

TARTU ÜLIKOOL
LOODUS- JA TEHNOLOOGIATEADUSKOND
Tehnoloogia Instituut

Igor Vassilevski

**AUTOGENERAATORTÜÜPI FOUCAULT' KARDIOGRAAFI
OOKEANIVEE KESKKONNAS KASUTAMISE VÕIMALIKKUSE
UURINGUD**

Bakalaureusetöö arvutitehnikas (12 EAP)

Juhendaja: Jüri Vedru

Luban töö kaitsmisele:

Juhendaja

/allkiri, kuupäev/

Programmijuht

/allkiri, kuupäev/

Tartu 2015

Resüme

Antud bakalaureusetöö on tehtud intellektuaalsete päästevestide töötlemise projekti jaoks, mille praegune eesmärk on välja selgitada, mis mitteinvasiivne südamegevuse jälgimise meetod sobib kõige paremini inimese südamegevuse signaali kättesaamiseks, kui ta on soolvee sees. Selle projektiga tegelevad Tallinna Tehnikaülikooli Johann Seebecki elektroonikainstituut ja ELIKO Tehnoloogia Arenduskeskus OÜ koostöös Tartu Ülikooli Meditsiinifüüsika ja Biomeditsiinitehnika Keskusega.

Antud töö eesmärk oli välja selgitada, kas Foucault' kardiograafia sobib südamegevuse jälgimiseks soolvees. Selleks oli vaja läbi viia katsed soolvees (kontsentratsioon kuni 35%), mille jaoks oli tellitud plastiktünn. Mõõtmiste tegemiseks kasutati autogeneraatortüüpi Foucault' kardiograaf, mis oli ümbertehitud antud uuringule sobivaks (lisatud herkonlülitid, et signaali võimendust reguleerida mõõtmiste ajal) ning mida pandi veekindla elektrilise isolatsiooni sisse, mis hoidis vee keskkonna andurist eemal. Kuna tegu on inimesel läbiviidavate mõõtmistega, olid kogutud kõik vajalikud dokumendid selle läbi viimiseks ning tehtud ohutustestid selleks, et veenduda, et andur sobib kasutamiseks inimese peal. Katsete jooksul saadud signaalid olid salvestanud edaspidiseks töötlemiseks ning võrdlemiseks.

Pärast katsete tegemist kõik saadud andmed olid analüüsitud vastavate järelduste tegemiseks. Kõigepealt oli tehtud veeanalüüs, et kindlaks teha, kas kasutatut uuringus vee soolsus on võrdne Atlandi ookeani veega. Pärast seda kõik salvestatud signaalid olid analüüsitud MathWorks'i MATLAB programmis Kiire Fourier' Transformi (FFT) abil ning tehtud vastavad järeldused kasutatud anduri sobivuse kohta.

Sisukord

Resümee.....	2
Sisukord.....	3
Jooniste ja tabelite loetelu.....	5
1. Sissejuhatus.....	6
1.1. Mitteinvasiivsete südametegevuse uurimise ning jälgimise meetodite ülevaade	6
1.2. Foucault' kardiograafia eelised.....	7
1.3. Töö eesmärk ja ülesanded.....	8
1.4. Autogeneraatortüüpi Foucault' kardiograaf.	8
2. Uuringu ettevalmistus	10
2.1. Vajalik riistvara.....	10
2.2. Vajalik tarkvara.....	10
2.3. Vajalikud dokumendid uuringu läbiviimiseks	11
2.4. Uuringu läbiviimise kohta ettevalmistus.....	12
2.5. Anduri ettevalmistus	14
2.5.1. Seadme ümberehitamine	14
2.5.2. Seadme isoleerimine	15
3. Uuringus läbi viidud katsed	18
3.1. Anduri veekindluse ja ohutuse testimine	18
3.2. Mõõtmiste läbiviimine	19
3.2.1 Katse õhus.....	19
3.2.2 Katsed kraanivees	20
3.2.3 Katsed soolas vees	20
4. Katsetulemuste analüüs.....	21
4.1. Vee soolsuse analüüs	21
4.2. Saadud signaalide analüüs	22
4.3. Järeldused.....	26

4.4. Arutelu	27
Kokkuvõte.....	28
Summary	29
Viited	32
Lisad.....	33
Lisa 1: FouKG anduri madalasagedusvõimendi skeem.	34
Lisa 2: FouKG anduri generaatori skeem.	35
Lisa 3: Programmi FouKG Plotter plokk skeem.....	36
Lisa 4: 101 PRO Series International Safety Analyser (testi skeem).....	37
Lisa 5: Katsealuse nõusoleku vorm.	38
Lisa 6: Eetikakomitee luba.....	40
Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks	41

Jooniste ja tabelite loetelu

Joonis 1.4.1	Autogeneraatortüüpi FouKG anduri plokk skeem	9
Joonis 2.2.1	Uuringus kasutatud programmi liides	11
Joonis 2.4.1	Katsetes kasutatud tünn (välispool)	12
Joonis 2.4.2	Katsetes kasutatud tünn (välispool).....	13
Tabel 2.5.1.1	Herkonlülitite takistuste väärtused ning võimendus	14
Joonis 2.5.2.1	Isolatsiooni kast vahtpolüsteroolist.....	16
Joonis 3.1.1	101 PRO Series International Safety Analyser (pealtvaade)	18
Tabel 4.1.1	Soola tõeline kontsentratsioon	22
Joonis 4.2.1	Õhus saadud signaali võimsusspekter	23
Joonis 4.2.2	Kraanivees saadud signaali võimsusspekter	23
Joonis 4.2.3	Soolvees (7,7%) saadud signaali võimsusspekter.....	24
Joonis 4.2.4	Soolvees (18,3%) saadud signaali võimsusspekter.....	24
Joonis 4.2.5	Soolvees (33,2%) saadud signaali võimsusspekter.....	24
Joonis 4.2.6	Signaali südametekkeline komponenti tugevuse sõltuvus soola kontsentratsioonis soolvees.....	25

1. Sissejuhatus

Tänapäevases maailmas on levinud inimese tervise seisundi pidevalt jälgimine, eriti siis, kui ta treenib, võistleb või töötab ohtlikes kohtades, nagu meres või ookeanis laeva või naftapuurimisplatvormi peal. Tallinna Tehnikaülikooli Johann Seebecki elektroonikainstituut ja ELIKO Tehnoloogia Arenduskeskus OÜ arendavad intellektuaalseid päästeveste selleks, et alati jälgida inimese südametegevust, kui ta on vees. Antud seade võiks oluliselt suurendada vees oleva inimese päästmisevõimalust ja võimaldab päästeteenistustele kindlaks teha, kus upuvad inimesed on ning mis järjekorras tasub neid päästa vastavalt nende südametegevuse signaali tugevusele. Praegu nad katsuvad välja selgitada, milline mitteinvasiivne südame tegevuse uurimise ja jälgimise meetod sobib kõige paremini selleks juhuks, kui inimene on soolvees.

Üks meetoditest, mis pakub sellest seisukohast huvi, on Foucault kardiograafia, millega tegeldakse juba pika aja jooksul Tartu Ülikoolis, kus sellega on tegelenud Leo-Henn Humal ja Jüri Vedru [1]. Selle tõttu tuli pakkumine selle meetodi sobivust katsete abil uurida ning teha vastavad järeldused tema sobivuse kohta.

Antud bakalaureusetöö on tehtud eespool mainitud projekti jaoks ning selle eesmärk on välja selgitada, kas on võimalik edukalt kasutada autogeneraatortüüpi Foucault' kardiograafi inimese südametegevuse signaali registreerimiseks siis, kui ta on soolvee keskkonnas. Antud uuring on tehtud koostöös Tallinna Tehnika Ülikooli Johann Seebecki elektroonikainstituudi ja ELIKO Tehnoloogia Arenduskeskusega, kes finantseerisid kõik vajalikud katsed ning Tartu Tervise Kõrgkooliga, kes pakkus sobiva koha vajalike mõõtmiste tegemiseks.

1.1. Mitteinvasiivsete südametegevuse uurimise ning jälgimise meetodite ülevaade

Kõige paremini sobivad südametegevuse jälgimiseks intellektuaalsetes päästevestides mitteinvasiivsed meetodid, nagu ultraheli või elektrilised impedantsmeetodid, sest seadmed, mis on tehtud nende meetodite järgi on veretud ja patsiendi tervisele ohutud. Mõned meetodid [5], mis võiksid sobida päästevestides kasutamiseks, on:

1. Ehhokardiograafia (EhhoKG) – südame piirkonda sondeeritakse ultrahelilainetega, mis peegelduvad südame pindadelt ning mille peegeldumist registreerib ultraheliandur. Antud meetodi sobivus ei ole veel testitud.
2. Elektrokardiograafia (EKG) – südamelihasetalitluse korral keha pinnal avalduvate pingekõikumiste graafiline registreerimine. Antud meetodi puudus, et ta vajab täieliku veest isoleerimist, et ei tekiks signaali jaoks lühist.
3. Impedantskardiograafia (IKG) – on pletüsmograafiline elektriimpedantsmeetod, kus mõõdetakse inimese elektrilist impedantsi. Puudus on selles, et kasutatakse elektroode, mis võiks soolvee keskkonnas lühistuda.
4. Apekskardiograafia – meetod, mille puhul kiirendusanduriga, mis asetatakse inimese rindkerele südametipu kohale, registreeritakse südame tiputõuked. Selle puudus on et südame tegevuse nõrgenemisel jääb arusaamatuks, kas inimene on elus või mitte.

Meetod, mille sobivus proovitakse välja selgitada selles töös nimetakse Foucault' kardiograafia, mis kuulub elektriimpedantsmeetodite hulka ning mida praegu uuritakse Tartu Ülikoolis [3], [4]. Antud meetodi puhul kasutatakse induktsioonvoole selleks, et südametegevust pikaajaliselt jälgida ning registreerida elektrilise impedantsi muutused, mis toimuvad südametegevuse käigus. Keha mõjutamisel induktori vahelduva magnetvälja abil tekivad kehas nõrgad pööriselised voolud, mida nimetatakse Foucault' vooludeks. Erinevus tüüpilisest bioelektrilisest mõõtmisest on aga selles, et ei kasutata inimese nahale paigaldatud elektroode, vaid sondeeritakse inimese südamepiirkonda selleks sobivalt reguleeritud elektrivooluga. See võiks olla eriti kasulik päästevestide juhul, kuna kardiograaf ise ei puutu inimese keha, kui ta on vee sees. See omakorda tähendab, et on suur vajadus arendada niisuguseid meetodeid nagu Foucault' kardiograafia ning ehitada nende meetodite põhjal täpsemaid ja kompaktsmaid seadmeid, mis sobiksid samuti kasutamiseks ka päästevestides.

1.2. Foucault' kardiograafia eelised

Foucault' kardiograafial on järgmised eelised võrreldes teiste meetoditega, kui seda kasutada päästevestide arendamiseks:

1. Selle aluseks on mitteinvasiivne meetod, mis tähendab, et seadme kasutamiseks pole vaja inimesele läbi naha midagi sisestada ega kirurgilist lõiget teha. Seetõttu on Foucault' kardiograafi kasutamine kasutaja jaoks ohutu.[\[2\]](#)
2. Antud meetodi alusel töötava seadme eelis teiste tänapäevases meditsiinis kasutatavate seadmete ees on see, et on võimalik jälgida pidevalt ja kestvalt inimese südametegevust.
3. Seadme puhul ei kasutata signaali saamiseks elektroode, mis on tähtis päästevesti juhul, sest signaal on kättesaadav ka siis, kui inimesel on riided seljas.
4. Aparaat ei nõua oma kasutajalt mingit spetsiaalset treeningut, seetõttu on seda väga kerge kasutada.

1.3. Töö eesmärk ja ülesanded.

Antud töö eesmärk on välja selgitada, kas on võimalik kasutada autogeneraatortüüpi Foucault' kardiograafi soolvees, mille soolsus on võrdne Atlandi ookeani vee soolsusega (umbes 35‰). Selle eesmärgi saavutamiseks oli vaja lahendada järgmised ülesanded:

1. Ettevalmistada sobiv koht katsete läbiviimiseks.
2. Ettevalmistada sobiv andur katsetes kasutamiseks (montaažplaadi korda tegemine, veisolatsiooni tegemine, ohutuse inimese jaoks ning veekindluse kontrollimine).
3. Uurida signaali tugevuse sõltuvust andurit ümbritseva vee soolsusest
4. Analüüsida katsete tulemusi ja teha järeldused.

1.4. Autogeneraatortüüpi Foucault' kardiograaf.

Käesolevas uuringus on kasutatud autogeneraatortüüpi Foucault' kardiograaf, mis koosneb kahest osast:

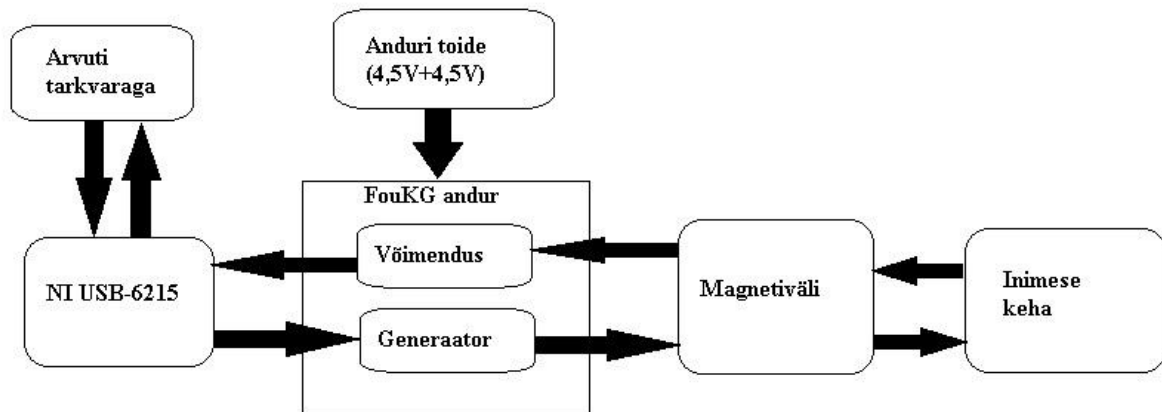
1. Generaator
2. Madalsagedusvõimendi

Autogeneraatortüüpi Foucault' kardiograaf töötab järgmiselt:

Generaatori võnkeringi induktiivsuseks kasutatakse inimese rindkere südamepiirkonda asetavat induktorit, mis tekitab südame piirkonnas kõrgsageduslikud pöörivoolud. Pöörivooludest tingitud induktori kaotakistus mõjutab induktori hüvetegurit Q . Muutuva

kaotakistusega ehk muutuva hüveteguriga generaatori poolt genereeritava pingevõnkumise amplituud moduleeritakse kaotakistuse poolt. Kuna südame piirkonda asetatud induktori kaotakistus sõltub südame verega täitumisest, siis saame sel viisil generaatorist südame tegevust jälgiva anduri. Generaatorist saadav võnkumine detekteeritakse amplituuddetektoriga ja võimendatakse madalsagedusvõimendiga.

Joonisel 1.4.1 on kujutatud kogu süsteemi plokk skeem.



Joonis 1.4.1 Autogeneraatortüüpi FouKG anduri plokk skeem

Süsteemi tööjuhend on järgmine:

- 1) Ühendada analoog-koodmundi NI USB-6215 arvutiga USB (2.0 või 3.0) pordi kaudu.
- 2) Käivitatakse programm *FouKG Plotter LabVIEW* keskkonnas ning lastakse seda tööle.
- 3) Järgmiselt ühendatakse andur analoogkoodmundi ning toitega (patarei 4,5V).
- 4) Andur pannakse inimese rinna peale nii, et see oleks südame vastu.
- 5) Toite lülitakse sisse ning 15 sekundi pärast generaator hakkab magnetvälja genereerima.
- 6) Saadud südame tegevuse signaal on võimendatud ning saadetud arvutile analoogkoodmundi kaudu.
- 7) Arvutile jõudnud signaal on esitatud programmi liides graafikuna, seda vaadeldakse ning salvestatakse vajaduse järgi.

2. Uuringu ettevalmistus

2.1. Vajalik riistvara

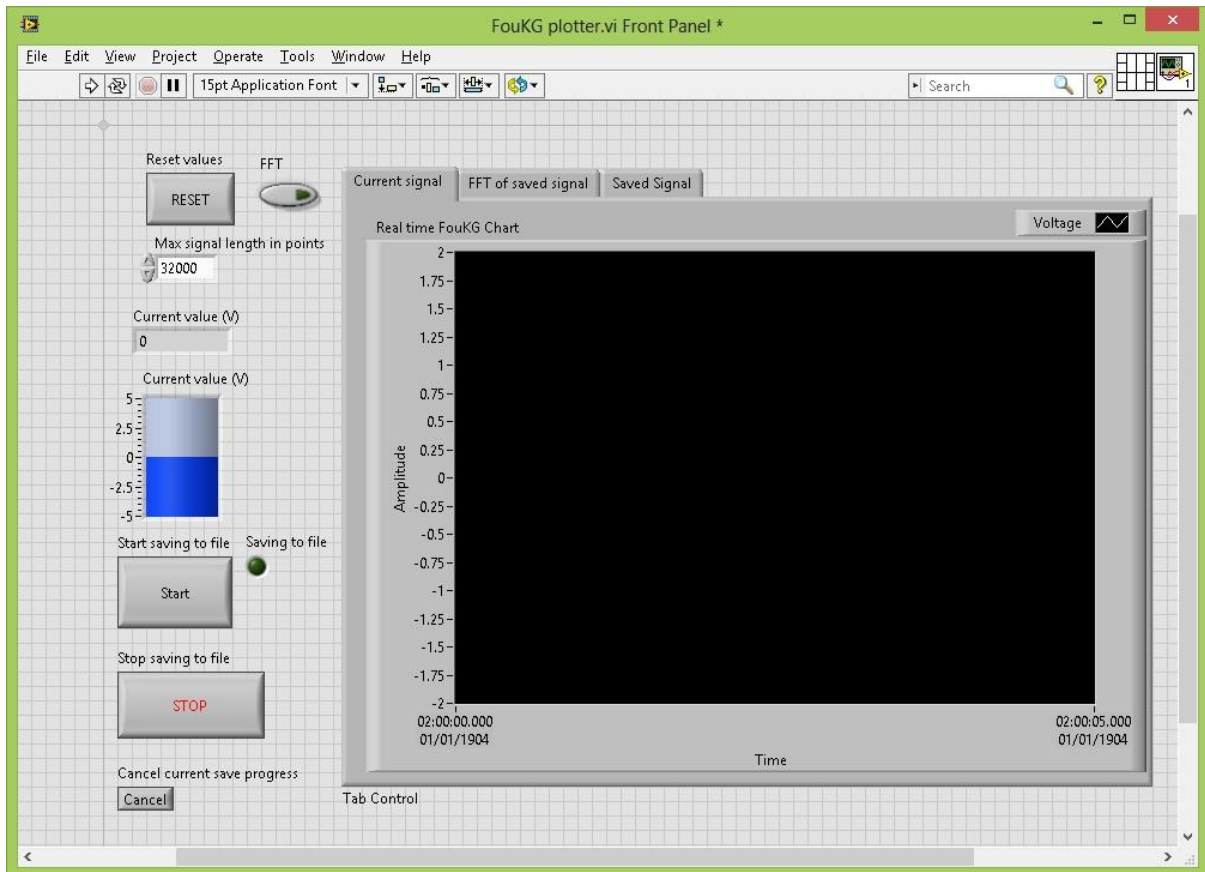
Antud uuringu edukalt läbiviimiseks oli vajalik järgmine riistvara:

1. Autogeneraatortüüpi Foucault kardiograafi anduri modifitseeritud versioon, mis on aastal 2000 tehtud anduri (mille autorid on Leo-Henn Humal ja Jaanus Trolla) uuendanud versioon.
2. Analoog-koodmundi NI USB-6215 andurist saadud analoogsignaali konverteerimiseks koodiks.
3. Ostsilograaf (C1-65A) anduri töövõimsuse testimiseks ning saadud signaali uurimiseks.
4. Multimeeter (ühenduste kontrollimiseks ning takistite/kondensaatorite suuruste mõõtmiseks).
5. Isolatsioonitransformaator *IMED_e 2000*, firmast *Noratel*, et tagada katseisiku ja uuringu teostajate ohutus
6. *101 PRO Series International Safety analyser*, *BioTEK* ohutuse testimiseks.
7. Personaalarvuti USB pordiga, kus on installeeritud *LabVIEW* tarkvara.
8. 4,5 V + 4,5 V patarei anduri toitmiseks.

2.2. Vajalik tarkvara

Arvestades sellega, et eelmise versiooni tarkvara, mis oli samuti välja arendatud aastal 2000 (selle autorid olid Leo-Henn Humal ja Jaanus Trolla [3]) ning töötas ainult vananenud operatsioonsüsteemi peal, oli otstarbekas kasutada uuem tarkvara eksperimentide jooksul. Selle uue tarkvara autoriks on Mart Ernits, kes koostas selle oma magistritöö raames. Programm oli koostanud *National Instruments LabVIEW* keskkonnas ning selle tööpõhimõtte on lihtne: programm loeb signaali, mis oli töödeldud analoog-koodmundi abil ning esitab seda graafikuna, kus x-telg on aeg ning y-telg on signaali suurus voltides. Samal ajal

näidatakse signaali hetkväärtust (V), nii arvulises kujul kui ka skaala peal (-5V kuni +5V, vajadusel on võimalik seda piirkonda muuta). Vajadusel on võimalik sisse lülitada saadud signaali salvestamine .lvm formaadis edaspidiseks töötlemiseks vajutades nuppu „*Start saving to file*“ ja kas lõpetada või katkestada salvestamine vajaduse järgi.



Joonis 2.2.1 Uuringus kasutatud programmi liides

Lisaks sellele oli vaja, et uuringus kasutatavale arvutile oli paigaldatud *Microsoft Office Excel* katsete protokollide pidamiseks mõõtmiste ajal ning vee andlöösi tulemuste salvestamiseks pärast mõõtmiste lõpetamist.

Lõpuks oli vaja kasutada *MathWorks MATLAB* programmi uuringu käigus saadud signaalide töötlemiseks ning *FFT* abil analüüsimiseks .

2.3. Vajalikud dokumendid uuringu läbiviimiseks

Antud uuringu eesmärk nõuab inimuuringu tegemist. See tähendab, et enne eksperimentide algust oli vaja kätte saada kõik vajalikud dokumendid, mis lubavad niisugused inimuuringud

läbi viia. Selleks oli koostatud avaldus Tartu Ülikooli Inimuuringute Eetika Komiteele, mis sisaldas kõik info uuringu kohta: Foucault' kardiograafia ülevaade, eksperimendi eesmärk ning katsete kirjeldus, katsetajate isiklik info ning oskused (oli vaja, et peamine katsetaja oli inimene, kellel on palju kogemust antud valdkonnas ning kellel on olemas esmaabi oskused, antud juhul see oli Jüri Vedru, bakalaureusetöö juhendaja), vajalikke ohutustestide kirjeldus (et katsetel kasutatav andur vastab standardile *IEC 60601*) ning töö eetiliste aspektide kirjeldus.

Samal ajal oli ettevalmistanud väike presentatsioon katsealuse jaoks, et tutvustada teda Foucault kardiograafiaga ning uuringu raames tehtavate katsetega. Kuna oli vaja teda paigaldada koos elektriseadmega vee sisse, anti katsealusele võimalus osaleda ohutustestides, et veenduda, et antud eksperiment on ohutu tema tervise jaoks. Juhul kui katsealune oli nõus uuringus edaspidi osalema, temale oli antud nõusoleku vorm ning pärast seda koostatud uuringu plaan vastavalt tema soovidele ja võimalustele, kuna oli arvestanud, et katsed peavad kestma vähemalt kahe päeva jooksul:

1. päev – ettevalmistus ning seadme ja tünni (kas lekkib või mitte) testimine,
2. päev – katsete läbiviimine.

2.4. Uuringu läbiviimise kohta ettevalmistus

Pärast kõikide vajalikke dokumentide kogumist oli vaja leida sobiv koht katsete läbiviimiseks, mis oli väga tähtis uuringu osa. Eksperimendi eesmärgist tulenevalt oli vaja välja selgitada, kas autogeneraatortüüpi Foucault' kardiograaf sobib kasutamiseks soolases vees (soola kontsentratsioon peab olema enam-vähem sarnane Atlandi ookeani vee soolsusega, mis on umbes 35‰).

Selleks oli antud uuringu jaoks otsustatud kasutada spetsiaalselt projekteeritud plastiktünni (Joonis 2.4.1), mille valmistas firma *Uponor Infra AS*. Kõrgusega 1880 mm ja läbimõõduga 995 mm (ruumala 1.4 m³), antud tünn oli spetsiaalselt tehtud niimoodi, et katsealune võiks vabalt sisse ronida ning liigutada, kui ta on tünni sees koos anduriga



Joonis 2.4.1 Katsetes kasutatud tünn (välispool)

mõõtmiste ajal. Tünni ühes pooles olid paigaldanud kaks kraani: suurem neist oli mõeldud selleks, et vett välja lasta väiksemas hulgas katsete vahel soolsuse kontsentratsiooni muutumiseks ning samuti tünni tühjendamiseks pärast katsete tegemise lõpetamist (kraan on ühendanud kanalisatsiooniga plastik 50 mm toru kaudu); väiksem oli aga selleks, et mugavam iga kontsentratsiooni veeproovid kätte saada. Tünn oli ümbritsetud spiraalse toruga selleks, et suurendada tünni tugevust ning vältida selle lõhkemist katsete ajal.

Kuna katsealust ei õnnestunud leida tünni tellimise ajaks ning seetõttu pole võimalik arutada tema pikkust, oli hirm, et tünn võiks olla liiga kõrge ning katsealune võiks tunda ennast ebamugavalt või isegi sattuda paanikasse katsete ajal piiratud nähtavuse tõttu. Seetõttu oli otsustanud teha reguleeritava kõrgusega põhi vineerist paksusega



Joonis 2.4.2 Katsetes kasutatud tünn

18mm, selleks, et vajadusel oli võimalik tõsta seda platvormi vastavalt tema kasvule niimoodi, et katsealune võiks tünni seest näha kõik, mis toimub tünni ümber (joonis 2.4.2). Kuna põhi oli tehtud vineerist, selle peale olid pandud kaks kotti kivide täis, et see jäi kindlalt kohale ning katsealune ei kaotanud tasakaalu uuringu jooksul. Selleks, et ta võiks veest välja ronida, oli tehtud väike puust redel võrdne tünni kõrgusega, mis oli kinnitatud tünni äärel metallist konksudega.

Tünni väljast paralleelselt selle redelile oli paigaldatud teine redel alumiiniumist, mille abil katsealune võiks takistamata maha ronida tünnist igal hetkel. Kolmas redel oli paigaldanud tünni teisele küljele, mille peal oli üks katsetajatest kogu katsete tegemise ajavahemiku jooksul selleks, et aidata katsealusele anduri õigele kohale panna ning tagada, et tema enesetunne on korras.

2.5. Anduri ettevalmistus

2.5.1. Seadme ümberehitamine

Arvestades sellega, et esialgne andur ei ole mõeldud veekeskkonnas kasutamiseks, oli vaja eelkõige veenduda, kas on võimalik signaali (antud juhul sõltumata selle päritolust) kätte saamine juhul, kui andur on paigaldanud vee sisse. Selleks olid tehtud esialgsed katsed, mille jooksul isoleeritud andur oli testitud õhus, pärast seda see oli paigaldanud vee sisse, mille soola kontsentratsioon suurendati järk-järgult kuni 35%-ni. Antud katsete jooksul oli välja selgitatud, et suurema vee soolsuse puhul signaal on märgatavalt nõrgem. Lähtudes sellest oli vaja leida mingi viis signaali võimsuse reguleerimiseks kui see on vajalik.

Kõige sobivam viis antud juhul oli herkonlülitite kasutamine. Antud katsete jaoks olid kasutatud herkonlülitid SPST NO 10W 10mm lameda korpuse- ja jalgadega. Vaikimisi herkon on välja lülitatud ning kui tema kõrvale panna väike magnet (sel juhul kasutati magnet 12 X 3 mm), siis lülitid sulgeb vooluringi. Selleks, et sulgemise juhul signaali võimendus muutuks, herkoniga järjestikku oli paigaldanud sobiv takisti vastavalt nõutavale võimendusele. Selle pärast oli vaja arvutada kogu signaali võimendus, kuna signaal oli alati võimendatud 800 korda ($K_{u1} = 800$), millest järeldub, et kogu võimendus oli

$$K_{kokku} = K_{u1} \times K_{u2} \quad (1)$$

Lõplikus variandis kasutati järgmisi takisteid, mille abil saadi järgmised võimendused:

Tabel 2.5.1.1 Herkonlülitite takistuste väärtused ning võimendus

Takistuse nr	Takistuse suurus (MΩ)	K_{u2}	K_{kokku}
R151	8.1500	1.084	867
R152	0.1623	5.312	4250
R153	0.0275	26.03	20835
R154	0.0054	127.6	101994
R155	0.0011	625	500067

Kokku oli kasutusel 4 herkonit, mis olid ühendatud paralleelselt plaadile joodetud takistiga R151 kahe traadi abil. Lülitid koos vastavate takistitega (R152-R155) olid paigutatud isolatsiooni taga poolde selleks, et vajadusel oleks võimalik igal uuringu hetkel nende kõrvale

magnet panna võimendusteguri muutmiseks. Kuna herkonid olid paigaldatud anduri polüstüreenist kesta, nende sisselülitamiseks olid herkonite kõrvale pandud seina välisest küljest kruvid pikkusega 40 mm niimoodi, et kaugus herkoni ja kruvi otsa vahel oli umbes 2 mm. Magnet oli vaja siis paigaldada mitte otse herkoni jalale, vaid kruvi peale.

Samuti enne katsete läbiviimist oli vaja kinnitada kõik kahtlased traadid ja kontaktid plaadi peal, et ei juhtuks nende katkestust uuringu jooksul ning oleks tagatud anduri korrapärane töö. Seoses sellega oli multimeetriga kontrollitud, et ainult kõik vajalikud elemendid on ühendatud teineteisega, ning kõik välised kontaktid, nagu toited (+ 4.5V ja -4.5V), signaal ja maandus olid joodetud otse plaadi peale pistiku asemel, mille kaudu need olid ühendanud varem (oli kahtlus, et pistiku jalad ei anna aeg-ajalt kontakti).

Samuti oli vahetatud toite ning signaali ja maanduse kaablid seoses sellega, et vana traat oli ebausaldatav ning samal ajal liiga lühike, mis võiks põhjustada lühist, kuna oli vaja panna kõik uuringus kasutatud seadmed (transformaator, arvuti, analoogkoodmundi) ning anduri toiteplokk liiga lähedal tünni suhtes. Selleks, et lühist vältida, varem kasutatud 2-meetrilise kaabli asemel oli andurile ühendatud uus 9-meetriline, mille pikkus lubas kogu riistvara panna tünnist ohutu kaugusele.

Plaat koos kõikide liikuvate elementidega oli tugevasti kinnitatud anduri ümbrusele selleks, et selle töö ajal tunduvat sisemist mehaanilist müra (mis võiks saadud südamesignaali selgust vähendada) eemaldada.

2.5.2. Seadme isoleerimine

Kuna autogeneraatortüüpi Foucault' kardiograaf on elektriline seade, mis paigaldatakse katsealuse kehale soolvee sisse, siis enne kõike oli vaja kindlaks teha, kas andur on täielikult isoleeritud ja on inimesele täiesti ohutu ning sobib kasutamiseks vee keskkonnas. Samal ajal oli vaja veenduda, et elektriline varjestus ei lase enda läbi eriti palju müra ning seadme kest on piisavalt paks ning hoiab vee andurist eemal, et südametegevuse signaal oli selgelt nähtav kasutatud programmi liides ja samal ajal andur isolatsioonis oli enam-vähem mugav kandmiseks. Anduri töökindluse tagamiseks kasutati kolm isolatsioonikihti:

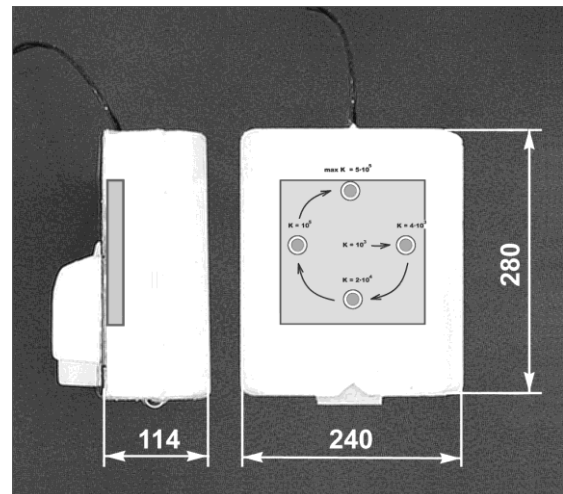
- 1) elektrostaatiline varjestus, mille sisse oli paigaldatud anduri montaažplaat ning mille põhieesmärk oli mitte lubada mahtuvuse tekitamist;

- 2) kilekott, mis oli pandud plastikkarbi ümber, et kindlustada, et vesi ei pääseks juurde montaažiplaadile juhul, kui välimine isolatsioon hakkab lekkima katsete ajal;
- 3) isolatsiooni väliskiht, mis tagas veekindlust ning suurendas anduri pooli kaugust soolveest.

Elektriline varjestus koos anduriga oli pandud plastkarpi sisse, kuhu samuti oli pandud pehmest vahtplastilehest õhuke kiht anduri tundlikumale poolele ning palju paksem kiht teisele poolele, et kinnitada andur kohal peal ning vähendada mehaanilise müra mõju saadava signaali kvaliteedile. Kui see oli tehtud, karp oli pandud kinni teibilindiga, et vältida selle avanemist anduri pideva liikumise tõttu ning hoida plaat kinni koha peal. Ainukene ava, mis oli tehtud karpi juhtmete jaoks, töödeldi liimiga

Järgmiseks oli karbi paigaldus kilekotti, mis peaks seda tihedalt katma igast küljest, sest oli tähtis, et seal ei olnud mingit õhukihi anduri ja kilekoti vahel. Selleks pärast koti kinnitamist oli tehtud väike auk, mille kaudu oli välja lastud kogu sees olev õhk, mille pärast see oli kinni pandud teibilintiga.

Kolmas isolatsiooni kiht (Joonis 2.5.2.1), mis oli kõige tähtsam ja tihedam isolatsiooni osa (kasutati võimalikult paksu isolatsiooni, kuna uuringu eesmärgu saavutamiseks oli vaja kindlaks teha, et väline müra ei sega liiga palju), oli otsustanud teha freesitud vahtpolüstüreenist (firmast *Finnfoam OY*) selleks, et andur oli sarnane päästevestiga ujuvuse järgi. See kiht oli tehtud kolmest osast:



**Joonis 2.5.2.1 Isolatsiooni kast
vahtpolüstüreenist**

1. Vahtpolüstüreenist kesta tagumine pool. Kõige paksem isolatsiooni osa (60mm), mille eesmärk oli tagada anduri ja ümbritseva soolvee võimalikult suurt eraldavust. Selle osa sisse olid paigaldanud herkonid koos vastavate takistitega. Selleks, et oli arusaadav, mis neist kus asub, oli kirjutatud nende võimendus, et mõõtmiste jooksul oli võimalik kiiresti magnet vastavale lülitile panna võimenduse muutumiseks.

2. Kesta keskmine osa, mille keskel oli välja lõigatud auk suurusega 160×160×58 mm, mis oli tehtud plastkarbi järgi, et andur ei liikunud isolatsiooni sees katsete ajal.
3. Kesta esipool, mis oli valmistatud tekstoliidist (paksusega 2 mm) ja oli kesta kõige õhem osa, selleks et kaugus sensori pinna ja inimese südame vahel oli nii väike kui võimalik.

Kõik isolatsiooni osad olid omavahel ühendatud ehitusliimiga *Soudal Purocol*, kuna see on üks parimaid liimideid, millega saab liimida vahtpolüstüreeni osad teineteise külge niimoodi, et pole karta, et liim lahustub kokkupuutel veega. Kui kõik osad olid kindlalt üksteise külge kleepunud, kogu isolatsiooni pinna, välja arvatud esiseina, kaeti niiskuskindla *Soudal FixAll Crystal*, saades isegi paremat veekindlust. Selleks, et katsealuse rinna ja isolatsiooni eespooli vahel oli võimalikult vähem vett, olid liimitud kaks polüsterioli tükid, väljalõigatud katsealuse kõhu reljeefi järgi, mis toetusid vastu tema keha ning sellega vähendasid märgatavalt ruumi inimese keha ja anduri vahel, mis oleks täidetud veega.

3. Uuringus läbi viidud katsed

3.1. Anduri veekindluse ja ohutuse testimine

Enne katsete alustamist oli vaja veenduda, et kasutatud seadmed on täiesti ohutud katsealusele, et anduri isolatsioon on veekindel ja ei lase läbi eriti palju elektromagnetilist müra. Selleks tehti mitu testi, mille tulemuste järgi oleks võimalik järeldada anduri ohutuse üle. Nende testide tegemiseks kasutati firma *BioTEK* poolt toodetud testimisseadet *101 PRO Series International Safety Analyser*'it (pilt 3.1.1), mis võimaldab kontrollida meditsiiniseadmete vastavust standardile IEC 60601 [4].



Joonis 3.1.1 101 PRO Series International Safety Analyser (pealtvaade)

Seadme abil viidi läbi kaks testi. Tuleb meenutada, et kasutatud andur kuulub Class II (tugevdatud või topeltisolatsiooniga), Type B (kehale asetatav seade) meditsiiniliste seadmete klassifikatsiooni järgi. Ohutuse tagamiseks arvuti, mille kaudu kõik teised seadmed olid elektrivõrguga ühendatud, oli ühendatud toitmiseks testseadme külge IEC 60601 tüüp B nõudeid rahuldava isolatsioonitrafo IMEDe 2000 (firma Noratel toode) kaudu, ning sama trafot kasutati süsteemi toitmiseks ka kogu uuringu jooksul [5].

1. Esimese testi eesmärk oli kontrollida, kas on olemas maandus. Eelkõige testri kaabel oli kalibreeritud, et saadud tulemus oleks täpne. Pärast seda kaabel oli ühendatud anduriga ning oli valitud vastav testimisrežiim *Leakage, μ* ning tehtud *Earth Resistance* test. Testi tulemusena tuli, et maandus on olemas:

Earth leakage current: Class I, Type B

0 μ A (Limit NA)

Normal polarization, Earth, L2

2. Teise (tähtsama) testi eesmärk oli välja selgitada, mis on anduri lekkevoolude suurus ning kas saadud suurus on väikesem, kui maksimaalne lubatud suurus IEC 60601

järgi. Selleks oli tehtud sama ettevalmistused nagu esimeseks testiks, aga seekord oli valitud *Earth Leakage Current* test ning valitud juhtum, kui maandust ei ole (*No Earth*). Testi tulemuseks oli:

Earth leakage current: Class I, Type B

44,9 μ A (Limit 500 μ A)

Normal polarization, No earth, L2

Samuti oli enne katsete tegemist vaja veenduda, et anduri isolatsioon oli veekindel. Selleks hoiti andurit (ilma katsealuse isikuta) vees, et kindlaks teha, et andur ujub vee pinnal tänu isoleeriva materjali omadustele. Kuna anduri isolatsioon hoidis teda vee pinnal ning oli näha, et eespoolne (st. mis peab olema inimese rinna vastu) isolatsiooni kiht ei lase vett sisse, kontrolliti, kas on anduril sama veekindlus, kui ta on täielikult vee all ning mis kujul on võimalik sel juhul signaali kätte saada. Selle testi realiseerimiseks anduri põhjale oli ühendatud kott kividega, mille põhifunktsioon oli selles, et hoida andur signaali saamise ajal vee all. Selle testi tulemuseks oli järeldus, et isegi kui andur on täiesti vee all, selle kate ei lase vett karpi sisse ning andur on täiesti ohutu nii inimese kui ka teiste seadmete jaoks.

3.2. Mõõtmiste läbiviimine

Kokku oli tehtud 9 katset, igaüks erineva vee soolsusega (üks õhus ning üks kranivees), kus oli vähemalt 3 erinevat mõõtmist igas katses. Iga mõõtmise kestvus oli umbes 2 minutit (mõnikord 1,5 minutit), mille järel saadud signaal oli salvestunud .lvm formaadis faili järgneva analüüsi tegemiseks.

3.2.1 Katse õhus

Enne veekatsete algust oli vaja valida täpne koht anduri paigaldamiseks (andur peaks olema pandud südame kõrgusele natuke vasakule katsealuse rinna keskelt), et saada kõige selgema signaali, ja veenduda, et andur on üldse võimeline avastada ning registreerida südame tegevust. Selleks katsealune pani anduri selga veest väljas ning tehti kolm erinevat mõõtmist:

- 1) katsealune seisab rahulikult ja hingab normaalselt,

- 2) katsealune seisab rahulikult ning hoiab hinge kinni (kuna ta ei suutnud seda kogu mõõtmise jooksul teha, siis 20-30 sekundiliste vahedega ta hingas välja ja sisse),
- 3) katsealune hingab normaalselt ning tõstab oma käed rütmiliselt üles-alla.

3.2.2 Katsed kraanivees

Selleks, et paremini aru saada, kuidas andur käitub vees ning milline oli veepinna võnkumiste sagedus, oli andur üksi pandud tünni sisse ning olid tehtud kolm mõõtmist:

- 1) andur on kaks kolmandiku vee sees, katsealune on veest väljas,
- 2) andur peaaegu vee all, vesi on rahulik,
- 3) andur peaaegu vee all, vesi ei ole rahulik.

Pärast seda olid kraanivees tehtud samad kolm mõõtmist nagu õhus, et hiljem oleks võimalik neid võrrelda ning analüüsida.

3.2.3 Katsed soolas vees

Soolvees olid tehtud kokku 7 katset, mille põhimõtte oli sama, nagu õhus ja kraanivees. Eelkõige oli testitud, kuidas andur töötab ilma inimeseta soolvees, milleks olid tehtud samad mõõtmised, nagu kraanivees (andur oli vee all).

Järgnevalt olid tehtud samad mõõtmised, nagu õhus, ning alustati kõige suurema kontsentratsiooniga (umbes 35 ‰). Kuna signaal oli palju nõrgem, kui õhus või kraanivees, muudeti võimendust mõõtmiste jooksul vastavalt vajadustele. Tavaliselt kasutati 3. ja 4. võimendusi (vastavalt $K_{\text{kokku}} = 20800$ ja $K_{\text{kokku}} = 102000$). Madalate kontsentratsioonide puhul kasutati 2. võimendust ($K_{\text{kokku}} = 4250$)

4. Katsetulemuste analüüs

4.1. Vee soolsuse analüüs

Katsetulemuste analüüsi alguses oli vaja kindlaks teha, mis oli tõeline soola kontsentratsioon vees, mida kasutati katsete jooksul ning kas see on lähedane oletatava soolsuse promillidega. Selleks oli vaja teha veeanalüüs, kasutades igas katses kogutud veeproove (kokku oli 8 veeproovi, millest 7 olid soolveest ning 1 kraaniveest).

Enne eksperimendi algust oli arvatud, et kõige suurem vee soolsus peab võrduma Atlandi ookeani vee soolsusega, mis on umbes 35‰, ning on vaja seda vähendada vastavalt geometrilisele progressioonile teguriga 0,5. Katsed lõpetati, kui soola kontsentratsioon sai lähedaseks 5‰-le. Aga kuna seda polnud võimalik kontrollida otse katsete ajal ning oli teada, et tõeline soola kogus on erinev sellest, mis oli eeldatud, siis tuli hiljem teha vee soolsuse analüüs. Selleks kasutati aurustamise meetodit. Kasutati kuumuskindlast klaasist keeduklaase *Ilmabor TGI 100ml*. Igaüks neist kaaluti nende kaalu väljaseletamiseks ning seda kasutati edaspidistes arvuustes.

Kaalumiseks olid kasutusel kaks kaalu KERN EMB 1000-2, max 1000g, d=0,01g, mille anti numbrid I ja III. Kaalu № I kasutati klaaside tavaliseks kaalumiseks, kaalu № III aga kaalumise täpsuse tõstmiseks klaasi kaalu etalonist erinevuse välja selgitamiseks (kokku tehti 5 mõõtmist, kus etalonina kasutati 50 grammi 4. klassi kaluvihte; hiljem need tulemused keskmistati).

Seejärel kaaluti klaasid täidetult 80 ml veega igast proovist. Klaaside segimineku vältimiseks kirjutati igale neist vastava proovi oodatav soola kontsentratsioon. Pärast seda kaaluti kõik klaasid uuesti kaalul № III võrreldes etaloniga selleks, et oleks võimalik arvutada soolvee kaal igas klaasis.

Järgnevalt aurutati elektripliitidel klaasidest aeglaselt välja vesi. Tasub märkida, et oli väga oluline, et vesi ei hakanud keema aurustumise käigus, kuna see oleks võinud pritsmete tõttu oluliselt muuta soola hulka. Seetõttu aurustamise jooksul üks testijatest jälgis protsessi käiku ja vajadusel muutis pliitide temperatuuri või asetas klaasi teisele pliidile. Kogu aurutamise protsess kestis umbes 5 tundi, mille tulemusena oli vesi täielikult aurunud ning ainult sool jäi iga klaasi põhja. Seejärel iga klaas kaaluti uuesti eelkõige kaalu № I abil (soolaga klaasi tühja

klaasi kaaluga võrdlemiseks), mille järel 5 korda kaaluga № III etaloni suhtes ning nende mõõtmiste keskmistest lahutati tühjade klaaside kaalud.

Lõpus, kui kõik vajalikud mõõtmised olid tehtud, oli võimalik leida täpsem soola kontsentratsioon igas veeproovis. See saadi kaaluga № III leitud soola massi ja kaaluga № I leitud esialgse lahuse massi suhtena. Lõplikud andmed olid ligikaudu võrdsed soovitud tulemustega (Tabel 4.1.1).

Tabel 4.1.1 Soola tõeline kontsentratsioon

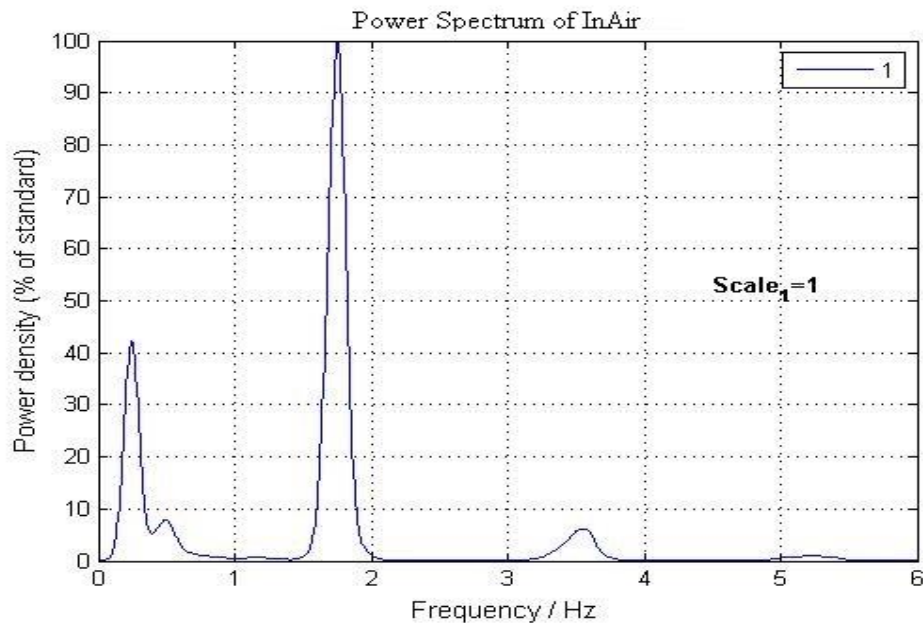
Soola oodatud kontsentratsioon (‰)	Soola kaal(g)	Klaasi kaal veega (Kaal III, g) 1.mõõtmine	Klaasi kaal veega (Kaal III, g) 2.mõõtmine	Lahuse kaal(g)	Tõeline soola kontsentratsioon (‰)
35	2.587	134.895	134.835	77.915	33.2
30	2.283	132.495	132.420	77.900	29.3
25	2.047	132.825	132.750	79.315	25.8
20	1.781	134.285	134.210	79.765	22.3
15	1.418	136.105	136.075	77.495	18.3
10	1.017	134.445	134.345	78.575	12.9
5	0.585	133.580	133.465	76.200	7.7
0	0.340	135.665	135.515	75.345	4.5

4.2. Saadud signaalide analüüs

Signaalide töötlemise käigus selgus, et nende ajalise kuju järgi ei ole võimalik otsustada südame päritoluga komponendi tugevuse üle, sest südame tegevus ja veepinna võnkumised tekitavad signaalis segase pildi. Selle pärast tuli kasutada signaalide spektraalanalüüsi.

Salvestatud katsete signaalide töötlemiseks kasutati MATLABi funktsiooni FFT, mida kasutades leiti signaalide võimsusspektrid. Kõigepealt olid sellega töödeldud õhus tehtud katsete tulemused, et välja selgitada, millise kujuga on katsealuse südametegevuse signaali võimsusspekter ja millised on südamesignaali harmoonikute sagedused. Pärast töötlemist oli nähtav, et esimeses katses õhus saadud signaalil (inimene hingab normaalselt ning ei liiguta) esimene südame harmoonik oli sagedusel 1,75 Hz, mis on enam-vähem sobiv sagedus südame normaalseks tööks. Teine ja kolmas harmoonikud olid vastavalt esimesele sagedustel 3,5 Hz ja 5,25 Hz. (joonis 4.2.1) Kuna see oli kõige kindlamini identifitseeritud südame

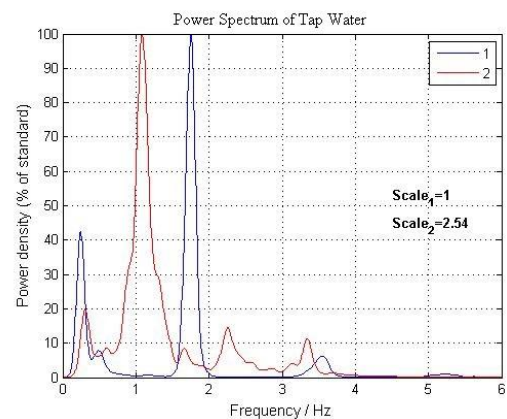
signaal, otsustati kasutada seda etalonina teiste signaalidega võrdlemiseks ning selle signaali kolme esimese harmooniku amplituudide summa.



Joonis 4.2.1 Õhus saadud signaali võimsusspekter

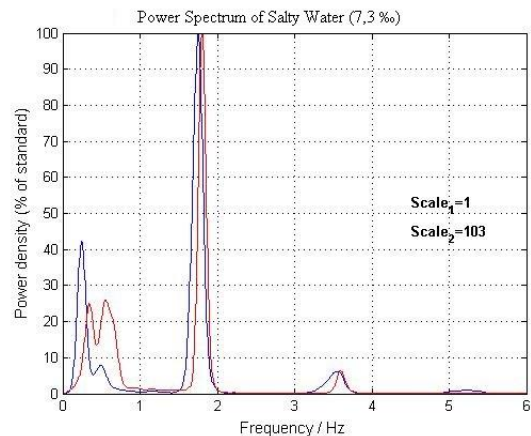
Kõik uuringu jooksul saadud signaalid töödeldi ning võrreldi etaloni suhtes. Lähtudes sellest, et kõige selgem signaal oli nähtav iga katse mõõtmiste № 1 piltide peal (katsealune hingab normaalselt ja ei liiguta), otsustati kasutada kõige paremini analüüsiks sobivaid pilte signaalide võrdlemiseks. Joonistel on spektreid kujutatud nii, et kõik nad on normeeritud ühesugusele kõrgusele (100%) nende maksimaalse väärtuse järgi. Tegelikku maksimaalväärtuste suhet näitab pildile trükitud mastabeerimiskoeffitsient **Scale₂**.

1. Jooniselt 4.2.2 on näha, et kraanivees salvestatud signaali spekter on võrreldes õhus registreeritud signaali spektriga nihutatud madalamate sageduste poole. **Scale₂=2.54** näitab, et signaali võimsusspekter on kraanivee korral 2,54 korda madalam kui õhus.



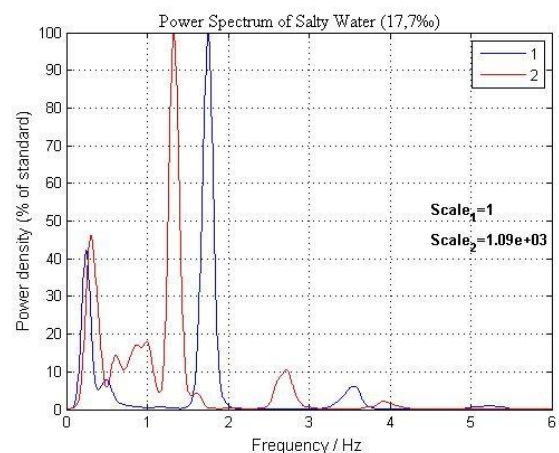
Joonis 4.2.2 Kraanivees saadud signaali võimsusspekter

2. Jooniselt 4.2.3 on näha, et soolvees (7,7‰) salvestatud signaali spekter on võrreldes õhus registreeritud signaali spektriga nihutatud kõrgemate sageduste poole. **Scale₂=103** näitab, et signaali võimsusspekter on soolvee korral 103 korda madalam kui õhus



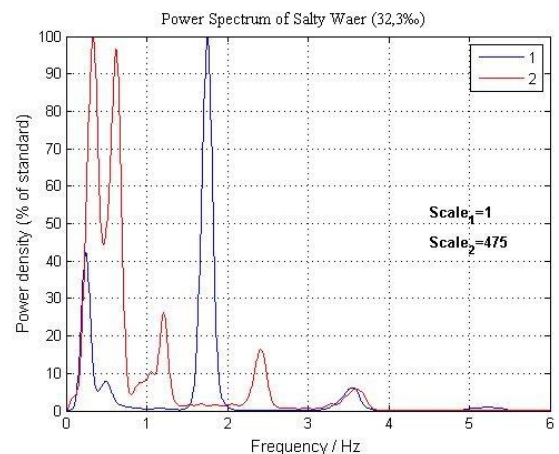
Joonis 4.2.3 Soolvees (7,7%) saadud signaali võimsusspekter

3. Jooniselt 4.2.4 on näha, et soolvees (17,7‰) salvestatud signaali spekter on võrreldes õhus registreeritud signaali spektriga nihutatud madalamate sageduste poole. **Scale₂=1.09e+03** näitab, et signaali võimsusspekter on soolvee korral 1.09e+03 korda madalam kui õhus.



Joonis 4.2.4 Soolvees (18,3%) saadud signaali võimsusspekter

4. Jooniselt 4.2.5 on näha, et soolvees (33,2‰) signaali spekter on võrreldes õhus registreeritud signaali spektriga nihutatud madalamate sageduste poole. **Scale₂=475** näitab käesoleval juhul, et üks madalsageduslikest spektri tippudest määrab siin Scale₂. Seetõttu tuleb südamesignaali esimese harmooniku maksimumväärtus leida graafikul nähtava väärtuse 26% korrutamisega Scale₂-ga.



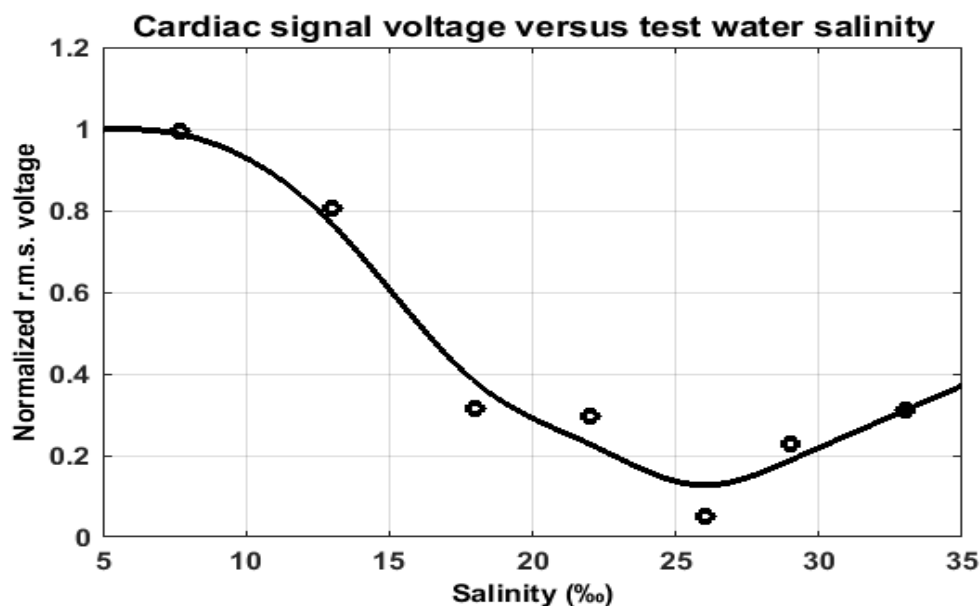
Joonis 4.2.5 Soolvees (33,2%) saadud signaali võimsusspekter

Samasugused joonised tehti kõigi 9 katse kohta ja leiti sarnaselt ülaltoodud näidetega südamesignaali võimsusspektrite harmoonikute maksimumväärtused. Selleks, et kujutada südame signaali tugevust pingeühikutes summeeriti saadud südamesignaali kolme esimese harmooniku maksimumväärtused ja leiti ruutjuur sellest. Saadud arvud jagati samasuguse arvuga mõõtmiste kohta õhus:

$$U_{rel} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^3 A_i}{\sum_{i=1}^3 A0_i}}, \quad (2)$$

kus U_{rel} on töödeldud signaali südametekkeline komponenti suhteline ruutkeskmine pinge, A_i on töödeldud signaali südametekkeline komponenti võimsusspektri i -nda harmooniku maksimumväärtus, $A0_i$ on õhus registreeritud signaali südametekkeline komponenti võimsusspektri i -nda harmooniku maksimumväärtus.

Nende tulemuste kokkuvõtte on esitatud joonisel 4.2.6. (joonis)



Joonis 4.2.6 Signaali südametekkeline komponenti tugevuse sõltuvus soola kontsentratsioonis soolvees

Jooniselt on näha, et soola kontsentratsiooni vähenemisel läheneb töödeldud signaali südametekkeline komponenti suhteline ruutkeskmine pinge ühele, mis tähendab, et

mõõdetava signaali südametekkeline komponendi tugevus voltides läheneb õhus mõõdetavale.

Graafikul on näha miinimum umbes 27‰ soola kontsentratsiooni juures. Edasisel soola kontsentratsiooni suurenemisel hakkab signaali südametekkeline komponent taas suurenema.

Signaali südametekkeline komponendi vähenemine soola kontsentratsioonidel 5‰ kuni 27‰ on ilmselt tingitud FouKG induktori hüveteguri Q vähenemisest kaotakistuse suurenemise tõttu soolvees. Südametekkeline komponendi edasine suurenemine vajab täiendavat uurimist.

4.3. Järeldused

Uuringu põhjal tehti järgmised järeldused:

- 1) Lähtudes kõikidest läbiviidud eksperimentidest ja nende käigus saavutatud tulemustest on võimalik järeldada, et uuringu eesmärk oli edukalt saavutatud, sest tõestati, et on võimalik saada soolas vees oleva isiku südametegevuse signaali kasutades autogeneraatortüüpi Foucault' kardiograafi.
- 2) Selgitati välja, et seade töötab palju paremini kraanivees (saadud signaali tugevus kraanivees ei erinenud palju signalist õhus) ja mida kõrgema soola kontsentratsiooniga on vesi, seda nõrgemaks muutub vastuvõetud signaal, mis teeb tema määramist ja töötlemist raskemaks.
- 3) Signaali töötlemisel spektraalanalüüsi abil oli näha, et südametegevuse signaal ja vee võnkumised katsete jooksul toimuvad peaaegu sama sagedusega, kuid vee võnkumiste 1. harmooniku sagedus oli veidi väikesem kui 1 Hz (umbes 0,7 Hz) ning katsealuselt registreeritud signaali südametekkeline komponendi 1. harmooniku sagedus oli veidi üle 1 Hz (1,4-1,8 Hz). See võimaldas need kaks signaali teineteisest spektraalmeetoditega eraldada.
- 4) Jäi kasutamata võimalus vee võnkumisi katsete ajal vähendada, mis võiks viia puhtama signaali saamisele katsetes. Üheks võimaluseks selle tegemiseks oleks valada näiteks õhuke kiht õli veepinnale või kasutada õhukest polüetüleenkihti veepinna katmiseks, aga see viis ei oleks parim. Käesolevas töös kasutatud spektraalanalüüsi meetod omab vajalikke omadusi selle probleemi lahendamiseks.

4.4. Arutelu

Vaatamata sellele, et antud uuringu tulemused olid positiivsed ning seatud eesmärk oli saavutatud, on vaja palju tööd ning katseid teha enne seda, kui teha lõplikud järeldused FouKG päästevestides kasutamise võimaluste kohta. Kuna kasutati ainult ühte võimalikest Foucault' kardiograafi tüüpidest (autogeneraatortüüpi kardiograafi), siis tasuks vaadata, kuidas töötab saatja-vastuvõtja kardiograaf niisuguses olukorras.

Samal ajal oleks hea läbi viia uued mõõtmised tegelikus Atlandi ookeani vees, et paremini aru saada, kuidas tegelikult töötab andur soolvee keskkonnas.

Kahjuks jäi hingemissignaali peaaegu registreerimata uuringus kasutatud anduri omaduste tõttu. Hingamiskomponent signaalis ei oleks tavaliselt teretunud, aga kuna vees oleva inimese hingamise registreerimine oleks kasulik tema enesetunde jälgimiseks, siis tasuks teha uus andur, mis samaaegselt võiks registreerida nii südame kui ka hingamise signaali.

Kokkuvõte

Käesoleva bakalaureusetöö eesmärk oli välja selgitada, kas on võimalik autogeneraatortüüpi Foucault' kardiograafi kasutada soolvee keskkonnas olevalt inimeselt südametegevuse signaali saamiseks. Kuna tegu oli inimuuringutega, siis kõigepealt koguti kõik vajalikud dokumendid katsete läbiviimiseks. Samuti tehti vajalikud muutused andurile (lisatud herkonid võimenduse vahetamiseks, tehtud veekindel isolatsioon) ning oli tellitud plastiktünn mõõtmiste tegemiseks. Enne katsete algust tehti vajalikud ohutustestid selleks, et veenduda, et antud andur sobib veekeskkonnas kasutamiseks. Testid tehti kõigepealt õhus, et saada etalon vees tehtud mõõtmistega võrdlemiseks, ning seejärel tünnis soolveega, kuhu ronis sisse katsealune veekindlalt isoleeritud anduriga. Saadud mõõtmiste ajal signaalid salvestati .lvm formaadis LabVIEW keskkonnas töötava programmi *FouKG plotter* abil ning pärast seda töödeldi MATLABis kasutades funktsiooni FFT. Saadud graafikud analüüsiti, mille põhjal tehti vastavad järeldused:

1. Südametegevuse signaal on kättesaadav, aga on soolvees palju nõrgem (mida suurem on kontsentratsioon, seda nõrgem on signaal).
2. Uuringu eesmärk on edukalt saavutatud, sest tõestati, et on võimalik saada soolas vees oleva isiku südametegevuse signaali kasutades autogeneraatortüüpi Foucault' kardiograafi.
3. Saadud tulemuste analüüsil selgus, et südametegevuse signaal ja vee võnkumised katsete jooksul toimuvad peaaegu sama sagedusega.
4. Käesolevas töös kasutatud spektraalanalüüsi meetod omab vajalikke omadusi vee võnkumiste probleemi lahendamiseks.

Kuna signaali analüüsi tulemuste järgi oli näha, et on võimalik eristada südametegevuse signaal müra, on võimalik ütelda, et uuringu eesmärk oli saavutanud. Aga see ei tähenda, et antud meetod on kõige parem või isegi sobib päästevestides kasutamiseks. Selleks on vaja lisauuringud läbi viia, kasutades uuringu jooksul saadud tulemusi ja teadmisi.

STUDY OF THE POSSIBILITY OF USING THE SELF-OSCILLATOR TYPE FOUCAULT CARDIOPHOTOGRAPH IN THE OCEAN WATER MEDIUM

Summary

The aim of this thesis was to find out whether it is possible to use Foucault cardiograph of self-oscillator type in saline environment to register a human heartbeat signal. Since this research involved human studies, firstly all the necessary documents to carry out the tests were collected. It was also necessary to change the sensor (implement switches to control amplification, make waterproof insulation), and special plastic barrel was commissioned to make all required measurements. Before the start of the main tests, safety tests were conducted to make sure that this sensor is suitable for use in the aquatic environment. The first measurements were performed in the air in order to obtain a reference to compare the measurements made in water, and then in the plastic barrel, where the subject climbed with the isolated probe on his chest. The resulting signals were recorded during the measurement in the .lvm file format using FouKG plotter program made in the LabVIEW and then analysed using FFT function in the MATLAB program. The resulting graphics were analyzed, which lead to the following conclusions:

1. Human heartbeat signal can be located, but is considerably weaker in the salty water (the higher the concentration of salt is, the weaker the signal).
2. The main goal of the study is successfully achieved, since it was proven that it is possible to get the heartbeat signal of a person in salty water using Foucault cardiograph of self-oscillator type.
3. The results of the analysis showed that the heartbeat signal and the water vibrations occurred during the tests in almost the same frequency.
4. The spectral analysis method used in this paper has the qualities needed to solve the problem of vibrations in the water.

Since the results of signal analysis showed that it is possible to distinguish the heartbeat signal from the noise, it is possible to say that the goal of the study was achieved. But this does not mean that this method is best suited to use in the development of the intellectual

lifejackets. This will require additional studies be carried out using the results and knowledge obtained during this study.

Tänuavaldused

Soovin tänada oma juhendajat, Jüri Vedru, tema abi eest antud töö ettevalmistamisel ning head juhtimist uuringu läbiviimisel. Samuti soovin tänada Mart Ernitsat, kes lubas oma poolt kirjutanud tarkvara kasutada uuringu läbiviimiseks ning Joel Vedru tema osalemist uuringus katsealusena. Veel soovin tänada Tallinna Tehnikaülikooli Johann Seebecki elektroonikainstituuti, eriti professor Mart Mini, ja ELIKO Tehnoloogia Arenduskeskust, kes finantseerisid käesolevat uuringut ning Tartu Meditsiinikõrgkooli haldusdirektorit Ermo Kruuset, kes pakkus meile ruumi uuringu läbiviimiseks.

Igor Vassilevski

Viited

- [1] L.-H. Humal, J.Vedru, „Physiological Measurement Based on Foucault Principle: Set-up of the Problem,“ MBEC, Vol. 34, 183-184 (1996).
- [2] Trolla J., Vedru J. On the Safety of Foucault Cardiography – Proc. XI Int. Conf. Electrical Bio-impedants, Oslo, June 17-21, 2001. – Oslo, 2001. - Pp. 649-652.
- [3] J. Trolla, L.-H. Humal, „Design of a Foucault Cardiograph“, in Proc. Int. Conf. Biomedical Engineering, (Kaunas, Lithuania, 1998), pp. 45-51.
- [4] BIO-TEK® INSTRUMENTS, INC., 601PROXL International Safety Analyzer, April 2005
<http://assets.fluke.com/manuals/601PROxlomeng0000.pdf>
- [5] Bertil Jacobson, Alan Murray, Medical Devices: Use and Safety

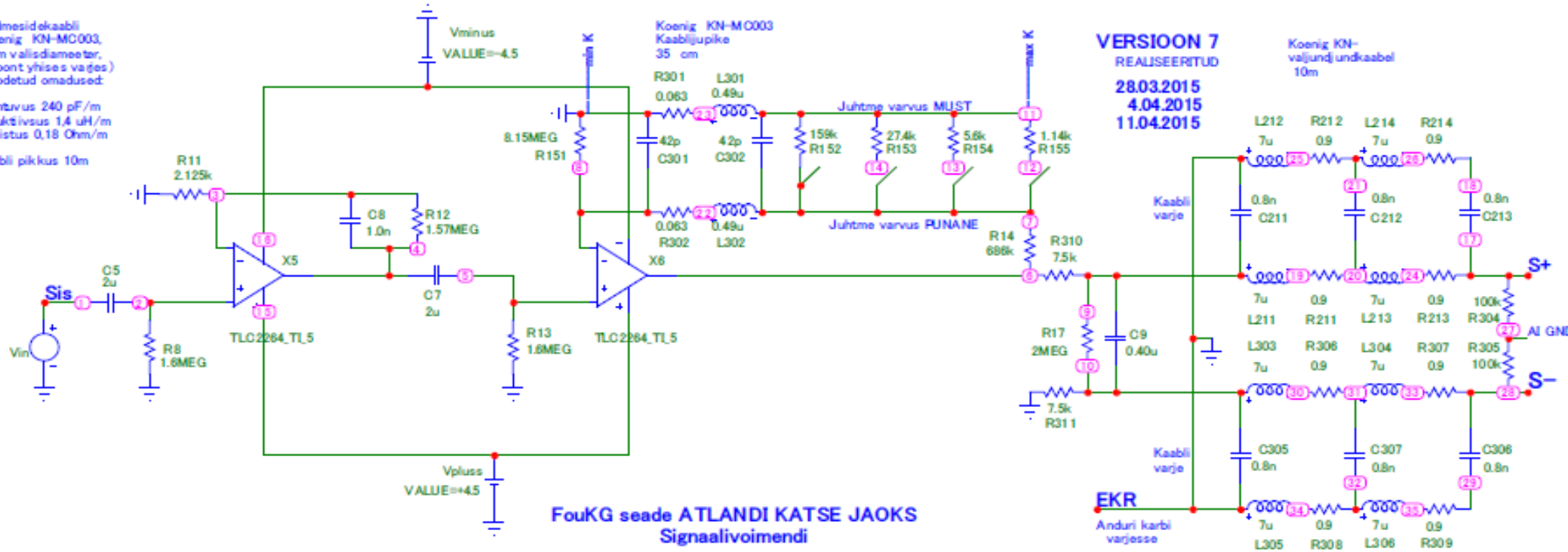
Lisad

Lisa 1: FouKG anduri madalasagedusvõimendi skeem.

Andmesidekaabli
(Koenig KN-MC003,
3mm välisdiameeter,
2 soont ühises vajes)
moodetud omadused:

Mahtvõrus 240 pF/m
Induktiivsus 1,4 uH/m
Takistus 0,18 Ohm/m

Kaabli pikkus 10m



VERSION 7
REALISEERITUD
28.03.2015
4.04.2015
11.04.2015

Koenig KN-
väljundkaabel
10m

FouKG seade ATLANDI KATSE JAOKS
Signaalivoimendi

MATLABi arvutus annab

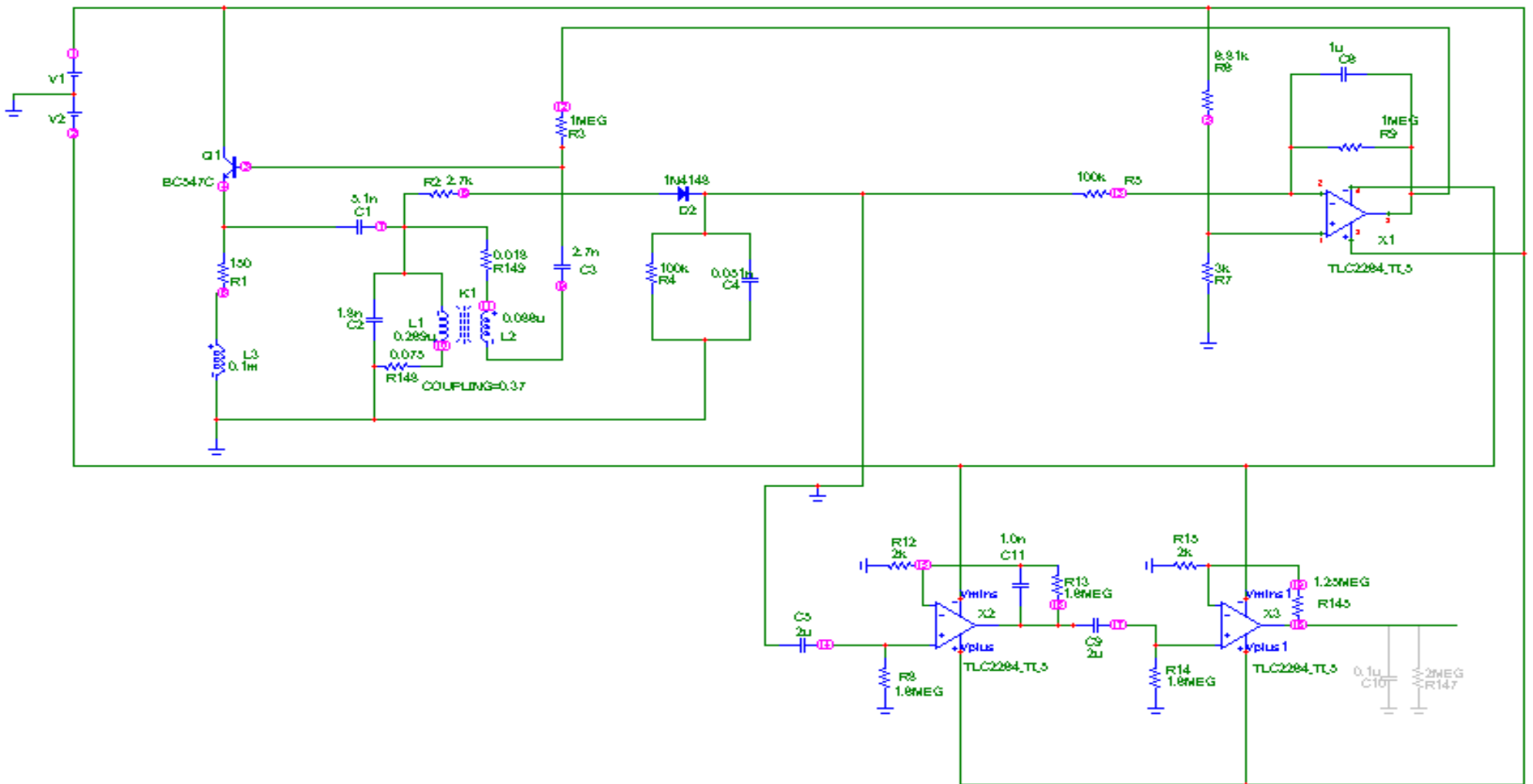
Ku1=800

Ku2 = 1.084 5.312 26.03 127.6 625

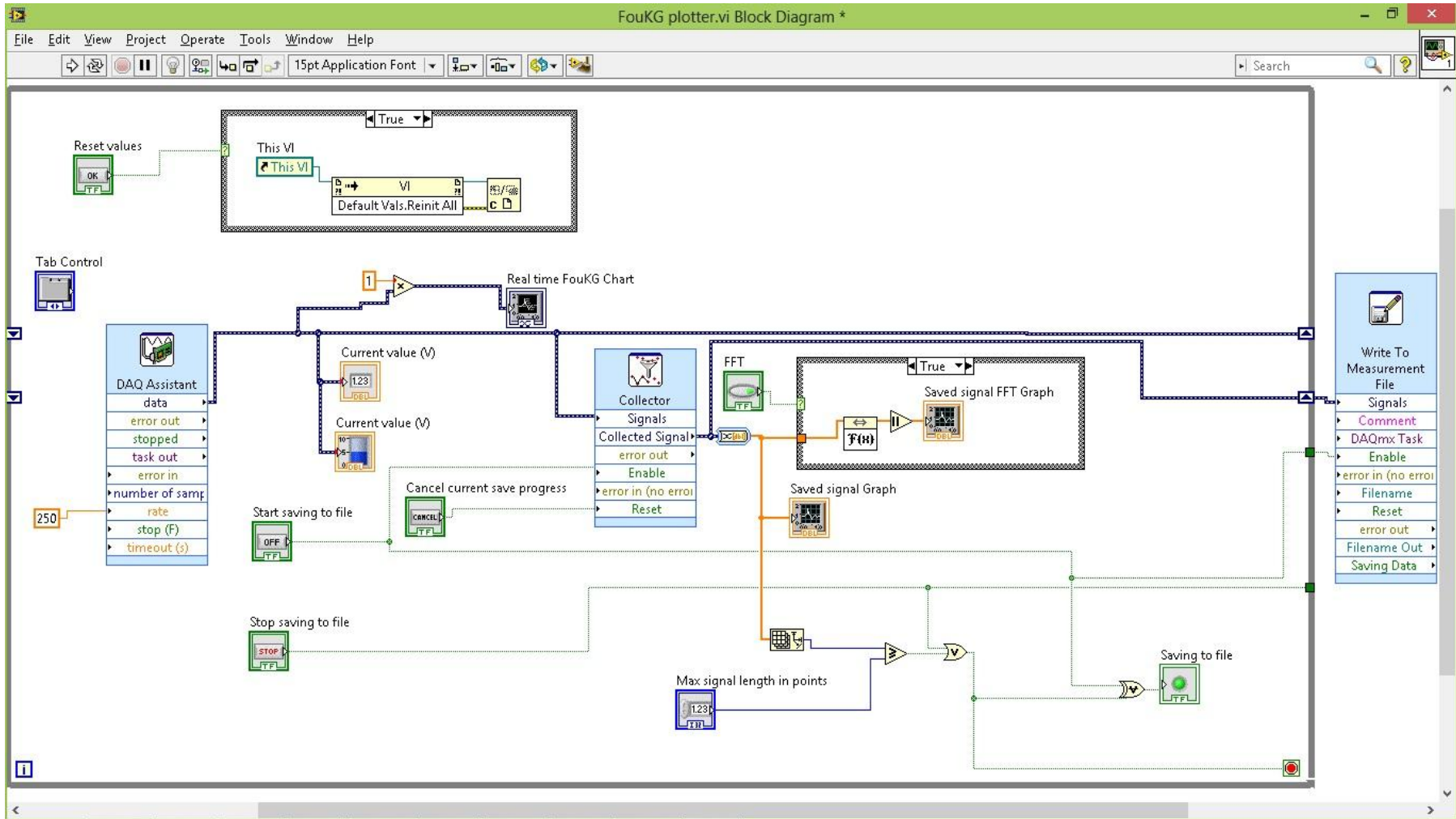
Takistused R15X montaaeria ideaalis: 8.1500 0.1623 0.0275 0.0054 0.0011 MOhm

Kokku = 867 4250 20835 101994 500067

Lisa 2: FouKG anduri generatori skeem.

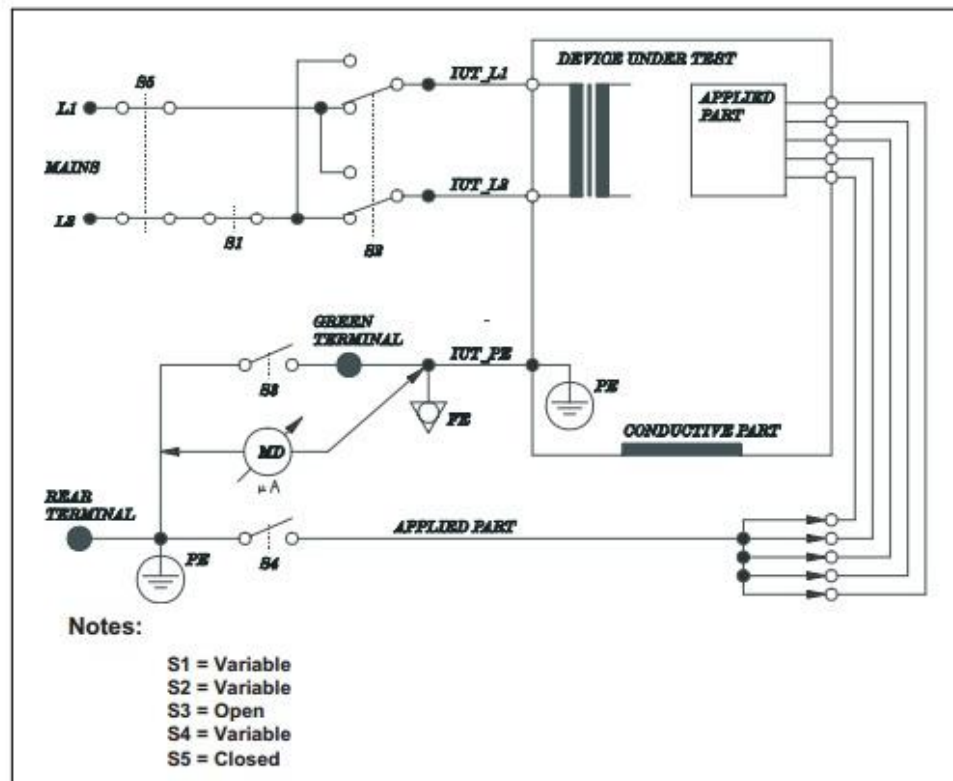


Lisa 3: Programmi FouKG Plotter plokkskeem.



Lisa 4: 101 PRO Series International Safety Analyser (testi skeem).

Test Principle: Earth Leakage Current



lisa1301.eps

Function:	Measures the current flowing in the DUT's PE. The test is performed with normal and reverse mains supply polarity using S2, and single fault condition open L2 using S1. For type BF and type CF equipment, measure with applied part to ground switch S4 open and closed.
Applicable to:	IEC 601-1, Class I HEI 95, Class I AAMI AS/NZS 3551, Class I

Lisa 5: Katsealuse nõusoleku vorm.

Uuritava või patsiendi informeerimise ja teadliku nõusoleku leht

Töö teema: . **AUTOGENERAATORTÜÜPI FOUCAULT' KARDIOGRAAFI
OOKEANIVEE KESKKONNAS KASUTAMISE
VÕIMALIKKUSE UURINGUD**

Informatsioon uuritavale:

Käesoleva uuringu eesmärk on teha kindlaks, kas Foucault' kardiograafia sobib soolases vees olevalt inimeselt südametegevuse ja hingamise signaalide saamiseks. Foucault' kardiograafia on mitteinvasiivne südame- ja hingamistegevuse jälgimise meetod, milles kasutatakse väga nõrku induktsioonvoole südametegevuse pikaajaliseks jälgimiseks. Foucault' kardiograafiat on Tartu Ülikoolis pikka aega uuritud. On välja töötatud vajalik aparatuur ja tarkvara ning saadud kogemus Foucault' kardiograafia kasutamisest inimese südame- ja hingamistegevuse jälgimisest.

On tekkinud võimalus uurida Foucault' kardiograafia sobivust kasutamiseks intellektuaalsetes päästevestides, mis võimaldaksid jälgida uppumisohus olevate inimeste elutegevust. Käesolev uuring viiaksegi läbi intellektuaalsete päästevestide ehitamise projekti jaoks koostöös Tallinna Tehnikaülikooli Thomas Johann Seebecki elektroonikainstituudiga (vt. <http://www.laanlane.ee/article/haapsalu-lade-töötav-koos-partneritega-välja-maailma-esimest-intelligentset-päästevesti>).

Meetod on inimesele ohutu (samal riskitasemel elektrokardiograafiaga), ohutust suurendab eriti see, et andur ei ole inimkehaga üldse elektriliselt ühendatud, kogu signaal saadakse magnetvälja vahendusel. Ka anduri poolt inimesse kiiratud energia on sadu kordi lubatud normidest nõrgem. Teile asetatav andur on elektriliselt hästi ja veekindlalt isoleeritud. Enne kasutamist on seda testitud, kasutades TÜ Biomeditsiinitehnika ja meditsiinifüüsika õppe ja teaduskeskuses olemas olevat spetsiaalaparatuuri, et veenduda anduri kindlas ohutuses Teie tervisele. Teile pakuti ka võimalust viibida seadme elektriõhtuse testimise juures ning saada vastuseid Teid huvitavatele seadme ohutust ja selle testimist puudutavatele küsimustele.

Kõik uuringu käigus tekkivad paberandmed hoiustatakse edaspidiseks kasutamiseks vastutava uurija Jüri Vedru kabinetis kõrvalistele isikutele

kättesaamatuna. Kogutud digitaalsed andmed salvestatakse uuringu käigus edaspidiseks töötlemiseks arvutivälisele kõvakettale, mida hoitakse samas kohas paber kandjail andmetega. Juurdepääs uuringu andmetele nende töötlemiseks ja analüüsiks on uuringu läbiviijatel: vastutaval uurijal Jüri Vedrul ja uuringu teostajal Igor Vassilevskil. Saadud andmed kaotavad kasutusväärtuse umbes 5-10 aasta pärast, misjärel nad hävitatakse vastutava uurija poolt.

Teil tehtavad mõõtmised on vajalikud uute intellektuaalsetele päästevestide väljatöötamiseks. Need vestid peaksid võimaldama jälgida meres või ookeanis uppumisohtu olevate inimeste elutegevust ning suurendama nende päästmise võimalust.

Mind,, on informeeritud ülalmainitud uuringust ja ma olen teadlik läbiviidava uurimistöö eesmärgist ja uuringu metoodikast. Kinnitan, et osalen uurimistöös vabatahtlikult ning tean, et mul on õigus uuringus osalemisest selle kulgemise igal hetkel loobuda. Mul ei ole diagnoositud südamehaigusi ega allergiat soola suhtes; olen teadlik uuringuga seotud võimalikest riskidest ning tarvitusele võetud abinõudest nende vältimiseks. Samuti annan oma loa uuringu andmete ning uuringus tehtud fotode kasutamiseks teadusliku uurimistöö eesmärgil.

Kinnitan oma nõusolekut uuringus osalemiseks allkirjaga.

Tean, et uuringute käigus tekkivate küsimuste ja võimalike tervisehäirete kohta saan mulle vajalikku täiendavat informatsiooni järgmistelt isikutelt:

Jüri Vedru, TÜ füüsika inst. meditsiinitehnika lektor, Tartu, Ravila 14c-A408, tel. 56640372, 7376207

Kuupäev, kuu, aasta

Uuritavale informatsiooni andnud isiku allkiri:

Uuritava allkiri:

Lisa 6: Eetikakomitee luba.

Tartu Ülikooli inimuuringute eetika komitee

Protokolli number: 241/T-15

koosolek: 20.10.2014

Komitee koosseis:

Esimees

Aime Keis Tartu Ülikool arstiteaduskond, meditsiinieetika lektor

Liikmed

Arvo Tikk Tartu Ülikool arstiteaduskond, emeriitprofessor

Külli Jaako Tartu Ülikool arstiteaduskond, farmakoloogia vanemteadur / farmakoloogia vanemasistent

Naatan Haamer Tartu Ülikooli Kliinikum, hingehoidja

Ruth Kalda Tartu Ülikool arstiteaduskond, peremeditsiini professor / kliiniku juhataja

Kristi Lõuk Tartu Ülikool filosoofiateaduskond, doktorant / projektijuht

Maire Peters Tartu Ülikool arstiteaduskond, geneetika vanemteadur

Mare Remm Tartu Tervishoiu Kõrgkool, bioanalüütika õppekava dotsent

Otsus: Anda luba uurimistööks.

Uurimistöö nimetus:

Foucault' kardiograafi ookeanivee keskkonnas kasutamise võimalikkuse uuringud

Vastutav uurija (asutus):

Jüri Vedru (Tartu Ülikool, loodus- ja tehnoloogiateaduskond, füüsika instituut, Ravila 14c, 50411 Tartu)

Komitee poolt läbivaadatud dokumendid:

1. Uurimistöö avaldus kooskõlastuse saamiseks eetikakomiteelt, täiendatud 03.11.2014
2. Uuritava informeerimise ja teadliku nõusoleku leht, täiendatud 03.11.2014
3. Vastutava uurija/juhendaja CV (J.Vedru)

Uurimistöö lõpp: 1. aprill 2015

Komitee esimees: Aime Keis */allkirjastatud digitaalselt/*

Komitee sekretär: Eveli Kadarik */allkirjastatud digitaalselt/*

Väljastatud: 24.11.2014

Tartu Ülikool
teadus- ja arendusosakond
Lossi 3
51003 Tartu

tel 737 5514
e-post eetikakomitee@ut.ee
www.ut.ee/teadus/eetikakomitee

Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks

Mina, Igor Vassilevski

1. annan Tartu Ülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose

„AUTOGENERAATORTÜÜPI FOUCAULT’ KARDIOGRAAFI OOKEANIVEE KESKKONNAS KASUTAMISE VÕIMALIKKUSE UURINGUD“

mille juhendaja on Jüri Vedru

- a. reprodutseerimiseks säilitamise ja üldsusele kättesaadavaks tegemise eesmärgil, sealhulgas digitaalarhiivi DSpace-is lisamise eesmärgil kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni;
 - b. üldsusele kättesaadavaks tegemiseks Tartu Ülikooli veebikeskkonna kaudu, sealhulgas digitaalarhiivi DSpace’i kaudu kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni.
2. olen teadlik, et punktis 1 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile.
 3. kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse seadusest tulenevaid õigusi.

Tartus, 22.05.2015