



KYTKIMEN VALINTA PINTA- AALTOENERGIALAITTEISTOON

Antti Pennonen

Opinnäytetyö
Lokakuu 2014
Kone- ja tuotantotekniikka
Tuotekehitys

TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Kone- ja tuotekehitys
Tuotantotekniikka

ANTTI PENNONEN:
Kytkimen valinta pinta-aaltoenergiälaitteistoon

Opinnäytetyö 31 sivua
Marraskuu 2014

Tässä työssä on tarkoituksena tarkastella ASWEC -2014 pinta-aaltoenergiälaitteistoon mahdollisesti soveltuvia kytkimiä tai korvaavia ratkaisuja momentin siirtoon. Työn tarkoitus on valita soveltuva toteutustapa tai mahdollisesti olemassa oleva komponentti laitteiston momentin siirtoon.

Aaltovoima on aurinko-, tuuli- ja vesivoiman rinnalla suhteellisen uusi tapa sähkön tuottamiseksi. Kuitenkin merkittävä osa maapallon energiasta voitaisiin menetelmien kehittyessä tuottaa aaltoenergiaa käyttämällä. Siksi onkin tärkeää kehittää laitteistoja ja menetelmiä yhä suuremman sähköntarpeen kattamiseksi sekä fossiilisten polttoaineiden käytön vähentämiseksi. Kytkimen valinnan lisäksi työssä esitellään maapallon tämänhetkiset energianlähteet, aaltoenergian teoriaa, historiaa sekä tällä hetkellä käytössä olevia aaltoenergiälaitteita.

ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tampere University of Applied Sciences
Mechanical and product engineering
Product development

ANTTI PENNONEN:
Selecting a clutch for a wave energy collector

Bachelor's thesis 31 pages
November 2014

This thesis is about exploring possible methods for torque-transferring in ASWEC - 2014 wave energy collector. Goal is to pick an existing clutch from some manufacturer or to come up with an alternate way to transfer torque.

Wave power is, compared to wind-, solar-, and hydropower, a relatively new way to produce electricity. However, a substantial proportion of global energy could be produced by using wave energy. That is why the development of devices is important for the covering of the growing need of electricity and the reduced use of fossil fuels. In addition to selecting the clutch this thesis represents current energy sources on earth, theory and history of wave and also current functioning wave energy collectors.

Key words: wave energy, energy sources

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	5
2	ENERGIANKULUTUS JA ENERGIALÄHTEET	6
2.1	Uusiutumattomat luonnonvarat eli fossiiliset polttoaineet	7
2.2	Ydinvoima	7
2.3	Uusiutuvat energiamuodot	8
3	AALTOENERGIA	9
3.1	Aaltoenergian kehitys	9
3.2	Aaltoenergian syntyminen	9
3.3	Aaltoenergia	10
3.4	Aaltoenergian haasteet ja edut	12
3.4.1	Haasteet	12
3.4.2	Edut	13
3.5	Tämänhetkiset aaltoenergialaitteet	13
3.5.1	Waveroller	13
3.5.2	Seabased	14
3.5.3	Pelamis	15
3.5.4	Aaltosorvi	16
4	ASWEC -2014 -KONSEPTI	17
4.1	Konseptin esittely	17
4.1.1	Konseptin edut	19
4.1.2	Konseptin haasteet	19
5	KYTKIN	20
5.1	Yksisuuntakytkin (yksisuuntainen laakeri)	21
5.1.1	Edut	22
5.1.2	Haitat	23
5.2	Vapaakytkin	23
5.2.1	Edut	24
5.2.2	Haitat	25
6	KOMPONENTIN VALINTA	26
6.1	Valmistajat	26
6.2	Esimerkkivalinta	27
7	PÄÄTELMÄT JA YHTEENVETO	29
7.1	Päätelmät	29
7.2	Yhteenveto	29
	LÄHTEET	31

1 JOHDANTO

Uusiutuvien luonnonvarojen käyttö on lisääntynyt jatkuvasti energian tuottamisessa. Tunnetuimpia uusiutuvia energialähteitä ovat esimerkiksi tuuli ja auringonvalo. Tunnetuimpiin uusiutuviin energiamuotoihin verrattuna aaltoenergia on vielä suhteellisen tuntematon suurelle yleisölle, mutta tulevaisuudessa potentiaalinen tapa energiantuottoon. Tätä potentiaalia ei ole kuitenkaan vielä osattu hyödyntää energiantuotannossa merellä vallitsevien haastavien olosuhteiden, ja laitteistoihin kohdistuvien suurten rasiusten johdosta. Nykyään jopa suuret kansainväliset energiayhtiöt ovat kiinnostuneet aaltoenergian potentiaalista.

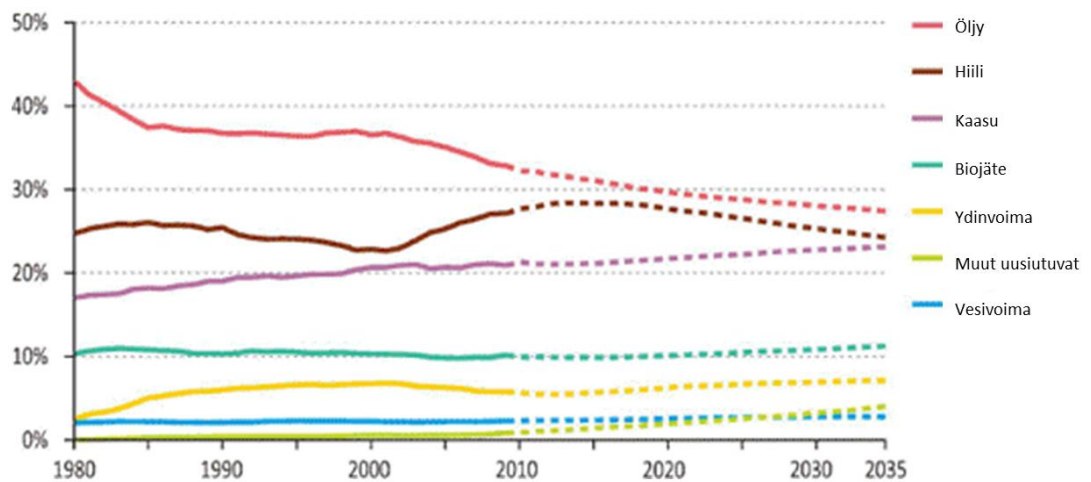
Vaikkakin uusiutuvia luonnonvaroja käytetään nykyään entistä enemmän, niiden osuus on energiantuotannossa edelleen todella suppea. Tällä hetkellä suuri osuus maapallon energiasta tuotetaan ilmastoa kuormittavin tavoin, ja uusien ympäristöystävällisempien energiamuotojen kuten esimerkiksi aaltoenergian kehittäminen on siksi tarpeellista ja suotavaa. Pelkästään ympäristöllisten tekijöiden lisäksi energiayhtiöitä motivoi luonnollisesti raha sekä ihmisten aatteet ja mielipiteet. Nykyään ihmiset alkavat toden teolla kiinnostua ekologisuudesta ja energiantuottokeinoilla on suuri vaikutus yhtiöiden imagoon.

Tampereen ammattikorkeakoululla on ollut useampikin aaltoenergialaitteen suunnitteluun liittyvä projekti, joihin liittyen on tehty jo muutama opinnäytetyö. Projekteissa on suunniteltu ja pohdittu erilaisia rakenteita aaltoenergialaitteiston malliksi, sekä mallinnettu ja testattu erilaisia kokoonpanoja.

Tämä työ liittyy projektiin nimeltä ASWEC -2014, jonka suunnittelu ja toimintaperiaate on tiettyyn asteeseen ennalta mietitty ja päätetty. Tarkoituksena on miettiä soveltuvia ratkaisuja aaltoliikkeestä saatavan pyörimisenergian eli momentin siirtämiseksi generaattorille. Suunnitelmaa esitellään tuonnempana tarkemmin.

2 ENERGIANKULUTUS JA ENERGIALÄHTEET

Maailman energiankulutus on kasvanut tasaisesti 1700-luvun lopulta nykypäivään asti. 1700-luvun lopussa tapahtui teollinen vallankumous, joka aloitti teollisen aikakauden ja energian kulutus lähti aivan uuteen nousuun. Suurin osa energiasta saadaan fossiilisista polttoaineista öljystä, maakaasusta ja kivihielestä. Fossiiliset polttoaineet ovat nimensä mukaisesti uusiutumattomia luonnonvaroja, sekä niistä aiheutuu hiilidioksidipäästöjä ja epäedullisia muutoksia maapallon ilmastolle. (Feris & Infield 2008, 1.) Maailmanlaajuisesti käytettävät energianlähteet ja niiden prosentuaaliset osuudet kokonaisenergiasta on esitetty kuvassa 1.



Kuva 1: Maailman energianlähteiden prosentiosuudet on esitetty viivadiagrammina vuodesta 1980 ennakoituna vuoteen 2035 (International Energy Agency 2009, 6)

Kuvasta 1 voidaan huomata että uusiutuvien luonnonvarojen osuus koko energiantuotannosta on erittäin pieni. Ihmisten pitää kattaa jatkuva energiantarpeen kasvu, ja samalla etsiä uusia ympäristöystävällisempiä tapoja energian tuottamiseksi. International Energy Agency arvio energiantarpeen kasvavan 40 % vuodesta 2009 vuoteen 2040 mennessä. Sähkö on ihmiselle tärkein energiamuoto, ja sen tarve kasvaa koko ajan. Tällä hetkellä sähköenergiaa tuotetaan enimmäkseen fossiilisten polttoaineiden avulla. Sähköntuotanto aiheuttaa suurimman osan ympäristölle

haitallisista päästöistä, ja sen otaksutaan nelinkertaistuvan vuoteen 2050 mennessä (Feris & Infield 2008, 10.)

2.1 Uusiutumattomat luonnonvarat eli fossiiliset polttoaineet

Uusia öljy- ja maakaasuesiintymiä löydetään jatkuvasti, joten niiden lopullista määrää maapallolla on todella vaikea arvioida. Suurten öljy-yhtiöiden mukaan öljyä riittäisi nykyisellä kulutuksella suunnilleen 30 vuodeksi. Maakaasun pitäisi riittää suunnilleen kaksinkertaisen ajan eli suunnilleen 60 vuotta. Maapallolta löytyy kuitenkin myös nykyään vähemmän käytettyjä hiilivetyjä ja niiden seoksia, esimerkiksi raskaita öljyjä ja bitumeja, joiden määrän arvioidaan olevan noin kolme kertaa niin suuri kuin öljyn ja maakaasun. Fossiilisten polttoaineiden loppuminen ei ole tämän päivän suurin ongelma, vaan niistä aiheutuvat ympäristösaasteet.

Maailman öljyvaroista suurin osa löytyy Lähi-idästä sekä muilta poliittisesti hieman epäluotettavilta alueilta. Länsimaiden ja islamistisen kulttuurin väliset ristiriidat ja selkkaukset aiheuttavat jatkuvasti huolta energiaturvallisuudesta kaikkialla maailmassa. Venäjä tuottaa eniten maakaasua maailmassa, ja nykyinen maailman poliittinen tilanne huolettaa monia Euroopan maita koska ne ovat vahvasti yhden energiaresurssin varassa. Energiankäytössä on todella suuria eroja maailmalla. Väestöstä rikkain seitsemännes kuluttaa puolet kaikesta maapallon energiasta. Köyhin seitsemännes taas kuluttaa ainoastaan 4 % kaikesta energiasta. Kulutus riippuu suurimmaksi osaksi ihmisten asenteista. Japani esimerkiksi, joka on toiseksi suurin maailman markkinatalouksista, kuluttaa puolet vähemmän energiaa per asukas kuin eniten energiaa kuluttava Amerikan Yhdysvallat.

2.2 Ydinvoima

Ydinvoima jakaa ihmisten mielipiteitä, sillä on vahvoja kannattajia ja vastustajia. Vuonna 2010 kaikesta maailman energiasta 6,1 % tuli ydinvoimasta (sivu 6, kuva 1). Eräiden mielestä ydinvoiman käyttöä pitäisi lisätä merkittävästi, koska se on tehokasta ja päästötöntä. Ydinvoiman vastustajat muistuttavat Tšernobylin kaltaisten onnettomuuksien vaarasta ja fissioreaktiossa syntyvän ydinjätteen aiheuttamista ongelmista. Fukushima ydinonnettomuus sai aikaan lisääntyvää vastustusta ydinvoimaa kohtaan ja Saksa julisti luopuvansa ydinvoimaloistaan vuoteen 2022

mennessä. Tämä kuulostaa hurjalta sillä vuonna 2013 Saksa teki 23 % sähköstään ydinvoimalla. Ydinvoiman polttoaineeksi tarvittavan uraanin arvioidaan riittävän nykyisellä kulutuksella suunnilleen 50 vuodeksi. (Feris & Infield 2008, 12.)

2.3 Uusiutuvat energiamuodot

Vuonna 2010 maailman energiantuotannosta 14,2 % tuli uusiutuvista energiamuodoista, josta biomassa ja jäte kattoivat 8,7 %, vesivoima 4,2 % ja muut uusiutuvat energiamuodot vain 0,9 % (sivu 6, kuva 1). Biopolttoaineita voi käyttää kuten fossiilia polttoaineitakin t niitä voi varastoida ja käyttää tarpeen mukaan esimerkiksi sähköntuotantoon tai ajoneuvojen polttoaineena. Biopolttoaineet ovat kuitenkin selvästi kalliimpia kuin fossiiliset polttoaineet. Lisäksi ne pitää käyttää tuotantopaikan läheisyydessä, mikä johtuu varastoidun biopolttoaineen heikosta energiatiheydestä: biopolttoaineen kuljetukseen kuluva energia saattaa ylittää siitä saatavan energiamäärän jos kuljetusmatka on pitkä. (Feris & Infield 2008, 50–51.)

Vesivoimalla tarkoitetaan sivun 6 kuvassa 1 suurvesivoimaa. Suurvesivoimalla on nimellistehoa yli 5 MW. Pienvesivoimalla on nimellistehoa alle 5 MW, ja se kuuluu kuvassa muihin uusiutuviin energiamuotoihin. Riippuen arvioijasta suurvesivoiman potentiaalista on tällä hetkellä käytössä 25–30 % ja se vastaa suunnilleen 22 % maailman kaikesta sähköntuotannosta. Suurvesivoiman etu on sen energian hyvä varastoitavuus. Vesi voidaan varastoida vaikkapa tekojärveen ja muuttaa sen potentiaalienergia sähköksi tarpeen vaatiessa. Suurvesivoiman haittapuolia ovat sen vaatima tuntuva alkuinvestointi ja merkittävät vaikutukset aluerakentamiseen. (Feris & Infield 2008, 24–25.)

Pienvesivoiman lisäksi muihin uusiutuviin energiamuotoihin sivun 6 kuvassa 1 kuuluvat tuulienergia, aurinkoenergia ja aaltoenergia. Näistä tuulienergia on aktiivisimmin käytetty ja kehitetty. Euroopan unioni on esittänyt teorian, että vuoteen 2030 mennessä kyettäisiin 22,6 % sen sähköntuotannosta tuottamaan tuulienergialla. Tuulienergian käytön suurimpia haasteita ovat laitteiden integroiminen infrastruktuuriin ja tuulennopeudessa tapahtuvat jatkuvat muutokset. Auringon valoa voidaan muuttaa sähköksi aurinkopaneelien avulla, joita voidaan hyvin huomaamattomasti esimerkiksi asumattomille alueille tai talojen katoille. Aurinkoenergian huono puoli on nimensä mukaisesti sen saatavuus ainoastaan valoisaan aikaan. (Feris & Infield 2008, 28, 36.)

3 AALTOENERGIA

3.1 Aaltoenergian kehitys

Aaltojen liikkeen käyttäminen energiantuotannossa ei ole uusi idea. Ensimmäinen patentti tehtiin jo 1700-luvun lopulla Ranskassa, jossa ranta-aallokon voimaa hyödyntäen oli tarkoitus pumpata vettä lähellä sijainneeseen kylään. Kyseisen patentin jälkeen aaltoenergian kehityksessä ei tapahtunut merkittäviä edistysaskelia 1970-luvulle mennessä, jolloin öljykriisi toi vaihtoehtoiset energiamuodot uudestaan esille. Erityisesti Isossa Britanniassa, jonka lähialueilla on otolliset olosuhteet aaltovoiman hyödyntämiseen, kehitettiin tuolloin useita prototyyppisiä aaltoenergialaitteistoista. Kehitys kuitenkin hidastui enimmäkseen puutteellisen teknologian kehityksen vuoksi, eivätkä kyseiset prototyypit koskaan edenneet käyttöön asti. Rahoittajat kaikkosivat, ja tutkimus- ja kehitystyö hiipui lähes kaikista yrityksistä. Aaltoenergian ongelmien ja haasteiden lisäksi yleinen kiinnostus tuulivoimaan lisääntyi ja se sai entisestään aaltoenergian jäämään taka-alalle. (Alcorn & Lewis 2008, 129–130.)

Aaltoenergia herätettiin uudelleen 1990-luvun puolivälissä. Tällöin Skotlannissa, Intiassa, Japanissa ja Portugalissa kehiteltiin uusia laitteistoja. Päällisin syy kiinnostuksen uuteen heräämiseen oli ensiksi hiilidioksidipäästöjen vähentäminen, joka on sen jälkeen saanut seurakseen käsitteet energian monimuotoisuus ja jo edellä mainittu energiaturvallisuus. Jonakin päivänä fossiilisten polttoaineiden käyttö halutaan lopettaa tai ainakin minimoida. Silloin tarvitaan useita erilaisia ja toimintavarmoja menetelmiä uusiutuvien energiamuotojen hyödyntämiseksi. Tuulivoimalle soveltuvia paikkoja alkaa olla hankalampi löytää, kun taas merellä on paljon vapaata tilaa aaltovoimaloille, eikä laitteiden integroinnissa infrastruktuuriin ole tuulivoiman kaltaisia haasteita. (Alcorn & Lewis 2008, 130.)

3.2 Aaltoenergian syntyminen

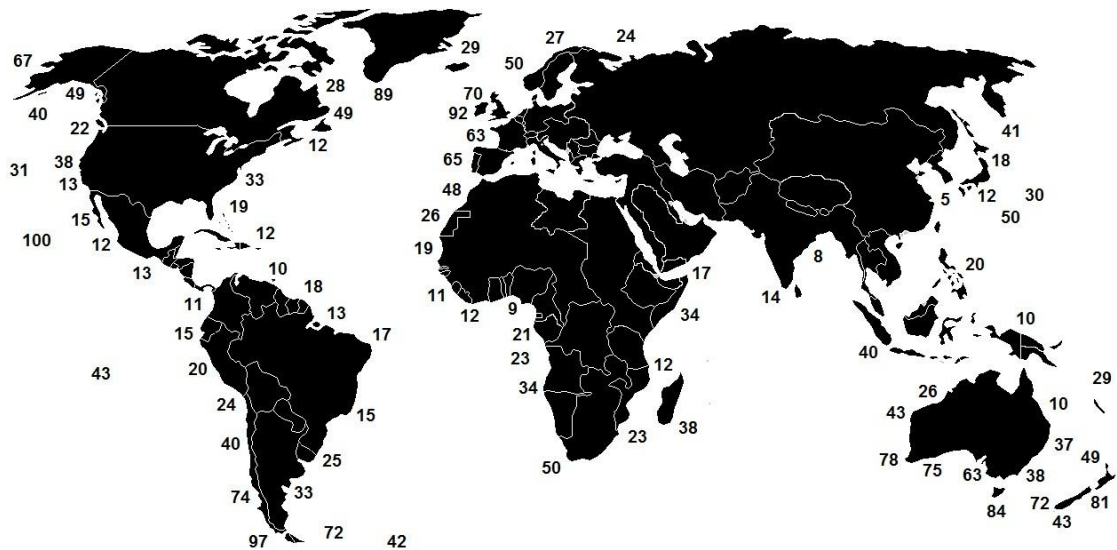
Meren aallot saavat alkunsa planeetan seismisestä toiminnasta, taivaankappaleiden vetovoimien vaikutuksesta ja ilmakehän tuulista. Seismisen toiminnan, esimerkiksi vedenalaisen tulivuorenpurkauksen tai maanjäristyksen aiheuttamaa aaltoa kutsutaan tsunamiksi, joka on luonnehdittavassa luonnonkatastrofiksi ja sillä ei ole mitään positiivista vaikutusta aaltoenergian talteenottoon, päinvastoin, tsunami todennäköisesti

tuhoaisi tielleen jääneet aaltoenergiälaitteistot. Taivaankappaleista aiheutuvaa aaltoliikettä kutsutaan vuorovedeksi, jonka hyödyntämistä sähköntuotannossa on tutkittu. Tämän aaltoenergiaprojektin kannalta oleellisia aaltoja ovat tuulten aiheuttamat aallot sekä niiden hyödyntäminen sähköntuotannossa. (McCormick 2010, 44)

Tuulten aikaansaaman aaltoenergian voidaan mieltää aurinkoenergian sivutuotteeksi, koska tuulet syntyvät kun maapallo lämpiää epätasaisesti auringon vaikutuksesta. Tuulet tarttuvat merenpintaan ja saavat sen aaltoilemaan. Näistä pienistä aaltoiluista kasvaa suurempia aaltoja, jotka voivat kulkea pitkiäkin matkoja käytännössä ilman energiahäviöitä. Syvän veden aallot ovat erilaisia kuin matalan veden, jonka syvyys on noin puolet aallonpituudesta. Matalan veden saavuttaessaan aallon nopeus hidastuu, aallonpituus lyhenee ja -korkeus kasvaa, mistä seuraa aallon murtumiseen. (Cruz 2008, 1.)

3.3 Aaltoenergia

Todella pieni osa auringon energiasta välittyy aaltoihin. Aallon sisältämä energia kuitenkin voi kasvaa matkatessaan merellä ja paras saavutettu teho on jopa 100 kW/m, eli teho metrin leveällä kaistalla aaltorintamassa. Koska tuulet aikaansaavat aaltoenergian, ovat tehoarvoltaan suosiollisimmat alueet aaltoenergian talteenottoon lauhkean ilmastovyöhykkeen merialueiden tuulensuojaisella puolella. (Barstow, Mørk, Mollison & Cruz 2008, 93–94.) Aaltoenergian jakautuminen maapallon merialueilla on esitetty kuvassa 2.



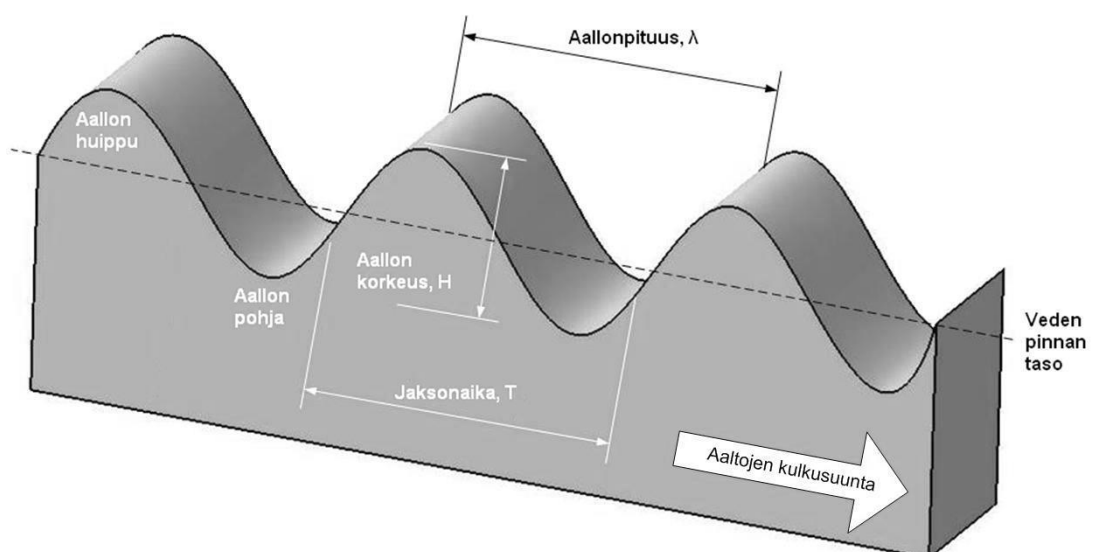
Kuva 2: Aaltoenergian jakautuminen eri puolilla maapalloa (kW/m, vuoden keskiarvo) (Alcorn & Lewis 2008, 135)

Kuvassa 2 esitetyt lukemat aaltoenergian esiintymisestä voidaan laskea kaavalla (1).

Teho (P) metrin levyistä aaltorintaman kaistaa kohti on

$$P = H^2 T k W \cdot m^{-1} \quad (1)$$

Jossa H on aallon korkeus metreinä ja T sen jaksonaika, jotka on havainnollistettu paremmin kuvassa 3. (Alcorn & Lewis 2008, 131)



Kuva 3: Aallosta saatavaan tehoon vaikuttavia suureita (Alcorn & Lewis 2008, 131)

3.4 Aaltoenergian haasteet ja edut

3.4.1 Haasteet

Suurimman haasteen aaltoenergian talteenotolle aiheuttavat energiategohokkuus: miten saadaan oikeasti talteen tarpeeksi energiaa kuluihin nähden, jotta kyseessä olisi oikeasti todella kannattava energiamuoto ja kilpailija nykyisille energiamuodoille. Suuren haasteen aaltoenergian talteenotolle asettavat lisäksi laitteiston rakenteisiin vaikuttavat suuret voimat. Myrskyn sattuessa laitteistoon saattaa vaikuttaa normaalitilanteeseen nähden moninkertaisia voimia, jotka täytyy suunnittelussa huomioida. Ensimmäinen vaihtoehto on sijoittaa laitteisto sellaiseen merenkohtaan, ettei siihen kohdistu kaikkein suurimmat voimat, jolloin luonnollisesti sähköntuottoakin jää alhaisemmaksi. Toinen vaihtoehto on suunnitella rakenne niin että se kestää voimakkaankin merenkäynnin, jolloin kustannukset saattavat nousta merkittävästi. Kolmas ja suotuisin vaihtoehto on suunnitella laitteistoon olosuhteiden mukaan mukautuva rakenne, esimerkiksi myrskyn tullessa liikkumista rajoittava ehkä jopa ankkuroiva kokoonpano. (Alcorn & Lewis 2008, 136.)

Suurten voimien lisäksi laitteistoon vaikuttaa meriolosuhteissa korroosio. Korroosio on yhtä kuin materiaalin reagoiminen ympäristön elementtien kanssa. Tässä tapauksessa korroosio tarkoittaa meriveden vaikutusta laitteistossa käytettäviin materiaaleihin huonontaan niiden ominaisuuksia, kuten lujuutta. Korroosion voimakkuuteen vaikuttavat veden suolapitoisuus, lämpötila, pH-arvo sekä veteen liuenneen hapen, saasteiden ja pieneliöiden määrä. Korroosio tulisi huomioida suunnittelussa tehtävissä materiaalivalinnoissa ja materiaalien pinnoituksessa.

Aaltojen vaihtelevuus ja satunnaisuus aiheuttavat omat haasteensa aaltoenergian hyödyntämiselle. Jatkuvasti muuttuvasta aaltoliikkeestä on vaikea tuottaa jatkuvaa ja tasaista sähkövirtaa. Laitteiston tulisi jollain tavalla puskuroida sykäyksittäin saatavaa energiaa jatkuvan sähköntuoton ylläpitämiseksi. Laitteiden sijoittamisella toisiinsa nähden voidaan vaikuttaa saatavan sähkövirran tasaisuuteen luomalla eräänlaisia aaltoenergiakeräinpeltoja. (Alcorn & Lewis 2008, 137.)

3.4.2 Edut

Haasteistaan huolimatta aaltoenergia omaa paljon potentiaalia, joka kannustaa laitteiden kehitystyötä. Aaltoenergiaa on maailmanlaajuisesti lähes kaikkialla ja sen energiatiheys on korkea. Näin ollen kunhan laitteistot kehittyvät, niille saadaan hyvä teho-painosuhte. On tehty arvioita joiden mukaan nykyteknologialla voitaisiin päästä 140 - 750 TWh vuotuisen tuottoon ja laitteiden kehittyessä 2000 TWh vuotuisen tuottoon. Tämä on noin 11 % maailman tämänhetkisestä sähkönkulutuksesta. Aaltoenergiaa on mahdollista hyödyntää lähes kaikilla maailman merillä, joten hyvälle aaltoenergialaitteistoille on maailmanlaajuiset markkinat. Koska aaltoenergialaitteet sijoitetaan merelle, ei niistä synny yhtä merkittäviä ulkonäköhaittoja kuin maalle rakennettaessa. (Alcorn & Lewis 2008, 137.), (Feris & Infield 2008, 10.)

3.5 Tämänhetkiset aaltoenergialaitteet

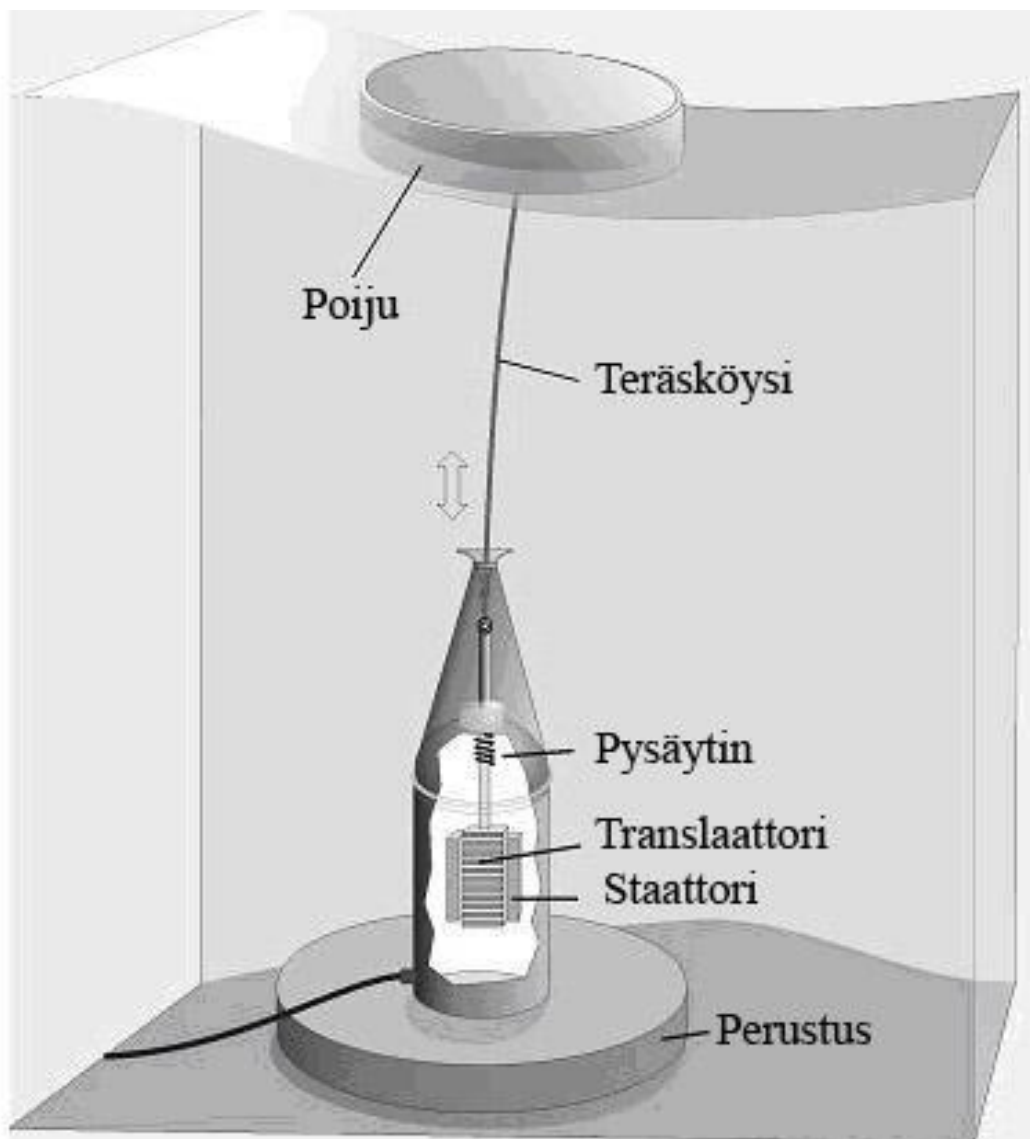
Kuten jo edellä mainittiin, on mielenkiinto aaltoenergiaa kohtaan koko ajan kasvamaan päin. Suuretkin energiayhtiöt ovat kiinnostuneita uusiutuvista energialähteistä. Fossiiliset polttoaineet tulevat ennemmin tai myöhemmin loppumaan maapallolta, ja se kuka keksii niille ensimmäisenä korvaajan, tulee olemaan dominoivassa markkina-asetmassa. Kokeiluja on monia, mutta vielä ei täysin kaupallisesti käytettävää mallia ole saatu luotua. Esittelen seuraavassa kolme suomalaisille tunnetuinta sekä yhden Tampereen ammattikorkeakoulun aiemmista ideoista.

3.5.1 Waveroller

Aaltoenergian hyödyntämiseen sähköntuotannossa on viime vuosina alettu suhtautua maailmalla tosissaan. Laitteistoja on kehitelty eri puolilla maailmaa, ja joitakin on otettu myös käyttöön aitoihin meriolosuhteisiin. Suomalainen AW-Energy Oy on kehittänyt Waveroller -nimisen pohja-aaltoja hyödyntävän aaltoenergialaitteen, jota on kokeiltu Portugalissa. (Raunio 2007.)

3.5.2 Seabased

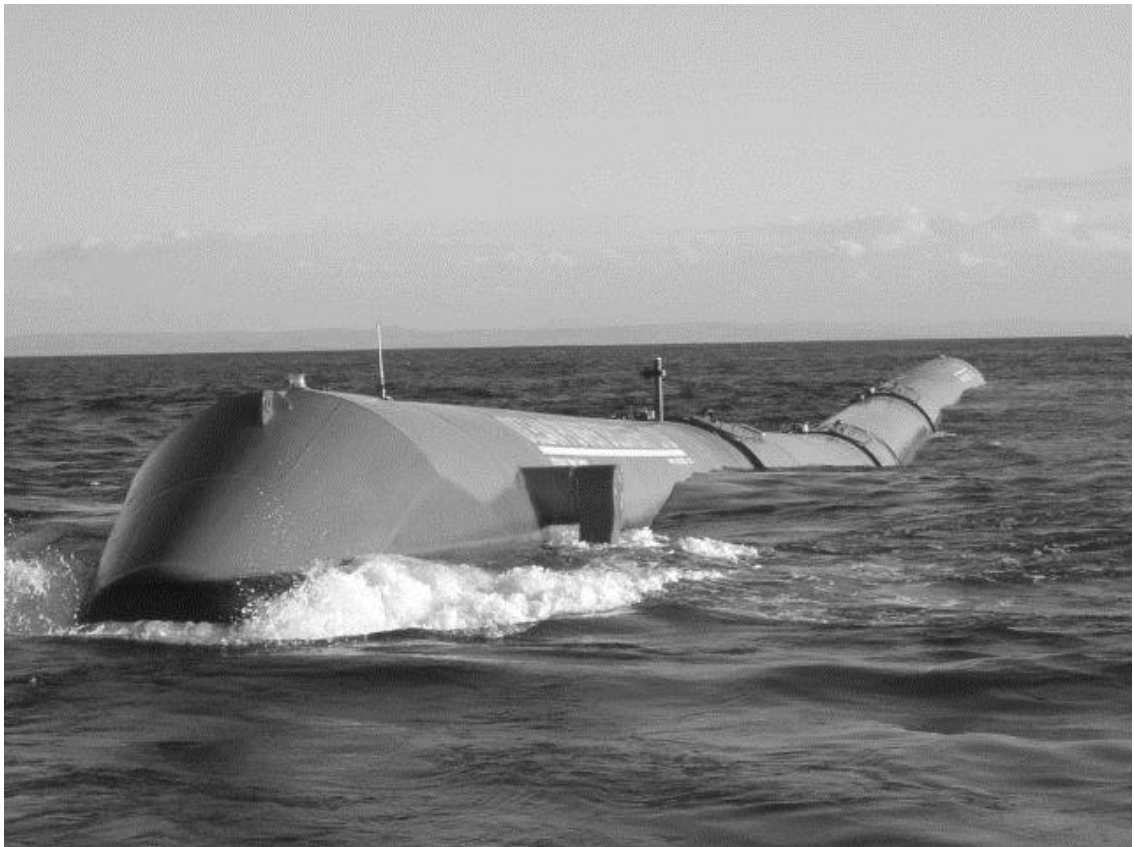
Energiayhtiö Fortum on panostanut sekä AW-Energyyn että ruotsalaiseen Seabased AB:n suunnittelemaan laitteeseen. Seabased hyödyntää pinta-aaltoja kuten myös ASWEC -2014: olisi tarkoitus. Uppsalan yliopistossa kehitetyssä laitteessa on merenpinnalla kelluva poiju, joka on vaijerilla yhteydessä pohjaan, missä lineaarigeneraattori tuottaa sähköä vaijerin liikkuesssa. Laitteistosta on tehty Ruotsin rannikolle kymmenen yksikön koelaitos, jonka tuotto on 100 kW. (Seppälä 2008.), (Seabased AB 2009.) Seabased aaltoenergiakeräin on esitetty kuvassa 4.



Kuva 4: Seabased aaltoenergiakeräin (Seabased AB 2009)

3.5.3 Pelamis

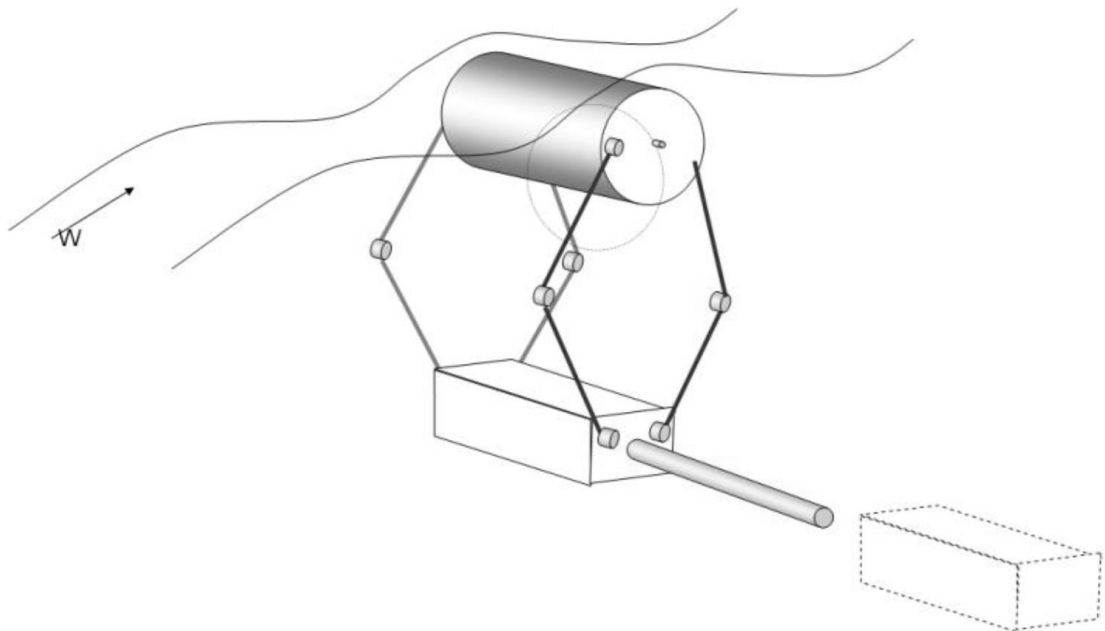
Mahdollisesti tunnetuin aaltoenergiälaitteisto on Portugalin rannikolla toimiva Pelamis. Se on 150 metrin pituinen ja halkaisijaltaan 3,5-metrinen nivelletty kelluva suljettu putki. Pelamiksien toimintaperiaate on hieman poikkeava: nivelien kohdalle on sijoitettu hydrauliset pumpit, jotka tuottavat energiaa hydraulisten moottorien avulla. Laitteessa on kolme niveltä, joista jokainen tuottaa 250 kW, eli kokonaistuotannoksi muodostuu 750 kW. (Yemm 2008, 304–308.) Pelamis on esitetty kuvassa 5.



Kuva 5: Pelamis aaltoenergiakeräin (Yemm 2008, 308.)

3.5.4 Aaltosorvi

Aaltosorvi on Tampereen ammattikorkeakoulussa (TAMK) kehitetty aaltoenergiakeräin. Laite on esitelty kuvassa 6. Aaltosorvi hyödyntää aallon potentiaalista ja kineettistä energiaa. Laite toimii veden pinnan alla, jossa on suurin energiasisältö. Laitteen kelluke liikkuu aallon mukana pyörivää liikerataa. Voimat välittyvät nivellettyjen tankojen avulla laitteeseen, joka muuttaa vipujen edestakaisen liikkeen yhdensuuntaiseksi generaattoria pyörittäväksi liikkeeksi. Laitteesta on valmistettu osittainen pienoismalli, jolla sen toimintaa on tutkittu. Laite on edelleen kehitysasteella.



Kuva 6: Aaltosorvi (TAMK)

4 ASWEC -2014 -KONSEPTI

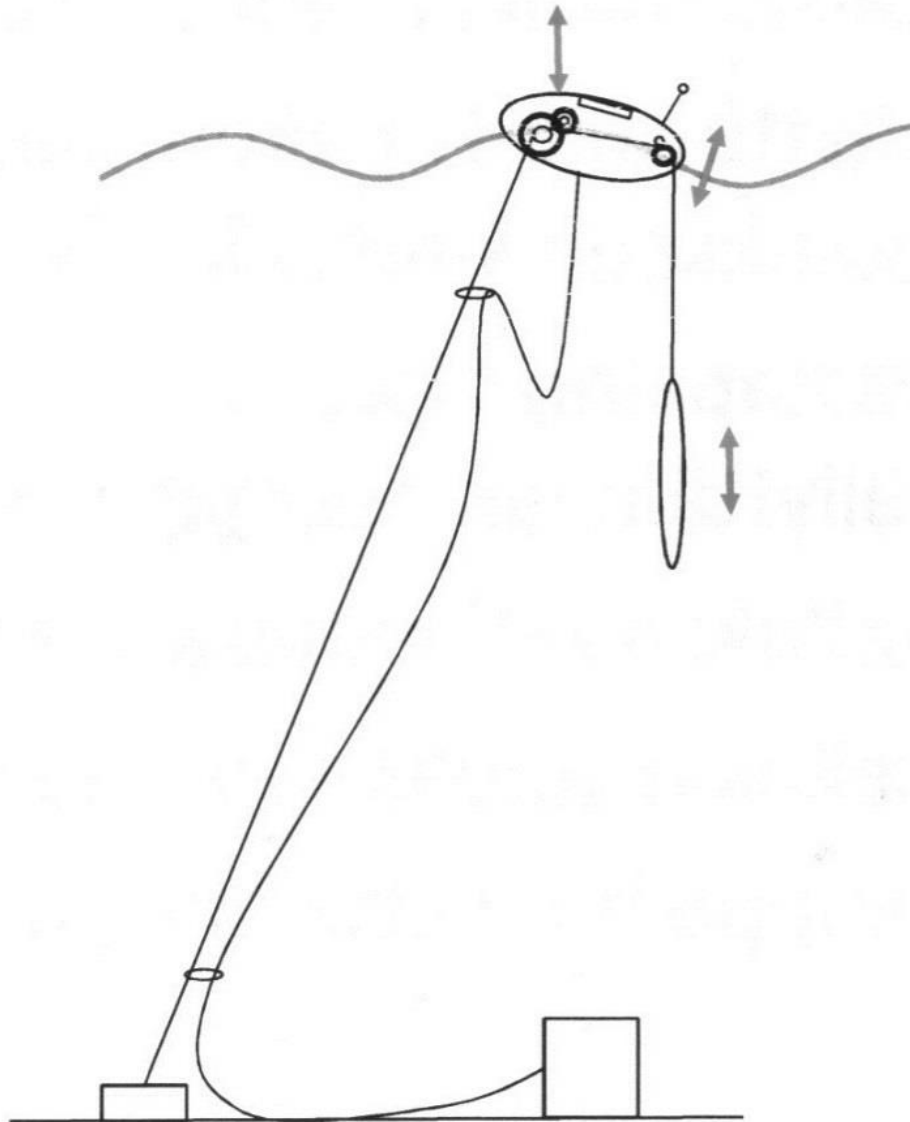
Aaltoenergiankeräintä on suunniteltu TAMK:n ASWEC -tuotekehitysprojektissa vuodesta 2004 alkaen. Aiheesta on tehty opinnäytetöitä, joissa on selvitetty aaltoenergian perusteita ja luonnosteltu aaltoenergiankeräintä. Tämän opinnäytetyön tarkoitus on keskittyä ennalta ideoituun ja suunniteltuun malliin nimeltään ASWEC -2014. Tässä opinnäytetyössä paneudutaan vain ja ainoastaan siihen miten laitteessa edestakaisessa pyörimisliikkeessä olevalta akselilta otetaan teho vain toisesta pyörimissuunnasta.

Energian talteenottoon olisi muitakin vaihtoehtoja, esimerkiksi tasasuuntausvaihteistolla voisi kääntää akselilta saatavan edestakaisen energian tasasuuntaiseksi, jolloin tasavirtageneraattori loisi energiaa. Tämän työn ohjeistukseksi kuitenkin annettiin nimenomaan pohtia kytkinvaihtoehtoja, joilla generaattorille ohjataan vain toisen pyörimissuunnan tuottama energia. Tarvitaan siis komponentti, joka välittää pyörimisliikkeestä tulevan momentin vain ja ainoastaan toisen suuntaisessa pyörimisliikkeessä. Esimerkiksi jonkinlainen kytkin joka vapauttaa akselin generaattorista kun pyörimissuunta vaihtuu, ja kytkee uudestaan kun pyörimissuunta vaihtuu uudestaan.

4.1 Konseptin esittely

ASWEC -2014 -konseptissa merenpinnalle on sijoitettu kelluke, joka pitää sisällään vaijeripyörän tai -pyörät, generaattorin sekä mahdollinen ohjauslaitteisto, jolla toimintaa voidaan säädellä. Vaijeripyörän läpi kulkee vaijeri, jonka toinen pää on ankkuroitu pohjaan ja toisessa päässä on vastapaino, joka kuitenkin liikkuu kellukkeen noustessa ja laskiessa aallokossa. Kellukkeen liikuessa aallokon mukana ylös ja alas vaijeri liikkuu, koska toinen pää on kiinni pohjassa, ja vaijeripyörä pyörii ja pyörittää generaattoria. Vaijeri on ankkuroitu merenpohjaan jonne on myös sijoitettu laitteen akusto energian säilömiseksi. Laitteisto on esitetty kuvassa 7.

Perusideana on että aallon nostaessa kelluketta vaijeri pyörittää vaijeripyörää ja liikkeessä syntyvä pyörimismomentti otetaan generaattorin avulla sähköenergiaksi, kellukkeen laskiessa aallon mukana paino pitää vaijerin kireänä ja pyörittää pyörää päinvastaiseen suuntaan, jota ei haluta välittää generaattorille, koska kyseessä on tasavirtageneraattori joka vaatii yhden pyörimissuunnan.



Kuva 7: ASWEC -2014 -laitteisto

4.1.1 Konseptin edut

Konseptissa kaikki toimilaitteet ovat pinnalla kellukassa, jolloin niitä on helppo huoltaa. Kyseisistä laitteista voidaan muodostaa laajoja kenttiä. Ne voidaan sijoittaa lähelle rantaa, sillä käyttösyvyudeksi on kaavailtu 15–30 metriä. Rakenne on kohtuullisen yksinkertainen, mikä tarkoittaa edullisia valmistuskustannuksia. Kaikki käytettävä tekniikka on jo olemassa. Suurin haaste onkin laitteiston toteutus niin että se olisi kustannustehokas, eli niin että sen valmistaminen kannattaa suhteutettuna saatavaan energiaan.

4.1.2 Konseptin haasteet

Aaltoenergialaitteistoja on patentoitu jo satoja eri versioita. On suuri haaste kehittää laitteisto, jolla ei loukkaa kenenkään muun patenttia ja ennen toteutusta tulisikin selvittää mahdolliset patenttiristiriidat.

Laitteiston mittakaava on monen muuttujan yhtälö: Kellukkeen tilavuus määrittää hydrostaattisen nosteen, jota laitteiston massa puolestaan heikentää. Massa myös heikentää kellukkeen reagointia aallokossa. Suunnitelmissa onkin luoda kellukkeeseen vesilastisäiliöt, kuten laivoissa ja sukellusveneissä, joilla kelluvuutta voidaan säätää. Laitteiston mitoitus onkin lähinnä optimointihaaste: mitoituksen tulee optimoida energian talteenoton kannalta suotuisat parametrit, jotta kaikki mahdollinen energia saadaan taltioitua.

5 KYTKIN

Tässä työssä etsitään soveliasta tapaa saada edestakaisin pyörivältä akselilta vain toisen pyörimissuunnan momentti generaattorille, toiseen suuntaan pyöriessä akselin tulisi pyöriä vapaana. Vastaavia komponentteja käytetään mm. automaattivaihteistoissa, liukuhihnoissa, helikoptereissa sekä käynnistysmoottoreissa. Suosituimmat ja yleisimmät vaihtoehdot ovat yksisuuntakytkin tai yksisuuntainen laakeri sekä vapaakytkin.

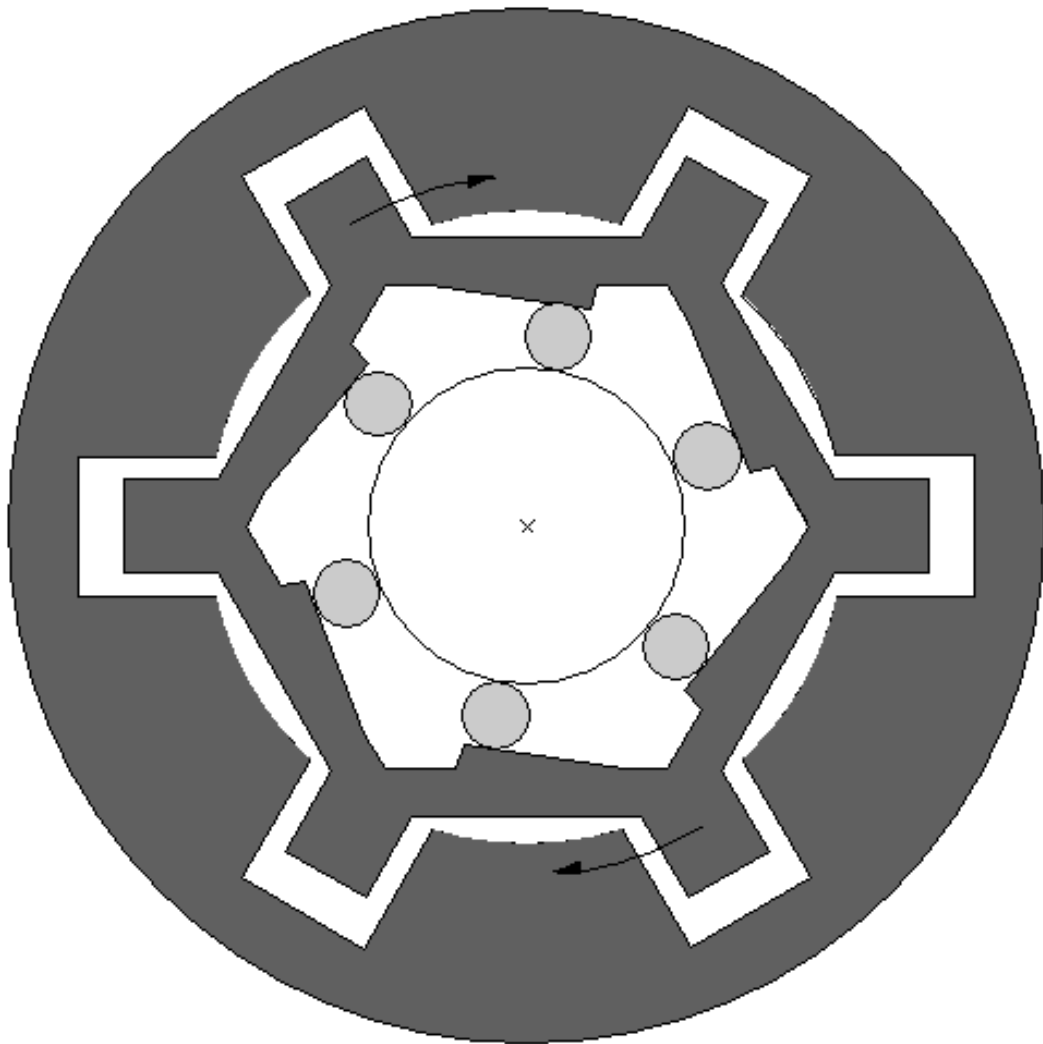
Aaltoenergialaitteiston käyttötarkoitukseen soveltuvan kytkimen tulisi olla pitkäikäinen kustannustehokkuuden vuoksi, hiljainen ympäristön takia, mahdollisimman vähäistä huoltoa vaativa sijaintinsa vuoksi, sekä mahdollisimman edullinen kustannusten minimoimiseksi. Lisäksi oleellisia ominaisuuksia ovat kytkentämomentti, eli momentti mikä tarvitaan kytkimen kiinnittymiseksi jolloin momentti välittyy generaattorille, sekä liittämismuutokset joihin kuuluvat mm. kiila- ja puristusliitos, jotka ovat kelpoisia tässä projektissa. Komponentin dimensiot sekä massa ovat niin ikään kiinnostavia ominaisuuksia.

Aaltoenergiakeräimessä laakerilta tai kytkimeltä vaaditaan erityisominaisuuksia olosuhteiden vuoksi. Kellukseen täydellinen tiiviys ei ole taattua, joten kytkimen tulisi kestää kosteutta ja olla korroosiosuojattu. ASWEC -2014 -laitteiston ominaisuuksissa on kaavailtu, että kytkimeen tai laakeriin kohdistuisi noin 100 Nm:n momentti. Tämä on siis ensimmäinen mitoittava tekijä komponenttia valittaessa. Muita toivottuja ominaisuuksia ovat edellä mainitut edullisuus, huoltovapaus, kestoikä, koko ja paino.

5.1 Yksisuuntakytkin (yksisuuntainen laakeri)

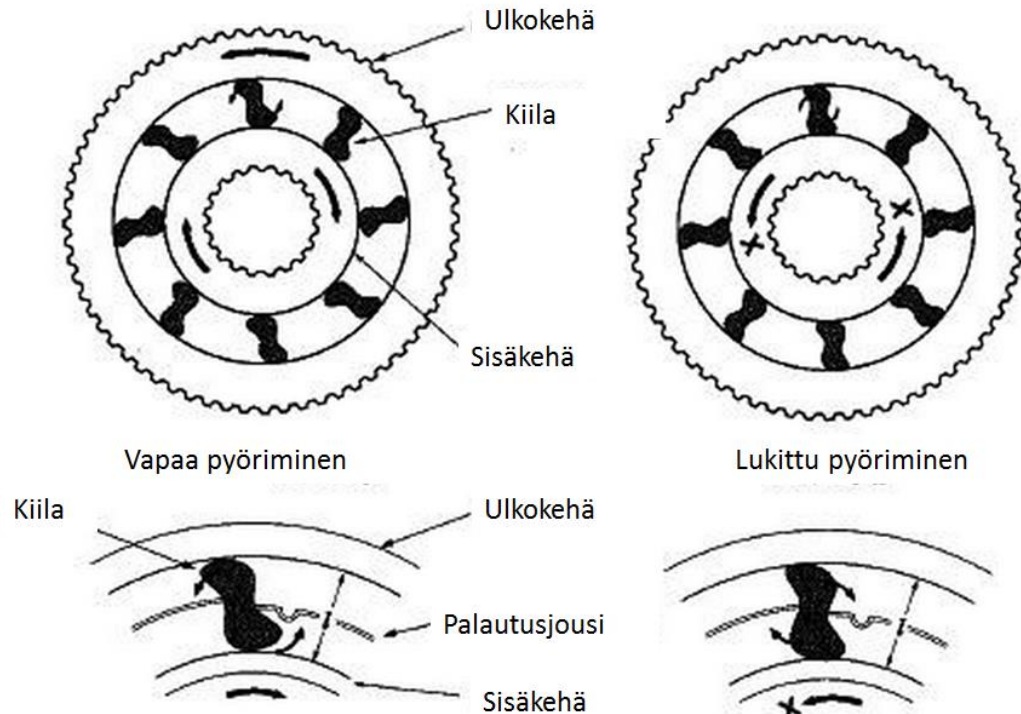
Yksisuuntakytkin (one directional clutch) mielletään usein samaksi asiaksi kuin yksisuuntainen laakeri (one directional bearing). Nimityksen ero johtuu toteutustavasta, riippuen siitä aiheuttavatko laakerit yksisuuntaisuuden, vai onko laakerointi erikseen ja yksisuuntaisuus aiheutetaan jollain muulla kiilamaisella osalla.

Yksinkertaisimmillaan yksisuuntainen laakeri on kuin normaali laakeri, mutta laakeripesät ovat kiilamaiset, eli pesän toinen pää on ahtaampi kuin toinen, pienempi kuin itse laakeri. Tällöin toiseen suuntaan pyöriessä laakeri toimii kuten normaali laakeri, mutta toiseen suuntaan pyöriessä laakerit kiilautuvat pesän ahtaampaan pätyyn ja lukittuvat aiheuttaen tehonsiirron. Toimintaperiaate on esitetty kuvassa 8.



Kuva 8: Yksisuuntaisen laakerin toimintaperiaate (www.rc.runryder.com)

Kuvassa 9 on esitetty yksisuuntaisen kytkimen toimintaperiaate. Kuvassa näkyvä kiila on lukitseva komponentti, joka on muotoiltu niin, että jousituksen avulla se luistaa toiseen suuntaan ja toiseen suuntaan pitää.



Kuva 9: Yksisuuntaisen kytkimen toimintaperiaate (www.eng.caps.cz)

5.1.1 Edut

Yksisuuntaisen laakerin eduiksi voidaan laskea rakenteen yksinkertaisuus, hiljaisuus, sekä runsas valmistajien lukumäärä. Lisäksi yksisuuntaisen laakerin voi kiinnittää joko puristusliitoksella tai kiilaliitoksella. Yksisuuntaisten laakereiden kytkentämomentit ovat huomaamattoman pieniä, alle 1 Nm. Huomataan myös että kyseisellä momentinkestolla laakerin koko pysyy kohtuullisen siedettävänä: pienimmillään ulkohalkaisija on 80 mm ja paino alle 500 g sekä hinnat ovat edullisia alkaen n. 40 euroa kappaleelta. Taulukossa 1 on esitelty viiden mahdollisen yksisuuntaisen laakerin ominaisuudet. Taulukossa on esiteltyinä laakerin valmistaja, malli, hinta, käyttöikä, momentin kesto, ulkohalkaisija, sisähalkaisija, paksuus sekä paino. Taulukon tiedot ovat paikallisen Laakerikeskuksen tietokannasta. Huomautan että käyttöiät on otettu valmistajan tiedoista oletuksella että pyörintänopeus on korkeintaan 100 kierrosta

minuutissa. Tässä tapauksessa käyttöikä on vain arvio johtuen kohteen epätasaisesta ja sysäyksittäisestä toiminnasta.

Taulukko 1: Laakereiden tietoja

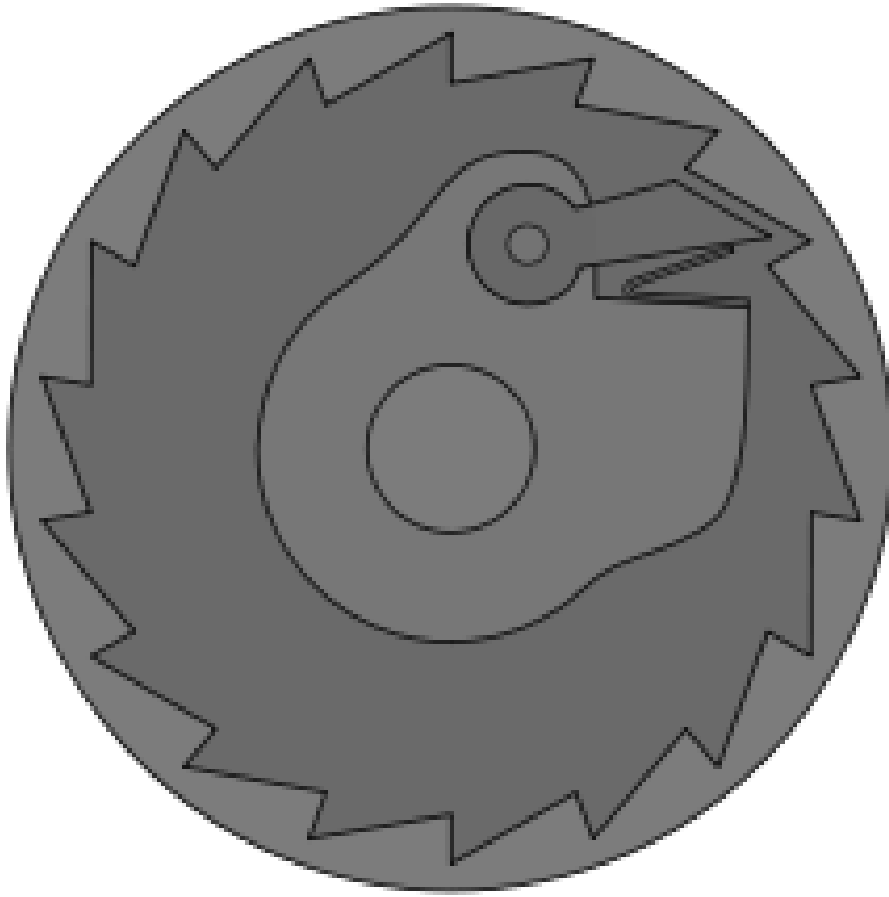
Valmistaja	Malli	Hinta/ Euro	Käyttöikä/ tunti	Momentin kesto/ Nm	Ulkohalkaisija/ mm	Sisähalkaisija/ mm	Paksuus/ mm	Paino/ g
SKU	CSK40	39	20000	325	80	40	22	500
SKS	SKSC140	50	15000	250	80	40	20	450
NSK	NSKC50A	50	20000	300	80	40	22	495
INA	CK40	49	20000	275	80	40	22	550
KOYO	KOYOCK40	89	25000	300	80	40	20	450

5.1.2 Haitat

Suurimpana haasteena näkisin kestämissä. Aaltoenergiälaitteiston olosuhteet ovat haastavat kaikille komponenteille. Kosteus on aina huono asia laakerille, mutta niitäkin toki löytyy suljettuina yksikköinä, jolloin kosteuden ei pitäisi päästä laakeriin sisälle. Taulukossa 1 esitellyt laakerit ovat kaikki suljettuja, jolloin niiden tulisi kestää kosteissa oloissa annetut käyttöiät, jos kuormitus pysyy sallituissa rajoissa. Pyörimismomentin lisäksi laakeri kuormittuu dynaamisesti sekä staattisesti, eli laakeriin kohdistuu paine. Dynaaminen paine kun akseli pyörii ja staattinen paine kun akseli on levossa. Näille suureille annetaan myös raja-arvot laakerin ominaisuuksissa. Nämä kuormitukset määräytyvät akselin mitoituksen ja tuennan

5.2 Vapaakytkin

Vapaakytkin lienee helpoin mieltää polkupyörästä. Polkupyörässä missä ei ole jalkajarrua polkiessa voima välittyy takapyörälle, mutta polkimet voi pysäyttää ilman että takapyörä pyörittäisi polkimia. Polkimia voi jopa polkea taaksepäin ja kuuluu vain räikän nakutus kun vapaakytkin toimii. Yksinkertaisin versio vapaakytkimestä onkin eräänlainen räikkä, joka on esitetty kuvassa 10. Tämä räikkätoimintaperiaate on esitetty ja patentoitu William Van Andenin toimesta jo vuonna 1869.



Kuva 10: Vapaakytkimen toimintaperiaate (www.amhistory.si.edu)

Vapaakytkimestä löytyy eri toimintaperiaatteita mm. jousikuormitettu versio. Tämänkaltainen kytkin ei kuitenkaan ole ideaalisin tähän toteutukseen, koska se vaatii pyörintänopeutta tai -momenttia kytkeytyäkseen. Aallokosta riippuen aaltoenergialaitteisto saattaa ajoittain liikkua hyvinkin verkkaisesti.

5.2.1 Edut

Vapaakytkimen edut ovat valmistajien lukumäärän paljous sekä rakenteen yksinkertaisuus varauksin. On toki olemassa monimutkaisiakin rakenteita, mutta tähän tarkoitukseen yksinkertaisemmat ratkaisut ovat suotavia.

5.2.2 Haitat

Haittapuoliin lukeutuu päällimmäisenä hinta sekä toimintavarmuus. Laakerin hinnalla ei saa vielä mitään kytkintä, vaan käyttötarkoitukseen sopivat kytkimet ovat hinnaltaan alkaen 100 euroa. Kytkimen toimintavarmuus aiheuttaa mietiskelyä aaltoenergialaitteiston käyttötarkoituksessa. Kytkin vaatii kytkentämomentin lukittuakseen ja jos tätä ei saavuteta, pyörii kytkin vapaana koko ajan. Esimerkiksi lievässä aallokossa voisi tulla ongelmia jos kellukkeen liike ei ole tarpeeksi aggressiivista saavuttaakseen kytkimen kytkentämomenttia. Paitsi jos kyseessä olisi aiemmin mainittu räikkämalli, jonka haittana ovat melu ja räikästä aiheutuva vastus.

Nämä asiat toki olisivat mahdollista selvittää tarkemmin laitteistoa suunniteltaessa ja mitoitusta tehdessä, mutta minulle annetuilla lähtötiedoilla en kykene ottamaan kantaa asiaan vaan joudun toteamaan yleisesti että kytkeytymisessä yksisuuntainen laakeri on toimintavarmempi ratkaisu. Lisäksi olosuhteiden aiheuttamat ongelmat ovat olemassa, mutta kukaan ei osaa suoraan sanoa mitä kosteus tekee kytkimen kitkapinnoille ja niiden kestoialle.

6 KOMPONENTIN VALINTA

Kävin useita keskusteluja aiheesta paikallisten komponenttitoimittajien Laakerikeskuksen ja ETRA:n edustajien kanssa vierailemalla liikkeissä 19.10.2014–30.10.2014 välisenä aikana. Lisäksi konsultoin erästä kehityspäällikköä tapaamalla hänet 20.10.2014, joka työskentelee paikallisessa paperiteknologian yrityksessä. Hän haluaa salata identiteettinsä sekä työpaikkansa tässä työssä. Hänellä kuitenkin oli kokemusta vastaavanlaisen järjestelyn toteutuksesta. Hän on vuosi sitten toteuttanut työpaikallaan manuaalisesti käytettävän rullaimen, jossa kokeili yksisuuntaista laakeria aiemman räikkäkytkimen sijaan. Tapaukset eivät toki ole mitenkään vertailukelpoisia johtuen eri olosuhteista, mutta tyytyväisyyttään yksisuuntaiseen laakerin hän vannoi.

Kaikki edellä mainitut asiantuntijat vahvistivat omaa käsitystäni siitä, että tähän tapaukseen suosiollisin momentinsiirron toteutustapa olisi yksisuuntainen laakeri. Kaikkien mielestä yksisuuntainen laakeri on suosiollisin vaihtoehto tähän toteutukseen yksinkertaisuutensa, pienen kokonsa, edullisuutensa sekä huoltovapautensa takia

Yksinkertaisimmillaan toteutus voisi olla seuraava: vaijeripyörältä tuleva akseli mitoitetaan laakerin sisähalkaisijaan sopivaksi puristusliitoksella, laakerin ulkohalkaisijaan tulee niin ikään puristusliitoksella akseli, joka menee generaattorille. Tai vaihtoehtoisesti laakerin ulkohalkaisijaan tulee kuppi puristusliitoksella, joka vasta yhdistetään akseliin, jos suuri halkaisija aiheuttaa ongelmia generaattorin akselissa. Määräajoin laakeri vaihdettaisiin uuteen ja muita huoltoja komponentille ei tarvitsisi ihanteellisessa tilanteessa tehdä.

6.1 Valmistajat

Yksisuuntainen laakeri löytyy nykyään kaikkien suurempien laakerivalmistajien katalogeista: SKU, SKS, NSK, INA, SKF ja Koyo muutamia mainitakseni.

Tähän kyseiseen käyttötarkoitukseen laakerilta ei vaadita ihmeellisiä ominaisuuksia tai tekniikkaa: rakenteen tulee olla suljettu ja momentinkeston yli 100 Nm. Näillä vaatimuksilla useammalta löytyy ehdokkaita ja ne ovat teknisiltä ominaisuuksiltaan keskenään lähes identtisiä, jotka ovat esillä taulukossa 1 sivulla 23. Hinnassa eroa on enimmillään 20 euroa, joka enimmäkseen johtuneen valmistusmaasta ja materiaaleista.

Mikäli ASWEC -2014 etenee prototyypivaiheeseen, johon kuuluu useampi yksikkö, suosittelisin kokeilemaan eri valmistajien laakereita erojen lopulliseksi selvittämiseksi. Olen kuullut puhetta sadan yksikön kokeiluerästä, johon ottaisiin aina kymmenen samanlaista laakeria. Tällöin erilaisia yksikköjä olisi niin ikään kymmenen, joihin voisi valita erikokoisia laakereita eri valmistajilta ja tutkia mikä olisi optimaalisin.

6.2 Esimerkkivalinta

Kuten jo edellä totesin, hyvin samankaltaisia vaihtoehtoja löytyy valmistajasta riippumatta. Asettamalla vaatimuksiksi 200 Nm momentinkeston, suljetun rakenteen ja 20000 tunnin käyttöiän mainitulla 100 kierrosta minuutissa ehdolla, löytyy joka valmistajalta osapuilleen seuraavanlainen laakeri: dimensiot (ulkohalkaisija x sisähalkaisija x paksuus) 80 mm x 40 mm x 22 mm, paino noin 400 - 500 grammaa, hinta 30 - 50 euroa kappale.

Kyseinen laakeri siis kestäisi kolmisen vuotta ennen vaihtamista. Laakerit 100 aaltoenergialaitteistoon maksaisivat suunnilleen 3000 euroa, jos hankkisi edullisimman vaihtoehdon. Vaihtoehdoista edullisin on SKU:n CSK40 -mallinen laakeri, esillä kuvassa 10. Kyseisestä laakerista saa kolme erilaista kiinnitysversiota: 1) molemmat pinnat liitetään puristamalla, 2) toinen pinta puristamalla ja toinen kiilalla tai 3) molemmat pinnat kiilalla.



Kuva 11: SKU CSK40 -yksisuuntainen laakeri (www.bocabearings.com)

Kyseinen laakeri painaa 500 grammaa, kestää 325 Nm:n momentin, 3000 kierrosta minuutissa ja käyttöikä on 20000 tuntia. Laakerin vastustusmomentti on 0,07 Nm, joka on tyypillinen tämän hintaluokan laakereille. Parhaimmillaan vastustusvoima on vain 0,03 Nm Koyon laakerissa, mutta sellainen maksaa yli 80 euroa kappale.

7 PÄÄTELMÄT JA YHTEENVETO

7.1 Päätelmät

Tässä työssä keskityttiin komponentin valintaan ASWEC -2014 -aaltoenergiälaitteiston konseptiin. Komponentin tehtävänä on toimia yksisuuntaisena kytkimenä edestakaisen pyörimisliikkeen momentin välittämisessä generaattorille.

Kuten monesti suunnittelussa, päädyin itsekin samaan johtopäätökseen, yksinkertaisin on usein paras ratkaisu. Olen aidosti sitä mieltä, että esittämäni yksisuuntaisen laakerin tapainen toteutus on edullisin ja toimivin vaihtoehto annettuihin vaatimuksiin ja toiveisiin vedoten. Kyseiseen tehtävään sopivia laakereita on reilusti, joten lopullisen valinnan määrittelevät yksittäiset tarjoukset. Olen esittänyt mahdollisen valinnan tiedustelujeni perusteella esimerkkinä tehtävään soveltuvasta komponentista.

Huomauttaisin vielä, että laitteistossa tulee olla jokin suoja mekanismi esimerkiksi myrskyjen varalta. Kovassa aallokossa liike on niin aggressiivista, että laakeri ja muutkin komponentit saattavat vaurioitua. Laitteessa onkin tarpeen olla jokin suoja mekanismi liian kovan aallokon varalta. Suunnittelupalavereissa on ideoitu painolastitankeista, jotka voidaan täyttää vedellä ja vähentää kellukkeen nostetta. Myrskyn tullen kelluke voitaisiin tehdä niin raskaaksi, ettei se enää kellu pinnalla, jolloin aallot eivät liikuta sitä niin rankasti.

7.2 Yhteenveto

Aaltoenergian talteenotto on eittämättä yksi suuri tulevaisuuden kehityskohde energiavarojen hupertessa edelleen ja ekologisuuden korostuessa. Tässä työssä paneuduttiin hieman historiaan sekä olemassa oleviin ratkaisuihin ennen varsinaisen aiheen käsittelyä.

Komponenttia valittaessa paikalliset liikkeet edustajineen auttoivat mielellään. Valmistajille lähettämäni sähköpostikyselyt sen sijaan eivät saaneet kovin kattavia tai kiinnostuneita vastauksia. Joitakin teknisiä ominaisuuksia sai etsimällä etsiä, sillä katalogeissakaan ei mainita esimerkiksi meluarvoja lainkaan. Myös käyttöikä on monessa kuvastossa jätetty ilmoittamatta.

Vaihtoehtojen runsaus aiheuttaa sen, etten voi yksiselitteistä ratkaisua ongelmaan esittää. Esitin kuitenkin vaihtoehtoja sekä esimerkkiratkaisun.

Aaltoenergialaitteiston suunnittelussa on lähes rajaton määrä muuttujia, jotka ratkaisevat konseptin toimivuuden. Olisi mielenkiintoista olla mukana muidenkin osa-alueiden tutkimisessa ja suunnittelussa, sillä aaltoenergiassa on varmasti vihreän energian tulevaisuus.

LÄHTEET

- Alcorn, Raymond & Lewis, Tony 2008. Wave Energy. Teoksessa Trevor M. Letcher (toim.) Future Energy – Improved, Sustainable and Clean Options for Our Planet. Amsterdam ym. : Elsevier, 129–149.
- Barstow, Stephen, Mørk, Gunnar, Mollison, Denis & Cruz, João 2008. The Wave Energy Resource. Teoksessa João Cruz (toim.) Ocean Wave Energy – Current Status and Future Perspectives. Berlin: Springer, 93–132.
- Cruz, João 2008. Introduction. Teoksessa João Cruz (toim.) Ocean Wave Energy – Current Status and Future Perspectives. Berlin: Springer, 1–6.
- Feris, Leon & Infield, David 2008. Renewable Energy in Power Systems. Chichester: Wiley.
- International Energy Agency – Key World Energy Statistics 2009. [pdf-tiedosto]. [viitattu 4.10.2014] Saatavissa:
http://www.iea.org/textbase/nppdf/free/2009/key_stats_2009.pdf
- McCormick, Michael E. 2010. Ocean Engineering Mechanics With Applications. Cambridge ym. : Cambridge.
- Raunio, Helena 2007. Aaltovoiman kehitys saa sijoittajat liikkeelle. Tekniikka & Talous. [online] [viitattu 15.8.2014].
<http://www.tekniikkatalous.fi/energia/article52240.ece>
- Seabased AB 2009 – Kuva. <http://www.seabased.com/images/stories/bojeng5.png>
- Seabased AB 2009 – Seabased group [pdf-tiedosto]. [viitattu 2.8.2014] Saatavissa:
<http://www.seabased.com/images/stories/seabased%20090203.pdf>
- Yemm, Richard 2008. Full-Scale WECs. Pelamis. Teoksessa João Cruz (toim.) Ocean Wave Energy – Current Status and Future Perspectives. Berlin: Springer, 304 – 321