitysvaiheen alussa. Laitteesta haluttiin testiversio, jolla voidaan kuvata vedenalaisia kohteita ja laitetta haluttiin etäohjata. Tavoitteena oli myös rakentaa laitteeseen manipulaattori, jolla voi poimia esineitä vedenalaisista kohteista, mutta sen osuus työssä jouduttiin siirtämään myöhemmäksi. Osa tavoitteista saavutettiin tietyllä demotasolla ja osaa tavoitteista selvitettiin vain ajatustasolla.

Halusimme päästä melko nopealla aikataululla sukeltamaan hyvin syvälle. Tämä osoitautui projektin haasteellisimmaksi osaksi tiiviiden ja kaapeloinnin kannalta. Tiiviyttä ei ole vielä testattu syvissä vesissä, mutta tietoisuus siitä on, että laite tulee hyvin todennäköisesti vuotamaan keskusyksikön sisälle jo kahdessakymmenessä metrissä. Kaapeloinnin ongelmaksi muodostui virransyötön ja kaapelin keveyden muodostama mahdollon yhtälö. Emme voi viedä kevyessä kaapelissa suuria virtoja pitkiä matkoja, koska poikkipinta-alaltaan pienen kuparikaapelin resistanssi kasvaa helposti hyvin suureksi ja pudottaa jännitetasoa sukellusrobotin päässä kuorman kasvaessa.

Ohjausohjelmisto onnistui hyvin ja toteutti demovaiheen vaatimukset. Laitetta piti voida ohjata etänä. Etäohjaukseen saatiin myös valaistuksen ohjaus, joka oli tarpeen ainakin matalissa vesissä, missä voitiin tukeutua auringon valoon.

Elektroniikan kanssa oli hyvin paljon ongelmia. Ohjainkortti, joka ohjasi valaistusta ja ohjausmoottoreita, toimi kylmäjuotosten ja jäykkien johtimien ansioista vaihtelevasti. Välillä jokin releistä ei saanut ohjaussignaalia mikrokontrollerilta ja ohjausmoottori ei tämän seurauksena totellut käskyjä. Yleisesti johtimissa keskusyksikön sisällä oli paljon ongelmia. Väärät kaapelilaadut aiheuttivat kosketushäiriöitä ja juotokset piirilevyissä vahingoituivat jäykkien kaapeleiden heiluessa.

Videokuvan välitys ohjauskoneelle ja laatu eivät täyttäneet odotuksia demovaiheessa. Suoran videokuvan välittäminen kaapelia pitkin vaatii suuren kaistan tietoliikenneyhteydessä, joten oli kehitettävä pitkä kaapeli ja hyvä tiedonsiirtokapasiteetti. USB Over Ethernetin halvat komponentit eivät tarjonneet kumpaakaan näistä vaatimuksista. Tämä

tekniikka on olemassa myös USB 2.0 -standardille, mutta hinnat nousevat tuhansiin euroihin. Lähiverkkotekniikan käyttö yhteytenä oli kustannustehokas ratkaisu, joka kuitenkin vaatii kaapelin kumpaankin päähän laitteiston, joka osaa prosessoida yhteyttä.

Laitteen kehittäminen jatkuu perustoimintojen parissa, eli tietoliikenneyhteyden, virransaannin, vesitiiviyyden ja valaistuksen parissa. Tavoitteena on edelleen saada toimiva ja yksinkertainen laite, joka sukeltaa useampaan kymmeneen metrin syvyyteen ja tuottaa käyttökelpoista videokuvaa.

Lähteet

1. Stewen W. Moore, Harry Bohm ja Vickie Jensen. 2010. Underwater Robotics, Diver. USA.
2. Two Ways of Researching the Underwater World. George I. Matsumoto ja Thomas A. Potts. Verkkodokumentti. <http://cengagesites.com/academic/assets/sites/4004/life/Enrichment%20Module_Underwater%20Research_Final.pdf>.
3. Estonia – Loppuraportti. Verkkodokumentti. <<http://www.turvallisuustutkinta.fi/Satellite?blobtable=MungoBlobs&blobcol=urldata&SSURLapptype=BlobServer&SSURLcontainer=Default&SSURLsession=false&blobkey=id&blobheadervalue1=inline;%20filename=adft60.pdf&SSURLsscontext=Satellite%20Server&blobwhere=1330439886537&blobheadername1=Content-Disposition&ssbinary=true&blobheader=application/pdf>>.
4. Triton® XLX, tuote-esittely. Verkkodokumentti. <<http://www.emas.com/index.php/our-expertise/emas-amc/amc-subsea-assets/rov/>>.
5. Triton® XLX, laiteinformaatio. Verkkodokumentti. <http://www.harkandgroup.com/media/filer_public/2013/04/29/rov_4000_xlx_spec_sheet_website_april.pdf>.
6. Hydraulisen järjestelmän tuotetiedot. Verkkodokumentti. <<http://www.brimmondgroup.com/sales-and-rentals/diesel-variable-displacement-piston-pumps/150-hp-cummins-hydraulic-power-unit>>.
7. Hydraulinen voimansiirto. Verkkodokumentti. <http://en.wikipedia.org/wiki/Hydraulic_machinery>.
8. Triton® XLX 200 tuote-esite. Verkkodokumentti <http://www.f-e-t.com/images/uploads/data-sheets/FOR160_Perry_XLX200_Data_Sheet_032012.pdf>.
9. Triton® XLX tekniset tiedot. Verkkodokumentti. <http://www.harkandgroup.com/media/filer_public/2013/05/20/rlx_3000_spec_sheet_website_may.pdf>.
10. Oceaneering ROV video. Verkkodokumentti. <<http://www.oceaneering.com/rovs/>>.
11. Seaeye ROV tuote-esite. Verkkodokumentti. <http://www.seaeye.com/pdfs/Seaeye_Jaguar.pdf>.
12. ACROV100 tuotetietoa. Verkkodokumentti. <<http://www.ac-cess.com/acrov-theacrov>>.
13. Suomalainen ROV-toimittaja. Verkkodokumentti. <<http://loxus.com/palvelut.php>>.

14. Ulkomainen ROV-valmistaja. Verkkodokumentti. <<http://www.seaeye.com/>>.
15. Vaahtomuovin tuotetieto. Verkkodokumentti. <<http://www.isover.fi/tuotteet/rakennuseristeet/styrofoam-eristeet/2599/styrofoam-300-sl-an>>.
16. Käyttöjärjestelmän dokumentaatio. Verkkodokumentti.
<<http://www.raspbian.org/>>.
17. Mini-PC:n esittely. Verkkodokumentti. <http://fi.wikipedia.org/wiki/Raspberry_Pi>.
18. Etuvastuksen laskenta. Verkkodokumentti. <<http://koti.mbnet.fi/~huhtama/ele/index.php?si=ml28.sis>>.
19. Pallada hyllyn info. Verkkodokumentti. <<http://www.hylty.net/hylky.jsp?id=pallada>>.
20. Tukialuksen sivusto. Verkkodokumentti. <<http://www.teredo.net/>>.
21. Viskositeetin selite. Verkkodokumentti. <<https://koppa.jyu.fi/avoimet/kemia/kems448/suomeksi/ohjeet/liuokset/viskositeetti>>.

Koodi Arduinolle

```
/* ROV15 laitteen koodi ver1_3
Processing koodi \ROV lite\Arduino Lite\Processing Lite\ROV
*/

//Thrustereiden ohjaus, 6 digitaalista pinniä D3-D8
const int vasenE = 3; // Vasen thrusteri eteen
const int vasenT = 4; // Vasen thrusteri taakse
const int keskiY = 5; // Keskimmäinen thrusteri ylös
const int keskiA = 6; // Keskimmäinen thrusteri alas
const int oikeaE = 7; // Oikea thrusteri eteen
const int oikeaT = 8; // Oikea thrusteri taakse

//2x teholed ohjaus digitaalinen 2
const int valot = 2; //ledin pinni D2
const int analogPin = A0; // tippa-anturin haistelu
const int threshold = 700; // hälytason arvo
char incomingChar; // for incoming serial data

void setup() {
  Serial.begin(9600);
  pinMode(vasenE, OUTPUT);
  pinMode(vasenT, OUTPUT);
  pinMode(keskiY, OUTPUT);
  pinMode(keskiA, OUTPUT);
  pinMode(oikeaE, OUTPUT);
  pinMode(oikeaT, OUTPUT);
  pinMode(valot, OUTPUT);
}

void loop(){
  // tippa-anturin haistelu
  int analogValue = analogRead(analogPin);
  if (analogValue > threshold) {
```



```
        Serial.println("Vetta tuvassa!");
    }

//kuunnellaan processing koodia ja toimitaan merkin mukaan
if (Serial.available() )
{
    incomingChar = Serial.read();
}
switch (incomingChar)
{
case 'q':
    digitalWrite(vasenE, HIGH);
    delay(50);
    break;
case 'w':
    digitalWrite(vasenT, HIGH);
    delay(50);
    break;
case 'e':
    digitalWrite(keskiY, HIGH);
    delay(50);
    break;
case 'r':
    digitalWrite(keskiA, HIGH);
    delay(50);
    break;
case 't':
    digitalWrite(oikeaE, HIGH);
    delay(50);
    break;
case 'y':
    digitalWrite(oikeaT, HIGH);
    delay(50);
    break;
case 'v': //valot päälle
```

```
    digitalWrite(valot, HIGH);  
    break;  
    case 'b': // valot pois  
        digitalWrite(valot, LOW);  
        break;  
    default:  
        digitalWrite(vasenE, LOW);  
        digitalWrite(vasenT, LOW);  
        digitalWrite(keskiY, LOW);  
        digitalWrite(keskiA, LOW);  
        digitalWrite(oikeaE, LOW);  
        digitalWrite(oikeaT, LOW);  
    }  
}
```

Processing koodi

```
/*Processing koodi ohjausliittymälle.  
Liittymällä ohjataan hiiren painalluksilla kolmea moottoria  
ja jokaista niistä ohjataan kahteen suuntaan.  
Valaistuksen ohjaus painikkeet ovat on & off tyyliset  
*/  
  
boolean button = false;  
import processing.serial.*;  
  
Serial myPort;  
int val;  
  
//Vasen Eteen  
int xve = 50; //etäisyys vasemmasta reunasta  
int yve = 50; //etäisyys yläreunasta  
int wve = 100; // painikkeen leveys  
int hve = 75; // painikkeen korkeus  
  
//Vasen Taakse  
int xvt = 50;  
int yvt = 135;  
int wvt = 100;  
int hvt = 75;  
  
//Keski Ylös  
int xky = 200;  
int yky = 50;  
int wky = 100;  
int hky = 75;  
  
//Keski Alas  
int xka = 200;
```

```
int yka = 135;
int wka = 100;
int hka = 75;

//Oikea Eteen
int xoe = 350;
int yoe = 50;
int woe = 100;
int hoe = 75;

//Oikea Taakse
int xot = 350;
int yot = 135;
int wot = 100;
int hot = 75;

//valot päälle painike
int xv = 500;
int yv = 50;
int wv = 100;
int hv = 75;

//valot pois painike
int xvp = 500;
int yvp = 135;
int wvp = 100;
int hvp = 75;

void setup() {
    size(700,300);
    String portName = Serial.list()[0];
    myPort = new Serial(this, "COM11", 9600); // Väliillä COM10 tai 11
}
}
```

```
void draw() {

    //ohjausliittymän rakennus. 8 painiketta ja niiden sijainnit ja koot
    fill(0, 077, 053);
    text("Vasen eteen", 67, 40); //67 =etäisyys vasemmasta reunasta, 40 = etäisyys yl-
häältä
    text("Vasen taakse", 67, 230);
    fill(400, 077, 053);
    text("Ylös", 235, 40);
    text("Alas", 235, 230);
    fill(0, 077, 053);
    text("Oikea eteen", 365, 40);
    text("Oikea Taakse", 365, 230);
    fill(800, 577, 253);
    text("Led's ON", 525, 40);
    fill(0, 277, 053);
    text("Led's OFF", 525, 230);

    delay(40); // Pieni viive jotta saadaan jatkuvalta vaikuttava moottorin liike joka myös
rasittaa moottoria vähemmän

    //----- Vasen eteen ja taakse
    if (mouseX > xve && mouseX < xve+wve && mouseY > yve && mouseY < yve+hve &&
mousePressed) {
        button = true;
        myPort.write('y');
    }
    if (mouseX > xvt && mouseX < xvt+wvt && mouseY > yvt && mouseY < yvt+hvt &&
mousePressed) {
        button = true;
        myPort.write('t');
    }
    //----- keski ylös ja alas
    if (mouseX > xky && mouseX < xky+wky && mouseY > yky && mouseY < yky+hky &&
mousePressed) {
```

```
    button = true;
    myPort.write('e');
}
if (mouseX > xka && mouseX < xka+wka && mouseY > yka && mouseY < yka+hka &&
mousePressed) {
    button = true;
    myPort.write('r');
}
//----- oikea eteen ja taakse
if (mouseX > xoe && mouseX < xoe+woe && mouseY > yoe && mouseY < yoe+hoe
&& mousePressed) {
    button = true;
    myPort.write('q');
}
if (mouseX > xot && mouseX < xot+wot && mouseY > yot && mouseY < yot+hot &&
mousePressed) {
    button = true;
    myPort.write('w');
}
//----- valot päälle ja pois. Huomioi että painikkeet jäävät "palamaan" painalluksen
jälkeen.
if (mouseX > xv && mouseX < xv+wv && mouseY > yv && mouseY < yv+hv && mouse-
Pressed) {
    button = true;
    myPort.write('v');
}
if (mouseX > xvp && mouseX < xvp+wvp && mouseY > yvp && mouseY < yvp+hvp &&
mousePressed) {
    button = true;
    myPort.write('b');
}

//jos mitään ei paineta niin :
else {
    //button = false;
```

```
    myPort.write('x'); // x on ihan vaan merkitsemätön merkki
}

// painikkeet
fill(175);

rect(xve,yve,wve,hve); // vasen eteen
rect(xvt,yvt,wvt,hvt); // Vasen taakse

rect(xky,yky,wky,hky); // keski ylös
rect(xka,yka,wka,hka); // keski alas

rect(xoe,yoe,woe,hoe); // oikea eteen
rect(xot,yot,wot,hot); // oikea taakse

rect(xv,yv,wv,hv); // valaistuksen painike päälle
rect(xvp,yvp,wvp,hvp); // valaistuksen painike pois

}
```