

Lappeenrannan teknillinen yliopisto

School of Energy Systems

Energiatekniikan koulutusohjelma

BH10A0202 Energiatekniikan kandidaatintyö

Aaltoenergian hyödyntämismenetelmät

Wave energy conversion methods

Oona Tuomisto

Työn tarkastaja: Aki Grönman

Työn ohjaaja: Aki Grönman

Lappeenranta 31.7.2019

TIIVISTELMÄ

Tekijän nimi: Oona Tuomisto

School of Energy Systems

Energiatekniikan koulutusohjelma

Opinnäytetyön ohjaaja: Aki Grönman

Aaltoenergian hyödyntämismenetelmät

Kandidaatintyö 2019

33 sivua, 18 kuvaa ja 1 taulukko

Hakusanat: aaltoenergia, aaltovoima, aaltovoimalat

Haluaisin aluksi kiittää ohjaajaani Aki Grönmania kärsivällisyydestä ja tuesta työn jokaisessa vaiheessa. Tapaamiset ja positiivinen palaute saivat minut löytämään itselleni mielenkiintoisen aiheen ja pohtimaan asioita syvemmin.

Tämän kandidaatintyön tavoitteena oli vertailla erilaisia aaltoenergian hyödyntämismenetelmiä, sekä niiden tämän hetkistä tilaa ja tulevaisuuden mahdollisuuksia. Työssä tutustutaan paremmin aaltoenergiaa hyödyntäviin teknologioihin ja niiden potentiaaleihin. Lähtökohtana oletetaan, ettei lukija ole perehtynyt aaltoenergiaan millään tavalla.

Työ keskittyy tällä hetkellä myynnissä tai kehitteillä oleviin laitteisiin ja niiden teknologioihin. Tällä hetkellä aaltoenergian teknologia on muita uusiutuvia energialähteitä, kuten tuulienergiaa huomattavasti jäljessä. Aalloissa on kuitenkin paljon energiaa hyödynnettävissä ja kehitteillä olevissa teknologioissa on paljon potentiaalia tulevaisuutta ajatellen.

SISÄLLYSLUETTELO

| | |
|--|-----------|
| Tiivistelmä | 2 |
| Sisällysluettelo | 3 |
| 1 Johdanto | 4 |
| 2 Aaltoenergia | 6 |
| 2.1 Mahdollisuudet..... | 6 |
| 2.2 Haasteet | 7 |
| 3 Bulge wave | 8 |
| 3.1 Anaconda..... | 8 |
| 4 Overtopping (A Wave capture device) | 10 |
| 4.1 Wave Dragon..... | 10 |
| 5 OWC (Oscillating Water Column) | 12 |
| 5.1 OceanEnergy Buoy..... | 12 |
| 6 OWSC (Oscillating Wave Surge Converter) | 14 |
| 6.1 WaveRoller..... | 14 |
| 7 Point absorber | 16 |
| 7.1 Seabased WEC | 16 |
| 7.2 Wavestar..... | 17 |
| 7.3 CorPower..... | 18 |
| 7.4 PowerBuoy | 19 |
| 8 Pyörivä massa (Rotating mass) | 21 |
| 8.1 Penguin..... | 21 |
| 9 Submerged pressure differential | 23 |
| 9.1 Wave Carpet..... | 23 |
| 9.2 mWave..... | 24 |
| 10 Vaimentimet (Attenuator) | 26 |
| 10.1 Wavepiston..... | 26 |
| 11 Kehitteillä olevat teknologiat | 28 |
| 11.1 CETO..... | 28 |
| 11.2 Cycloidal Wave Energy Converter (CycWEC)..... | 29 |
| 11.3 NEMOS | 30 |
| 12 Yhteenveto | 32 |
| Lähdeluettelo | 35 |

1 JOHDANTO

Energiantarve kasvaa jatkuvasti koko maapallolla ja samalla kuluttajille tulee tärkeämmäksi puhtaamman energian tuottaminen uusiutuvien energiamuotojen avulla. Monissa maissa on jo kymmenien vuosien ajan kehitetty ja asennettu tuuli- aurinko- ja vesivoimaa, mutta uusiutuva energia kattaa edelleen vasta todella pienen osuuden tuotetusta energiasta.

Vesivoima on ollut jo pitkään käytössä ja esimerkiksi Norja pystyy tuottamaan sillä lähes kaiken tarvitsemansa energian. Monissa maissa, kuten Suomessa on kuitenkin asennettu jo kaikki mahdollinen kapasiteetti, joka on olosuhteiden puolesta mahdollista. Aaltoenergia onkin hyvä keino lisätä uusiutuvaa energiaa, sillä meret peittävät suurimman osan maapallosta ja sisältävät suuria määriä vielä hyödyntämätöntä energiaa.

Tässä kandidaatintyössä tutustutaan paremmin aaltoenergiaan ja sitä hyödyntäviin teknologioihin. Tarkoitus on kuvata menetelmiä ja niitä hyödyntäviä laitteita, kuitenkin liikaa perehtymättä mallinnukseen tai niiden sisältämiin osiin. Monet laitteet ovat vasta testausvaiheessa, joten niiden kustannuksia on vaikea verrata keskenään. Myös niiden tuottaman sähkön hintaa on vielä vaikea arvioida tarkasti, koska harvalla laitteella on pystytty testaamaan tarpeeksi kauaa.

Laitteita on kehitteillä ympäri maailmaa monien yritysten toimesta, joten työ rajautuu laitteisiin, joilla on eniten potentiaalia tulevaisuuden suhteen. Aaltoenergialaitteet ovat pahemmin sään armoilla merellä verrattuna esimerkiksi keskelle maata sijaitseviin tuulivoimaloihin ja aurinkopaneeleihin. Monen laitteen rahoitus onkin kaatunut jo testausvaiheessa, koska ne eivät selvinneet merten rajuisista aalloista.

Vuonna 2016 79,5 prosenttia tuotettiin fossiilisilla polttoaineilla, 2,2 prosenttia ydinenergialla ja 7,8 prosenttia perinteisellä biomassalla. Uusiutuvilla tuotettiin vasta vain 10,4 prosenttia. Energiantarve kasvaa jatkuvasti maapallolla ja uusiutuvilla energian tuottaminen kasvattaa suosiotaan ja haastaa perinteisemmät energiantuotantomuodot.

Vuonna 2017 yhteensä 2 195 GW energiasta tuotettiin uusiutuvalla energialla. Aaltoenergian osuus tuosta määrästä on vasta noin 0,5 gigawattia, koska harva laitteista

on kaupallisessa vaiheessa. Uusiutuvien energioiden määrien suhde on esitelty kuvassa 1. (REN21 2018)



Kuva 1 Kaavio vuoden 2017 uusiutuvista energialähteistä (REN21 2018)

2 AALTOENERGIA

Aurinko lämmittää planeettaa epätasaisesti ja saa ilman liikkumaan kylmistä kohdista lämpimämpiin muodostaen tuulia. Tuulet saavat aikaan värähtelyä veden pinnassa, joka kasvaa lumipalloefektin lailla, kunnes värähtely on kasvanut aalloiksi. Aaltojen kokoon vaikuttaa tuulen nopeus, kesto ja matka. (McGrath n.d.)

Aaltovoimalan on tarkoitus kerätä talteen aaltoihin sitoutunut energia ja muuttaa se sähköksi. Aaltoenergiaa hyödyntäviä laitteita on kehitteillä satoja ympäri maailmaa, joista suurin osa hyödyntää kahdeksaa Euroopan merienergiakeskus EMEC:n luokittelemaa yleisintä teknologiaa. Tämän lisäksi on kehitteillä muita laitteita, jotka hyödyntävät omanlaista teknologiaa. (EMEC n.d.,a)

2.1 Mahdollisuudet

Aaltoenergiassa on paljon potentiaalia, mutta sen luontoystävällisyys on sen suurimpia etuja. Tämän lisäksi aaltoenergia on luotettavaa ja tasaista, koska merillä aaltoja on runsaasti. Aaltoenergialla voidaan tuottaa paljon energiaa ja sitä voidaan asentaa tarpeen mukaan juuri oikea määrä. Aaltoenergialla tuottamisen lisääminen vähentää riippuvuutta muista energiantuotantomuodoista ja öljystä (Conserve Energy Future n.d.).

Aaltoenergialaitteet pystyvät valtaamaan uusia alueita merellä, jonne muita energiantuotantolaitoksia ei voida rakentaa ja sijainnin takia niistä suurinta osaa ei näy rannikolta. Aaltoenergialla tuotettaessa ei tarvitse maksaa polttoaineesta ja sen ylläpitokustannukset ovat pienet asennuksen jälkeen. (Greentumble 2015)

Aaltoenergiaa voidaan hyödyntää ympäri maapalloa ja laitteet voidaan asentaa juuri sinne, jossa energiaa tarvitaan. Tämä mahdollistaa sähkön tuomisen alueille, jonne sähkön siirtäminen maan kautta tai energian tuottaminen muuten on haasteellista. Tämän lisäksi laitteita on kehitteillä useita eri tyyppisiä, jotka mahdollistavat parhaan laitteen valinnan mihin tahansa ympäristöön. (Conserve Energy Future n.d.)

2.2 Haasteet

Aaltoenergia kehitys on monta vuotta tuulienergiaa jäljessä ja sen kehitys on ollut hidasta. Tämän takia teknologia on vielä muita uusiutuvia energiantuotantomuotoja kalliimpaa ja sen asennus vaatii suurempaa investointia. (Greentumble 2015)

Aaltoenergia laitteet vaativat eri asioita sijainnista riippuen. Avomerivoimalat pystyvät tuottamaan paljon, mutta sijaitsevat haastavammassa olosuhteissa. Kaukainen sijainti myös vaikeuttaa energian siirtämistä rannalle ja olla kallista (Greentumble 2015). Matalammassa vesissä on pienemmät aallot, joka parantaa kestävyyttä, mutta niiden sisältämä energia on pienempi. (Leino 2011)

Yksi aaltojen eduista on sen tasaisuus ja johdonmukaisuus, mutta aallot muuttuvat jatkuvasti erityisesti rannikkoalueilla. Aallot muuttuvat säiden ja vuoden aikojen mukaan, jotka vaikuttavat niiden korkeuteen ja aallokkoon. Laitteiden täytyy siis pystyä tuottamaan energiaa erilaisissa ja jatkuvasti muuttuvissa aalloissa.

Myrskyt ja isot aallokko aiheuttavat toisen ongelman, koska rakenteiden täytyy selvitä kaikista sääolosuhteista. Laitteen pitää myös pystyä ottamaan talteen vain sellaisen määrän energiaa, jonka se pystyy käsittelemään ja hyödyntämään (Alternative Energy Tutorials n.d.,b)

Laitteiden asennus voi vaikuttaa merialueiden käyttöön esimerkiksi laivojen ja kalastuksen kannalta. Jatkuvasti käytössä olevat laitteet voivat pitää kovempaa ääntä kuin aallot ja siten häiritä meren eliöitä ja rannikoilla asuvia ihmisiä. Jotkut laitteet sijaitsevat osittain veden pinnan yläpuolella, jolloin niistä voi olla myös visuaalista haittaa. Laitteet voivat myös vaikuttaa merien ekosysteemiin negatiivisesti. (Greentumble 2015)

3 BULGE WAVE

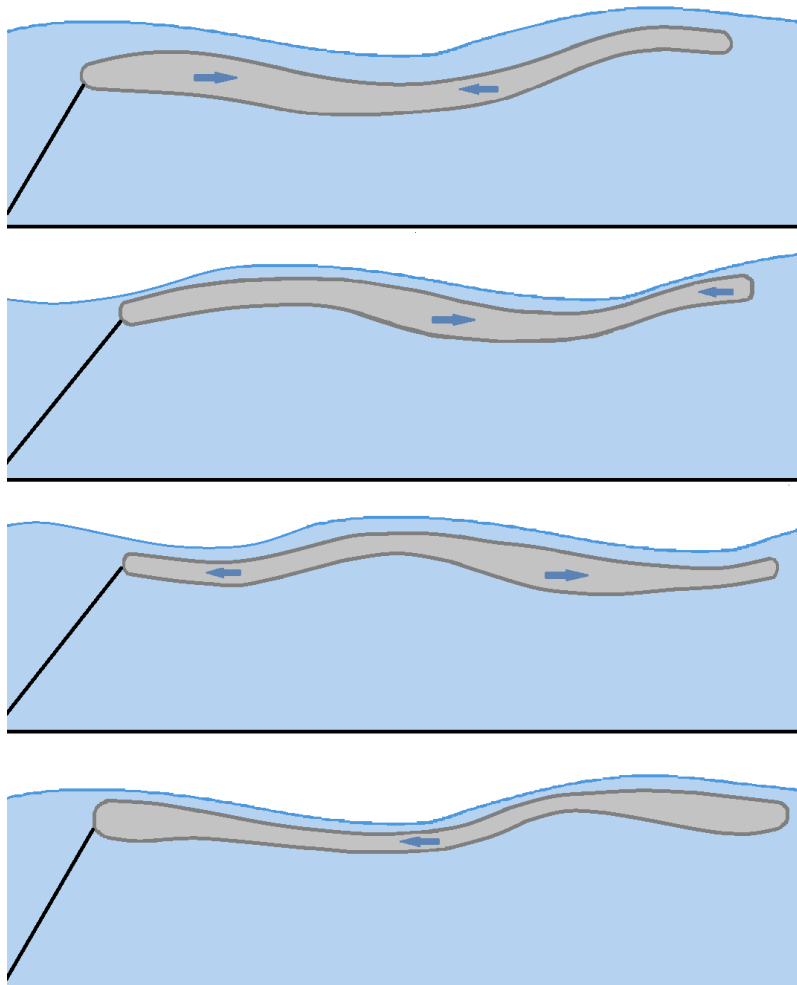
Bulge wave -teknologia perustuu vedellä täytettyyn putkeen, joka kelluu veden pinnan alapuolella. Ohikulkeva aalto aiheuttaa paineen putken sisälle, joka saa massan liikkumaan putken loppupäätä kohti. Pullistuman aiheuttaman paineen vaikutuksesta vesi virtaa turbiinien läpi, jolloin turbiinit alkavat pyörimään ja tuottavat energiaa generaattoriin. (EMEC n.d.,b)

3.1 Anaconda

Anaconda on Checkmate SeaEnergy:n kehittämä Bulge wave -teknologiaa käyttävä malli. Se on pitkä ja iso kumiputki, joka on suljettu molemmista päistä. Anaconda kiinnitetään ankkurilla meren pohjaan, jolloin sen annetaan liikkua vapaasti kohtisuorasti aaltojen mukana. Anacondan yksinkertaisen rakenteen ansiosta se on vastaavia laitteita halvempi tuottaa ja siinä ei ole saranoita ja niveliä, jotka menisivät rikki karuissa olosuhteissa. (REUK.co.uk n.d.)

Kammio on jaettu kahteen osaan, jossa ylhäällä kiertää korkeampi paine ja alapuolella sijaitsee putken matalapaineinen osa. Eri osien välillä on useita yksisuuntaisia venttiilejä, jotka antavat veden liikkua vain eteenpäin putkessa.

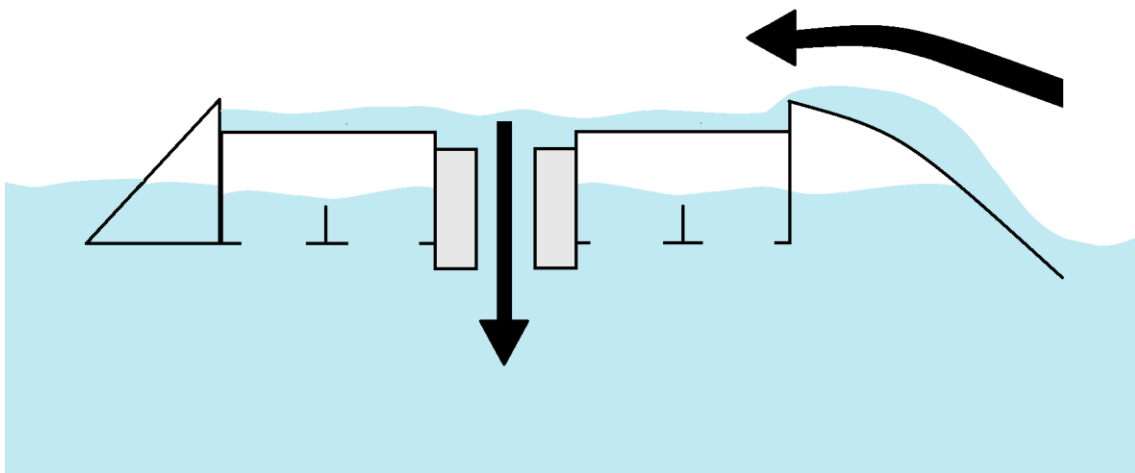
Ohikulkeva aalto puristaa putkea, joka saa vesimassan liikkumaan putkessa eteenpäin. Putki on tehty joustavasta kumista, jonka avulla pullistuma kasvaa ja kerää jatkuvasti enemmän energiaa sen liikkuessa (Sea Energy Anaconda n.d.,b). Pullistuma kulkee aallon edellä putken perää kohti ja päättyy säiliöön, kuten kuvassa 2. Paineen kasvaessa korkeaksi vesi virtaa painesäiliöstä hydrauliseen turbiiniin, joka pyörittää generaattoria. Vesi poistuu turbiinista matalapaineiseen säiliöön ja sieltä takaisin pääputkeen, jossa se päättyy kierron matalapaineiseen osaan. (Sea Energy Anaconda n.d.,a)



Kuva 2 Anacondan yksinkertaistettu toimintaperiaate paineiden liikkumisesta laitteen sisällä.

4 OVERTOPPING (A WAVE CAPTURE DEVICE)

Overtopping-laitteet sijaitsevat tyypillisesti rannan lähetyvillä. Aallot kulkeutuvat laitoksen rampeilla nousten korkeammalle, jolloin niiden potentiaalienergia kasvaa. Vesi nousee merenpinnan yläpuolelle ja virtaa laidan yli varastona toimivaan säiliöön, kuten kuvassa 3. Säiliön sisälle jäävä vesi valuu takaisin mereen pyörittäen samalla turbiinia. (EMEC n.d.,b)



Kuva 3 Overtopping-tekniikan toimintaperiaate yksinkertaistettuna.

4.1 Wave Dragon

Wave Dragon on joustava veden pinnalla kelluva laite, joka on ankkuroitu meren pohjaan. Sen rakenne koostuu vesisäiliöstä, siivekkeistä ja turbiinista, kuten kuvassa 4. Rakenteen ansiosta turbiini on laitteen ainut liikkuva osa. Wave Dragonia voidaan rakentaa eri kokoisina, joiden nimellistehoksi saadaan 1,5; 4, 7 ja 12 megawattia. (Wave Dragon n.d.,a)

Wave Dragonin molemmilla puolilla olevat siivet ohjaavat aallot keskellä laitetta sijaitsevalle rampille. Laite on ankkuroitu pohjaan siten, että se pääsee kääntymään siihen suuntaan, josta aallot tulevat. Rampin harjanteen takana oleva vesisäiliö kerää rampin yli tulevat aallot. Vesisäiliöstä vesi lasketaan virtaamaan takaisin mereen pyörittäen samalla turbiineja. (Wave Dragon n.d.,b)

Wave Dragon poikkeaa monista muista aaltoenergiälaitteista, koska hyödyntää aaltojen energiaa suoraan turbiineilla, jonne vesi virtaa. Tämä yksinkertaistaa energian muuntamista ja mahdollistaa rakenteen, jossa turbiini on ainut liikkuva osa. (Kofoed, Frigaard, Friis-Madsen & Sørensen 2006)

Wave Dragonilla on rakenteilla 112 megawatin aaltofarmi kahdenkymmenen kilometrin päähän yhdistyneen kuningaskunnan Pembrokeshiren rannikosta. Täysikokoisia Wave Dragoneita asennetaan 28 megawatin ryhmissä. (Tethys 2018b)



Kuva 4 Wave Dragonin prototyyppi merelle asennettuna (Wave Dragon n.d.,a).

5 OWC (OSCILLATING WATER COLUMN)

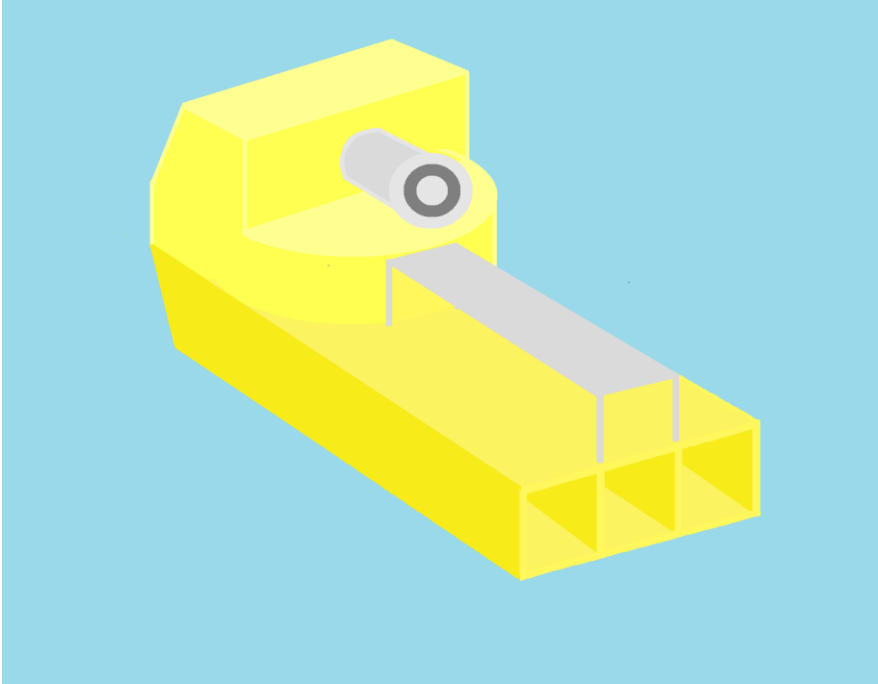
OWC-laitoksen sähköntuotanto perustuu aaltojen edestakaisin liikkeeseen laitoksen kammiossa. Kammioon muodostuu isoa mäntää muistuttava tila, kun merenpinta nousee ja laskee kammiossa aaltojen mukana. Ilmanpaine kasvaa ja vähenee, kuten männässä, aiheuttaen ilmavirran, joka pyörittää turbiinia. Turbiini pyörii jatkuvasti eri suuntiin vedenpinnan noustessa ja laskiessa. (Alternative Energy Tutorials n.d.,a)

OWC-teknologian kehittäminen on aloitettu jo 1940-luvulla ja sitä hyödyntäviä laitteita on kehitetty ja testattu kymmenien vuosien ajan eri yritysten ja maiden toimesta. Nykyään OWC-teknologia on yksi tutkituimmista aaltoenergiateknologioista ja sen prototyyppejä on asennettu eniten merelle. (Falcão & Henriques 2016)

5.1 OceanEnergy Buoy

OceanEnergy Buoy (OE Buoy) kuulostaa nimensä puolesta poijulta, mutta se hyödyntää Oscillating Water Column -tekniikkaa. Kestävyys on ollut tärkeä osa suunnittelua ja sen parantamiseksi laitteessa on vain yksi liikkuva osa ja vahva ankkurointi. Laitteen yksinkertaistettu malli näkyy kuvassa 5. Laitteen on todettu kestävän jopa Atlantin isoista aalloista ja myrskyistä kolmen vuoden ajan. (OceanEnergy n.d.)

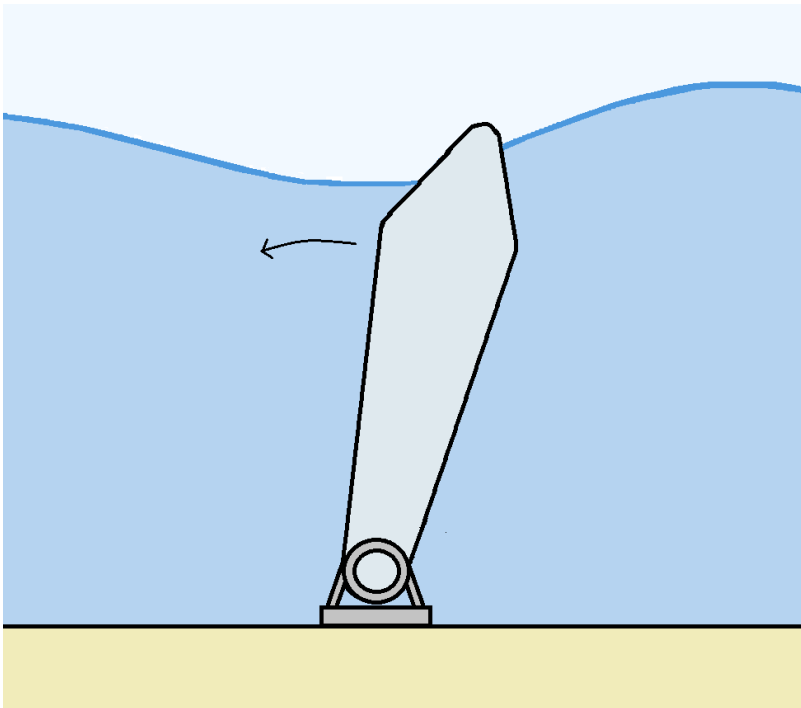
Keväällä 2019 valmistuu useiden prototyyppien jälkeen ensimmäinen täysikokoinen 38-metrinen OE Buoy. Sen nimellistehoksi suunnitellaan 1,25 megawattia ja se siirtyy seuraavaksi testattavaksi avomerelle. (MarineEnergy.biz 2018c)



Kuva 5. Yksinkertaistettu malli OE Buoy prototyypistä.

6 OWSC (OSCILLATING WAVE SURGE CONVERTER)

OWSC-laitos hyödyntää veden partikkelien värähtelyä, joka aiheuttaa aaltoilevan liikkeen laitoksen runkoon. OWSC-laitoksessa voi olla joko saranoitu siiveke, kuten kuvassa 6, joka liikkuu aaltojen mukana tai mäntää muistuttava rakenne. (Dhanak, Xiros 2016)



Kuva 6. OWSC-teknologian toiminnan periaate merellä.

6.1 WaveRoller

WaveRoller on suomalaisen AW-Energyn kehittämä laite. Sen teknologia perustuu aaltojen liikkeeseen, joka saa WaveRollerin levyn heilumaan edestakaisin, kuten kuvassa 7. Hydraulinen mäntä pumppaa nesteitä laitteen sisäisessä ilmatiiviissä kierrossa. Korkeapaineiset nesteet pyörittävät hydraulista moottoria, joka tuottaa energiaa generaattorin avulla.

Waveroller sijoitetaan alle kahden kilometrin päähän rannasta noin 8-20 metrin syvyyteen. Laite sijoitetaan merenpohjaan siten, että se on osittain tai kokonaan veden pinnan alla, riippuen vuorovesistä. Yhden WaveRollerin nimellisteho on 350-1000

kilowattia riippuen mallista. Laitteita voidaan sijoittaa yksittäin tai aaltofarmeihin riippuen paljonko halutaan tuottaa.

WaveRollerissa on vain yksi liikkuva osa, joka vähentää mahdollisia rikkoutuvia osia. Sijainnista on myös hyötyä, koska ranta-alueilla säästyy pahimmilta meriolosuhteilta ja laitteeseen on läheisen sijainnin takia helppo päästä käsiksi. (WaveRoller n.d.)



Kuva 7 WaveRollerin mallinnettu versio ja kokoluokka ihmiseen verrattuna (WaveRoller n.d.).

7 POINT ABSORBER

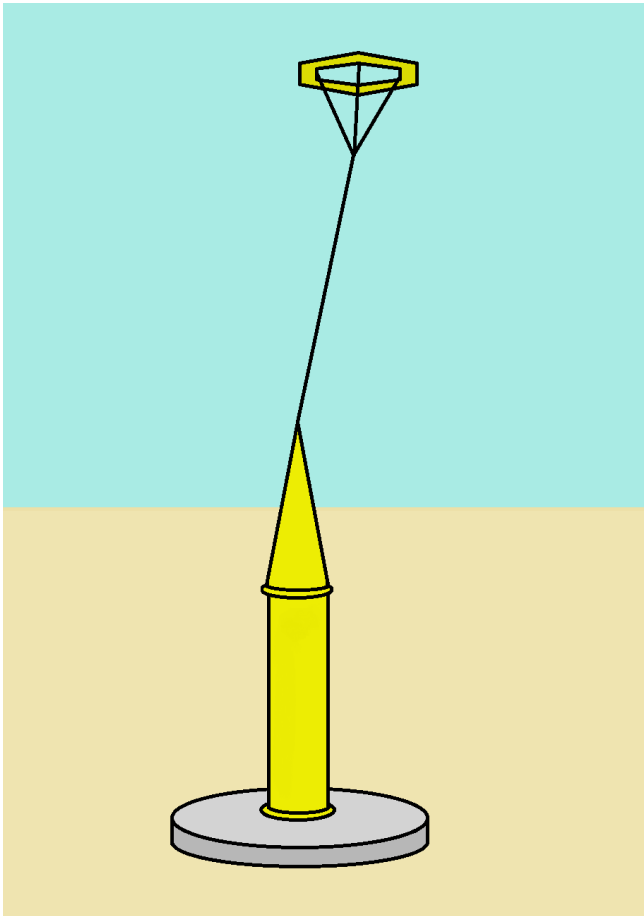
Point absorber -laitteet muistuttavat poijuja, jotka kelluvat veden pinnalla tai ovat upoksissa veden alla. Poijut keräävät sähkömagneettista energiaa aaltojen keinuvasta liikkeestä. Poijut ovat pieniä suhteissa aallonpituuteen. (Dhanak, Xiros 2016)

7.1 Seabased WEC

Seabased WEC on teräksestä tehty renkaan muotoinen poiju, joka on yhdistetty synteettisellä kaapelilla merenpohjalla sijaitsevaan laitteeseen, kuten kuvassa 8. Poijun noustessa ja laskiessa aaltojen mukana se liikuttaa kaapelia, jonka liikkeen roottori muuttaa sähköksi. (Tethys 2018a)

Seabased on tehty kestävämyrskyjä, mutta se on suunniteltu hyödyntämään vaimeampia aaltoja, jotka ovat vain noin 1-3 metrin korkuisia, joita on paljon trooppisilla alueilla. Trooppisilla alueilla olevat pienemmät aallot mahdollistavat halvemmat asennus- ja ylläpitokustannukset. Teknologiaa on testattu useamman vuoden ajan isoissa ja epäsäännöllisissä aalloissa sekä jäisissä vesissä. (Seabased n.d.,a)

Ruotsiin asennettiin Seabased WECin laitteista yhden megawatin aaltofarmi, johon kuului 34 laitetta (Tethys 2018b). Karibialle ollaan rakentamassa syksyllä 2019 kaksi kahdenkymmenen megawatin aaltofarmia. Tämän lisäksi tällä hetkellä on rakenteilla sadan megawatin aaltofarmi Ghanaan ja sopimuksia tehty muidenkin maiden kanssa. (Seabased n.d.,b)



Kuva 8. Seabased WEC prototyyppi, joka on ankkuroitu merenpohjaan.

7.2 Wavestar

Wavestarin teknologia perustuu osittain upoksissa olevista poijuihin, jotka liikkuvat aaltojen mukana. Poijut ovat kiinnitetty yläpuolelta laituria muistuttavaan alustaan, jonka jalat ovat merenpohjassa. Eri puolilla alustaa olevat poijut nousevat eri aikoihin aaltojen mukana, joka mahdollistaa jatkuvan energiantuoton. Poijujen liike pyörittää hydrauliiikan avulla generaattoria, joka tuottaa sähköä. (Wavestar n.d.)

Wavestarilla on patentoitu tekniikka, joka suojelee sitä myrskyiltä ja takaa sen toimimisen rajuissakin olosuhteissa. Se myös automaattisesti nostaa poijut ylös merestä sään muuttuessa liian myrskyisäksi. Tämän lisäksi Wavestarilla on positiivinen vaikutus

meren ekosysteemiin, sillä se tarjoaa meren eliöille turvapaikan ja vähentää kalastusta alueella.

Wavestaria on testattu vuodesta 2006 lähtien menestyksekkäästi. Vuonna 2016 oli kehitteillä 500 kilowatin laite, jonka jälkeen tavoittelee 1 megawatin laitetta. Lopullista laitetta suunnitellaan kaksi kertaa isommaksi, jonka nimellisteho on kuusi megawattia. (Hewlett 2016)



Kuva 9 Wavestar sivu laillinen

7.3 CorPower

CorPowerin laite on aaltojen mukana liikkuva poiju, joka ankkuroidaan kaapelilla merenpohjaan. Poijun liike pyörittää turbiinia, joka muuntaa aaltojen energian sähköksi. CorPower poijujen muoto näkyy kuvassa 10.

CorPowerin poijut ovat muita vastaavia laitteita 80 prosenttia kevyempiä, jonka avulla ne pystyvät liikkumaan kevyemmin aaltojen mukana ja tuottamaan siten vastaavia laitteita enemmän energiaa. Kahdeksan metriä leveän CorPower:n nimellisteho on 300 kilowattia. Kevyen rakenteensa takia myös niiden ankkuroiminen vaatii vähemmän painoa ja kokonaisuudessaan rakennus- ja materiaalikustannukset laskevat. (Choi 2015)

CorPowerin uudenlainen teknologia, joka kontrolloi laitteen kulmaa suhteessa aaltoihin, mahdollistaa laitteen toimimisen erilaisilla aalloilla ja tehostaa samalla sen energian

talteenottoa. Teknologia mahdollistaa myös laitteen koon pienentämisen ja parantaa sen selviytymistä myrskyistä. (CorPower Ocean 2012)

Vuonna 2018 asennettiin Iso-Britannian rannikolle yksi CorPowerin pienemmässä mittakaavassa rakennettu prototyyppi. Prototyypin mittasuhte on 1:2 ja sen nimellisteho on 25 kilowattia. (Tethys 2018a)



Kuva 10. CorPowerin poijujen poikkeuksellinen muoto.

7.4 PowerBuoy

PowerBuoy on Ocean Power Technologies (OPT): n kehittämä laite, joka on ankkuroitu merenpohjaan, mutta pääsee silti liikkumaan vapaasti aalloissa. Laitteen liike liikuttaa mäntää muistuttavaa rakennetta, jonka avulla tuotetaan sähköä. PowerBuoy:n rakenne näkyy kuvassa 11. (Handwerk 2014)

PowerBuoy koostuu kellukkeesta, mastosta ja levystä, joka pitelee laitetta vakaana. Masto sisältää tilaa ylimääräiselle akulle tarvittaessa. Kellukkeen ja maston liike pyörittää mekaanista systeemiä, joka muuntaa lineaarisen liikkeen pyöriväksi liikkeeksi. Aikaan saatu pyörivä liike pyörittää generaattoreita. (Ocean Power Technologies n.d.)

Laitte sijaitsee noin viiden kilometrin päästä rannikosta ja on vain hieman yli kymmenen metriä korkea, joten laitteesta ei ole visuaalista haittaa. Tämän lisäksi PowerBuoy on ankkuroitu merenpohjaan siten, että se ei haittaa sen ekosysteemiä, vaan saattaa jopa edistää sitä. Laitteet pystyvät toimimaan kaukaisissakin sijainneissa ja sensoreiden avulla

tarkkailemaan merta. Sensoreiden avulla laite pystyy myös sammuttaa itsensä aaltojen kasvaessa liian suuriksi. (Handwerk 2014)

PowerBuoy'n teknologia on suunniteltu skaalautuvaksi ja pystytään muokkaamaan tarpeiden mukaiseksi. Tällä hetkellä PowerBuoyta valmistetaan kahta kokoa, joiden nimellistehot ovat 3 tai 15 kilowattia. (Ocean Power Technologies n.d.)



Kuva 11. PowerBuoy asennettuna merelle (Ocean Power Technologies n.d.).

8 PYÖRIVÄ MASSA (ROTATING MASS)

Pyörivää massaa hyödyntävä laite ottaa energiaa aalloista talteen heilumalla ja heijaamalla aaltojen mukana. Laitteen sisällä oleva rakenne alkaa pyörimään, joka pyörittää samalla generaattoria, joka tuottaa sähköä. (EMEC n.d.,b)

8.1 Penguin

Penguin on suomalaisen Wello yrityksen kehittämä aaltoenergiaa hyödyntävä laite. Penguin on vedenpinnalla kelluva laite, jonka epäsymmetrinen muoto mahdollistaa energian saamisen aalloista joka suunnasta. Täysikokoinen versio Penguin WEC :sta on leveimmästä kohdasta 30 metriä leveä ja sen nimellisteho on 600 kilowattia.

Penguin hyödyntää patentoitua teknologiaa, joka muuntaa aaltojen liikkeen pyöriväksi liikkeeksi. Pyörivä liike voidaan käyttää suoraan generaattorin pyörittämiseen sitä muuttamatta. Samanlaisena pysyvä liike vähentää sen muuntamiseen kuluva energiaa ja parantaa siten laitteen tehoa. (Wello n.d.)

Penguin WEC-2 on saatu edellistä versiota 110 prosenttia tehokkaammaksi ja sen virtaviivainen malli näkyy kuvassa 12 (MarineEnergy.biz 2018a). Penguin WEC-2: a ollaan asentamassa Skotlannin rannikolla alkuperäisen Penguin WEC :n vierelle. Tavoitteena on asentaa testattavaksi kolme verkkoon yhdistettyä Penguinia, joista

ensimmäinen Penguin WEC on selvinnyt menestyksekkäästi yli 18-metrisistä aalloista.
(EMEC 2018)



Kuva 12. Penguin WEC2 satamassa (Wello n.d.).

9 SUBMERGED PRESSURE DIFFERENTIAL

Submerged pressure differential -laitteet sijaitsevat yleensä merenpohjassa rannikon lähellä. Aaltojen liike muuttaa merenpinnan korkeutta ja aiheuttaa paine-eron laitteen ja merenpinnan välille. Paine saa laitteen liikkumaan edestakaisin pumppaamista muistuttavalla tavalla. (EMEC n.d.,b)

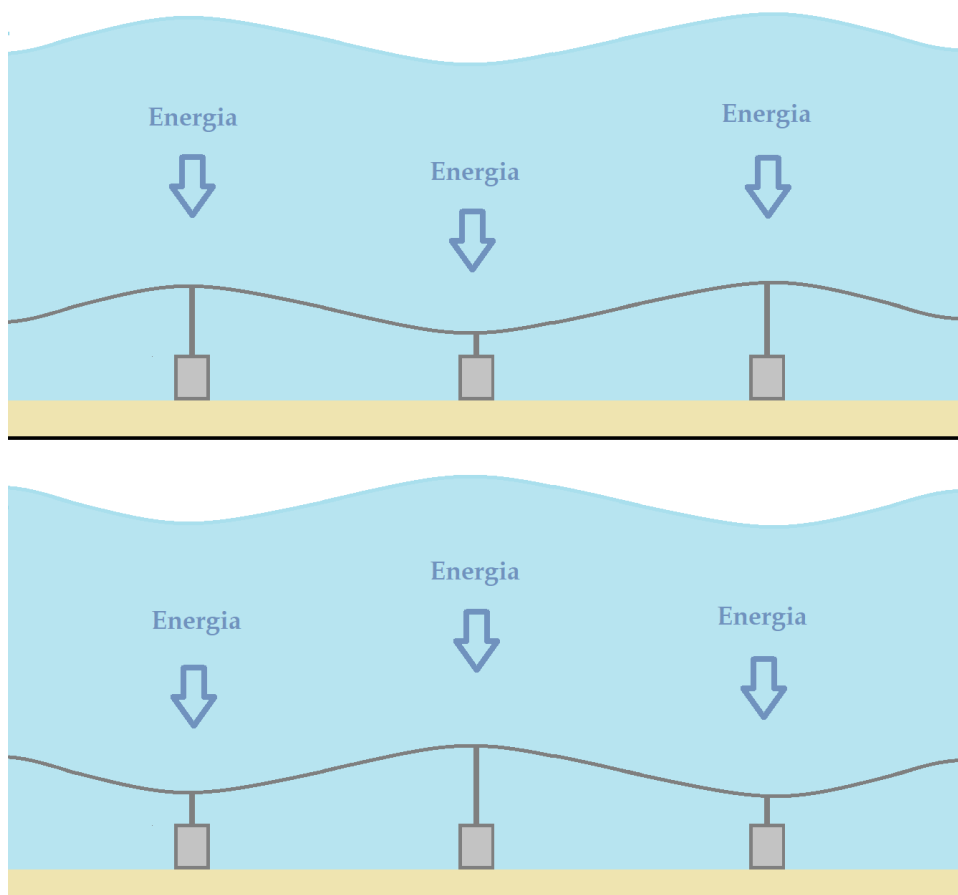
9.1 Wave Carpet

Wave Carpet on CalWave Power Technologies ja Kalifornian yliopiston TAF Labin kehittämä, submerged pressure differential -teknologiaa hyödyntävä laite. Wave Carpet on yksinkertainen ja sitä pystytään laajentamaan tarpeiden mukaan. Laitteen suurimpia etuja on sen kyky selviytyä myrskyistä ja sen sijainti rannan lähetyvillä ilman visuaalista haittaa tai uhkaa siihen osumisesta. (Cyclotronroad 2016)

Wave Carpet sijoitetaan veden pinnan alapuolelle merenpohjan lähelle, jossa mattoa muistuttava laite myötäilee aaltojen liikettä, kuten kuvassa 13. Wave Carpetin liike liikuttaa siinä kiinni olevia pumppuja, joka aiheuttaa hydraulisen paineen. Hydraulinen paine ohjataan rannalle, jossa se muunnetaan energiaksi. (Back 2016)

Yrityksen tavoitteena on Wave Carpetin avulla tuottaa sähköä ja puhdasta vettä. Laitteen inspiraationa toimi mutainen merenpohja, joka absorboi ohi kulkevien aaltojen liikettä. (CalWave Power Technologies n.d.)

Energian tuottamisen lisäksi Wave Carpetin kyky vaimentaa aaltoja luo turvallisempia alueita merelle ja satamiin, sekä estää eroosiota. Prosessissa myös syntyy korkeapaineista merivettä, jota voidaan käyttää sähkön tuottamiseen ja puhtaan veden tuottamiseen merivedestä. Korkeapaineista vettä on mahdollistaa säilyttää varastossa ja myöhemmin käyttää vesivoimalaitoksen tyyppisessä ratkaisussa, joka mahdollistaa sähköntuotannon tasapainottamisen. (TAF Lab n.d.)



Kuva 13. Wave Carpetin toiminnan periaate.

9.2 mWave

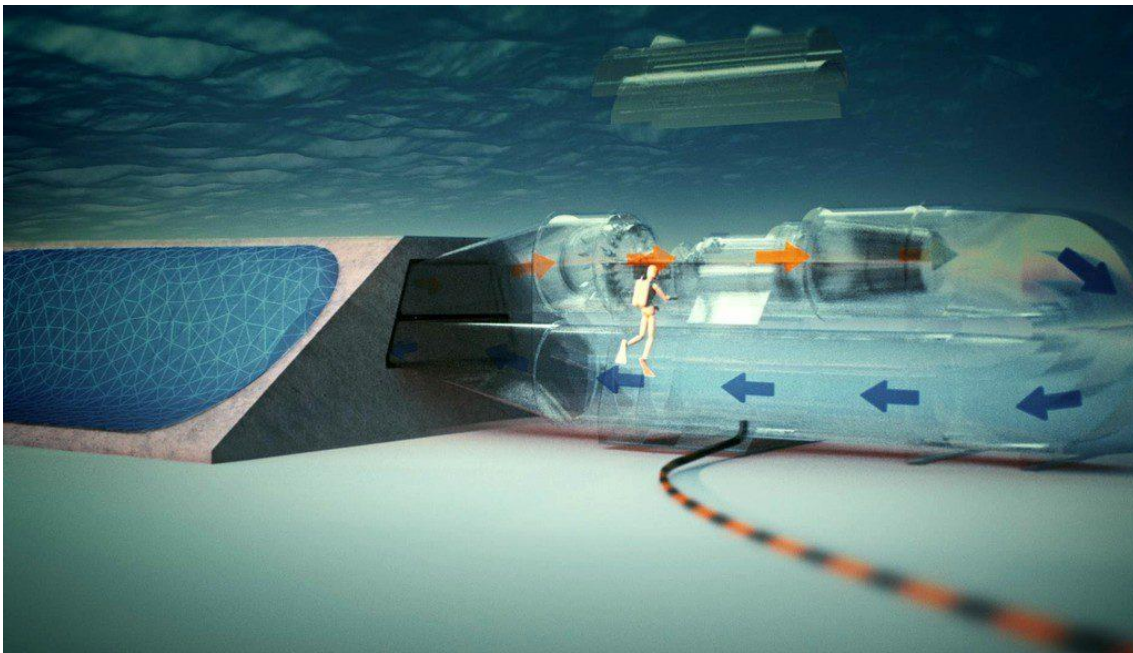
Bombora Wave Power Pty Ltd on kehittänyt mWaven, josta tavoitteena on rakentaa seuraavaksi täysikokoinen laite testattavaksi (Whitlock 2017). MWaven teknologia hyödyntää merenpohjaan syntyvää painetta, joka aiheutuu aalloista.

Kumista tehdyt kalvot täytetään ilmalla ja kiinnitetään kulmassa aaltojen suhteen betonijalustaan. Aaltojen kulkiessa ohi paine puristaa kalvoja ja ilma niiden sisällä liikkuu putkea pitkin turbiiniin, kuten kuvassa 14. Matkalla olevat venttiilit mahdollistavat ilman liikkumisen vain yhteen suuntaan. Turbiini pyörittää generaattoria, jonka jälkeen ilma palaa putkia pitkin takaisin kalvoihin.

MWaven materiaali on kevyttä ja pystyy hyödyntämään eri korkuisia ja eri aallonpituuksilla olevia aaltoja hyvin. Kevyestä painosta huolimatta se on vahvaa ja sillä

ei ole ollenkaan liikkuvia osia esillä. MWave on suunniteltu yksinkertaiseksi ja helposti huollettavaksi, joka vähentää huoltoon käytettyä aikaa ja parantaa siten sen tehoa.

MWave sijaitsee merenpohjassa, jonka takia riski laitteen tuhoutumisesta myrskyissä on pienempi ja se voidaan sijoittaa juuri sinne missä energiaa tarvitaan. Tämän lisäksi siihen on rakennettu kyky sammuttaa itsensä pois päältä isoimpien myrskyjen ajaksi. (Bombora wave power n.d.)



Kuva 14. MWaven rakenne mallinnettuna meren pohjalle (Bombora wave power n.d.).

10 VAIMENTIMET (ATTENUATOR)

Vaimennin on kelluva laite, joka on vaakasuunnassa suoraan kohdistettuna suoraan aaltoihin (EMEC n.d.,b). Yleisimmin laitteen osat ovat yhdistetty saranoilla, jotka mahdollistavat osien liikkumisen aaltojen mukana. Saranoiden liikkeestä pystytään generoimaan energiaa. (The Liquid Grid n.d.)

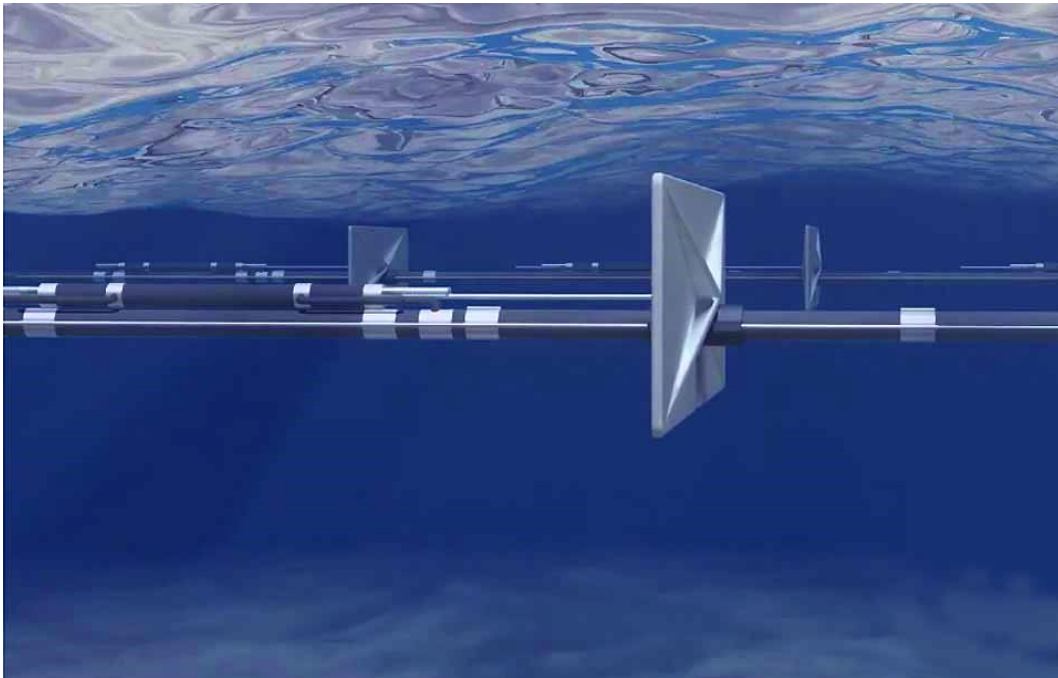
10.1 Wavepiston

Wavepiston on lähellä rantaa sijaitseva laite, joka koostuu monesta identtisestä osasta, jotka ovat kiinnitetty toisiinsa putkella, joka pumppaa vettä rantaa kohti. Wavepistonin teknologia vähentää siihen tulevaa painetta ja siten yksinkertaisempi ankkurointi ja rakenne riittää. (Alien 2014)

Yhdessä laitteessa on yksi naru, jossa on useita energian kerääjiä kiinnitettynä. Jokaiseen energian kerääjään kuuluu levy ja kaksi pumppua, kuten kuvassa 15. Energiankerääjä muuntaa pumppujen avulla aallot paineistetuksi vedeksi. Levy liikkuu aaltojen mukana ja pumppaa veden systeemiin kiinnitettyyn putkeen. Paineistettu vesi kulkeutuu putkessa rannalla olevaan generaattoriin, joka muuntaa sen sähköksi. (MarineEnergy.biz 2018d)

Suunnitellulla Wavepistonista on saatu edullinen vaihtoehto, jonka takaa sen yksinkertainen, vankka ja standardoitu rakenne. Laite sijoittuu myös täysin vedenpinnan alapuolelle, joten siitä ei ole visuaalista haittaa.

Wavepistonista on testattu useita prototyyppisiä, joista viimeisimmät testaukset loppuivat vuonna 2018. Wavepistonin tavoitteena on päästä vuoteen 2021 mennessä kansainvälisille markkinoille. (Wavepiston n.d.)



Kuva 15. Wavepistonin prototyyppi merellä (Wavepiston n.d.).

11 KEHITTEILLÄ OLEVAT TEKNOLOGIAT

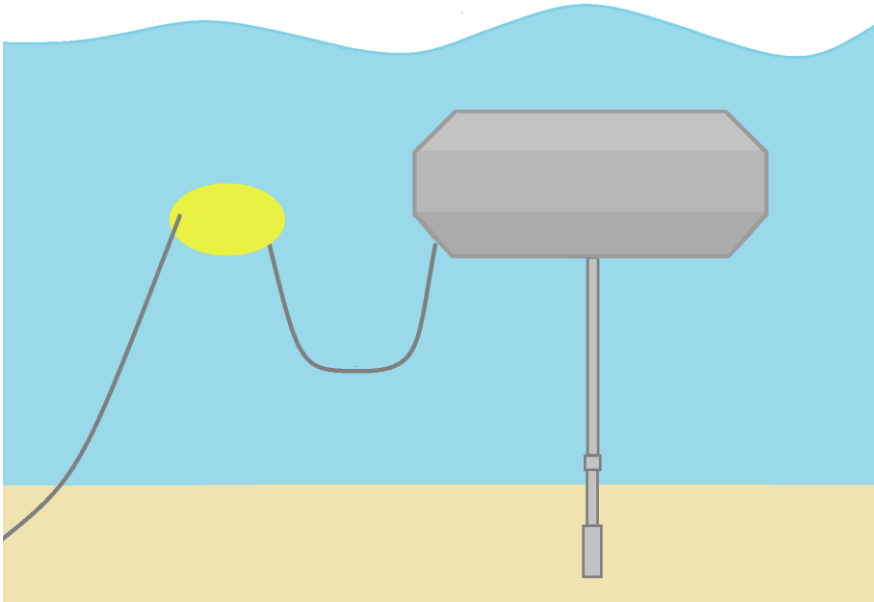
11.1 CETO

Australialainen Carnegie Wave Energy on kehittänyt CETO nimisen laitteen. CETO on nimetty kreikkalaisen meren jumalattaren mukaan ja sen luvataan selviytyvän meren kovista olosuhteista. Vedenpinnan alapuolella laite on suojassa suurimmilta myrskyiltä ja poissa näkyvistä.

CETO tuottaa sähköä ja sen lisäksi tekee puhdasta vettä. Siihen kuuluu vedenalainen poiju, joka liikuttaa pumppua ja generaattoria. (Dodgson 2016)

CETO on suunniteltu erilaisiin olosuhteisiin, syvyyksiin, merenpohjiin ja generaattorityypeille. Sen poijumainen osa liikkuu aaltojen mukana, joka aiheuttaa liikkeen, jonka hydraulinen pumppu, muuntaa paineistetuksi nesteeksi, jonka avulla tuotetaan sähköä. (Carnegie n.d.)

CETO 6 on viimeisin versio CETO: sta ja sen nimellisteho on 1,5 megawattia. Se on suunniteltu uudestaan ja ankkuroitu useammasta kohdasta. CETO 6 :a testataan vuoden ajan aaltofarmilla, jonka jälkeen Carnegie pyrkii tuomaan se kilpailemaan uusiutuvan energian markkinoille. (Off Grid Energy Independence 2018)



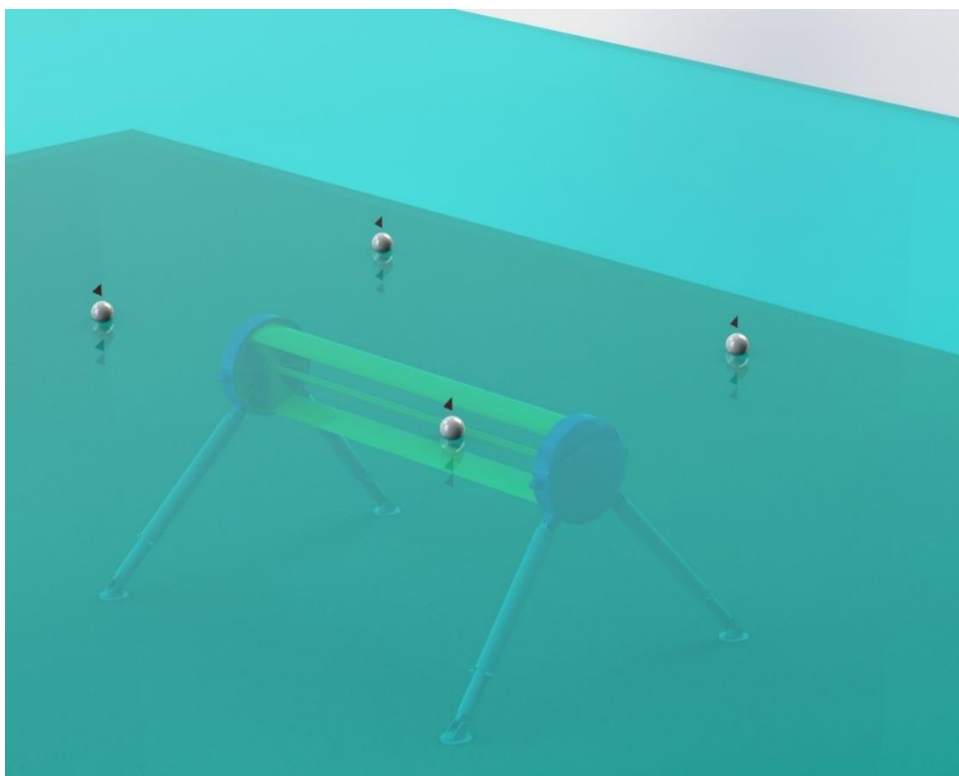
Kuva 16. Malli CETO 6 prototyypistä.

11.2 Cycloidal Wave Energy Converter (CycWEC)

Atargis Energy Corporation on kehittänyt laitteen Cycloidal Wave Energy Converter. Täysikokoisen CycWECin nimellistehoksi tulee viisi megawattia. CycWEC käyttää kantosiipiä, kuten kuvassa 17, jotka liikkuvat aaltojen mukana. Liike aiheuttaa pyörivää liikettä, joka voidaan muuttaa generaattorin avulla sähköksi.

CycWEC toimii täysin veden alla ja pystytään sammuttamaan kääntämällä siipiä. Tällä teknologialla pystytään minimoimaan laitteen vauriot myrskyssä. (Subsea World News 2012)

Atargis on suunnitellut CycWECin alusta asti hyödyntäen tuulivoimaloissa käytettyä teknologiaa. CycWECin teknologiaa mahdollistaa energian talteen ottamisen kaikissa mahdollisissa aalloissa, kuitenkin rikkoutumatta niissä. Seuraavana CycWECin kehityksessä on vaiheessa testaukset avomerellä. (Atargis Energy Corporation n.d.)



Kuva 17. Prototyyppi CycWECista meren pohjassa (Atargis Energy Corporation n.d.).

11.3 NEMOS

NEMOS on pitkulainen kappale, joka kelluu veden pinnalla, kuten kuvassa 18, ja muuntaa aaltojen energiaa sähköksi siihen kiinnitettyjen hihnojen avulla. Laite liikkuu kaarevalla liikeradalla ylös alas aaltojen mukana ja hihnat pyörittävät generaattoria laitteen liikkuesssa. NEMOSTa pystytään säätämään ympäristön mukaan siten, että se pystyy ottamaan talteen suurimman mahdollisen määrän energiaa.

Laite pystytään laskemaan syvemmälle veteen, jolloin se on turvassa pahimmilta myrskyiltä. Yrityksen mukaan laite pystyy jatkamaan energian talteenottoa veden pinnan alapuolella (MarineEnergy.biz 2018b). Viimeisin prototyyppi asennettiin avomerellä testattavaksi vuonna 2018. (NEMOS n.d.)



Kuva 18. NEMOS mallinnettuna merelle (NEMOS n.d.).

12 YHTEENVETO

Aaltoenergia on tulevaisuuden ala, jota kehitetään ympäri maailmaa monilla eri tekniikoilla. Aaltoenergia on muita uusiutuvia energiantuotantomuotoja jäljessä, mutta siihen sijoitetaan jatkuvasti enemmän ja ensimmäiset laitteet ovat jo kaupallisilla markkinoilla. Osia teknologioista on testattu ja kehitelty jo kymmenien vuosien ajan ilman menestystä.

Suurimman osan laitteiden kanssa ei ole löytynyt rakenteesta tai teknologiasta ongelmia vaan rahoitus on loppunut kalliiden testauksien ja osien takia. Monissa maissa, joissa aaltoenergialla tuottaminen olisi tehokasta voidaan tuottaa jo halvalla sähköä, joka ei tee sen asentamisesta kannattavaa. Aaltoenergialaitteita voidaan kuitenkin asentaa lähes kaikkialle, joten se mahdollistaa sähkön tuottamisen juuri siellä missä sitä tarvitaan.

Taulukossa 1 ovat kaikki työssä esitellyt laitteet ja niiden tärkeimmät ominaisuudet eli sijainti, nimellisteho ja kehitysvaihe listattuna. Kaikista laitteista ei löydy kaikkia tietoja niiden kehityksen aikaisen vaiheen takia tai julkisten tulosten puutteen takia. Kaikki laitteet ovat kuitenkin viimeisten tietojen mukaan edelleen kehitteillä.

Selvitäkseen meressä, tulee laitteiden kehittäjien ottaa kaikki olosuhteet huomioon. Pahimmilta myrskyiltä ja aalloilta suojautuakseen osa laitteista lasketaan syvemmälle mereen, jossa aallot eivät ole yhtä voimakkaita tai niissä on vain yksi liikkuva osa, joka vähentää laitteiden rakenteen osien rikkoutumista. Esimerkiksi Wave Carpet, jonka idea on lähtenyt luonnosta, sijaitsee koko ajan merenpohjassa, joka suojaa sen meren olosuhteilta. Osa laitteista pystyy myös sammuttamaan itsensä aaltojen kasvaessa liian suuriksi.

Aalloissa selviämisen lisäksi ongelma on sähkön siirtäminen merestä rannikolle. Tehokkaimpia ratkaisuja sähkön siirtämisen kulujen pienentämiseksi ovat laitteet, jotka sijaitsevat lähellä rantaa tai jopa muuttavat aaltojen energian sähköksi vasta maalla, jolloin muuntajien osien ei tarvitse kestää meressä. Esimerkiksi WaveRoller on pystynyt tällä tavalla tekemään sähkön siirtämisestä maalle tehokkaampaa, kuitenkin pilaamatta maisemaa maalta päin, koska laite on jatkuvasti osittain tai täysin upoksissa.

Kustannusten puolesta parhaimpia valintoja ovat pienet laitteet, kuten poijuja muistuttavat, koska niiden rakentaminen ja asentaminen ei vaadi yhtä paljon kuin useiden megawattien suurikokoiset laitteet. Kaikkia aaltoenergialaitteita voidaan asentaa aaltofarmeiksi, jolloin laitteita voidaan asentaa juuri tarpeen mukaan.

Taulukko 1 Laitteiden sijainnit, nimellistehot ja kehitysvaiheet

| Laite | Sijainti merellä | Sijainti | Nimellisteho | Kehitysvaihe |
|-------------------------|-------------------------|----------------------------|---------------------|---|
| Anaconda | avomerellä | kelluu vedenpinnalla | | |
| Wave Dragon | avomerellä | kelluu vedenpinnalla | 1,5-12 MW | Täysikokoisia prototyyppejä asennettu merelle (2018) |
| OceanEnergy Buoy | avomerellä | kelluu vedenpinnalla | 1,25 MW | Täysikokoinen prototyyppi valmis keväällä 2019 |
| WaveRoller | lähellä rannikkoa | osittain/ täysin upoksissa | 350 kW - 1MW | Kaupallisilla markkinoilla |
| Seabased WEC | avomerellä | kelluu vedenpinnalla | 1 MW (34 laitetta) | Kaupallisilla markkinoilla |
| Wavestar | avomerellä | kelluu vedenpinnalla | 0,5-6 MW | |
| CorPower | avomerellä | kelluu vedenpinnalla | 300 kW | 1:2 mittasuhteen prototyyppi asennettu merelle (2018) |
| PowerBuoy | avomerellä | kelluu vedenpinnalla | 3 tai 5 kW | Kaupallisilla markkinoilla |
| Penguin | avomerellä | kelluu vedenpinnalla | 600 kW | Täysikokoinen 2. prototyyppi asennetaan merelle (2018-2019) |
| Wave Carpet | lähellä rannikkoa | merenpohjassa | | |

| | | | | |
|-------------------|-------------------|-------------------------|-------------------|---|
| mWave | avomerellä | merenpohjassa | 1,5 MW | 1,5 MW:n prototyyppi suunnitteilla testattavaksi |
| Wavepiston | lähellä rannikkoa | vedenpinnan lähetyvillä | Prototyyppi 12 kW | 1:2 mittasuhteen prototyyppi asennettu merelle |
| CETO | avomerellä | upoksissa | 1,5 MW | CETO 6 prototyyppi asennettu merelle (2018) |
| CycWEC | avomerellä | merenpohjassa | 5 MW | 1:20 mittasuhteen prototyyppi suunnitteilla testattavaksi aaltoaltaassa |
| NEMOS | avomerellä | vedenpinnalla | | 1:3 mittasuhteen prototyyppi asennettu merelle (2018) |

Energiantarve kasvaa jatkuvasti ja aaltoenergia ei pysty pelkästään tuottamaan kaikkea tarvittua energiaa. Aaltoenergiälaitteiden päästessä kaupallisille markkinoille ne voivat parhaimmillaan tarjota ympäristöystävällisemmän ja kilpailukykyisen vaihtoehdon. Harvat laitteet ovat vielä pitkällä kehitysvaiheessa, mutta aaltoenergiaan sijoitetaan jatkuvasti enemmän, joka mahdollistaa teknologioiden kehityksen tulevaisuudessakin.

LÄHDELUETTELO

'King' Penguin soon to form Scottish clean energy raft, 2018a, *MarineEnergy.biz*, [verkkosivu]. [viitattu 24.1.2019]. Saatavissa: <https://marineenergy.biz/2018/08/10/king-penguin-soon-to-form-scottish-wave-energy-raft/>

Advantages and Disadvantages of Wave Power, 2015, Greentumble, [verkkosivu]. [viitattu 20.1.2019]. Saatavissa: <https://greentumble.com/advantages-and-disadvantages-of-wave-power/>

Anaconda Bulge Wave Power Generator, n.d., *REUK.co.uk*, [verkkosivu]. [viitattu 17.11.2018]. Saatavissa: <http://www.reuk.co.uk/wordpress/wave/anaconda-bulge-wave-power-generator/>

Anaconda, n.d.,a, *Sea Energy Anaconda*, [verkkosivu]. [viitattu 17.11.2018]. Saatavissa: <http://www.checkmateukseaenergy.com/anaconda/>

Atargis Energy Concludes Testing of CycWEC (USA), 2012, *Subsea World News*, [verkkosivu]. [viitattu 16.1.2019]. Saatavissa: <https://subseaworldnews.com/2012/07/27/atargis-energy-concludes-testing-of-cycwec-usa/>

Back, Brian, 2016, 'From the test tank to the open ocean: Wave energy's make-or-break moment', *University of California (UC)*, [verkkosivu]. [viitattu 13.1.2019]. Saatavissa: <https://www.universityofcalifornia.edu/news/calwave>

CalWave, 2016, *Cyclotronroad*, [verkkosivu]. [viitattu 13.1.2019]. Saatavissa: <http://www.cyclotronroad.org/calwave/>

Choi, Charles Q., 2015, 'New Wave System Claims Huge Energy per Ton Potential', *IEEE SPECTRUM*, [verkkosivu]. [viitattu 12.11.2018]. Saatavissa: <https://spectrum.ieee.org/energywise/green-tech/geothermal-and-tidal/gearbox-boosts-wave-energy-5fold>

Collaboration to develop CETO wave energy technology, 2018, *Off Grid Energy Independence*, [verkkosivu]. [viitattu 16.1.2019]. Saatavissa: <https://www.offgridenergyindependence.com/articles/15038/collaboration-to-develop-ceto-wave-energy-technology>

Concept, n.d., *Wavestar*, [verkkosivu]. [viitattu 3.1.2019]. Saatavissa: <http://wavestarenergy.com/concept>

CorPower Ocean – Scapa Flow, EMEC, 2018a, *Tethys*, [verkkosivu]. [viitattu 22.2.2019]. Saatavissa: <https://tethys.pnnl.gov/annex-iv-sites/corpower-ocean-%E2%80%93-scapa-flow-emec>

Cycloidal Wave Energy Conversion (CycWEC), n.d., *Atargis Energy Corporation*, [verkkosivu]. [viitattu 16.1.2019]. Saatavissa: <https://atargis.com/>

Dhanak, Manhar R.; Xiros, Nikolaos I. (Editors), 2016. Springer Handbook of Ocean Engineering. New York: Springer.1344s. ISBN: 978-3-319-16648-3

Dodgson, Lindsay, 2016, 'Going deep to harness wave power: Carnegie's CETO systems', *Power Technology*, [verkkosivu]. [viitattu: 14.1.2019]. Saatavissa: <https://www.power-technology.com/features/featuregoing-deep-to-harness-wave-power-carnegies-ceto-systems-4855445/>

Falcão, António F.O. & Henriques, João C.C., 2016, 'Oscillating-water-column wave energy converters and air turbines: A review', *Renewable Energy*, 85, 1391-1424.

Handwerk, Brian, 2014, 'Five Striking Concepts for Harnessing the Sea's Power', *National Geographic*, [verkkosivu]. [viitattu 19.1.2019]. Saatavissa: <https://news.nationalgeographic.com/news/energy/2014/02/140220-five-striking-wave-and-tidal-energy-concepts/>

Hewlett, Ryan, 2016, 'Meet Wave Star: Harnessing ocean waves for unlimited clean energy', *Salt*, [verkkosivu]. [viitattu 3.1.2019]. Saatavissa:

<https://www.wearesalt.org/meet-wave-star-harnessing-ocean-waves-for-unlimited-clean-energy/>

Kofoed, Jens Peter & Frigaard, Peter & Friis-Madsen, Erik & Sørensen, Hans Chr., 2006, 'Prototype testing of the wave energy converter wave dragon', *Renewable Energy*, 31:2, 181-189.

McGrath, Jane, n.d., 'How Wave Energy Works', *Howstuffworks*, [verkkosivu]. [viitattu 20.1.2019]. Saatavissa:

<https://science.howstuffworks.com/environmental/earth/oceanography/wave-energy1.htm>

MWave™, n.d., *Bombora wave power*, [verkkosivu]. [viitattu 13.1.2019]. Saatavissa: <https://www.bomborawave.com/mwave>

NEMOS grows wave team, 2018b, *MarineEnergy.biz*, [verkkosivu]. [viitattu 18.1.2019]. Saatavissa: <https://marineenergy.biz/2018/11/08/nemos-grows-wave-team/>

OE Buoy gearing up to conquer alternate marine energy markets, 2018c, *MarineEnergy.biz*, [verkkosivu]. [viitattu 22.12.2018]. Saatavissa: <https://marineenergy.biz/2018/10/02/oe-buoy-gearing-up-to-conquer-alternate-marine-energy-markets/>

Platform, n.d., *OceanEnergy*, [verkkosivu]. [viitattu 22.12.2018]. Saatavissa: <http://www.oceanenergy.ie/oe-technology1/platform>

Press release: Wello launch Penguin WEC2 for H2O2O CEFOW array, 2018, *The European Marine Energy Centre LTD (EMEC)*, [verkkosivu]. [viitattu 22.2.2019]. Saatavissa: <http://www.emec.org.uk/press-release-wello-launch-penguin-wec2-for-h2020-cefow-array/>

Products, n.d., *Ocean Power Technologies (OPT)*, [verkkosivu]. [viitattu 19.1.2019]. Saatavissa: <https://www.oceanpowertechnologies.com/powerbuoy>

REN21 (Renewable Energy Policy Network), 2018, Renewables 2018 Global status report, 325s, [verkkoaineisto]. [viitattu 27.1.2019]. Saatavissa: http://www.ren21.net/wp-content/uploads/2018/06/17-8652_GSR2018_FullReport_web_-1.pdf

Seabased Technology, n.d.,a , *Seabased*, [verkkosivu]. [viitattu 24.11.2018]. Saatavissa: <https://www.seabased.com/the-technology>

Seabased to bring wave energy to the caribbean, n.d.,b , *Seabased*, [verkkosivu]. [viitattu 24.1.2019]. Saatavissa: <https://www.seabased.com/caribbeanagreement>

Sotenäs Project, 2018b, *Tethys*, [verkkosivu]. [viitattu 23.1.2019]. Saatavissa: <https://tethys.pnnl.gov/annex-iv-sites/soten%C3%A4s-project>

Technology, n.d., *Wavepiston*, [verkkosivu]. [viitattu 14.1.2019]. Saatavissa: <http://wavepiston.dk/#our-services>

Technology, n.d., *Wello*, [verkkosivu]. [viitattu 3.1.2019]. Saatavissa: <https://wello.eu/the-penguin/technology/>

Technology, n.d.,a, *Wave Dragon*, [verkkosivu]. [viitattu 18.11.2018]. Saatavissa: <http://www.wavedragon.co.uk/technology-2/>

Technology, n.d.,b, *Sea Energy Anaconda*, [verkkosivu]. [viitattu 17.11.2018]. Saatavissa: <http://www.checkmateukseaenergy.com/featured/technology/>

The CorPower Wave Energy Converter, n.d., *CorPower Ocean*, [verkkosivu]. [viitattu 19.11.2018]. Saatavissa: <http://www.corpowerocean.com/corpower-technology/corpower-wave-energy-converter/>

The NEMOS Wave Energy Converter, n.d., *NEMOS*, [verkkosivu]. [viitattu 18.1.2019]. Saatavissa: <https://www.nemos.org/waveenergy/>

The Wave Dragon Technology, n.d.,b, *Wave Dragon*, [verkkosivu]. [viitattu 18.11.2018]. Saatavissa: <http://www.wavedragon.net/>

Wave Carpet: An Efficient and Multidirectional Ocean Wave Energy Converter, n.d., *TAF Lab Theoretical & Applied Fluid Dynamics Laboratory (TAF Lab)*, [verkkosivu]. [viitattu 13.1.2019]. Saatavissa: <https://taflab.berkeley.edu/uc-berkeley-ocean-wave-energy-converter/>

Wave Developers, n.d.,a, *The European Marine Energy Centre LTD (EMEC)*, [verkkosivu]. [viitattu 19.1.2019]. Saatavissa: <http://www.emec.org.uk/marine-energy/wave-developers/>

Wave Devices, n.d.,b, *The European Marine Energy Centre LTD (EMEC)*, [verkkosivu]. [viitattu 3.11.2018]. Saatavissa: <http://www.emec.org.uk/marine-energy/wave-devices/>

Wave Dragon Project – Milla Fjord Site, 2018c, *Tethys*, [verkkosivu]. [viitattu 21.1.2019]. Saatavissa: <https://tethys.pnnl.gov/annex-iv-sites/wave-dragon-project-milla-fjord-site>

Wave Energy, n.d., *Conserve Energy Future*, [verkkosivu]. [viitattu 20.1.2019]. Saatavissa: https://www.conserve-energy-future.com/advantages_disadvantages_waveenergy.php

Wave energy converters, n.d., *The Liquid Grid*, [verkkosivu]. [viitattu 14.1.2019]. Saatavissa: <http://theliquidgrid.com/the-tech-pool/wave-energy-converters/>

Wave Energy Devices, n.d.,a, *Alternative Energy Tutorials*, [verkkosivu]. [viitattu 8.11.2018]. Saatavissa: <http://www.alternative-energy-tutorials.com/wave-energy/wave-energy-devices.html>

Wave Energy Potential, n.d.,b, *Alternative Energy Tutorials*, [verkkosivu]. [viitattu 19.1.2019]. Saatavissa: <http://www.alternative-energy-tutorials.com/energy-articles/wave-energy-potential.html>

Wavepiston bags multi-million wave demo grant, 2018d, *MarineEnergy.biz*, [verkkosivu]. [viitattu 14.1.2019]. Saatavissa: <https://marineenergy.biz/2018/07/23/wavepiston-bags-multi-million-wave-demo-grant/>

Wavepiston, *Alien*, 2014, [verkkosivu]. [viitattu 14.1.2019]. Saatavissa: <https://alientt.com/project/wavepiston/>

WaveRoller, n.d., *WaveRoller*, [verkkosivu]. [viitattu 19.11.2018]. Saatavissa: <http://aw-energy.com/waveroller/>

Waves to Watts & Water!, n.d., *CalWave Power Technologies*, [verkkosivu]. [viitattu 13.1.2019]. Saatavissa: <http://calwave.energy/>

What is CETO, n.d., *Carnegie*, [verkkosivu]. [viitattu 14.1.2019]. Saatavissa: <https://www.carnegiece.com/wave/what-is-ceto/>

Whitlock, Robin, 2017, 'Bombora Wave Power announces investment round for first commercial size mWave wave energy generator', *Renewable Energy Magazine*, [verkkosivu]. [viitattu 13.1.2019]. Saatavissa: https://www.renewableenergymagazine.com/ocean_energy/bombora-wave-power-announces-investment-round-for-20171117