

TAMPEREEN AMMATTIKORKEAKOULU
Tampere University of Applied Sciences

TASAISEN AALLON HALLINTA ALTAASSA

Jarmo Rapatti

Opinnäytetyö
Lokakuu 2012
Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma
Tuotekehityksen suuntautumisvaihtoehto
Tampereen ammattikorkeakoulu

TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma
Tuotekehitys

JARMO RAPATTI:
Tasaisen aallon hallinta altaassa

Opinnäytetyö 28 sivua
Lokakuu 2012

Tämän opinnäytetyön aiheena on tasaisen aallon hallinta altaassa.

Tässä työssä aallon tulee edetä altaassa yhdensuuntaisesti ja pysähtyä häiritsemättä seuraavaa aaltoa. Tällöin aalto kuvaa parhaiten oikeaa aaltoa meressä. Työssä käsitellään myös aaltoenergiaa ja aaltojen erilaisia vaimennustapoja.

Työn aikana altaaseen kehitettiin laitteisto, jolla pystytään tuottamaan altaaseen tasaista ja yhdensuuntaista aaltoa. Tähän työhön kuului useita testejä eri vaimennusmenetelmillä ja niistä parhaiten toimivan valitseminen. Työn tuloksena saatua allasta voidaan käyttää pienoismallien testauksessa.

Tulevaisuudessa allasta tullaan käyttämään aaltojen tutkimiseen. Altaassa tullaan testaamaan erilaisia aaltoenergian talteenottotapoja. Allas tulee jäämään Tampereen ammattikorkeakoulun käyttöön.

Avainsanat: Aallonmurtajat, aallot, aaltoenergia, aaltoliike

ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tampere University of Applied Sciences
Degree Programme in Mechanical and Production Engineering
Option of Product Development

RAPATTI, JARMO:
Controlling Steady Wave in the Tank

Bachelor's thesis 28 pages
October 2012

The subject of this thesis is making steady wave in the tank and controlling it. The purpose of this thesis was to build a tank where the waves go steady from one end to another end in a tank. This makes it possible to search right way to collect wave energy from the waves in a small scale.

This thesis includes theory of wave energy. The thesis includes also a different tests how to stop waves in the tank controlled. The result of this work was a tank. In the tank it is possible to test wave energy collecting devices in a small scale. This tank is a research platform before making devices in a real size.

In the future, the tank will be used to research the waves. In the tank the different ways to capture wave energy will be tested. The tank remains in use of Tampere University of Applied Sciences.

Keywords: Breakwater, waves, wave-energy

Sisällysluettelo

1. JOHDANTO	5
2. TAUSTA TIETOA AALTOENERGIASTA.....	6
3. UUSIUTUVA ENERGIA.....	8
3.1 AALTOVOIMALAT	8
4. TEORIAA AALLOISTA.....	9
4.1 AALLOKKO JA AALTOJEN SYNTYMINEN	9
4.2 AALTOLIIKE	9
4.3 SISÄISET VOIMAT	11
5. AALLONVAIMENNUS.....	12
5.1 AKTIIVINEN AALLONVAIMENNUS	12
5.2 PASSIIVINEN AALLONVAIMENNUS.....	12
6. AALLON SYNNYTTÄMINEN	13
6.1 AALTOALLAS	13
6.2 AALTOLAITTEISTO	14
7. AALLONVAIMENNIN.....	17
7.1 LEVYVAIMENNIN	17
7.2 VAAHTOMUOVIKIILAT.....	18
7.3 LEVYVAIMENNIN 45-ASTETTA.....	19
7.4 LEVYVAIMENNIN 45-ASTETTA JA VAAHTOMUOVIKIILA	20
8. AALTOALTAAN TESTIT	21
8.1 LEVYVAIMENNIN	21
8.2 VAAHTOMUOVIKIILAT.....	21
8.3 LEVYVAIMENNIN 45-ASTETTA.....	21
8.4 LEVYVAIMENNIN 45-ASTETTA JA VAAHTOMUOVIKIILA	22
9. LAITTEISTON KÄYTTÖOHJEET	23
9.1 KIILAN SÄÄTÄMINEN	23
9.2 NOPEUDEN SÄÄTÄMINEN.....	25
9.3 ALTAAN TYHJENNYS	26
10. JOHTOPÄÄTÖKSET JA YHTEENVETO	27
LÄHTEET	28

1. JOHDANTO

Maailman meristä ja aalloista kerätään tällä hetkellä talteen hyvin vähän uusiutuvaa aaltoenergiaa. Aaltoenergian puhtaus ja uusiutuvuus tulisi huomioida, että käyttää hyödyksi mahdollisimman tehokkaasti. Aaltoenergian mahdollisuuksista on tiedetty ja niitä onkin tutkittu jo 1970-luvulta lähtien, jolloin öljykriisi sai aikaan mielenkiinnon heräämisen uusien energian tuottamistapojen löytymiseksi.

Uusiutuvien energianlähteiden merkitys energiatuotannossa on öljykriisistä lähtien ollut nousussa, että tutkijoiden mielessä ja kehityksen kohteena. Uusiutuvat energiat ovatkin nostaneet ihmisten mielenkiintoa vasta muutamien viime vuosien aikana, kun ilmaston lämpeneminen on näyttänyt muodostuvan suurimmaksi uhaksi ihmiskunnalle. Ilmaston lämpenemisen vuoksi olisikin tärkeää löytää uusiutuvista energianlähteistä apu koko ajan kasvavaan ja kaikkia koskevaan ongelmaan.

Aaltoaltaita onkin jo rakennettu ympäri maailman erilaisten hankkeiden yhteydessä. Tämän aaltoaltaan on tarkoitus olla suhteellisen pienikokoinen, jotta altaassa voidaan tutkia pienoismallitasolla aaltoenergian talteenottotapoja ja laitteistojen toimintaa. Tuloksista päätellään kannattaako laitteistoa viedä eteenpäin, joten tämä allas on laitteiston ensi askel kohti isoja vesiä ja energian tuotantoa.

Tässä työssä aiheena on suunnitella aaltoallas, jossa tuotetaan tasaista aaltoa sekä pystytään testaamaan erilaisia sovelluksia aaltoenergian talteenottamista varten.

2. TAUSTA TIETOA AALTOENERGIASTA

1970-luvun alussa työt aaltoenergian parissa alkoivat vastauksena öljykriisille. Ympäri maailmaa oli useita hallituksien tukemia hankkeita, jotka kehittivät teknologiaa huomattavasti mutta johtivat vain prototyyppeihin. Aaltoenergia oli uutta teknologiaa ja sillä oli monia teknisiä haasteita, sillä useita eri aloja täytyi yhdistää esim. meritieteet, nesteiden ja kaasujen mekaniikka sekä rakennesuunnittelu. Näiden kehitystä tuli suunnata kokonaan uudelle alalle. Aaltoenergian alkuaikoina tavoitteena oli hyödyntää aaltojen voimavaroja mahdollisimman paljon. Tarvittiin isoja järjestelmiä joista aiheutui suuria rakennuskustannuksia, pitkiä rakennusaikoja sekä huomattavia teknisiä haasteita. Nämä tekijät johtivat korkeisiin tuotekustannuksiin sekä suuriin pääomakustannuksiin ensimmäisten prototyyppien kohdalla. Tämä tekikin kaikki tekniikat kaupallisesti epähoukutteleviksi. /1/

1990-luvun puolivälistä alkaen aaltoenergia on alkanut elpyä ja tämän seurauksena on syntynyt useita hankkeita ympäri maailmaa. Uudet yritykset ovat ottaneet oppia aikaisemmista kokemuksista aaltoenergian hyödyntämisessä. Uudet laitteet ovat suhteellisen pieniä kooltaan sekä tuotannoltaan. Tämä vähentää prototyypin kustannuksia ja teknisiä haasteita jolloin rahoitusta on helpompaa saada. /1/

Kustannusten väheneminen mahdollisti sen että aalto-energiaa hyödyntäviä laitteita pystyttiin kehittämään järjestelmällisemmin. Esimerkiksi 75kW:n Shoreline OWC laite asennettiin ja testattiin Islay saarella Skotlannissa. Laite oli vuoden käytössä ja tarjosi paljon hyödyllistä tietoa. Riippumaton tarkastelu kuitenkin osoitti, että parantuneesta tilanteesta huolimatta teknologia ja aaltoenergialla tuotettu sähkö olivat vielä liian kallista. Viime vuosina teollisuus, eri hallitukset ja Euroopan komissio ovat tehneet paljon työtä aaltoenergian kanssa ja tuottaneet useita uusia laitteita. /2/

Suomalaisella yrityksellä Aw-Energylä on Portugalin Penichessä WaveRoller niminen laite, jolla tuotetaan energiaa meren pohja-aalloista. Laitteistoa on testattu vuodesta 2009 ja yritys saikin kolmen miljoonan euron tukipaketin EU:lta syksyllä 2009. Tavoitteena asentaa lopullinen laitteisto Portugalin rannikolle vuoden 2011 kesään mennessä. Aaltoenergiavoimala toimiessaan tuottaa sähköä noin 250 portugalilaistalouteen./3/ WaveRoller laitteiston asennus viivästyi ja laitteisto asennettiin paikoilleen elokuussa 2012.

3. UUSIUTUVA ENERGIA

Uusiutuva energia on energiaa, joka tuotetaan hyödyntämällä jatkuvia prosesseja kuten auringonpaistetta, tuulta, virtaavaa vettä, ilman ja maan lämpöä tai biologisesti syntyviä varantoja kuten puuta. /6/

3.1 AALTOVOIMALAT

Maapallon pinta-alasta 75 % on meren pinnan alla. Tästä johtuen aaltoenergiassa on potentiaalia paljon suurempaankin energian tuottamiseen kuin mitä siitä tällä hetkellä pystytään tai osataan ottaa talteen. Aaltovoimaloiden käyttö perustuu jatkuvaan prosessiin. Aallot syntyvät pääosin tuulen vaikutuksesta ja antavatkin näin ollen hyvät mahdollisuudet tämän energian talteen ottamiseksi juuri vedestä. Merellä tuulet ovat kovempia kuin maalla ja niiden vaikutus on voimakkaampaa. Suurten merten rannoilla onkin parhaimmat mahdollisuudet ottaa talteen aaltojen varastoimat energiavarat.

Rannikoilla sijaitseviin aallonmurtajiin on rakennettu laitteistoja, jotka ottavat talteen energian rantaan tulevista aalloista, samalla murtajat estävät aaltojen ajautumisen rannalle. Aaltovoimaloita on useita erilaisia. Aallonmurtajavoimaloiden lisäksi on kehitetty voimaloita, jotka sijaitsevat keskemällä merta. Nämä voimalat ovat meren pohjaan ankkuroituja järjestelmiä, jotka ottavat energiaa talteen joko merenpohjalla etenevistä aalloista tai pinta-aalloista.

4. TEORIAA AALLOISTA

4.1 AALLOKKO JA AALTOJEN SYNTYMINEN

Aalto tässä työssä kuvattuna on vedessä tapahtuva aaltoliike. Yleisesti aallot syntyvät kun veteen vaikuttaa jokin ulkoinen voima, maanjäristykset, tuuli tai jokin taivaan kapaleen vetovoima. Tärkein veteen ja aallon korkeuteen vaikuttava tekijä on tuuli. Mitä voimakkaampi ja pitkäkestoisempi tuuli, sen korkeampia aaltoja syntyy. Aaltoon vaikuttaa myös veden syvyys, alueen muoto ja tuulen pyyhkäisymatka eli matka, jolla tuuli vaikuttaa. Veden suolaisuudella tai lämpötilalla ei ole suurta vaikutusta aaltoihin. Lämpötila kuitenkin vaikuttaa aallokkoon vain, kun vesi on ilmaa lämpimämpi, jolloin aallot kasvavat nopeammin./4/

4.2 AALTOLIIKE /5/

Aaltoja kuvataan muutamilla yleisillä muuttujilla, joita ovat taajuus, aallonpituus, amplitudi ja jaksonaika. Aallon amplitudi on aallon maksimi korkeus väliaineessa yhden jakson aikana. Jaksonaika on aika, joka kuluu yhdessä aallon värähdyksessä.

Taajuus puolestaan kertoo, kuinka monta värähdystä tapahtuu aikayksikössä ja sen yksikkö on hertsi (Hz). Nämä liittyvät toisiinsa yhtälön (1) mukaisesti.

$$f = \frac{1}{T} \tag{1}$$

jossa f on taajuus ja T on jaksonaika.

Kun aaltoja tarkastellaan matemaattisesti, liitetään siihen usein kulmataajuus (ω), jonka yksikkö ilmoitetaan radiaaneina/sekunti. Se liittyy taajuuteen (f) yhtälön (2) mukaisesti.

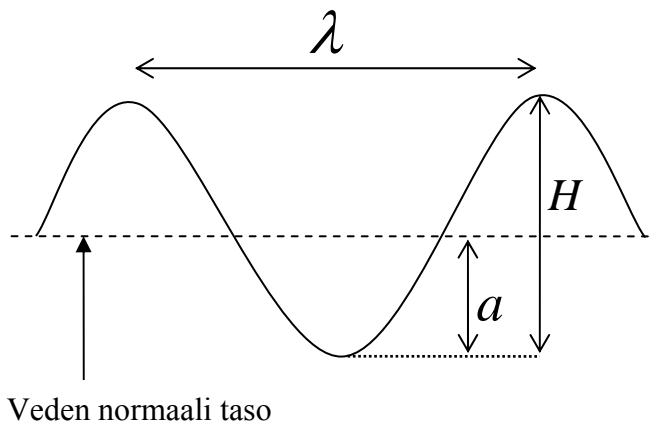
$$\omega = 2\pi f \quad (2)$$

jossa ω on kulmataajuus ja f on taajuus.

Aallonpituus on kahden peräkkäisen aallon harjojen välinen etäisyys toisistaan ja sitä kutsutaan lambdaaksi (λ). Aallon lambda saadaan yhtälöllä (3).

$$\lambda = \frac{v}{f} \quad (3)$$

jossa λ on aallonpituus, v on aallon etenemisnopeus ja f on taajuus.



KUVIO 1. Aallokon termit. Aallonpituus (λ), aallon korkeus (H) ja amplitudi (a).

Aaltoja jotka etenevät kutsutaan liikkuviksi aalloiksi. Liikkuvan aallon poikkeaminen tasapainoasemasta muuttuu, sekä ajan että paikan suhteen ja sitä voidaan kuvata matemaattisesti yhtälöllä (4).

$$y = A(z, t)\cos(\omega t - kz + \phi) \quad (4)$$

jossa $A(z, t)$ on aallon amplitudi, k on aaltoluku ja ϕ on vaihe.

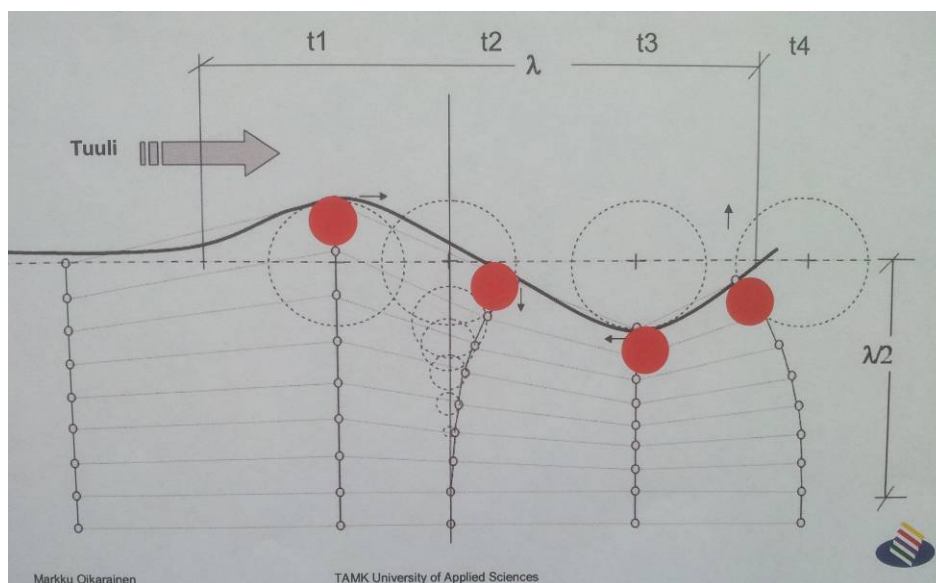
Liikkuvalla aallolla on myös nopeus, joka saadaan aallon perusyhtälöksi kutsutulla yhtälöllä (5).

$$v = \frac{\omega}{k} = \lambda f \quad (5)$$

jossa λ on aallonpituus ja f on taajuus.

4.3 SISÄISET VOIMAT

Aallossa on sisäisiä voimia. Nämä voimat eivät etene vaikka aallot näyttävätkin etenevän. Aallon sisältävät voimat ovat heilurin muotoisia ja liikkuvat vain oman korkeutensa verran edestakaisin (kuva 1). Aallon sisällä voimat kulkevat ympyrän muotoista rataa. Syvässä vedessä pinnalla oleva pyörivä liike vaikuttaa vain silloin kun veden syvyys on enemmän kuin puolet aallon pituudesta. Tämä tarkoittaa sitä että aallon pituuden ollessa esimerkiksi 10m, ympyrän muotoinen liike lakkaa vaikuttamasta 5m syvemmällä. Veden pohjalla pyörimisliikettä ei tapahdu vaan liike on edestakaista. Veden syvyyden mennessä pienemmäksi kuin puoleen aallon pituudesta, muuttuu pyörivä liike soikeaksi ja tästä johtuen aalto alkaa kaatua./7/



KUVA 1. Ympyrä- ja heiluriliike aallossa. /8/

5. AALLONVAIMENNUS

Aaltojen vaimentamiselle on useita eri tapoja, esimerkiksi satamissa käytettävät aallonmurtajat, jotka ovat passiivisia. Huoltovapaudesta ja yksinkertaisuudesta johtuen passiiviset järjestelmät ovat suosituimpia käytettäviksi juuri satamissa.

Erilaisissa tutkimuskohteissa käytetään aktiivisia järjestelmiä, näillä järjestelmillä haetaan optimaalisia olosuhteita, joissa aallot ovat yhdensuuntaisia, yhdenmuotoisia ja täysin hallittuja.

5.1 AKTIIVINEN AALLONVAIMENNUS

Aktiivisen järjestelmän ominaisuus on, että se on yhteydessä aallon synnyttämään laitteistoon. Laitteisto toimii riippuen siitä, kuinka isoja ja voimakkaita aaltoja synnytetään. Laitteisto on vaativampi rakentaa ja synkronoida kuin passiivinen järjestelmä. Aktiivinen järjestelmä on myös kalliimpi ja sitä tulee huoltaa.

5.2 PASSIIVINEN AALLONVAIMENNUS

Passiivinen järjestelmä on riippumaton aaltoja tuottavasta järjestelmästä. Laitteisto toimii aallon voimia myötäillen ja on vapaa toimimaan ilman erillistä synkronointia aaltoja tuottavaan laitteistoon. Passiivinen järjestelmä ei vaadi erillistä huoltamista ja onkin siten eniten käytetty muun muassa satamien aallon murtajina.

6. AALLON SYNNYTTÄMINEN

6.1 AALTOALLAS

Aaltoallasprojektin tarkoituksena on luoda hallittu aallokko altaaseen, jossa voidaan testata erilaisia aallon liike-energian talteenotto tapoja. Projektissa käytetty aaltoallas on rakennettu kahdesta karkaistusta parvekelasista, jotka on kiinnitetty toisiinsa alumiinista profiilia apuna käyttäen. Altaan lasi- ja päätyseinät sekä kiinnitykset on tiivistetty vuotojen ehkäisemiseksi silikonilla. Aaltoallas on pituudeltaan 247,0 cm, leveydeltään 22,5 cm ja korkeudeltaan 70,0 cm. Tilavuudeltaan (V) allas on yhtälön (6) mukaan 389 litraa.

$$V = \frac{\text{pituus} * \text{leveys} * \text{korkeus}}{1000} \quad (6)$$

Vedessä liikkuva aalto on liike-energiaa, joka tuotetaan altaaseen kiilaa ja moottori-kokoonpanoa käyttäen. Vastakkaiseen päähän rakennettiin aallonvaimennin eli laitteisto, joka pysäyttää aallon estäen tätä heijastumasta takaisin päin. Aallon pysäyttäminen on tärkeää, koska heijastunut aalto häiritsee tuotettua tasaista aaltoa tehden siitä epävaikkaan.

6.2 AALTOLAITTEISTO

Laitteiston suunnittelu alkoi purkamalla aaltoaltaaseen tehty vanha manuaalinen laitteisto. Vanhasta laitteistosta otin talteen osia, joita voisin tarvita myöhemmin uudessa laitteessa. Laitteistoa aloin suunnitella korvaamalla käsikäyttöisen järjestelmän moottorilla. Vaihtoehtoina uudeksi käyttöjärjestelmäksi oli useita erikokoisia moottoreita, jotka kuitenkin jouduin hylkäämään niiden puutteellisten osien ja koon perusteella. Tämän jälkeen sain käyttööni aaltosorviprojektista ylimääräiseksi jääneen laitteiston, joka oli valmistettu mallintamaan eri vipuvaihtoehtoja projektin tarpeisiin nähden. Laitteistossa oli käytetty moottori, alennusvaihde, taajuusmuuttaja sekä akselit, joita pystyin hyödyntämään omiin tarpeisiini.

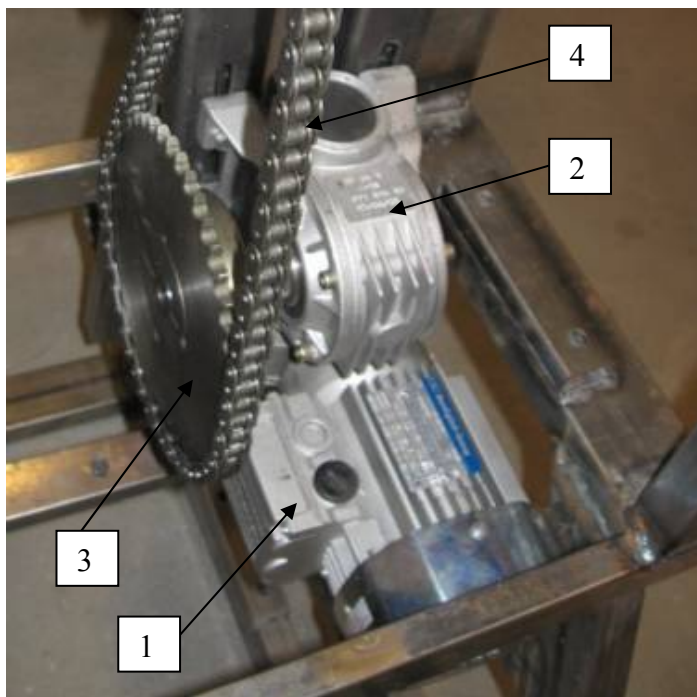
Tässä aaltoallasprojektissa laitteisto tuli olemaan aaltoja tuottavana järjestelmänä. Laitteiston kokoa pienennettiin, koska olemassa oleva vivusto että koko laitteisto kokonaisuudessaan oli liian suuri omiin tarpeisiini. Koska tarvitsin pyörivää liikettä tuottavan järjestelmän, otin omaan käyttööni moottorin, alennusvaihteen ja taajuusmuuttajan lisäksi vain osan vivuista ja vain toisen puolen kokonaisesta laitteesta.

Aaltojen tuottamiseksi alkuun suunnitelmissa oli käyttää erilaisia upotettavia malleja, esimerkkinä mainittakoon pisanan muotoinen upotettava malli, jonka hylkäsin valmistamisen ja hallittavuuteen vaikeuden perusteella. Päädyin käyttämään upotettavaa kiilaa sen yksinkertaisuuden sekä hallittavuuden vuoksi. Valmistin kiilan, jota voidaan säätää eriasteisiin kulmiin 15- ja 45-asteen välillä. Kiila on valmistettu kovamuovista jolloin se kestää vettä. Kiilan kulmaa suurentamalla aallon pituus kasvaa.

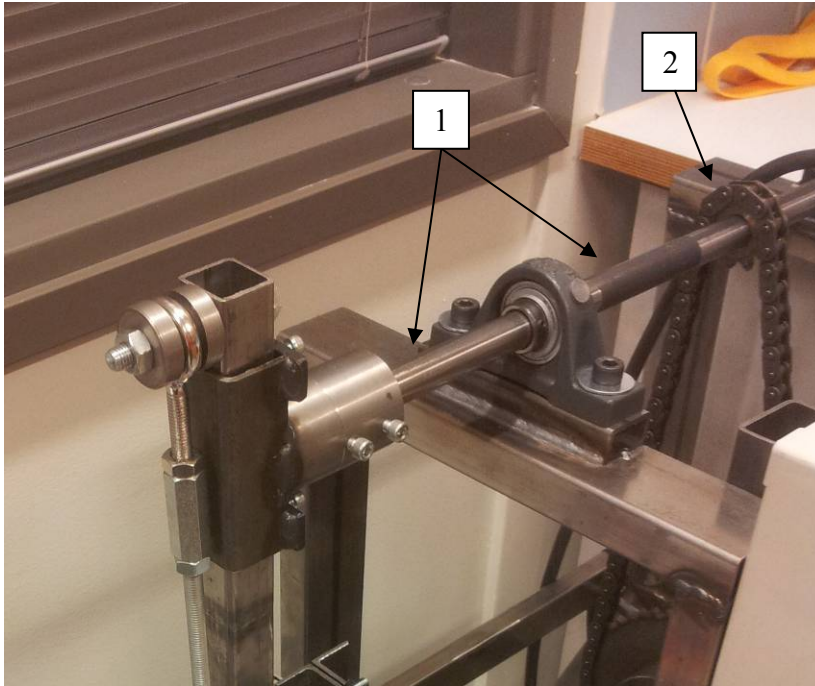
Aaltolaitteiston moottorikokoonpano oli kehitetty aikaisemmin aaltosorviprojektiin josta se oli jäänyt ylimääräiseksi. Nyt laitteisto lyhennettiin ja muokattiin sopivaksi nykyiseen käyttötarkoitukseensa. Aaltolaitteiston voimanlähteenä on käytetty 1-vaihe moottoria, joka on malliltaan Bonfiglioli Group BN 63B josta saadaan aallon synnyttämiseen vaadittava liike-energia (kuva 2). Laitteiston välityksiä muutettiin vaihtamalla vanha hammashihna rullaketjuun. Vanhan laitteiston kierukkavaihteen ulostulonopeus oli n.10,95kierr/min, yhtälön (1) mukaan 0,18Hz joka oli liian hidas nopeus tuottamaan haluamaani aaltoa. Nykyisessä kokoonpanossa on välityksiä muutettu siten että käytet-

tävän akselin nopeus on n.44,8kierr/min joka yhtälön (1) mukaan on 0,75Hz. Laskelmi-
en mukaan kulmataajuudeksi saadaan yhtälön (2) mukaan 4,7rad/s.

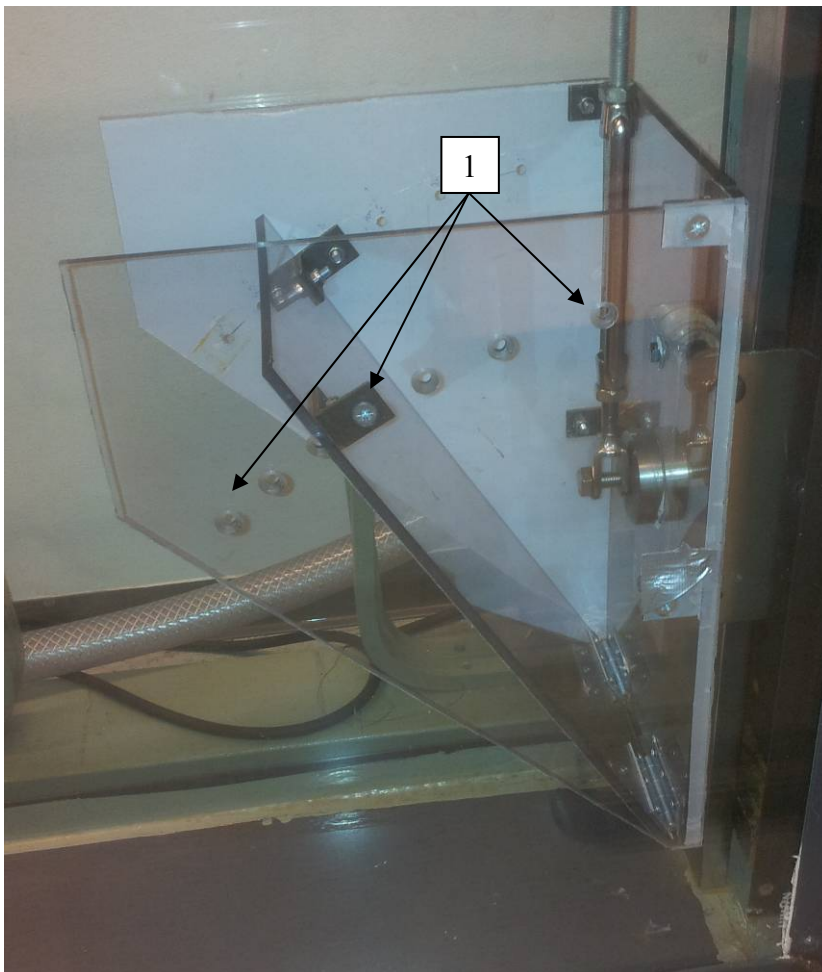
Moottorin (kuva 2,(1)) liike-energia välitetään kierukkavaihteen Bonfiglioli VF 49N
(kuva 2,(2)) kautta ketjupyörälle S38-45 (kuva 2,(3)) jonka jälkeen rullaketju 06B-1
(kuva 2,(4)) välittää voiman ja pyörivän liikkeen akselistoon (kuva 3,(1)) ketjupyörän
S38-11 (kuva 3, (2)) kautta. Akselistosta voima välittyy kiilaan (kuva 4), jolla altaaseen
tuotetaan aaltoja edestakaisella liikkeellä ylös ja alas. Laitteistoa hallitaan Commander
SK taajuusmuuttajalla, joka sijaitsee sähkökaapin sisällä. Taajuusmuuttajan ohjaimet
sijaitsevat sähkökaapin sivulla, josta laitteiston pyörimisnopeutta voidaan säätää.



KUVA 2. Moottori Bonfiglioli BN 63B (1), alennusvaihte VF49N (2), ketjupyörä S38-
45(3) ja rullaketju 06B-1(4).



KUVA 3. Akselisto (1) ja ketjupyörä S38-11 (2).



KUVA 4. Kiila. Säätöreiät 15-45astetta (1).

7. AALLONVAIMENNIN

7.1 LEVYVAIMENNIN

Aaltoja tuottavan järjestelmän vastakkaiseen päähän valmistin aallon voiman eli liike-energian pois ottavan laitteiston. Vaimennin on toiminnaltaan mahdollisimman yksinkertainen koska aaltoja hallitaan pääosin aaltoja tuottavalla laitteistolla. Koska levyvaimennin (kuva 5) on passiivinen, liitoksiin ei tarvinnut asentaa kuluvia osia kuten laakereita. Tämä helpotti laitteiston suunnittelua sekä tulevaa käyttöä. Levyvaimennin on passiivinen järjestelmä, joka vaimentaa aaltoja ja estää aallon takaisin heijastumista mahdollisimman paljon. Levyvaimennin voidaan säätää eri korkeuksille ja eriasteisiin kulmiin muuttuvien tarpeiden mukaan.



KUVA 5. Levyvaimennin

7.2 VAAHTOMUOVIKIILAT

Toinen vaihtoehto aallon vaimentamiseksi on myös passiivinen. Tässä on tarkoituksena käyttää vaahtomuovista leikattuja kiiloja (kuva 6) aallon vaimentamiseen. Vaimennus tapahtuu tällöin aallon kuoleutumisena vaahtomuoviin joka on huokoista materiaalia. Aallon sisältämät voimat jakautuvat vaahtomuovin sisälle, jolloin aalto ei heijastu takaisin aaltoja tuottavaan laitteistoon. Kiilan muodon on tarkoitus heijastaa aallon reunat toisiaan vasten jolloin aalto vaimentuisi omaan energiaansa.



KUVA 6. Vaahtomuovivaimennin ylhäältä kuvattuna.

7.3 LEVYVAIMENNIN 45-ASTETTA

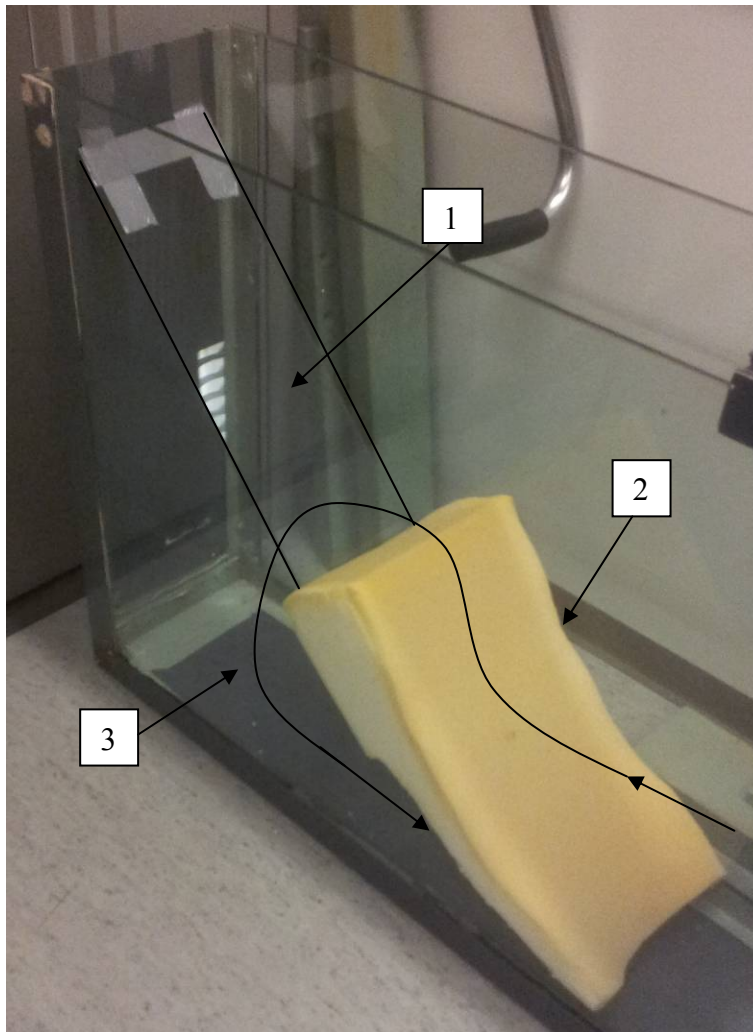
Kolmas vaihtoehto vaimentamiseen on asentaa altaan päähän viisto levy noin 45-asteen kulmaan (kuva 7). Levy on allasta kapeampi jolloin levyn ja altaan reunojen väliin jäisi noin 3,5 senttimetrin raot. Levyn tarkoitus on olla samassa kulmassa kuin aaltoja tuottava kiila, jolloin aalto joutuu kiipeämään levyä pitkin hukaten energiansa. Raot kiilan sivuilla taas mahdollistavat sen, että altaan päähän kohdistuva paine tasaantuisi jolloin uusi aalto ei häiriinny.



KUVA 7. Levyvaimennin 45 astetta.

7.4 LEVYVAIMENNIN 45-ASTETTA JA VAAHTOMUOVIKIILA

Neljäs vaihtoehto on lisätä edellisen levyvaimentimen lisäksi altaaseen viisto vaahtomuovikiila. Kiila asennetaan levyä vasten lähes altaan pohjalle (kuva 8). Kiilan yläreuna tulee olla asennettuna siten, että tuotettu aalto pääsee osaksi kiilan yli vaimentuen kiilan taakse. Kiilan alle jätetään kapea rako, joka tasaa altaan päähän kohdistuvaa painetta. Kiilan alle jätetystä raosta vesi pääsee virtaamaan tasaisesti pois kiilan takapuolelta, häiritsemättä synnytettyjä aaltoja.



KUVA 8. Levyvaimennin 45 astetta (1), vaahtomuovikiila (2) ja vedenkulkusuunta (3).

8. AALTOALTAAN TESTIT

Testeissä aaltoja tuottava laitteisto säädettiin 45-asteen kulmaan ja testit suoritettiin 30, 40 ja 50 Hz:llä. Allas täytettiin 35 senttimetrin korkeuteen altaan pohjasta.

8.1 LEVYVAIMENNIN

Levyvaimenninta ei testattu koska vaimennin oli liian kevyt ja pieni mitoiltaan. Aallot eivät olisi vaimentuneet joten menetelmä hylättiin tähän perustuen.

8.2 VAAHTOMUOVIKIILAT

Vaahtomuovista valmistetut kiilat jotka asennettiin altaan päähän auran muotoon. Kiila säädettiin 45-asteen kulmaan ja altaaseen laskettiin vesi. Testissä aaltoja tuotettiin eri asteisilla kiilan kulmilla ja nopeuksilla. Vaikka kulmaa ja nopeutta muutettiin ei haluttua vaimennusta tapahtunut. Testit osoittivat sen, että aallot eivät vaimentuneet huokoiseen materiaaliin vaan heijastuivat takaisin erittäin voimakkaasti häiriten tuotettua aaltoa. Tämä vaimennustapa hylättiin tähän perustuen.

8.3 LEVYVAIMENNIN 45-ASTETTA

Vaimentimena käytettiin 45-asteen kulmaan asennettua levyä jonka reunoihin jätettiin 3,5 senttimetrin raot. Levyä testattiin kiilan ollessa säädettynä 45-asteen kulmaan. Testissä huomattiin heti, että aallot eivät reagoineet vaimentimeen odotetulla tavalla. Vaikka nopeutta ja kiilan kulmaa muutettiin oli levy liian kevyt rakenteeltaan vaimentamaan aaltoja. Aallot heijastuivat voimakkaasti takaisinpäin, joten tämä ei yksin toimi aaltojen vaimentimena.

8.4 LEVYVAIMENNIN 45-ASTETTA JA VAAHTOMUOVIKIILA

Vaimentimena käytettiin testissä 45-asteen kulmaan asennettua levyä sekä tämän etupuolelle asennettua vaahtomuovista leikattua kiilaa. Testissä allas täytettiin 35 senttimetriin ja kiila säädettiin 45-asteen kulmaan. Vaimentimena toimiva vaahtomuovikiila asennettiin levyä vasten siten, että noin kolme senttimetriä kiilasta tuli liikkumattoman vedenpinnan yläpuolelle. Tämän jälkeen vaimenninta testattiin eri pyörimisnopeuksilla. Nopeuden ollessa 43,3Hz aalto vaimentui hyvin sen kohdatessa vaahtomuovikiilan. Heijastuvaa aaltoa ei juurikaan syntynyt, jolloin altaaseen syntyi noin kahdeksan senttimetriä korkeaa aaltoa, joka eteni tasaisesti aaltoja tuottavasta laitteistosta kohti vaimenninta.

Tässä onnistuneessa vaimennuksessa oli altaassa nähtävissä tasaista ja yhden suuntaista aaltoa. Vedessä olleiden roskien perusteella pystyi päättelemään, että pinnalla kulkeva aalto eteni tasaisesti pyörivällä ja heilurimaisella liikkeellä. Aallot etenivät tasaisesti aaltoa tuottavasta laitteistosta kohti vaimenninta vaimentuen siihen. Altaassa olleista roskista voitiin myös päätellä, että altaan pohjalla kulkevan veden liike oli edestakaista ja hiljalleen takaisin aaltoa tuottavaa laitteistoa kohti.

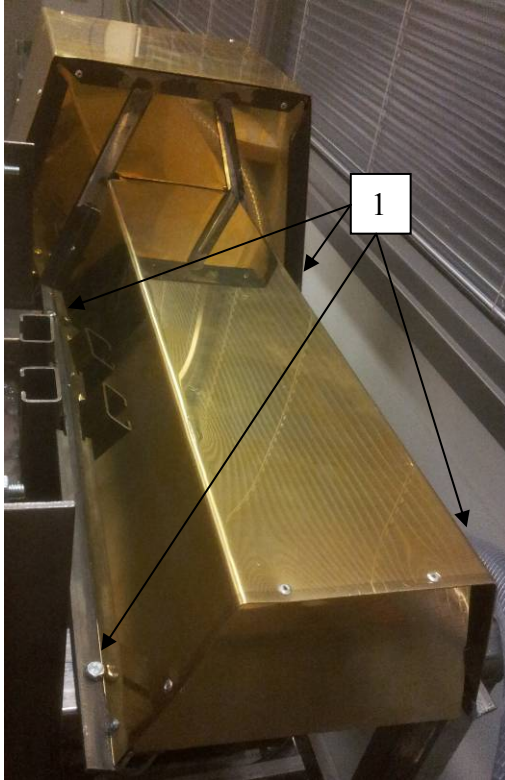
9. LAITTEISTON KÄYTTÖOHJEET

Laitteiston ohjaus tehdään commander taajuusmuuttajan kautta, jolla voidaan moottorin pyörimisnopeutta säätää portaattomasti. Nopeus yhdessä kiilan kulman kanssa vaikuttaa aallon korkeuteen ja pituuteen. Kun nopeutta nostetaan, altaaseen syntyvän aallon korkeus kasvaa ja aallon pituus lyhenee.

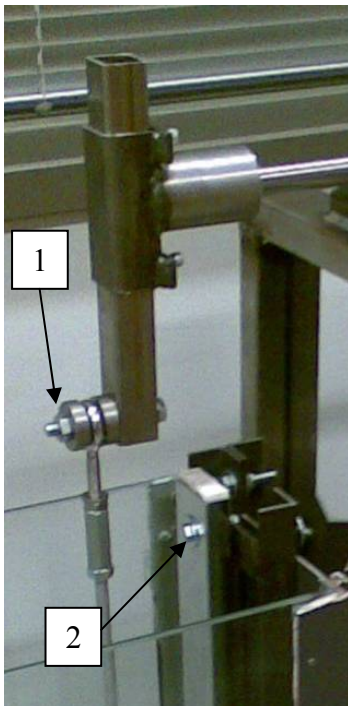
9.1 KIILAN SÄÄTÄMINEN

Ennen kiilan kulman säätämistä irrotetaan virtapistoke pistorasiasta. Kiilan kulmaa säädetään kiilan sivuissa olevien reikien mukaan (kuva 4). Kulmaa voidaan säätää 15- ja 45-asteen väliltä. Kiinnitysreiät on porattu 5-asteen välein. Kun tehdään kiilan kulman muutosta 40- ja 45-asteen välillä täytyy kiila irrottaa kokonaan laitteistosta. Ensimmäiseksi irrotetaan laitteiston päällä olevasta suojusta (kuva 9) neljä ruuvia, jotka pitävät suojan paikoillaan. Tämän jälkeen nostetaan suoja pois ja irrotetaan kiilaa käyttävästä vivustosta kiinnitysmutteri (kuva 10,(1)). Seuraavaksi täytyy avata kiilan liukukiskon yläpäässä oleva pultti ja mutteri (kuva 10, (2)), tämä vapauttaa kiilan ja se voidaan nostaa pois paikoiltaan. Kun kiila on säädetty haluttuun kulmaan asennetaan kiila takaisin laitteistoon vastakkaisessa järjestyksessä kuin sen irrotus tehtiin.

Kulmaa säädettäessä 15- ja 35-asteen välillä, voidaan säätö suorittaa irrottamatta kiilaa laitteistosta. Tässä 15-35 asteen säädössä täytyy kuitenkin irrottaa laitteiston suoja ennen säätämistä. Kiilan liike tulee pysäyttää ylä-asentoonsa, jotta säätöruuveihin pääsee käsiksi. Kun säätö on suoritettu täytyy laitteiston suoja asentaa takaisin paikoilleen.



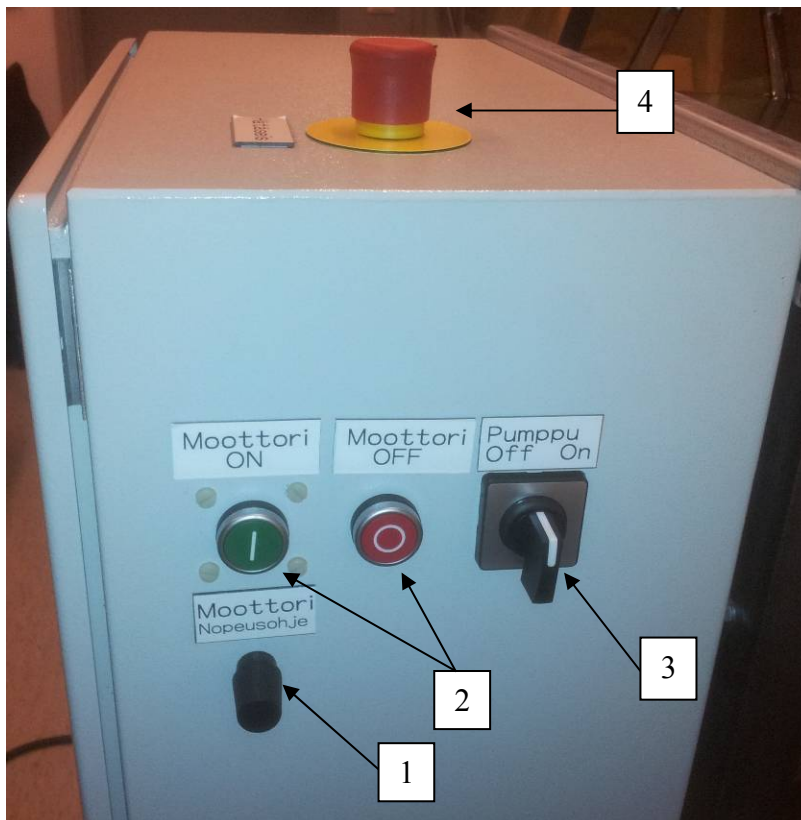
KUVA 9. Laitteiston suoja. Kiinnitys ruuvit (1)



KUVA 10. Kiilan kiinnitys

9.2 NOPEUDEN SÄÄTÄMINEN

Laitteiston nopeutta voidaan säätää vasta kun virtapistoke on kytketty pistorasiaan. Laitteistossa palaa tällöin valot. Nopeuden säätämiseen käytetään portaatonta säätönappia (kuva 11,(1)), commander taajuusmuuttajaa joka on sijoitettu sähkökaapin sisälle sekä moottori ON ja OFF nappeja (kuva 11,(2)). Laitteisto alkaa pyöriä vasta kun moottori ON nappia on painettu. Näytöstä luetaan taajuus jolla laite pyörii ja pyörimisnopeuteen vaikutetaan säätönappia kääntämällä. Laitteiston liike pysäytetään moottori OFF nappia painamalla. Häätätilanteessa laitteisto pysähtyy sähkökaapin päällä olevasta hätä-/seis painikkeesta (kuva 11,(4)).



KUVA 11. Ohjauslaitteisto. Portaaton säätönappi (1), moottori ON ja OFF napit (2), altaan tyhjentävän pumpun katkaisija (3) ja hätä-/seis painike (4).

9.3 ALTAAN TYHJENNYS

Laitteistoon on asennettu 12-V jännitteellä toimiva pumppu (kuva 12), joka pumppaa veden altaasta. Altaan tyhjennyksessä käytettävää pumppua ohjataan ohjauslaitteiston Pumppu ON /OFF katkaisijasta (kuva 11,(3)). Allas tyhjenetään laittamalla pumppu altaan pohjalle pystysuoraan asentoon. Seuraavaksi varmistetaan, että pumpulta tuleva letku on varmasti altaassa ennen kuin kytketään pumppua päälle. Pumppu ei pysty tyhjentämään allasta aivan kokonaan, joten altaan pohjalle jäävä vesi tulee poistaa käyttäen apuna esimerkiksi äyskäreiä.



Kuva 12. Altaan tyhjennispumppu

10. JOHTOPÄÄTÖKSET JA YHTEENVETO

Yhteenvetona laitteistosta ja sen toiminnasta voidaan sanoa, että aaltoja tuottava laitteisto toimii halutulla tavalla. Aaltoihin voidaan vaikuttaa kiilan kulmaa ja laitteen pyörimisnopeutta säätämällä, jolloin altaaseen saadaan eri pituisia ja korkuista aaltoja. Näin altaaseen saadaan laitteistolla tuotettua halutunlainen etenevä aalto.

Aaltojen vaimennuksen osalta vaikeuksia tuotti oikeanlaisen aallon vaimennusmenetelmän löytäminen. Erilaisten vaimennustapojen testaus osoitti, että altaassa voidaan saada aikaan tasainen ja yhdensuuntainen aalto. Vaimennusta tulee vielä jatkossa testata ja kehittää, jotta allas toimisi tarkoituksensa mukaisesti pienoismallien testialtaana.

Tästä projektista tuloksena saatiin työn tilaajalle allas, jossa voidaan tuottaa tasainen aalto ja hallitusti vaimentaa se.

LÄHTEET

1. <http://www.wave-energy.net/Schools/History.htm>
2. <http://waveberg.com/pdfs/overview.pdf>
3. <http://www.goodnewsfinland.fi/teemat/yrittajyys-ja-innovaatiot/aalloista-syntyy-energiaa/>
4. <http://fi.wikipedia.org/wiki/Aalto>
5. [http://fi.wikipedia.org/wiki/Aalto_\(fysiikka\)](http://fi.wikipedia.org/wiki/Aalto_(fysiikka))
6. http://fi.wikipedia.org/wiki/Uusiutuva_energia
7. Aaltoenergiaa on riittävästi esite, Markku Oikarainen, Aaltosorvi-projekti, Tamk
8. Aaltoenergiaa energiatehokkaasti Aaltosorvilla, Markku Oikarainen, Tamk