

TARTU ÜLIKOOL  
Füüsika-keemiateaduskond  
Eksperimentaalfüüsika ja Tehnoloogia Instituut

Deivid Pugal

**Merepõhja taimestikku uuriva seadme  
riistvaraline lahendus**

Bakalaureusetöö

Juhendajad: Alvo Aabloo, Maarja Kruusmaa

Tartu 2005

## Sisukord

1. SISSEJUHATUS.....	3
2. ÜLEVAADE VALDKONNAST .....	4
3. SEADME EHITUSEST .....	5
3.1 Üldnõuded seadmele.....	5
3.2 Seadme mehhaaniline struktuur.....	6
3.3 Ujuvuse kontroll .....	6
3.4 Seadme juhtimine .....	7
3.5 Seadme juhtloogika .....	8
4. ELEKTROONIKA JA TARKVARALAHENDUS.....	10
4.1 Ülevaade .....	10
4.2 Esmase prototüübi riistvara .....	10
4.2.1 Eeldused elektroonika disainimisel.....	10
4.2.2 Ülevaade kasutatavatest komponendiest.....	10
4.2.3 PC ja MSP430 ühendamine .....	11
4.2.4 MSP ja PIC ühendamine .....	12
4.2.5 Unipolaarsete samm-mootorite juhtimine.....	13
4.2.6 Bipolaarsete samm-mootorite juhtimine.....	15
4.2.7 Klappide juhtimine.....	16
4.2.8 Elektroonika toide.....	16
4.2.9 Järeldused katsete põhjal.....	17
4.3 Esmase prototüübi tarkvara .....	17
4.3.1 Ülevaade .....	17
4.3.2 Järeldused pärast süsteemi praktilist kasutamist.....	18
4.4 Esmase versiooni edasiarendus.....	19
4.4.1 Ülevaade muudatustest .....	19
4.4.2 Servomootorite juhtimine .....	20
4.4.3 Tagasisidega alalisvoolumootori mootori juhtimine .....	20
4.4.4 Vajaminev mootori tugevus reaalses eksperimendis .....	21
4.4.5 Järeldused teise versiooni katsetest.....	22
5. KOKKUVÕTE .....	23
Tänuavaldused.....	25
Summary .....	26
KASUTATUD KIRJANDUS .....	28
Lisa 1. Design of a Semiautonomous Biomimetic Underwater Vehicle for Environmental Monitoring .....	29

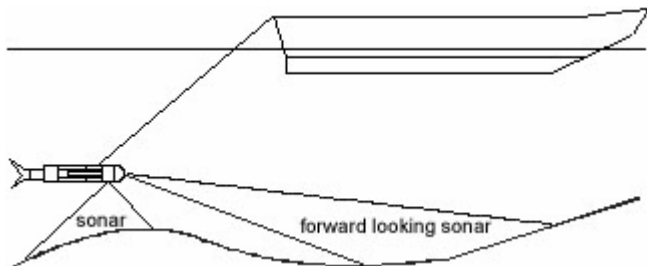
# 1. SISSEJUHATUS

Läänemeri on üks kõige reostunumaid meresid maailmas. Pikk saastamise ajalugu ja vähene veevahetus ookeaniga on viinud veekogu sellisesse seisusse, et Rootsi keskkonnahoiu nõukogu poolt jaanuaris 2005 esitatud raporti süngema stsenaariumi kohaselt on Läänemeri jäänud sisekoormusringluse ummikusse ja arengsuundasid on raske muuta [1]. Seega on järjest olulisem jälgida veekogu olukorda.

Meretaimestik on oluline keskkonnaseisundi näitaja. Taimede kasvu intensiivsus ja eri taimeliikide esindatus võimaldavad teha olulisi järeldusi Läänemere keskkonnaseisundi kohta, avastada reostust ja jääkahjustusi, kliimamuutusi ja teha prognoose muutuste kohta.

Praegu kasutatakse taimestiku koosseisu määramiseks ja hinnangute saamiseks sukeldujatelt saadud vaatlusinformatsiooni ja kogutud proove. Selline töömeetod on suhteliselt väheefektiivne, sest sukelduja vee all viibimise aeg on ohutuskaalutlustel väga piiratud. Samuti on meetod üpris ebatäpne, sest ei võimalda infot vahetult salvestada ja objektiivselt analüüsida. Et salvestada kõiki olulisi keskkonnanäitajaid, peaks sukelduja kaasas kandma suurt hulka erinevaid mõõteriistu või tegema hiljem vee peal täiendavaid mõõtmisi. Lisaks nõuab selline uurimismeetod sukeldujalt nii kõrget kvalifikatsiooni kui ka head tervislikku seisundit.

Käesoleva projekti eesmärgiks on disainida seade, mis oleks võimeline asendama sukeldujat merepõhja uuringtes. Seadme ülesanne on merepõhja profiili järgides (Pilt 1) filmida taimestikku ja kasutades videotöötlusmeetodeid, anda ka hinnanguid liigilise koosseisu ja ulatuse kohta. Lisaks peaks olema võimalik mõõta ka teisi keskkonnaparameetreid nagu vee temperatuur, PH tase, soolsus jne. Lahenduseks on poolautonoomne seade, mida veetakse paadi järel. See suudaks ka horisontaalselt liikuda uimede poolt produtseeritud üleslükkejõu toimele ja ujuvust muutes. Merepõhja kauguse hindamiseks on sonar ning orientatsiooni määramiseks elektrooniline güroskoop.

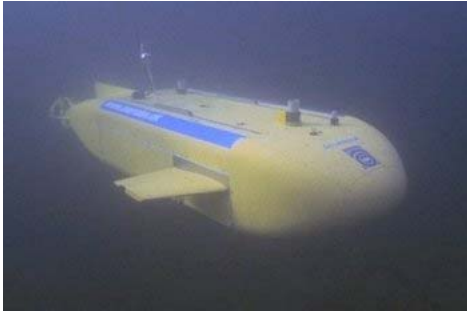


Pilt 1 Seade iärgimas merepõhja profiili

Käesolevas töös antakse ülevaade seadme juhtimisloogikast, elektroonikast ja samuti mõningatest parameetritest, mida on vaja seadme ehitamisel arvestada.

## 2. ÜLEVAADE VALDKONNAST

Merepõhja uuringuid on proovitud automatiseerida juba mitukümmend aastat. Enamik sellistest seadmetest on kaugjuhitavad ja mõeldud ookeanipõhja uuringuteks.



Pilt 2 SEABEE

Need on rasked ja kallid, sest peavad töötama suure rõhu all suurtes sügavustes ning kandma kaasas toiteallikat. Näiteks mitme Euroopa riigi koostöös arendatakse projekti nimega „SEABEE“ (Pilt 2), mis seisneb merepõhja keskkonna uurimisseadme valmistamises. See peaks suutma autonoomselt suunduda ettenähtud piirkonda, liikuma ettemääratud trajektooriga uurimispiirkonnas, samal ajal

võttes veeproove ja salvestades informatsiooni keskkonnast. Projekti kodulehekülj on <http://www.seabee-auv.com/>

MIT AUV labor (<http://auvlab.mit.edu>) on tegelenud mitmete täisautomaatsete merepõhja sügavusi uurivate seadmete konstrueerimisega. Üheks näiteks on masin



Pilt 3 Xanthos

nimega Xanthos (<http://auvlab.mit.edu/vehicles/vehiclespec2x.html>), mis varustatud sonarite ja kaameraga suudab vee all tegutseda mitmekümne kilomeetri raadiuses. Kõiki neid seadmeid iseloomustavad suured mõõtmed, kaal ja survetaluvus. Ehk siis

valmidus süvaookeanide uuringuteks.

Jaapani Rahvuslikus Mereinstituudis Hirata uurimisgrupp tegeleb väikesemõõdulise autonoomse robotkala arendamisega ([http://www.nmri.go.jp/eng/khirata/fish/index\\_e.html](http://www.nmri.go.jp/eng/khirata/fish/index_e.html)). Selle projekti eesmärk on pigem ehitada võimalikult looduslike kalade sarnane seade kui seadme kasutamine teaduslikuks uurimistööks.

## 3. SEADME E HITUSEST

### 3.1 Üldnõuded seadmele

Allveeseadmed on jaotatud kolme kategooriasse [2] tehtud jaotuse põhjal. Esiteks kommertstooted, mida kasutatakse tihti nafta ja gaasimaardlate otsinguteks või süvaookeanide uuringuiks. Need masinad peavad taluma kõrget rõhku ja on liiga rasked ning liiga suured madalatel rannikualadel kasutamiseks. Teiseks on sõjalise otstarbega seadmed luureks ja meremiinide otsimiseks.

Käesoleva projekti raames ehitatav aparaat kuulub kolmandasse ehk väikese maksumusega akadeemilise teadustöö eesmärgiga seadmete kategooriasse. Täisautonoomsel seadmel on mitmeid puuduseid. Kuigi teooriad allveenavigatsiooni ja kaardistamise kohta pidevalt täiustuvad, selgub artiklis [3], et need teemad on siiski veel arengujärgus. Samuti peaks masin sisaldama piisavalt võimsaid akusid, mis lisavad kõvasti kaalu ja nõuavad pidevat laadimist. On ka suurem tõenäosus seadme kaotamiseks. Sellest lähtuvalt on käeolev robot ehitatud poolautonoomsena.

Disainimisel tuleb arvestada, et see on mõeldud taimestiku uurimiseks kuni 20m sügavuses vees. Enamik mõõtmisi saab teha isegi kuni kuue meetri sügavusel. Selle tõttu ei ole väga suuri nõudmisi konstruktsiooni survetaluvuse osas. Samas peab seade olema väike ja kaalult kerge, kuna seda tuleb transportida ranniku lähedal suhteliselt madalas vees, kuhu ei pääse ligi suurte ja raskete alustega. Seega peaks seade olema võimalikult lihtsasti juhitav ühe inimese poolt. Samuti peaks see ka võimaldama salvestada ja töödelda mõõtmistulemusi.

Filmides ja põhjaprofiili järgides peab arvestama, et erinevalt troopilistest vetest on Läänemeri hägune. Suvel planktoni vohamise ajal võib nähtavus olla ainult paar meetrit või alla selle, mis seab suuremad nõuded kaamerale, valgustusele ja ka manööverdamisvõimele. Mõningatel juhtudel võib vetikate kõrgus olla kuni 1.5 meetrit ja ulatuda vee pinnani, mille tõttu peab robot olema võimeline liikuma ja pöörama ka tihedamas keskkonnas, mis omakorda tingib vajaduse tugeva konstruktsiooni järele.

Suur osa allveeseadmetest kasutavad ajamiseks kruvi või turbiini poolt tekitatud tugevat veejuga. Nende abil on võimalik liikuda suure kiirusega ja sellised lahendused on ka lihtsasti hangitavad, kuid selliste liikumisviiside miinuseks on liikumisega kaasnev turbulents. Meie seade peab niigi halva nähtavuse tõttu opereerima põhja lähedal. Läänemeres on see enamjaolt kaetud muda ja kergesti hõljuva settega. Kui

liikumisega kaasneks ka suur turbulents, muutuks nähtavus sisuliseks nulliks. Seega on välistatud traditsiooniliste meetodite kasutamine.

Viimaseks oluliseks nõudeks on hind, mis võimaldaks ehitada mitmeid eksemplare. Tuleb arvestada võimalusega, et seade läheb uuringute käigus kaotsi jäädes kinni näiteks kalavõrkudesse või kivide vahele.

### 3.2 Seadme mehhaaniline struktuur

Kuna eesmärk on hoida seadme hind võimalikult väike, on ehitamiseks kasutatud kergesti muretsetavaid komponente. Fiiberklaasist kesta sees asuvad pneumaatikasüsteem, mootorid uimede liigutamiseks, elektroonika, toide ja mitmesugused andurid [Joonis 2]. Kest ei ole ehitatud veekindlana, vaid sisaldab avausi kaamera, sonarite ning valgustuse jaoks. Külgedel asuvad PVC

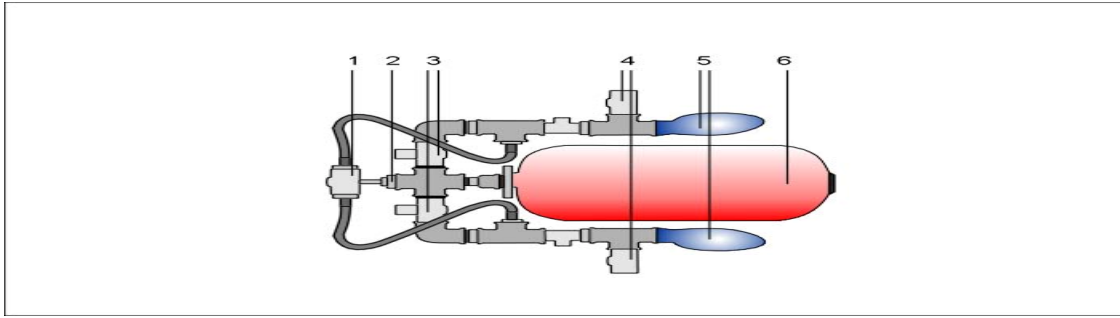


Pilt 4 Seadme testimine

torudest valmistatud ballastipaagid, mille raskuse reguleerimisega saab kompenseerida kaalu muutust seadme täiustamise käigus. Suruõhuballoon on fikseeritud seadme keskele, tugivarraste külge. Esiosas asuv PVC toru on tehtud täiesti veekindlaks ja sisaldab elektroonikat ja patareisid.

### 3.3 Ujuvuse kontroll

Allveeseadmete puhul kasutatakse ujuvuse muutmist tavaliselt sukeldumiseks, pinnaletõusuks või näiteks põhjast kaasa haaratud objekti raskuse kompenseerimiseks. Vee ja õhu suhte reguleerimisega ballastipaagis saab kontrollida seadme ujuvust. Ballastipaakidel on mõlemas otsas avaused vee sisse- või väljavooluks ja paakide keskel asub kummist elastne õhukamber [Joonis 1]. Kui see täita õhuga, voolab vesi paagist välja ja seadme ujuvus kasvab. Õhuvaru asub suruõhuballoonis kuni 8 atmosfäärise surve all. Suruõhuballoon on eraldatud kummastki õhukambrist eraldi klapiga. See lubab



Joonis 1 Pneumaatikasüsteem. 1-rõhkude tasakaalustamise klapp. 2-õhuventiil. 3-sisselaskeklapid. 4-väljalaskeklapid. 5-kummist elastsed kambrid. 6-suruõhupaak

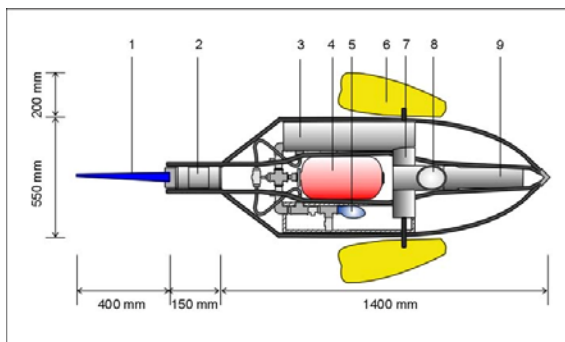
täita õhuga näiteks ainult ühe kambri, võimaldades seadet kasutada vertikaalses asendis. Õhu väljalaskmiseks on kaks paari klappi. Ühed on elektrooniliselt juhitavad, teised on vee sissevoolu vältimiseks. Kambrate vahel on klappiga kontrollitav ühendus rõhkude tasakaalustamiseks, mis võimaldab seadet horisontaalses asendis hoida.

### 3.4 Seadme juhtimine

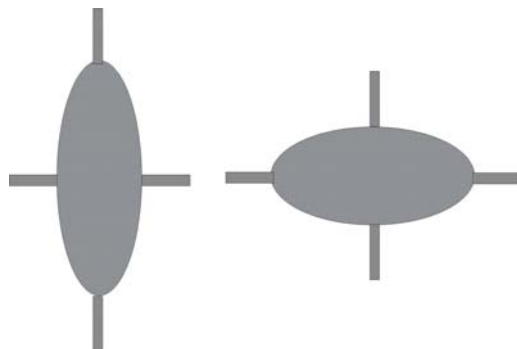
Käeolev robot on ehitatud poolautonoomsena, mida on võimalik opereerida kahes režiimis. Esimesel juhul veetakse seadet mingi aluse (näiteks kummipaadi) järel. Sonarilt saadava info abiga hoitakse püsivat kaugust põhjast. Akutoide ja salvestusseadmed asuvad paadis. Sellisel viisil on võimalik katta suuri vahemaid.

Teises režiimis saab robotit manuaalselt juhtida. See eeldab, et seade suudab ise liikuda ja hoida end stabiilsena. Kasutades seda varianti on näiteks võimalik võtta veeproove ja filmida mingit ala põhjalikumalt. Samuti saaks tegutseda jää all.

Läänemere mudase ja kergelt hõljuvate setetega kaetud põhja tõttu ei ole võimalik kasutada manööverdamiseks turbiine. Sellel põhjusel on seade varustatud kolme uimega ja ujuvust reguleeriva süsteemiga [Joonis 2]. Nende abil saab muuta seadmele mõjuvat



Joonis 2 1-uim, 2-mootor, 3-PVC toru, 4-suruõhupaak, 5-elastne õhukamber, 6-uim, 7-mootor, 8-kaamera, 9-patareid ja elektroonika

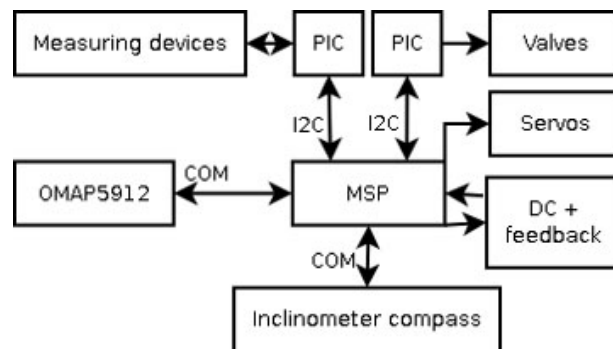


Joonis 3 Seadme ristlõige. Vasakul vertikaalne orientatsioon, paremal horisontaalne orientatsioon.

üleslükkejõudu ja seadme orientatsiooni. See võimaldab kasutada horisontaalses ja vertikaalses asendis [Joonis 3]. Kuna robot on ristlõikelt ellipsikujuline, siis horisontaalses paigutuses on teda kerge stabiliseerida ja see saab liikuda põhjale võimalikult lähedal. Samuti produtseerib veevool vastavalt kere nurgale horisontaali suhtes kas positiivse või negatiivse tõstejõu, võimaldades sellega kiiresti muuta kaugust merepõhjast. Tihedama taimestikuga piirkonnas saaks kasutada vertikaalset orientatsiooni – väiksem oht kinni jääda.

### 3.5 Seadme juhtloogika

Robotil on kolmeastmeline juhtimissüsteem, nagu on näha Joonisel 4. Kõige kõrgem kiht on OMAP5912 Strong-ARMil baseeruv arvuti, mis on ühenduses pardavälise PC-ga ja on vastutav sukeldumisplaani programmi tekitamise eest järgmise astme jaoks. Samuti toimub esimeses kihis videoinformatsiooni eeltöötlus.



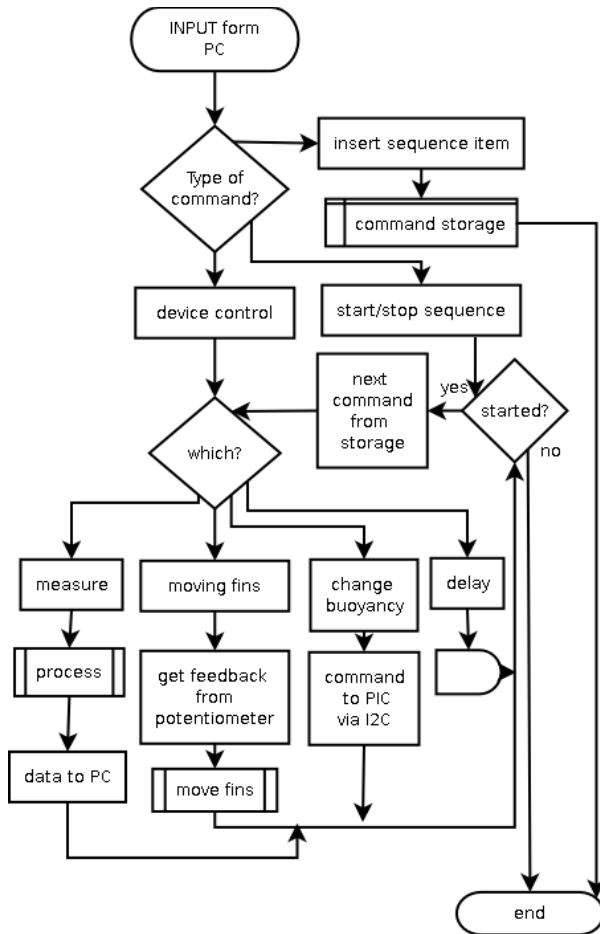
Joonis 4 Põhimõtteline kontrollskeem

Teine kiht on väga madala voolutarbega Texas Instrument 16-bitine RISC tüüpi protsessor MSP430, mis saab jadavärati kaudu töökäsu OMAP5912-lt. MSP peamine ülesanne on anduritelt saadud informatsiooni põhjal juhtida erinevate manipulaatorite tööd, järgides sellega sukeldumisplaani. Kolmas ehk madalaim aste koosneb reast PIC protsessoritest, mis on sidestatud MSP-ga I2C protokolliga. Need juhivad otseselt manipulaatoreid ja loevad informatsiooni anduritelt. Mõningad neist (näiteks teatud tüüpi sonarid) omavad sisseehitatud PIC protsessorit, samas klappide juhtimine käib välise PIC protsessori kaudu.

Keskne roll süsteemi juhtimises on MSP430-l, mis vastutab sukeldumisplaani tõlgendamise eest, käskude edastamise eest alama kihi PIC protsessoritele ja tulemuste tagastamise eest ülemisse kihti OMAP5912-le. Kuna MSP430 omab palju PLM (pulsilaiusmodulatsioon) väljundeid, on tema ülesandeks ka juhtida servomootoreid ja PLM juhivat alalisvoolumootorit.

Kommunikatsiooniprotokoll on kirjeldatud Joonisel 5. OMAP5912 ja MSP vaheline suhtlus on teostatud inimesele kergesti arusaadavas käsustikus. Suhtlus PICi ja MSP





Joonis 5 Kommunikatsiooni loogika

vahel on binaarne.

OMAP5912 saab saata kolme tüüpi kärke MSP-le: „lisa käsk jadasse“, „käivita jada“ ja „seadme kontrollkäsk“. Iga käsu süntaks on kujul „alamseadme number = käsk“. Selline vorm on arusaadav ka inimoperaatorile ja teeb lihtsaks suhtluse otse MSP protsessoriga testimise käigus. MSP peegeldab tagasi iga saanud märgi, mille järgi on võimalik veenduda käsu saatmise korrektsuses. Vastuvõetud käsud kogutakse MSP430 sisemisse mälu pinusse ja need käivitatakse järjest. See tähendab ülesannete edastamist PIC protsessoritele ja neilt vastuste lugemist. Käsujada korduvtäitmist on võimalik alustada ja peatada saates vastavaid instruksioone. Samuti saab

kontrollida igat alamseadet eraldi, saates seadmetele kontrollkäskke.

## **4. ELEKTROONIKA JA TARKVARALAHENDUS**

### **4.1 Ülevaade**

Käesoleva seadme elektroonika võib jagada viieks osaks. Esiteks on toitega seotud komponendid. Nende ülesandeks on tagada kogu süsteemile vajalikud pinged ja voolud. Teine osa on seotud mikroprotsessorite ja nende juurde kuuluvate komponentidega (kondensaatorid, takistid jne). Kolmandasse ossa kuuluvad igasuguste üleminekutega seotud mikroskeemid ja komponendid. Näiteks MSP mikroprotsessori ühendamiseks arvuti jadaväratiga on vaja viimase 12V pinget alandada 3.3V peale ja vastupidi. Neljas osa on manipulaatorite kontrollerskeemid. Esialgses prototüübis on elektroonika samm-mootoritejuhtimiseks, edaspidi on see asendunud servomootorite juhtimisloogikaga seotud skeemidega. Viimaks on komponendid ja sisendid, mis on ühenduses erinevate anduritega. Järgevates punktides kirjeldatakse erinevatesse osadesse kuuluvaid komponente ja nendevahelisi seoseid. Antakse põhjalik ülevaade prototüübi elektroonikast ja käsitletakse ka praeguse versiooni ülesehitust.

### **4.2 Esmase prototüübi riistvara**

#### **4.2.1 Eeldused elektroonika disainimisel**

Esialgse seadme elektroonika disainimisel on lähtunud eeldustest, et uimede liigutamiseks on samm-mootorid (nii bipolaarsed kui ka unipolaarsed), kauguste mõõtmiseks on SRF08 tüüpi õhus töötavad sonarid, mida on modifitseeritud töötamaks ka vees ning klappide avamiseks/sulgemiseks releed. Prototüübi lahendusest puudub OMAP5912 protsessor. Selle asemel kasutatakse inimese poolt juhivat personaalarvutit käskude sisetamiseks ja testimiseks.

#### **4.2.2 Ülevaade kasutatavatest komponendist**

Suur osa arvutamisest toimub mikroprotsessoris MSP430F149. See on väga vähese voolutarbega, 16 bitine RISC arhitektuuriga kontrolleri. Märkimisväärseteks omadusteks on 5 erinevat voolusäästureziimi, kusjuures väljalülitatud olekus on voolutarve ainult 0.1 $\mu$ A. Samuti on kontrollerial digitaalselt kontrollitav sisemine

ostsillaator, mille käivitumisaeg on 6  $\mu$ s, kaks 16-bitist taimerit, 12-bitine analoogdigitaalmuundur, 12-bitine digitaalanaloogmuundur, USART tugi ning 48 sisend- ja väljundviiku. Protsessorile lisab kiirust ka riistvaralise korrutamise tugi. Kasulik on ka asjaolu, et MSP430 perekonna jaoks on olemas vabavaraline kompilaator, millel puuduvad programmeerimise suuruse piirangud erinevalt tootja poolt tasuta jagatavast versioonist. Protsessori programmeerimine käib spetsiaalse JTAG liidese abil ja seda saab teha ka siis, kui protsessor on juba seadmega ühendatud.

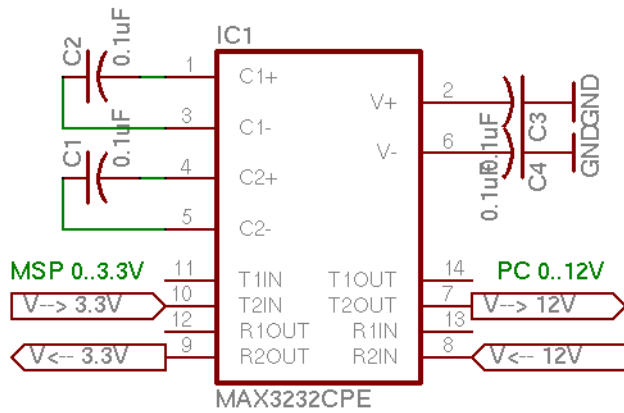
Madalama kihi protsessoritena kasutatakse kontrollereid PIC16F876A. Tegemist on kuni 20Mhz peal töötava 8-bitise kontrolleri, mille olulisteks omadusteks on I2C ja USART protokollide tugi, PLM (pulsilaiusmodulatsioon) väljundid, 10 bitine analoogdigitaal muundur. Antud protsessor sai PIC perekonnast välja valitud just I2C toe tõttu, kuna kogu suhtlus MSP ja PIC vahel on ehitatud selle protokolliga baasil.

Unipolaarsete samm-mootorite juhtimiseks on kasutusel mikroskeemid UCN5804B. kontrollimine käib TTL sisendi kaudu, kuid mootori jaoks on eraldi toide. Kontrolleri suudab juhtida maksimaalselt 1.5A voolu ja peab vastu pinget 35V.

Bipolaarsete samm-mootorite juhtimiseks on vaja keerulisema loogikaga kontrollereid. Käesoleval juhul on selleks mikroskeem UDN2916B. See sisaldab endas kahte H-silda, mistõttu piisab mootori juhtimiseks ühest mikroskeemist. Juhtimine käib 4 viigu kaudu TTL signaalide abil. Maksimaalne mootori toitevool on küll ainult 750mA, kuid erinevalt UCN5804B-st võimaldab antud kontrolleri sisemine PLM moodulit kasutades piirata väljundvoolu 4-astmeliselt.

#### **4.2.3 PC ja MSP430 ühendamine**

PC ja MSP430F149 vaheliseks suhtluseks kasutatakse standardset RS232 protokollit. Ainuke riistvaraline probleem, mis tuleb lahendada, on pingete erinevus. PC jadavärati pingevahemik on 0V kuni 12V, samas MSP lubatav pinge on ainult kuni 3.3V. Lahenduseks on kasutatud Maximi poolt toodetud mikroskeemi MAX3232, mis teisendab nii MSP kui PC jadavärati sisend- kui ka väljundpinged sobivaks.



Joonis 6 MAX3232 kasutamine pingeniivode muutmiseks

Tarkvaraline probleem seisneb MSP sisemuses USART mooduli käivitamises. Kuna kasutuses on MSP sisene digitaalselt kontrollitav ostsillaator, siis on vajalik ka kontrollida ning vajadusel reguleerida taktsagedust. Sellele mitte tähelepanu pöörates ei

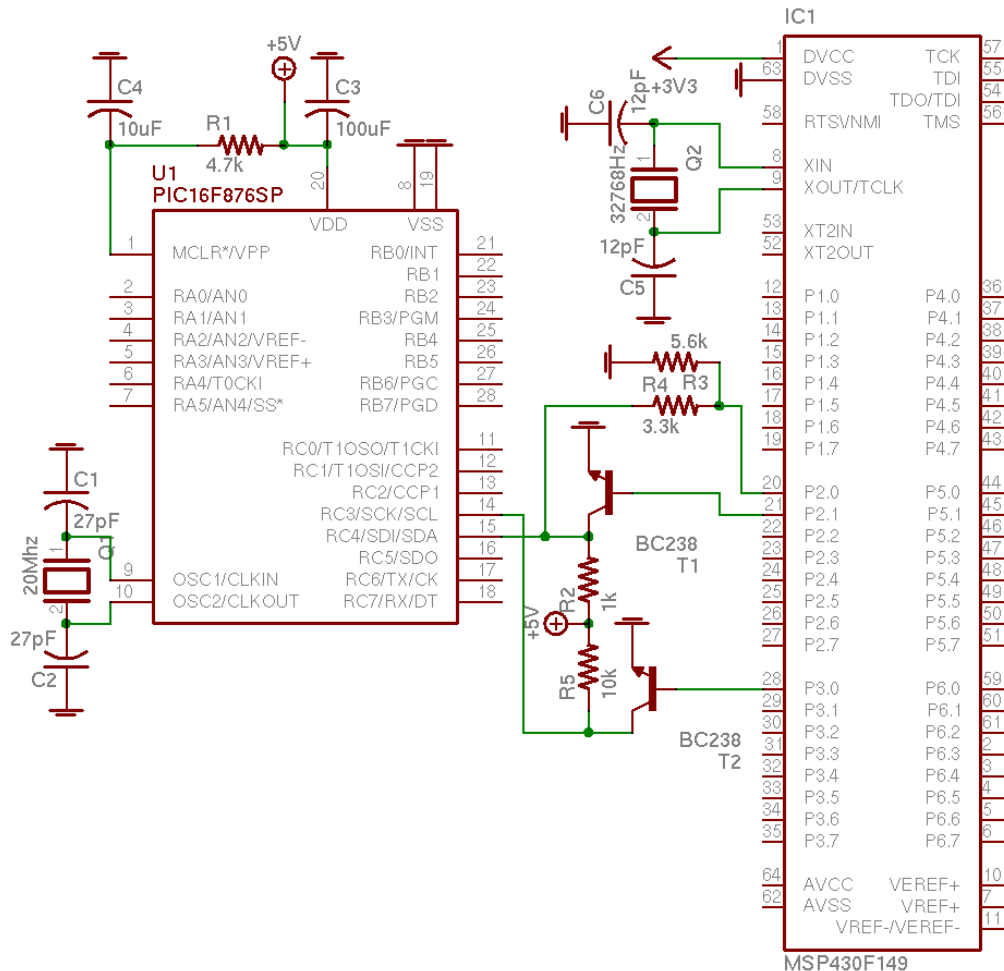
pruugi ostsillaatori sagedus püsida konstantsena, mistõttu ei toimiks kindlale biti edastamise kiirusele seatud RS232 ühendus.

Taktsageduse regulatsioon toimub MSPs vastavate kontrollregistrite DCOCTL ja BCSCCTL väärtuste muutmise. Kalibratsiooniks kasutatakse välist kvartsostsillaatorit, mis töötab sagedusel 32768Hz. Iga  $1 / 32768 * konstant$  sekundi ( $konstant = 1, 2, 4, \dots$ ) tagant kutsutakse välja katkestus, kus võrreldakse selle aja jooksul taimeri poolt kirja pandud taktide arvu teoreetilisega. Juhul kui taktide arv on suurem kui oodatav, vähendatakse protsessori kiirust, vastupidisel juhul suurendatakse. Sedasi püsib taktsagedus peaaegu konstante, fluktueerides oodatava väärtuse ümber väga vähe. Kuid aja jooksul keskmistades saame piisavalt täpse sageduse, mis võimaldab RS232 kaudu sidet pidada. MSP430F149 protsessorile saab ka panna välise kvartsostsillaatori, kuid antud plaadil seda kaasas ei olnud, seega on ka projektis kasutatud digitaalselt kontrollitavat sisemist varianti.

#### 4.2.4 MSP ja PIC ühendamine

MSP ja PIC protsessorid on ühendatud üle I2C protokoll. MSP on I2Cülemprotsessor ja PICid on alluvad protsessorid. Kõik PIC protsessorid asuvad eraldi SDA ja CLK siinide peal. I2C protokoll kasutamisel on mitmed eelised. Esiteks määrab andmeside toimumise ära ülemprotsessor (MSP). Teiseks ei ole vaja sünkroniseerimist protsessorite vahel – baitide saatmise kiiruse määrab samuti master. Antud ülesande puhul on see kasulik, sest MSP saab näiteks anda töökäsu ühele PIC protsessoritest ning siis tegeleda teiste ülesannetega. Alles siis kui on vajadust, saab MSP lugeda ülesande täitmise tulemuse sellest PICist (näiteks sonarite puhul mõõtmistulemuse).

PIC16F876A omab sisemist I2C moodulit ning sellega opereerimine on väga lihtne. MSP430F149-l see puudub. Samas on I2C isanda funktsionaalsust väga kerge saavutada tarkvaraliselt ja nii on ka antud juhul toimitud.

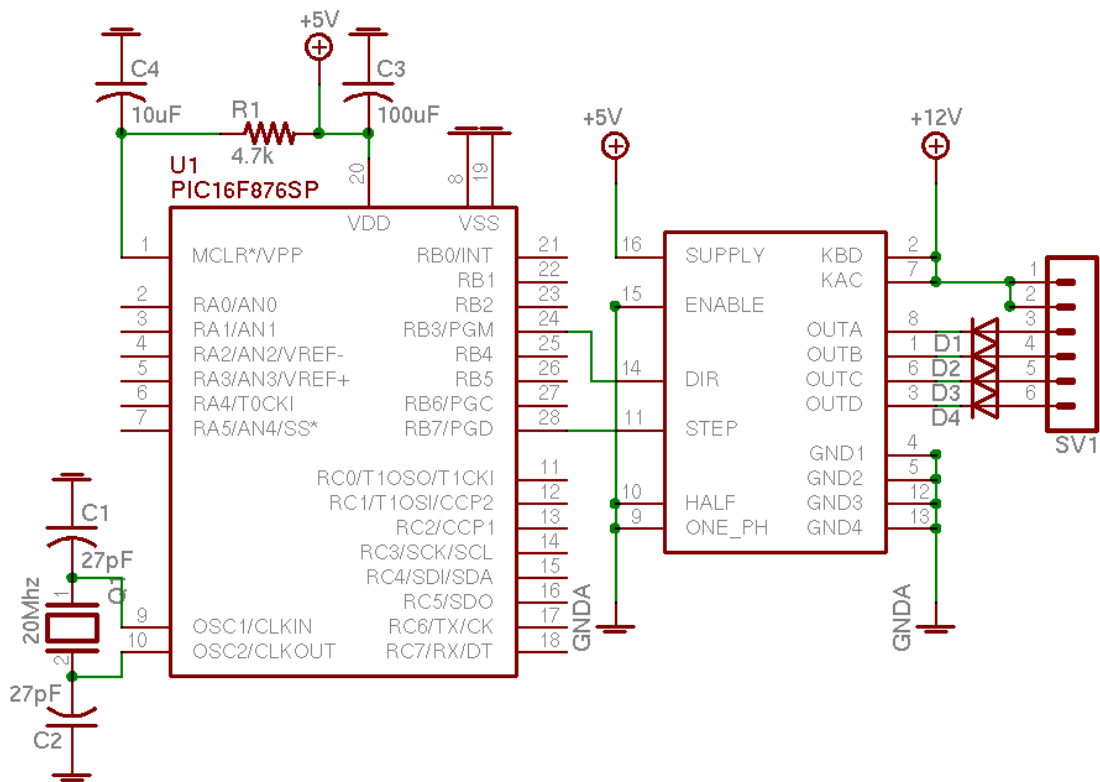


Joonis 7 PIC ja MSP ühendamine üle I2C

Arvestada tuleb ka pingete erinevusega. MSP töötab 3.3V ning PIC 5V peal. Seega MSP puhul tuleb kasutada kolme viiku. Esimene on SCL signaali saatmiseks, teine on andmete saatmiseks ja kolmas andmete vastuvõtmiseks (Joonis 7). Saatmise puhul on kasutatud transistoridest lülitusi, vastuvõtu juures teeb 5 voldisest pingest 3.3V kahest takistist R3 ja R4 koosnev pingejagaja.

#### 4.2.5 Unipolaarsete samm-mootorite juhtimine

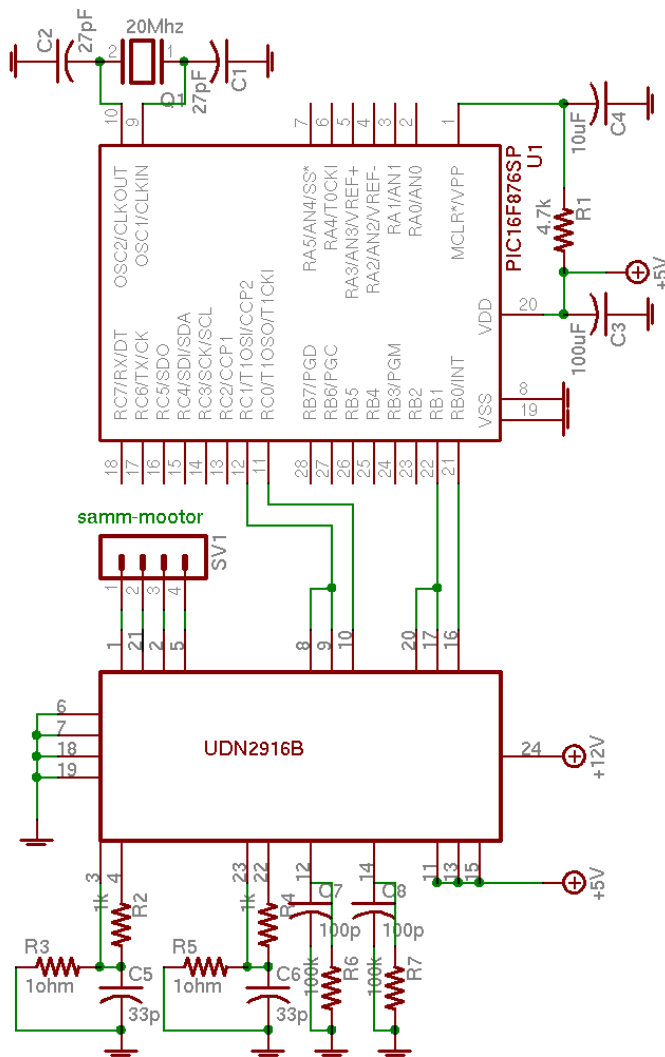
Unipolaarsete samm-mootorite juhtimise teeb lihtsaks UCN5804B mikroskeemide kasutamine. Lihtsaimal juhul on vaja kontrollida ainult kahte parameetrit: mootori pöörlemise suunda ja sammu intervalli. Keerulisemal juhul saaks kontrollida ka



Joonis 8 Samm-mootori kontrolleri UCN5804B ühendus PIC protsessoriga

poolsammude funktsionaalsust ja vastavalt olukorrale kasutada pööramiseks ühte või kahte faasi. Käesolevas seadmes kasutatakse ainult lihtsamaid funktsioone (Joonis 8). UCN 11ndale viigule risküliksignaali ette andes maandatakse järjest mootoriga ühenduses olevaid viike 1,3,6,8 ja signaali periood on võrdne viikude ümberlülitamise perioodiga. Seetõttu voolab iga takti ajal läbi erinevate mootori mähiste vool, pöörates rootorit 1.8 kraadi. Väljundviikude maandamise järjekord sõltub viigu 14 olekust. Kasutame kogu aeg kahefaasilist varianti (viigud 9 ja 10 on kogu aeg maandatud), mis seisneb kahe järjestikuse faasi samaaegses maandamises perioodi vältel. Näiteks ühe perioodi vältel voolab vool läbi viikude 8 ja 1, järgmsel perioodil läbi 1 ning 6. See annab tugevama pöördemomendi ning mootoris tekib väiksema tõenäosusega resonants. Samas peab aga arvestama suurema voolutarbega.

Signaalid kontrollerrisse tulevad otse PIC protsessorilt. Informatsiooni sammude arvu, suuna ja kiiruse kohta edastab PICile MSP. Induktiivsete voolude kaitseks on kasutatud diode D1-D4.



Joonis9 Samm-mootori kontrolleri UDN2916B ühendamine PIC protsessoriga

kasutada vastavaks otstarbeks mõeldud mikroskeemi. Käesolevas töös on selleks UDN2916B. See skeem võimaldab ka kontrollida kumbagi silda läbiva voolu tugevust nelja-astmeliselt (0, 33, 66, 100%). Selle variandi kasutamine lubaks teha täpsemaid samme. Antud probleem, mis seisneb uimede liigutamises, ei vaja sellist täpsust ja seda funktsiooni ei kasuta.

UDN2916B kontrollib sisemise komparaatori, monostabiilse multivibraatori ja välimise takisti abil eraldi kumbagi H-silda läbivat voolu. Maksimaalne voolutugevus on leitav  $I_{TRIP} = V_{REF} / 10 R_s$ , kus  $R_s$  on ühe silla jaoks R3 ja teise silla jaoks R5.  $V_{REF}$  on määratud viikudel 11 ja 15. Käesoleval juhul on suurim väljundvool 0.5A. Kuna regulatsioon toimub voolu haripunkti jõudes allika väljalülitamisega, siis on vaja määrata sulgeoleku aeg. Paaride R6, C7 ja R7, C8 valikuga on see määratud seosega  $t_{off} = R_t C_t$  ning on antud juhul 10 mikrosekundit.

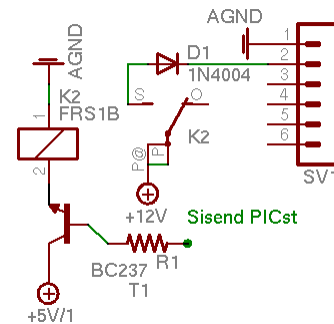
## 4.2.6 Bipolaarsete samm-mootorite juhtimine

Erinevalt unipolaarsetest samm-mootoritest on bipolaarsete mootorite juhtimine palju keerulisem. Unipolaarsetel mootoritel tuleb nelja mootori sisendit järjest maandada, samal ajal kui viies ja kuues sisend on pidevalt pingestatud. Bipolaarsetel samm-mootoritel on kokku 4 sisendit, millel tuleb muuta ka polaarust: ühel hetkel on näiteks esimene sisend pingestatud ja teine maandatud. Teisel hetkel peavad olekud olema vastupidised. Sellist mootorit saab juhtida kahe H-silla abil (Joonis 9). Et välitada suurt hulka detaile (8 transistori ja diodi), on kompaktsem

Voolu suuna kontrollimine sildades käib läbi viikude 10 ja 16. Paaride 8 ja 9 ning 17 ja 20 roll on voolu sisse- ja väljalülitamine. Kontrollides neid eraldi, saaksime kasutada eelpool mainitud voolu tugevuse muutmisefunktsiooni.

#### 4.2.7 Klappide juhtimine

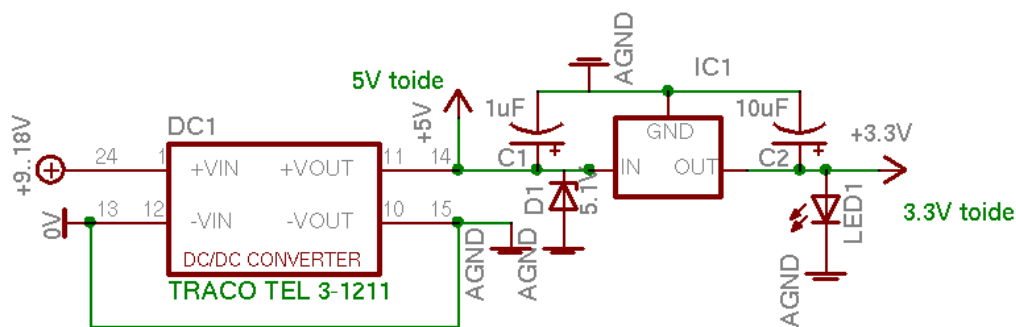
Klappide juhitakse releede sisse- ja väljalülitamisega. Releesid kontrollib PIC. Sellele saab I2C protokolliga ette anda klapi ID ja klapi avatuse kestvuse. Joonisel 10 on näidatud ühe klapi juhtimine. Selleks kasutatakse releed, mille mähisest lastakse läbi vool otse toiteallikast (PIC väljundvool on piiratud). Klappide vool tuleb 12V toiteallikast ning läheb läbi rele ja diodi klapi mähisesse.



Joonis 10 Relee juhtimine

#### 4.2.8 Elektroonika toide

Elektroonika komponendid vajavad kahte pinget: 3.3V ja 5V. Kuna antud elektroonika hakkab toimima veealuses seadmes, mis ei ole otse visuaalselt jälgitav, on oluline minimaliseerida toitest põhjustatud vigu või tõrkeid. Selleks on kasutusele võetud DC/DC stabilisaator TRACO TEL 3-1211, mis muudab 9-18V alalispinge stabiilseks 5V pingeks (Joonis 11).



Joonis 11 Elektroonika toitesüsteem

Enamike mikroprotsessorite ja controllerite töös kasutatakse 5V pinget. Ainult MSP ja MAX3232 kasutavad 3.3V pinget, mis saadakse stabilisaatori abil. Zenerdiod D1 on mõeldud kaitsmaks mikroprotsessoreid ülepinge eest. Mootorite ja klappide 12V toide saadakse eraldi allikast, kuid maandus on ühine mikroskeemide maandusega.



## **4.2.9 Järeldused katsete põhjal**

Kui panna kõik eelnevad skeemid kokku ning vastavalt sellele valmistada elektroonika, siis laboritingimustes töötavad kõik komponendid nii ühekaupa kui ka koos. Reaalsete testide puhul seadmega tulevad välja mõningad puudused.

Suure induktiivusega klapid kipuvad tekitama häireid mikroprotsessorite töös. Eriti halb on MSP protsessori kui süsteemi aju iseeneslik ümberkäivitumine. Skeemi lülitatud madalpääsfilter, mis koosnes sisuliselt suure mahtuvusega kondensaatorist, aitas mõningal määral häirete mõju vähendada, kuid siiski kippus MSP vahepeal end ümber käivitama. Lahendus oleks elektroonika toite ja mootorite ning klappide juhtimiseks mõeldud toite täielik isoleerimine optronite abil. Antud skeemis on maandused ühised.

Teine probleem tuleneb elektroonika kokkupanemise viisist. Kuna kasutatakse DIP pakendis mikroskeeme, standarseid komponente ja montaažiplaati, siis kaasnes komponentidega väga suur hulk juhtmeid, mis tegid vigade avastamise palju raskemaks ning alati oli oht, et mõni juhe võib kuskilt lahti tulla. Sellise elektroonika koguse korral oleks lahenduseks esiteks loobuda montaažiplaadist ja kasutada vastavalt skeemidele disainitud ja söövitatud trükkplaati. Samuti on mõttekas kasutada pindjoodetavaid elemente. Sellise meetodiga hoiab väga palju ruumi kokku. Teisest küljest võimaldab montaažiplaat skeemi kiiret ümberehitamist, mis prototüübi ehitamise ja testimise ajal on möödapääsmatu.

## **4.3 Esmase prototüübi tarkvara**

### **4.3.1 Ülevaade**

Tarkvara tuli kirjutada nii MSP kui ka PIC protsessori jaoks. Samuti tuli välja mõelda suhtlusprotokoll MSP ja PC vahel. Aluseks on võetud idee teha viimane võimalikult universaalne – et PC poolt saaks kõiki seadmeid juhtida sama skeemi järgi (olgu need sonarid või samm-mootorid). Samuti tuleb arvestada, et mõningad seadmed annavad olulist tagasisidet (sonarid mõõtmistulemuse), teised ei anna seda üldse. Lähtudes sellest saab protokolliks kahebidiline käsk järgmise struktuuriga:

seadme ID 5 bitti	prioriteet 3 bitti	op-kood 8 bitti	käsk 8 bitti
----------------------	-----------------------	--------------------	-----------------

Käsk saadetakse PCst MSPsse, kasutatades ainult numbreid ja sümboleid A..F (ehk siis kuueteistkümnendkoodis). Seega kolmebaidise käsu pikkus saates on 6 märki. Kõik saadetud sümboolid peegeldatakse MSP poolt tagasi, aidates sellega saatmise käigus tekkinud viga avastada. Kui MSPsse peaks jõudma mingi muu sümbol peale eelpool loetletute, siis käimasoleva käsu vastuvõtt katkestatakse ja alustatakse uuesti – sellega on välditud vigaste käskude täitmine MSPs.

Käsu vanimad 5 bitti määravad ära alamseadme, millele käsk on mõeldud. Järgmised kolm bitti määravad käsu prioriteedi – ehk siis kui tähtis on tagasiside alamseadmest. Näiteks kui saadetakse kummalegi sonarile käsk mõõta, kuid ühe käsu prioriteet on 0, teisel 1, siis tulemusi üritatakse kõrgema prioriteediga sonarilt 2 korda tihedamalt kätte saada. See tähendab, et tsükliliselt vastuseid kontrollides jäetakse madalama prioriteediga käsu saanud seadme kontroll igal teisel korral vahele. Kiiruse seisukohast võib selline jaotus oluliseks saada, kui MSP peab tegelema korraga paljude alamseadmete kontrolliga ja samal ajal võtma vastu uusi käske PClt. Kui prioriteedibittide väärtus on 4, siis pöörduvalt alamseadmelt tagasisidet ei ole oodata ja käsk täidetakse koheselt pärast vastuvõttu MSP poolt. Näiteks edastatakse PIC protsessorile käsk liigutada samm-mootorit 50 sammu.

Teine ja kolmas bitt edastatakse alamseadme kontrolleriile, mis kasutab seda infot. Näiteks SRF08 sonarite puhul, teine bitt näitab mõõtmise algust ja kolmas oodatavat vastuse dimensiooni (kaugus cm või tollides).

#### **4.3.2 Järeldused pärast süsteemi praktilist kasutamist**

Eelkirjeldatud viisil disainitud suhtlusprotokoll ja tarkvara võimaldavad saata ühesuguseid käske PC-st MSPsse. Tuleb ainult määratleda käsu prioriteet ja seade. MSP jaoks ei ole olulised viimase kahe baidi informatsioon, vaid ta edastab selle alamseadmele.

Sellise variandi puhul on MSP tarkvara lihtne kirjutada, sest MSP on ainult informatsiooni vahendaja rollis. Ainuke asi, mida ta alamseadmete kohta teab, on ühe baidi jagu informatsiooni saadetavate baitide arvu kohta ning tagasiside baitide arv. Kui on kindlasti teada, et kõiki alamseadmeid saab kontrollida kahe baidiga, siis saab sellist

protokolli edukalt kasutada.

Samas ei ole see süsteem paindlik. Kui näiteks panna MSP alamseadmeks selline riistvara, mis nõuab keerulisemat suhtlemist (näiteks on vaja korraga saata 10 baiti informatsiooni), siis muutub antud protokolli kasutamine kohmakaks ning palju keerulisemaks. Kui sellistel puhkudel hakata MSP tarkvarasse kirjutama erandjuhtumite käsitlemisprotseduure, kaotab protokoll esialgse idee – olla võimalikult universaalne saadetava käsu struktuuri seisukohalt. Samuti eeldab antud arhitektuur, et alamseadmed suhtlevad kõik üle I2C. Samas praktika näitab, et keeruliste sonarite puhul toimub suhtlus nendega üle RS232 protokoll.

Negatiivne külg sellise suhtlusprotokolli puhul on ka raskendatud testimine. Kuna kõik käsud tuleb PC-st MSPsse saata kuuteistkümnendkoodis, siis on suhteliselt aeganõudev neid välja mõelda ja sisestada. Samuti on käskude varieerimine raskem, muutes sellega süsteemi testimise keerulisemaks.

Lahendus probleemidele oleks kasutada protokoll, kus MSP tegeleb käskude analüüsiga ja kogu käskude ning seadmete loogika on tema koodi sisse kirjutatud. See muudaks küll MSP programmi pikemaks ja seda tuleks kohandada iga uue alamseadme lisamisega, kuid samas võimaldab see suuremat paindlikkust ning võimaldaks saata käske arusaadavamal kujul (näiteks *'seade1=50step'*).

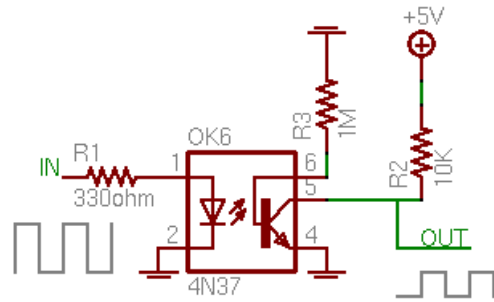
## **4.4 Esmase versiooni edasiarendus**

### **4.4.1 Ülevaade muudatustest**

Seadme uues versioonis on peamised muudatused SRF08 sonaritest loobumine, sest nende kohandamine töötamiseks allveekeskkonnas ei õnnestunud. Teiseks loobutakse samm-mootoritest nende kesise jõudluse tõttu ja asendatakse servomootoritega külguimede puhul ning tagasisidestatud alalisvoolumootoriga tagumise uime puhul. Suhtlusprotokoll on muudetud lihtsamini kasutatavamaks ning paindlikumaks – selliseks nagu on kirjeldatud punktis 3.5. Käesolevas versioonis ei pöörata rõhku klappide juhtimisele, kuna seadet testitakse eelkõige uimede töötamise seisukohalt. Seega selles osas elektroonikat täiendatud ei ole.

#### 4.4.2 Servomootorite juhtimine

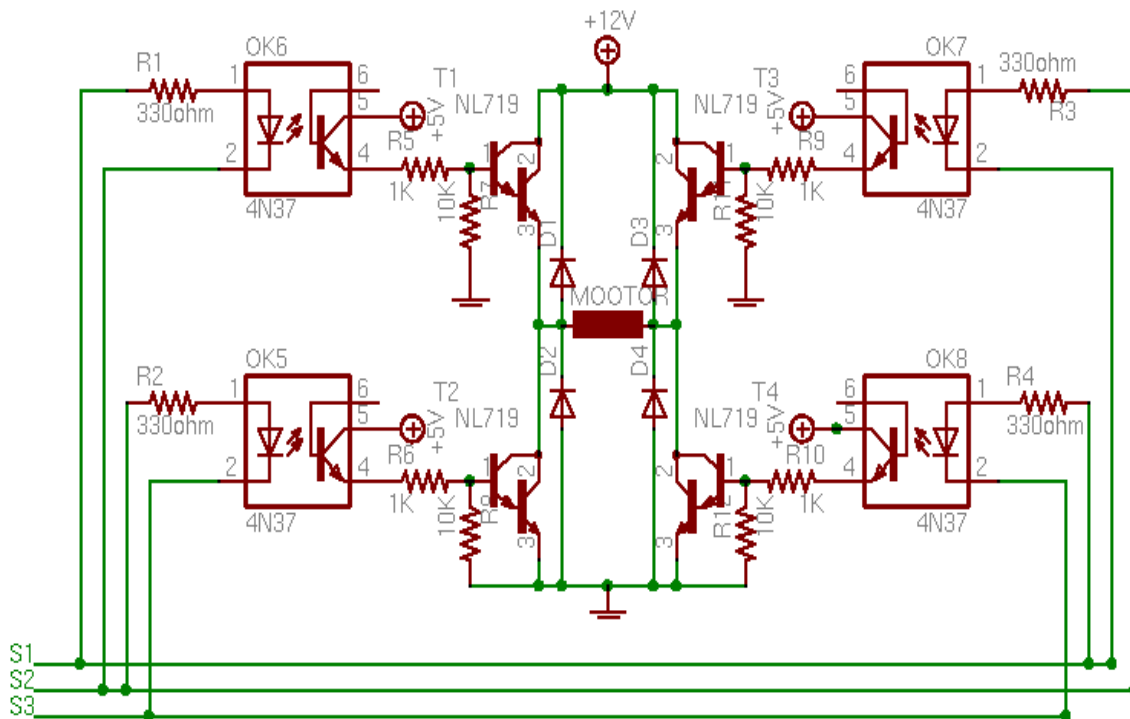
Servomootorite juhtimine käib PLM (pulsilaiusmodulatsioon) abil. MSP protsessoril on 8 PLM väljundit, seega esialgu ühendatakse serviid MSP külge. Erinevalt esmasest prototüübist kasutame juhtimises vahelülis optroneid, püüdes sellega vältida mootorite tekitatud häireid. Servomootorisse läheb kolm juhet: toide, maandus ja impulsid. Joonisel 12 on esitatud optilisel lahtisidestusel põhinev lülitusmis edastab impulsid MSPst servomootorisse.



Joonis 12 IN= MSPst saav signal, OUT= servosse minev signal

#### 4.4.3 Tagasisidega alalisvoolumootori mootori juhtimine

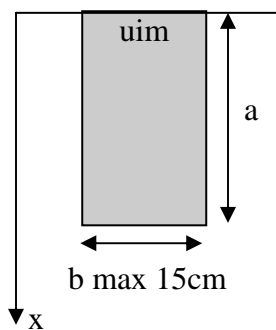
Kuna alalisvoolumootor on teises prototüübis eksperimendi korras, kasutame ajutiselt juhtimiseks MSPd. Mootori juhtimiseks on vaja ühte H-silda ning kolme protsessori väljundviiku. Tagasiside tuleb ühte sisendviiku. [5] põhjal tehtud juhtimise skeem on esitatud joonisel 13.



Joonis 13 H-sillal põhinev alalisvoolu mootori juhtimisskeem

Darlington tüüpi transistoride lülitamine käib läbi optronite. See vähendab häirete sattumise tõenäosust mikroprotsessorisse. Transistore kaitsevad induksioonvoolude eest diodid D1-D4. Sellise skeemi eeliseks on mootori juhtimine kolme väljundviigu S1, S2, S3 abil. Ei pea eraldi kontrollima kõiki transistore. Näiteks sättides  $S1=1$  ja  $S2=S3=0$  voolab vool läbi T1, mootori ja T2. Samas kui  $S1=S3=0$  ja  $S2=1$ , on voolu suund läbi transistori T3, mootori ja T2. Lisaks voolu suuna muutmisele saab ka mootorit pidurdada. Näiteks sättides  $S1=S2=1$  ja  $S3=0$ , on avatud transistorid T2 ja T4, lühistades seega mootori. Mootor on tagasisidestatud potentsimeetri kaudu. See asub teljel küljes, ümber mille liigub uim. Potentsiomeeter on ühendatud vooluallikaga ning MSP mikroprotsessoriga, mis teab saadava pinge väärtuse põhjal uime asendit.

#### 4.4.4 Vajaminev mootori tugevus reaalses eksperimendis



Joonis 14 Uim laiusega  $b$  ja pikkusega  $a$

Katsed teise prototüübiga toimusid basseinis, kus robotit liigutati suhteliselt aeglaselt. Järgnevad eksperimendid toimuvad meres ning siis veetakse robotit suuremate kiirustega. Siis ei tule rõhku pöörata ainult elektroonika disainile vaid ka uimesid liigutavate mootorite võimsus muutub oluliseks. Külguimesid saab kinnitada uime keskelt, seega vee poolt uimele mõjuv jõud ei oma suurt pööravat mõju. Tagumine uim aga kinnitatakse uime servast. See tingib suurema tugevusega mootorite vajaduse – need peavad jaksama hoida uimesid fikseeritud asendis ka

liikudes meeter sekundis. [5] eeskujul on arvutatud vajaminevad tugevused.

Joonisel 14 on uim, mille kinnitustelg asub lõigul  $x=0$ . Pikkus on  $a$  ja laius  $b$ .

Pidevas keskkonnas liikuvale esemele mõjub takistusjõud

$$F_D = \frac{1}{2} C_D \rho S v^2,$$

kus  $C_D$  on takistuskoeffitsient,  $\rho$  on keskkonna tihedus,  $S$  on eseme karakteristiklik pindala ja  $v$  on eseme liikumise kiirus. Lähtume jõudu arvutades, et uime pinnanormaal on liikumise suunaline. Sellisel juhul takistuskoeffitsient  $C_D=2$ . Lõpmatult väikese pindalaga plaadile mõjub jõud

$$dF_D = \frac{1}{2} C_D \rho b dx v^2.$$

Selle lõpmatult väike pöördemoment telje suhtes võrdub  $dT = x \cdot dF_D$  ja kogu pöördemoment:

$$T = \frac{1}{2} \cdot C_D \cdot \rho \cdot b \cdot v^2 \cdot \int_0^b x \cdot dx = \frac{1}{4} \cdot C_D \cdot \rho \cdot a^2 \cdot b \cdot v^2$$

Juhul kui uime pikkus on 20cm ja seade liigub kiirusega 1m/s, siis maksimaalne mootorile mõjuv pöördemoment on 3Nm = 300 Ncm.

Arvutatud suurus on ligikaudne, kuid annab siiski ligikaudse tugevusnõude mootorile ning on selge, et antud eksperimendis kasutatavad ~10 korda nõrgemad servomootorid ei suuda suuremate kiiruste juures uime paigal hoida ega liigutada

#### 4.4.5 Järeldused teise versiooni katsetest

Teise versiooni katsetused näitavad, et optronite kasutuselevõtt oli väga vajalik. See tuli välja just võimsa, tagumist uime liigutava sabauime testimisel. Mootorit käitas vool suurusjärgus 3A ning hoolimata pidevast induksioonvoole tekitavast pöörlemise suuna muutmisest ei tekkinud mikroprotsessorite töös häiretest tingitud iseeneslikke ümberkäivitusi.

Samuti selgus, et külguimede juhtimiseks on vaja edaspidi tugevamaid mootoreid või on vaja muuta kinnituspunkti. Roboti vedamise kiiruse suurendamine tingib võimsa sabamootori vajaduse.

Uuenenud tarkvara ja suhtlusprotokoll võimaldasid seadme tööd paremini testida – vähem aega kulus töökäskude tekitamiseks ja sisestamiseks. Testimise ajal oli ka parem ülevaade seadme töö hetkeseisust.

## 5. KOKKUVÕTE

Käesolev töö koosneb neljast peatükist, kus kirjeldatati riistvara osa üldises veealust taimestikku uuriva seadme ehituse projektis. Töö kirjutaja on kaasautor ka selle projekti põhjal välja antud teaduspublikatsioonis (Lisa 1).

**I peatükk** oli sissejuhatus, kus kirjeldatati käesoleva projekti aktuaalsust seoses Läänemerega ning ehitatava seadme eesmärki.

**II peatükk** andis lühikese ülevaate valdkonnast.

**III peatükk** oli kogu projekti ülevaatlik osa. Seal kirjeldati seadmele esitatud nõudmiseid ja vastavalt nendele ehitatud mehhaanilist osa. Samuti anti detailne ülevaade seadme juhtimisloogikast.

**IV peatükk:** esitati seadme riistvara ehitus ning analüüsi põgusalt tarkvaraga seotud nüansse. Riistavara osas kirjeldati kõige pealt esimest versiooni ning seal kasutatavaid komponente. Analüüsi puuduseid ning tehti muudatusettepanekud. Samuti toodi välja esialgse tarkvara head küljed ning puudused. Seejärel anti ülevaade teises versioonis tehtud muudatustest ning hinnati tulemusi. Anti ka arvutuste põhine hinnang manipulaatorite valikuks seadme järgmise versiooni tarvis.

Käesoleva töö baasil saab edasi arendada projekti riistvaralist poolt ning valmistada seadet katsetusteks tema tulevases töökeskkonnas – rannikulähedases meres. Samuti aitab projekti katsetamisest saadud informatsioon disainida paindlikku ning kasutajasõbralikku tarkvara.

Katsetused on näitanud, siis töös kirjeldatud riistvaraline lahendus on üldiselt osutunud hästi toimivaks. Esimesest prototüübist õpitud vigade põhjal täiendatud elektroonika on lisanud süsteemile ka töökindlust. Riistvara komponendid on olnud töökindlad ja täitnud ülesannet korralikult. Seega järgmistes versioonides võib samade komponentide pindjoodetavaid variante kasutades disainida kompaktsemaid ja kestvamaid skeeme.

Katsetuse käigus tekkis kõige rohkem segadusi suure juhtmete hulga tõttu. Eriti juhul, kui oli kiiresti vaja teha muudatusi elektroonikas. Seetõttu järgnevates versioonides kasutatakse kindlasti muutumatute skeemielementide puhul pindjoodetavaid elemente koos vastavalt projekteeritud trükkplaadiga.

Pärast esmalt disainitud liiga universaalsel suhtlusprotokollil põhineva tarkvara asendamisel lihtsama ning paindlikuma variandiga muutus lihtsamaks testimine ning uute seadmete integreerimine süsteemi. Seega edaspidi toimub samal põhimõttel

baseeruva tarkvara edasiarendamine, töötamaks juba koos seadmesisese OMAP5912 arvutiga.

Reaalses keskkonnas katsetused on andnud palju teadmisi mootorite valiku kohta järgmiseks versiooniks. On selgunud uimesid liigutavate mootorite hinnanguliselt vajaminevad tugevused. Samuti tulid välja puudused esimese versiooni elektroonikas, millest lähtuvalt viidi sisse parandused.

Kuna valmistatud elektroonika ja tarkvara abiga on olnud võimalik korraldada edukaid teste reaalses keskkonnas, siis võib töö tulemust hinnata heaks ning projekti senist käiku kordaläinuks.



## **Tänuavaldused**

Käesoleva töö autor soovib tänada järgmisi isikuid:

1. Alvo Aabloo ja Maarja Kruusmaa – aktiivsed ja asjakohased juhendajad.  
Võimlndanud ressursid projekti edukaks läbiviimiseks.
2. Madis Listak – hea nõuandja projekti vältel.

Deivid Pugal

## Hardware Design for an Underwater Vehicle for Environmental Monitoring

### Summary

There had been developing of an underwater vehicle for environmental monitoring. The main goal of the device is environmental monitoring in shallow waters of the costal regions in Baltic Sea and in inland surface water bodies. The goal of the diploma work is to develop and build electronics for the vehicle. Also control logic and and communication protocol between the vehicle and a user must be designed and programmed

This diploma work consists of 4 main chapters where the hardware of the vehicle was described. The work is only a part of the underwater vehicle project. The author of the diploma work is the co-author of a research publication based on the same project.

**Chapter I** is an introductory part where the purpose of the vehicle and relevance of the problem was described.

**Chapter II** gives an overview of the research field.

**Chapter III** is an overview of the project. The requirements and mechanical design of the vehicle were described. It also includes detailed description of the control system of the vehicle.

**Chapter IV** consists of description of the hardware and a short analysis of the software. In the hardware section the first version and components with brief analysis of drawbacks was described. It also includes improvement suggestions for the next version and some ideas about the first version of software. In the next section the changes in the second version were analyzed and evaluated. Also some calculations were performed for the future version of the vehicle.

Based on the diploma work more advanced hardware could be developed and the vehicle would be tested in real working environment – near the coastline in The Baltic Sea. Also more flexible and user friendlier software could be designed.

Experiments have shown that the hardware described in this work is generally good. . The second version includes some improvements compared to the first one and

was more faults tolerant. . Electronic components have are reliable and in the next version more compact surface mounted components will be used.

Some assembly problems appeared during testing and were caused by large amount of wires. Especially in case there was a need for a rapid change in the electronics design. Therefore surface mounted packages of the components and printed circuit boards (PCBs) will be used instead of perf boards in the future.

After replacing the first-designed too universal communication protocol with simpler and more flexible one the testing and integration of new devices has become easier. So the software will be developed further to work with OMAP5912 – small PC like computer inside the vehicle.

Tests in real environment have given lots of information about the required power consumption of the actuators in the next version. Also some errors in the first version were discovered and corrected for next release.

As the designed electronics and software have allowed doing successful experiments with the vehicle in the real testing environment the evaluation of the outcome of this work can be considered to be good and project has been successful so far.

## KASUTATUD KIRJANDUS

1. Markku Viitasalo, "Kas Läänemeri hävib",  
<http://www.fimr.fi/et/itamerekanta/bsds/2507.html> , 03.03.2005
2. R.L. Wernli. AUVs A Technology Whose Time Has Come. , 2002. Proceedings of the 2002 International Symposium on Underwater Technology, 16-19 April 2002, pp. 309-314.
3. S. Williams, G. Dissanayake, H. Durrant-Whyte. Towards Terrain-Aided Navigation for Underwater Vehicles. Advanced Robotics, Vol. 15, No. 5, pp. 533-549 (2001).
4. Tzeranis, D., Papadopoulos, E., and Triantafyllou, G., "On the Design of an Autonomous Robot Fish", Proc. 11th IEEE Mediterranean Conference on Control and Automation, (MED '03), Rhodes, 3, June 17-20, 2003.
5. Chuck McManis, BJT H-Bridges : The Complete BJT H-Bridge.  
<http://www.mcmanis.com/chuck/robotics/tutorial/h-bridge/bjt-circuit.html>, November 2003

# **Lisa 1. Design of a Semiautonomous Biomimetic Underwater Vehicle for Environmental Monitoring**