



Nea Riikonen

WaveRollerin EoL-suunnittelu sekä kierrätys- ja upcycling-mahdollisuu- det

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Energia- ja ympäristötekniikka

Insinöörityö

27.5.2024

Tiivistelmä

Tekijä:	Nea Riikonen
Otsikko:	WaveRollerin EoL-suunnittelu sekä kierrätys- ja upcycling-mahdollisuudet
Sivumäärä:	34 sivua
Aika:	27.5.2024
Tutkinto:	Insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma:	Energia- ja ympäristötekniikka
Ammatillinen pääaine:	Ympäristötekniikka
Ohjaajat:	Lehtori Tomi Hämäläinen AW-Energy tekninen johtaja, Ville Kortelainen

Opinnäytetyön aiheena oli perehtyä AW-Energyn kehittämän WaveRoller-aaltovoimalan perustuksen kierrätys- ja upcycling-mahdollisuuksiin. Työ on kohdistettu WaveRoller-laitteistolle, ja työssä tarkastellaan laitteiston materiaalien vaikutusta kierrätykseen. Työssä esitellyt mahdollisuudet ovat sovellettavissa vastaavanlaisiin laitteistoihin ja materiaaleihin.

Työssä sivuttiin laitteiston materiaalitehokkuutta sekä esiteltiin kehitysideoita materiaalitehokkuuden osalta. Pääprioriteettina työssä oli laitteen End of Life -mahdollisuudet, kierrätys osana EoL-suunnitelmaa ja tieto mahdollisuuksista upcyclingin suhteen.

Yrityksen tavoitteena on kehittää nykyisen WaveRoller-laitteiston EoL-mahdollisuuksia sekä saada lisää tietoa upcycling-mahdollisuuksista laitteistolle. Opinnäytetyössä etsittiin tietoa samankaltaisista EoL-suunnitelmista ja upcycling-toteutuksista. Opinnäytetyössä kerättyä tietoa käytetään yrityksessä laitteen kehittämiseen.

Työssä esitellyt kehitystavat kerättiin vastaavanlaisia materiaaleja hyödyntävistä laitteista, jolloin ehdotukset voisivat soveltua aaltovoimalan perustukselle. Työn tekemisessä on hyödynnetty muiden vedessä olevien laitteistojen tutkimuksia EoL:stä ja upcyclingista, jolloin haastavin osuus eli laitteiston paikka merivesiympäristössä on otettu huomioon.

Avainsanat: aaltovoimala, upcycling, kierrätys, EoL

Tämän opinnäytetyön alkuperä on tarkastettu Turnitin Originality Check -ohjelmalla.

Abstract

Author: Nea Riikonen
Title: Waveroller's EoL Design and Its Recycling and Upcycling Possibilities
Number of Pages: 34 pages
Date: 27 May 2024

Degree: Bachelor of Engineering
Degree Programme: Energy and Environmental Technology
Professional Major: Environmental Engineering
Supervisors: Tomi Hämäläinen, Senior Lecturer
Ville Kortelainen, AW-Energy Technical Manager

The purpose of this thesis was to study the recycling and upcycling possibilities of the WaveRoller plant's foundation, which has been developed by AW-Energy. The thesis focuses on the WaveRoller device and examines the effect of the device's materials on recycling. The possibilities presented in the thesis are applicable to similar devices and materials.

The thesis addresses the material efficiency of the device and presents development ideas regarding material efficiency. The main priority in the thesis is the end-of-life possibilities of the device, as well as recycling as part of the EoL plan and information about the possibilities in terms of upcycling.

The company's goal is to develop the EoL possibilities of the current WaveRoller device and to obtain more information about upcycling possibilities for the device. Therefore, information was sought on similar EoL plans and upcycling implementations. The information collected in the thesis is used in the company to develop the device.

The development methods presented in the thesis were collected from devices utilizing similar materials, in which case the proposals could be suitable for the foundation of a wave power plant. Furthermore, studies on EoL and upcycling, of other devices in water were utilized so that the most challenging part, the location of the device in the seawater environment, could be taken into account.

Keywords: wave power plant, upcycling, recycling, EoL

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Aaltovoima	1
2.1	Erilaiset aaltovoimalaitteistot	3
2.2	AW-Energy	6
2.3	WaveRoller	6
2.3.1	Materiaalit	9
2.3.2	Kehitysideat materiaalitehokkuudesta	11
3	End of Life -merkitys	14
3.1	EoL:n hyödyntäminen WaveRollerille	18
3.2	Materiaalien kierrätysmahdollisuudet	21
4	Upcyclingin merkitys	27
4.1	Upcyclingin mahdollisuudet WaveRollerille	28
4.2	Kehitysideat upcycling-mahdollisuuksien lisäämiseksi	32
5	Yhteenveto	33
	Lähteet	35

Lyhenteet

- AHA: Asbesti- ja haitta-aine, eli AHA-näyte on tutkimus, jonka avulla voidaan selvittää betonissa mahdollisesti olevien haitta-aineiden määrää.
- EoL: End of Life viittaa tuotteen loppusijoitukseen eli siihen, mitä tuotteelle tapahtuu, kun se tulee elinkaarensa päähän.
- OWC: Oscillating Water Column eli oskilloiva vesipatsas on yksi aaltoenergiaratkaisu. Se perustuu ilman virtaukseen, joka syntyy vesipatsaan liikkeestä ylös ja alas. Ilma virtaa Wellsin turbiinin läpi, joka pyörittää sähkögeneraattoria.
- PAH: Polysyklisiä aromaattisia hiilivetyjä eli PAH-yhdisteitä syntyy epätäydellisen palamisen sivutuotteina. Niiden muodostuminen vaatii fossiilisten polttoaineiden käyttöä osana palamisprosessia.
- PCB: Polyklooratut bifenyylit eli PCB-yhdisteet syntyvät palamisen sivutuotteina ja kloorausprosesseissa. Ne ovat ominaisuuksiltaan erittäin kestäviä, minkä myötä niiden säilyvyys ympäristössä on pitkäaikaista.

1 Johdanto

Tämä opinnäytetyö tarkastelee aaltovoiman tuotannon laitteiston hyödyntämistä elinkaarensa päässä ja pyrkii laajentamaan käsitystä upcyclingin hyödyntämisestä ja kierrätysmahdollisuuksista aaltovoima-alalla. Työ on rajattu AW-Energyn aaltovoimalan perustukseen ja sen mahdollisuuksiin. Opinnäytetyön tuloksia voidaan käyttää alan toimintatapojen kehittämiseen, jotta voidaan mahdollistaa materiaalitehokkaampia ratkaisuja, jolloin materiaalit ja raaka-aineet ovat mahdollisimman pitkäikäisiä.

Työssä tarkastellaan AW-Energyn kehittämän WaveRoller-aaltovoimalan tulevaisuutta laitteen perustuksen osalta laitteen tullessa elinkaarensa päähän. Mahdollisuudet on jaettu upcyclingiin ja kierrätykseen eli tuotteen käyttämistä sellaisenaan tai hieman muokaten tai tuotteen muuttamista takaisin raaka-ainetasolle ja rakentaen uusia tuotteita raaka-aineiden avulla. Työssä esitellään myös kehitysideoita materiaalitehokkuuden ja upcyclingin näkökulmasta.

2 Aaltovoima

Aaltovoima on vielä testaus- ja kehitysvaiheessa oleva tapa tuottaa energiaa ihmisten tarpeisiin. Aaltovoimaa on tutkittu laajalti ja sen myötä on kehitetty useita erilaisia laitteistoja, joiden avulla aaltojen sisältämää energiaa muunnetaan sähköksi. Laitteistot ovat vielä koekäytössä, eikä täten tuotantokäyttöisiä laitteistoja pahemmin ole vielä. Teknologia on uutta ja aaltovoiman rakentamiskustannukset ovat suuria, koska aaltovoima ei pysty kilpailemaan muiden uusiutuvien energianlähteiden kanssa tällä hetkellä. [1.] Aaltovoiman käyttämisessä osana energiantuotantoa on suuri potentiaali, jopa 10–20 % globaalista sähköntarpeesta on tulevaisuudessa mahdollista kattaa aaltovoiman avulla [2]. Potentiaalia aaltovoimalla on arviolta jopa 1,8 TW, joista 500 GW on helposti saavutettavissa oikeiden laitteistojen avulla, eli aaltojen energiatiheys ja paikka ovat otollisia aaltovoiman rakentamiselle. Helposti saavutettavan energian kriteerinä on se, että aallon sisältämä energiatiheys on yli 30 kW/m vuotuisesti. [1.] Tällaisia

alueita löytyy muun muassa Australian, Islannin ja Grönlannin eteläpuolelta, Ison-Britannian, Yhdysvaltojen ja Kanadan länsipuolelta sekä Etelä-Afrikan ja Chilen etelä- ja lounaisrannikoilta [3].

Aaltovoimaa on tutkittu jo 1800-luvulla, mutta varsinaiseen nousuun se on lähtenyt vasta 1970-luvulla. Aaltovoimaa ruvettiin tutkimaan ja kehittämään öljykriisin myötä, kuten monia muitakin uusiutuvan energiantuotannon muotoja. Öljykriisin aikana aaltoenergian tutkimiseen ja kehittämiseen panostettiin suurin investoinnein, jotta fossiilisten polttoaineiden riippuvuudesta päästäisiin eroon. Useat projektit kaatuivat kuitenkin suurien kustannusten ja kehittymättömien teknologioiden takia. [1.]

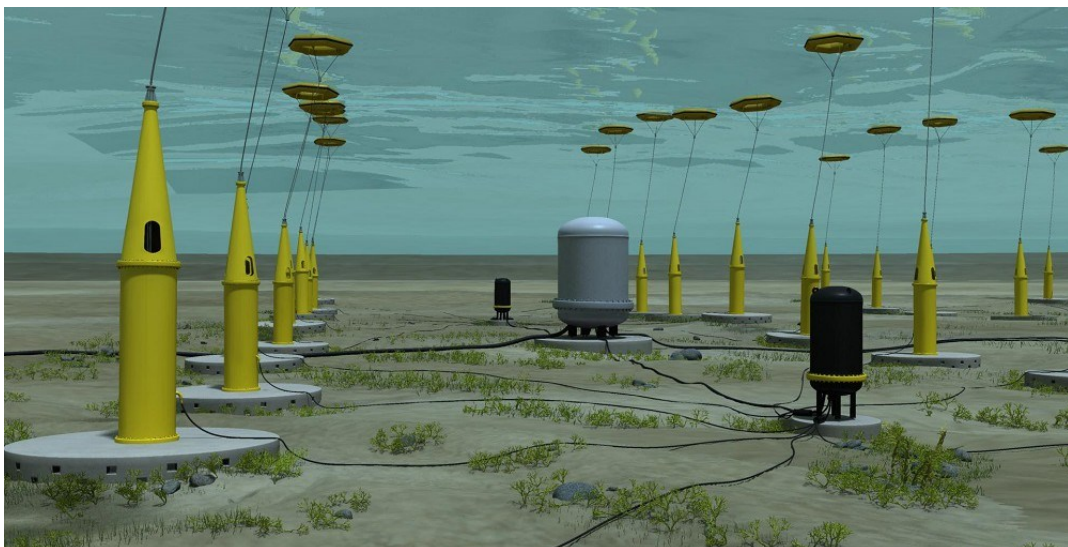
Viimeisten vuosikymmenten aikana on kehitelty useita aaltoenergiaprojekteja, joista osa on todistanut sen, että aaltoenergialla on potentiaalia tulevaisuudessa osana energiantuotantomenetelmiä. Suurimpia haasteita projekteissa ovat olleet meren ankarat olosuhteet, jotka ovat aiheuttaneet korroosiota tai myrskyvaurioita laitteisiin, sekä siirtomatkat asennuspaikoille. Aalloista valjastettavan energian muuntaminen sähköksi on ollut näiden haasteiden ohella yksi suurimmista vaikeuksista. Haasteena ympäristönsuojelun näkökulmasta ovat laitteistojen vaikutukset merien kasvustoihin sekä eläinkantoihin. Näitä haasteita on pyritty selvittämään, jotta laitteistot eivät pilaisi merten ekosysteemejä. [1.]

Tekijät, jotka vaikuttavat aaltovoiman saatavuuteen, ovat etäisyys rannikosta, rannikon maastonmuodot, mahdolliset suojelualueet sekä meren hyödyntäminen muilla tavoin, kuten laivaliikenne. Saavuttaessa kauemmas rannikosta aaltojen ennakointi ja suuntien määrittely käy haastavammaksi, minkä myötä suurin osa aaltovoimalaitteistoista pyritään sijoittamaan suhteellisen lähelle rantaviivaa eli mieluummin maksimissaan noin 50 kilometrin päähän rannikosta. [1.] Aaltovoimaloiden sijoittamisen kannalta on tärkeää ottaa huomioon niiden huoltoon vaikuttavat asiat. Mitä haastavampiin olosuhteisiin laitteita asennetaan, sitä haastavammaksi käy laitteistojen huollot ja asennukset. Tämän takia onkin tärkeää kartoittaa huolellisesti alueen asennus- ja huoltomahdollisuudet.

Aaltovoiman haasteena on se, että sen rakentaminen ei ole investointimielessä kannattavaa alueille, joissa vuotuinen energiantiheys aalloissa on alle 30 kW/m. Kaikista parhaat alueet aaltovoiman näkökulmasta ovat vähäinfrastruktuuriset rannikot, joilla erilaiset sääolosuhteet pääsevät rakentamaan suuria energiamääriä sisältäviä aaltoja. Näihin alueisiin lukeutuvat esimerkiksi Euroopan, Pohjois-Amerikan, Australian, Etelä-Amerikan ja Afrikan länsirannikot. [1.]

2.1 Erilaiset aaltovoimalaitteistot

Aaltovoimalaitteistoja on useita erilaisia, sillä vuosien mittaan on kehitelty ja kehitetty erilaisia laitteistoja, pyrkien selvittämään tehokkain. Laitteistot pyrkivät pohjimmiltaan muuttamaan liike- tai potentiaalienergian mekaaniseksi työksi mahdollisimman tehokkaasti. Erilaisia aaltovoimalaitteistoja on kehitelty niin merien pohjaan, pinnan alle, pinnalle kuin rannikoillekin asennettaviksi. Yksi innovaatio on kelluvat poijut. Niiden toiminta perustuu siihen, että aalto liikuttaa poijua, joka ottaa aaltojen liikkeestä syntyvän energian talteen. Poiju on kiinnitetty veden alla sijaitsevaan rakenteeseen, ja aaltojen aiheuttama liike saadaan muunnettua sähköksi voimanottojärjestelmän avulla, joka sijaitsee rakenteessa. [1.] Kuvassa 1 on havainnollistettu poijujen toimintaa ja asennusta.



Kuva 1. Fortumin poijut Sotenäsin aaltovoimapuistossa [4]

Toisenlainen innovaatio on puolestaan vaimennin, kuva 2, eli meren pinnalla kelluva laite. Laitteen toiminta perustuu siihen, että se muistuttaa ulkonäöltään aaltoa, eli se koostuu useista saranoista ja tämän myötä, kun aalto osuu siihen, se liikkuu samoin kuin aallotkin. Aalloista saatavan energian muuttaminen sähköksi tapahtuu useimmiten hydraulipumppujen tai lineaarigeneraattoreiden avulla, mutta käytössä voi olla myös muita voimanoton järjestelmiä. [1.]



Kuva 2. Pelamis P2 -vaimennin [5]

Oskilloivat vesipatsaat ovat aaltovoimanlaitteistoja, joiden toiminta perustuu siihen, että aalloista tuleva vesi liikuttaa kammiossa olevaa ilmaa, joka puolestaan tunkeutuu turbiiniin ja tuottaa tämän myötä sähköä. OWC:iden erilaisuus suhteessa aiemmin mainittuihin aaltovoimainnovaatioihin perustuu siihen, että niitä voidaan rakentaa maalle tai integroida muihin rakenteisiin, esimerkiksi aallonmurtajiin. Skotlannissa sijaitseva Islay LIMPET on OWC-laitteisto, joka näkyy kuvassa 3. [1.]



Kuva 3. OWC-laitteisto LIMPET [6]

Merien pohjiin upotettavien aaltovoimaloiden toiminta puolestaan perustuu siihen, että aallon aiheuttama liike muunnetaan mekaaniseksi työksi, hydraulisen männän avulla, jonne syntyy paine-ero, jonka avulla pyöritetään generaattoria. [1.] Vesimolekyylien liikerata aalloissa on joko ympyrä- tai ellipsiradoilla tapahtuvaa. Vesimolekyylien liike kääntyy, mitä lähemmäksi rantaa saavutaan. Aallonharjalla vesimolekyylien liikesuunta on sama kuin aallon. Kun syvyys muuttuu, vesimolekyylien muoto muuttuu. Aallonpituuden ollessa kaksi kertaa suurempi kuin syvyyden vesimolekyylien liikerata on ellipsimuotoinen. [7.] Vesimolekyylien liikkeen avulla saadaan tuotettua sähköä voimantojärjestelmän avulla. Aaltovoiman hyödyntämisessä käytetään potentiaalienergiaa, liike-energiaa tai molempia, riippuen teknisestä ratkaisusta. Aalto ja vesimolekyylien liikeradat liikkuvat meren pohjassa olevaa saranoitua paneelia, ja laitteessa oleva hydraulimäntä muuttaa liikkeen hydrauliseksi energiaksi, joka muunnetaan generaattorin

avulla sähköksi. AW-Energyn WaveRoller-laitteiston toiminta perustuu kyseiseen innovaatioon. [1.]

2.2 AW-Energy

AW-Energy on aaltovoima-alan yritys, joka kaupallistaa meren aaltoenergiaa. Yritys on perustettu vuonna 2003, ja sen kotipaikkakuntana toimii Helsinki. [8.] AW-Energy on suomalainen yritys, jonka päätuotteena on WaveRoller-aaltovoimala. Yritys on saanut rahoitettua hankkeensa EU-rahoituksen ja yksityisen rahoituksen avulla, ja nyt kehitteillä on WaveRollerin tuoteperheeseen kuuluva pienempi aaltovoimala. [7.]

Vuonna 2007 yritys loi prototyypin, joka asennettiin Portugalin rannikolle. WaveRoller oli meressä 4 kuukautta, ja sen jälkeen tuotetta kehitettiin uudella voimantoakselilla. 2010 demonstraatiolaitte WaveRollerista asennettiin Portugaliin kolmeksi vuodeksi, ja se sisälsi kolme paneelia, joiden avulla aalloista kerättiin energiaa. 2015 AW-Energy avasi testilaitoksen Järvenpäähän, jossa laitetta testattiin valvotuissa olosuhteissa ja tulosten perusteella laitetta pyrittiin kehittämään ja optimoimaan sen toimivuutta. 2016 AW-Energy laajensi toimittajaverkostoaan, jonka avulla tuotetta päästiin valmistamaan, kokoamaan ja testaamaan ympäri Eurooppaa. Laajentamisen myötä tärkeäksi asiaksi tuli myös tuotteen sertifiointi. Yrityksellä on suoritettuna tuotesertifiointi Lloyd's Register Energyn välityksellä. Tuotesertifikaatti sisältää takuun siitä, että laite on suunniteltu ja valmistettu huolellisesti, sekä noudattaa alan standardeja. 2019 puolestaan ensimmäinen laite, jonka nimellisteho oli 350 kW, saatiin otettua käyttöön ja sillä saatiin tuotettua sähköä Portugalin valtakunnalliseen verkkoon. 2023 WaveRollerin tuoteperhe lanseerattiin ja asiakkaat pystyivät tilaamaan omiin tarpeisiinsa sopivan laitteen. [7.]

2.3 WaveRoller

WaveRoller on AW-Energyn kehittelemä aaltovoimala, jonka toiminta perustuu pohja-aalloista talteen otettavaan energiaan. Kyseessä on merenpohjaan

asennettu saranoitu aaltovoimala. WaveRoller muuntaa aalloista saatavan liike-energian sähköksi. WaveRollereita on mahdollista hyödyntää yksittäisinä laitteina tai aaltofarmeina, jolloin laitteita on useampi vierekkäin. Laitteen tekninen käyttöikä on 20 vuotta, ja huoltoja laitteelle suoritetaan 5 vuoden välein. Laitteeseen kuuluu perustus, paneeli ja voimanottoyksikkö. Yritys on ilmoittanut laitteen mitoitetuksi kapasiteetiksi 350–1 000 kW ja kapasiteettikertoimeksi 25–50 %. Nämä riippuvat kuitenkin asennuspaikasta ja aalto-olosuhteista. Laitteella saatava teho on huomattavasti suurempi kuin esimerkiksi saman pinta-alan vievä tuuliturbiini. Samankokoisen pinta-alan vievän tuuliturbiinin ja WaveRollerin erot ovat merkittäviä, sillä WaveRollerilla voidaan tuottaa jopa seitsemän kertaa enemmän sähköä, silloin kun se on sijoitettuna kannattavalle paikalle. [7.]

WaveRollerista on rakennettu kuiva-maatestauslaitos, joka mahdollistaa laitteen koekäytön alhaisemmilla kustannuksilla. Kuiva-maatestauksen valttina on se, että laitetta voidaan helposti kehittää ja säätää ilman haastavia meritestejä. Testilaitos on rakennettu niin, että hydraulinen mäntä simuloi paneelin liikettä, jolloin testilaitoksen yhteyteen ei ole tarvinnut rakentaa paneelia. Testilaitos kohdistaa laitteelle samansuuruiset voimat, kuin meren aallot. Testauslaite mahdollistaa eri meritilojen aiheuttamat riskit laitteelle, ja tuotetta voidaan testata laajalti eri meritilojen avulla. [7.]

Laitteen asennus tapahtuu lähelle rannikkoa, 0,3–2 kilometrin päässä rantaviivasta, jolloin laitteen asennus ja mahdolliset hoitotoimenpiteet ovat mahdollisimman helposti toteutettavissa. Optimaalisuus laitteelle on 6–20 metriä. Laitteen paneeli jää asennuksessa osittain pinnan yläpuolelle. Laite on kooltaan 25 metriä toiselta sivulta ja 30 metriä toiselta eli muodostaa suorakaiteen muotoisen perustuksen. Alue määräytyy aaltojen mukaan, eli mitä aaltoisammalla alueella paneeli on, sitä optimaalisemmin se toimii. Aalto liikuttaa laitteen paneelia, josta liike siirtyy voimanotolle, jossa hydraulipiiri ja sähkögeneraattori muuntavat liikkeen aiheuttaman vääntömomentin sähköksi. Sähkö saadaan sähköverkkoon merenalaisen kaapelin avulla, joka asennetaan ennen laitteen viemistä merelle. Kuvassa 4 on havainnollistava kuva WaveRollerista, joka on asennettu mereen.

Kuvasta nähdään, että osa laitteesta saattaa olla merenpinnan yläpuolella ajoittain, mutta yleisesti asennus on suunniteltu niin, että laite ei aiheuta näköhaittaa. Laitteen ympärille on asennettu merkkipoijuja, joiden avulla voidaan välttää veneliikennettä kyseisellä alueella. Laitteet on asennettu myös niin lähelle rannaa, että veneliikennettä on ylipäänsä alueella vähän. [7.]

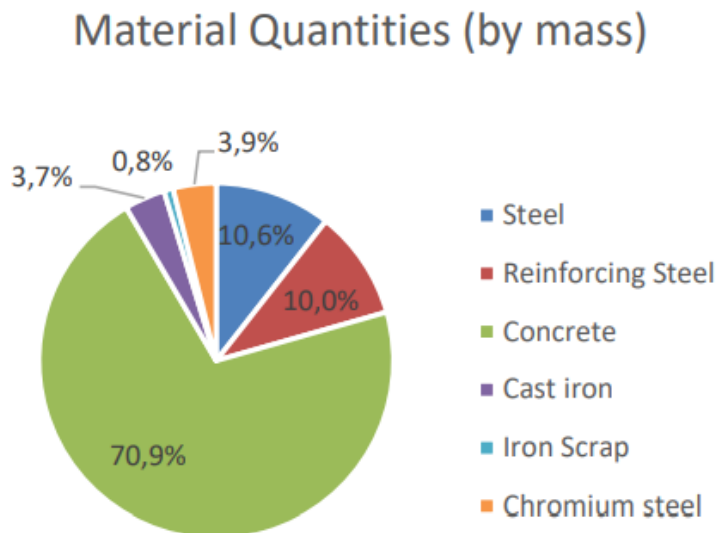


Kuva 4. WaveRoller asennettuna mereen [7]

WaveRoller on suunniteltu siten, että vaikutukset ympäristöön on minimoitu. WaveRollerilla tuotettava energia on uusiutuvaa. Hydraulijärjestelmän työaine on öljyä. Järjestelmässä on kaksoiseinämä rakenne estämässä öljyn pääsyä mereen. Kaikki hydraulijärjestelmät ovat hyvin koteloituja, joiden avulla voidaan estää meriveden pääsy järjestelmiin. Laitteen asennuksen yhteydessä tarkistetaan asennuspaikka huolellisesti, jotta laitteen asennus ei haittaisi merielämää. Päästöt, joita laitteesta aiheutuu, liittyvät rakentamiseen ja lopulta laitteen hävittämiseen. Laite ei myöskään aiheuta merkittävää meluhaittaa merelle tai rannikolle. [7.]

2.3.1 Materiaalit

Aaltovoimalan rakentamiseen käytetään useita eri materiaaleja [7]. Tässä työssä paneudutaan enimmäkseen perustuksen materiaaleihin. Alla olevassa kuvassa 5 näkyy ympyrädiagrammi WaveRollerissa käytetyistä materiaaleista ja niiden osuuksista.

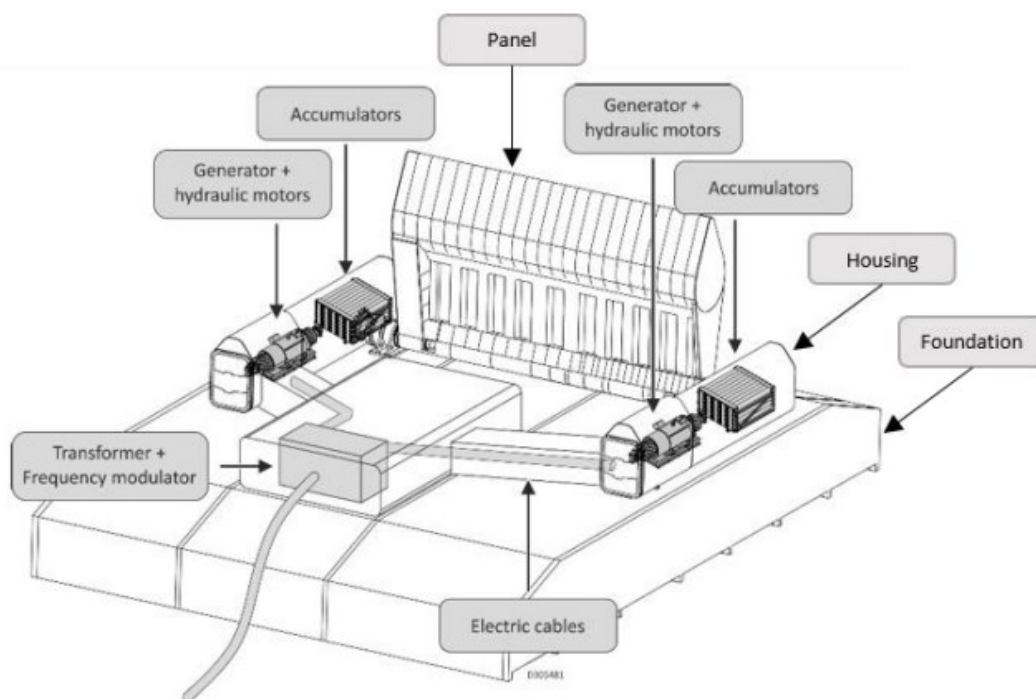


Kuva 5. WaveRollerin materiaalit eriteltyinä massoittain [9]

Perustus

Perustus paneelille on tehty teräsbetonista. Perustus on rakennettu pääosin betonista ja teräksestä. Perustus on muodoltaan ontto suorakaide. Perustuksen sisällä on kammioita, joita erottavat toisistaan betoniset seinät, joiden lujuutta on varmistettu teräksisillä tangoilla. Teräksiset tangot mahdollistavat myös betoniin voimanoton ja paneelin kiinnityksen, sillä pelkkään betoniin kiinnittäminen ei ole yhtä tukevaa. Perustuksessa käytetyn betonin tilavuus on suunnilleen 1 173,9 m³. Perustuksen kestävyys on varmistettu sillä, että perustus on muovattu, teräsvahvistettu ja kovetettu. [9.] Kestävyyden varmistaminen perustuu suunnittelustandardeihin DNV-OS-C101 ja C401. Standardit kattavat

merivesiympäristöihin suunniteltavat rakenteet. [7.] Kuvassa 6 on esitetty WaveRollerin rakenne ja osat.



Kuva 6. WaveRollerin rakenne [9]

Kiinnitys/asennus

Kiinnitys koostuu teräsketjuista, joita on neljä, ja ne on kytketty kiinni betoniankkureihin. Ketjut varmistavat turvallisen kiinnityksen merenpohjaan, sillä niiden avulla asennus saadaan tehtyä hallitusti. Yhdellä ketjulla on pituutta 130 metriä ja niiden sopivuutta meriympäristöön on varmistettu hitsauksilla, kuten kaarihitsauksella, jolla ne on kiinnitetty ankkureihin. [9.] Taulukossa 1 on esitetty perustuksen ja kiinnityksen materiaalit ja niiden massat.

Taulukko 1. Perustuksen ja kiinnityksen materiaalit eriteltynä [9]

Komponentti	Paino (tonni)	Osakomponentti	Materiaali ja paino (tonnia)
Perustus	3 215,1	-	Betoni (2 817,3)
			Vahvistettu teräs (397,8)
Kiinnitys/ asennus	124,3	2 ankkuria	Betoni (10,4)
		4 ketjua	Teräs (113,9)

Kokonaisuudessaan perustuksen ja kiinnityksen osat ovat varsin samankaltaisia. Taulukosta 1 nähdään, että betonia käytetään materiaalina eniten. Toiseksi eniten käytetään terästä. Vahvistetun teräksen rooli perustuu kestävyYTEEN ja perustuksen käyttöikään. [9.]

2.3.2 Kehitysideat materiaalitehokkuudesta

Betonin ollessa yksi tärkeimmistä raaka-aineista perustukselle materiaalitehokkuuden näkökulmasta korvaamalla betoni voitaisiin mahdollistaa materiaalien vähäisempi käyttö. Betoneita on maailmalla useita erilaisia, ja ne omaavat luonnollisestikin erilaiset tiheydet. Betonin tiheys riippuu käytettävän sementin laadusta. WaveRollerin näkökulmasta ajateltuna tärkeää on massa, sillä laite vaatii tietyn massan, jotta se pysyy paikallaan haastavissakin meriolosuhteissa. Laitteen massa on määritetty siten, että haastavatkaan meriolosuhteet eivät saisi laitetta liikkumaan meressä. Koska WaveRollerin perustus on suunniteltu kammionomaisesti, betonin massa ei ole ainoa massa, joka pitää laitetta paikoillaan. Kammiot täytetään merivedellä, jolloin myös veden massa pitää osaltaan laitteistoa paikallaan. Kammioiden täyttäminen tapahtuu hallitusti päästämällä vettä perustuksen toisesta päästä ensimmäiseen kammioon. Ensimmäisen kammion täytyttyä tarpeeksi se saavuttaa kammion reunassa olevan aukon,

jolloin seuraavat kammiot alkavat täyttyä. Loppujen lopuksi kaikki kammiot saadaan täytettyä hallitusti ja perustus vakaasti meren pohjaan.

Betonin tiheys ja erilaiset betonimahdollisuudet

WaveRollerissa käytetyn betonin tiheys on noin $2\,400\text{ kg/m}^3$ [9]. Betoni on raudoitettua. Muuttamalla raudoitettu betoni raskasbetoniksi vaadittaisiin huomattavasti pienempiä määriä raaka-ainetta/laite. Raskasbetoni on betonia, joka on valmistettu hyödyntämällä enemmän rautamalmia, ja sen tiheys on vähintään $2\,600\text{ kg/m}^3$. Raskasbetonin tiheys voi olla jopa 5 t/m^3 . [9.] Peruste betonin muuttamiselle voisi olla sen taloudelliset hyödyt, mutta massa pystyttäisiin pitämään samana tai jopa kasvattamaan. Raskasbetonin avulla kammioiden seinämäpaksuudet voisivat olla pienemmät ja kammioiden tilavuus suurempi, jolloin vesi toimisi suurempana painona kuin nykyisessä perustuksessa.

Vaikka betoni onkin vahva aine, sekään ei kestä merivesiympäristössä loputtomasti, mutta raskasbetoni kuitenkin sopisi vesiympäristöön hyvin. Raudoitetulla betonilla ja raskasbetonilla ei ole eroa soveltuvuuden suhteen merivesiympäristössä, sillä ne koostuvat samoista raaka-aineista, pois lukien raudoituksen. Suuren massansa takia sitä on käytetty siltojen ja laitureiden vedenalaisissa rakenteissa. Tämän puolesta voitaisiin suunnitella sen hyödyntämistä aaltovoimalan perustuksena, sillä sen avulla voitaisiin vähentää materiaalien määriä rakennusvaiheessa. Käyttökohteet ovat kuitenkin hieman erilaisia kuin merivesiympäristö, joten raskasbetonin soveltuvuutta meriveteen tulisi tutkia ja selvittää, olisiko raskasbetoni yksi mahdollisuus luoda perustus pienemmällä raaka-ainemäärällä. Raskasbetonin avulla seinien leveys voitaisiin jopa puolittaa, mikä puolestaan säästäisi resursseja, sillä betonin kuivumiseen menisi huomattavasti lyhyempi aika, jopa kolmasosa normaalibetonia vähemmän. Tämä mahdollistaisi sen, että perustuksia pystyttäisiin tekemään nopeammalla aikataululla. Raskasbetonin avulla voidaan säästää ankkuroinnissa, sillä itse materiaali on jo niin tiheää, että se ei välttämättä vaadi ankkureita kiinnitysvaiheessa. Käyttämistään raskasbetoni on samanlaista kuin ei-raudoitettu ja raudoitettu betoni, eli edes sen suhteen ei pitäisi tulla ongelmia. [10.]

Toisenlainen perustus

Toinen mahdollisuus materiaalitehokkuuden puolesta on perustuksen muuttaminen. AW-Energy on perehtynyt hyvin kattavasti aiheeseen, ja WaveRoller-tuoteperheen uusi, pienempi laite, onkin suunniteltu täysin uudella perustuksella. Uudessa perustuksessa on teräsrunko ja erilliset betonipainot. Perustuksissa haasteiksi tulevat useimmiten koko, eli mikäli haluttaisiin tehdä perustus muulla kuin betonilla, niin usein perustuksen koko muuttuu todella isoksi, ja isojen rakennelmien kanssa työskenteleminen pienissä satamissa ei ole kovinkaan helppoa. Toisenlaista perustusta suunniteltaessa onkin tärkeää ottaa huomioon materiaalien painot ja koot, jotta perustuksen rakentamisesta ja lopulta hävittämisestä saataisiin mahdollisimman helppoa.

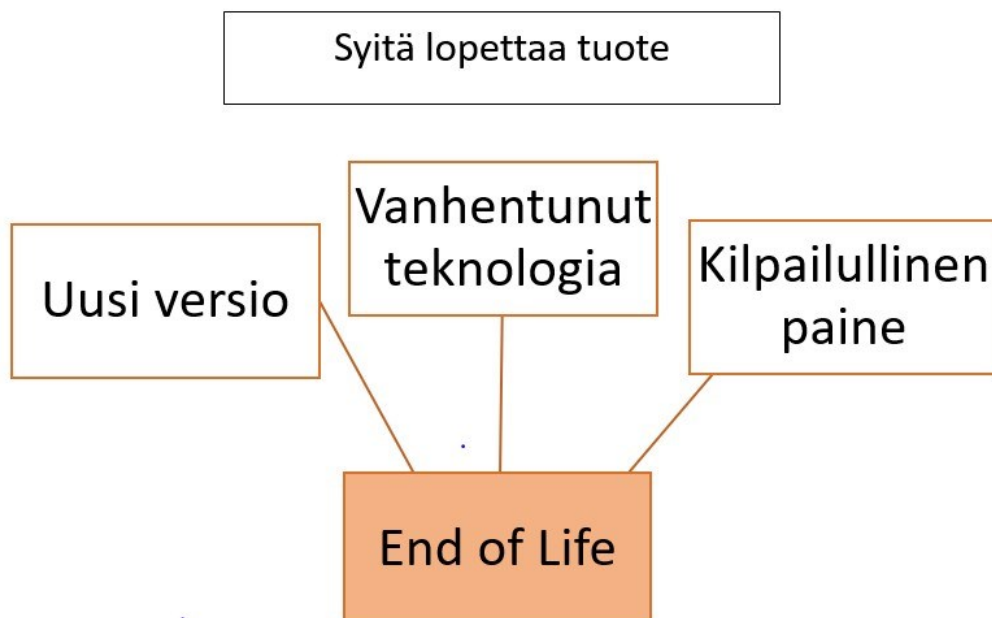
WaveRollerin kehittämän pienemmän laitteen ratkaisu voisi sopia isommallekin laitteelle, mikäli kehikon pystyy kokoamaan vasta paikan päällä, jolloin myöskään koko ei tulisi niin suureksi ongelmaksi. Mikäli kehikko kootaan paloista, niin käyttöiän pituutta voitaisiin mahdollisesti pidentää, vaihtamalla vain eniten kuluneet kohdat perustuksesta. Tämä mahdollistaisi sen, että purettavien aaltovoimaloiden perustukset voitaisiin kierrättää tarkistuksen jälkeen uusien aaltovoimaloiden perustuksiksi. Toinen vaihtoehto olisi se, että merenpohjaan rakennettaisiin jonkinlainen perustus, jota ei tarvitsisi 20 vuoden välein uusia, vaan pelkästään huollon avulla käyttöikä pystyttäisiin pidentämään. Tässä vaikeutena on se, millainen materiaali pysyy paikallaan meren pohjassa ja kestää kulluttavaa meriympäristöä. Yksi mahdollisuus yllä mainittujen lisäksi voisi olla erilaiset muoviset materiaalit tai komposiitit, kuten esimerkiksi asetaali, lasikuitukomposiitti tai hiilikuitukomposiitti [11]. Kevyiden materiaalien kanssa ankkurointi tulee välttämättömäksi, eikä betonista päästä kokonaan eroon.

Meren pohjat ovat varsin erilaisia, ja tämän myötä perustukset kuluvat eri tavalla. Hiekkapohjaisilla merillä perustus vajoaa meren pohjaan. Vajoaminen riippuu hiekan hienojakoisuudesta ja siitä, kuinka paljon hiekkaa on ennen kallio-pohjaa. Mikäli perustus vajoaa meren pohjaan suhteellisen paljon, kulumisenkin on pienempää, sillä ympäröivä hiekka suojaa perustusta aallokolta. Hiekka voi

toimia ”eristeenä” veden ja perustuksen välillä, jolloin perustus on tukevammin pohjassa kiinni eikä ole niin altis veden aiheuttamalle voimalle.

3 End of Life -merkitys

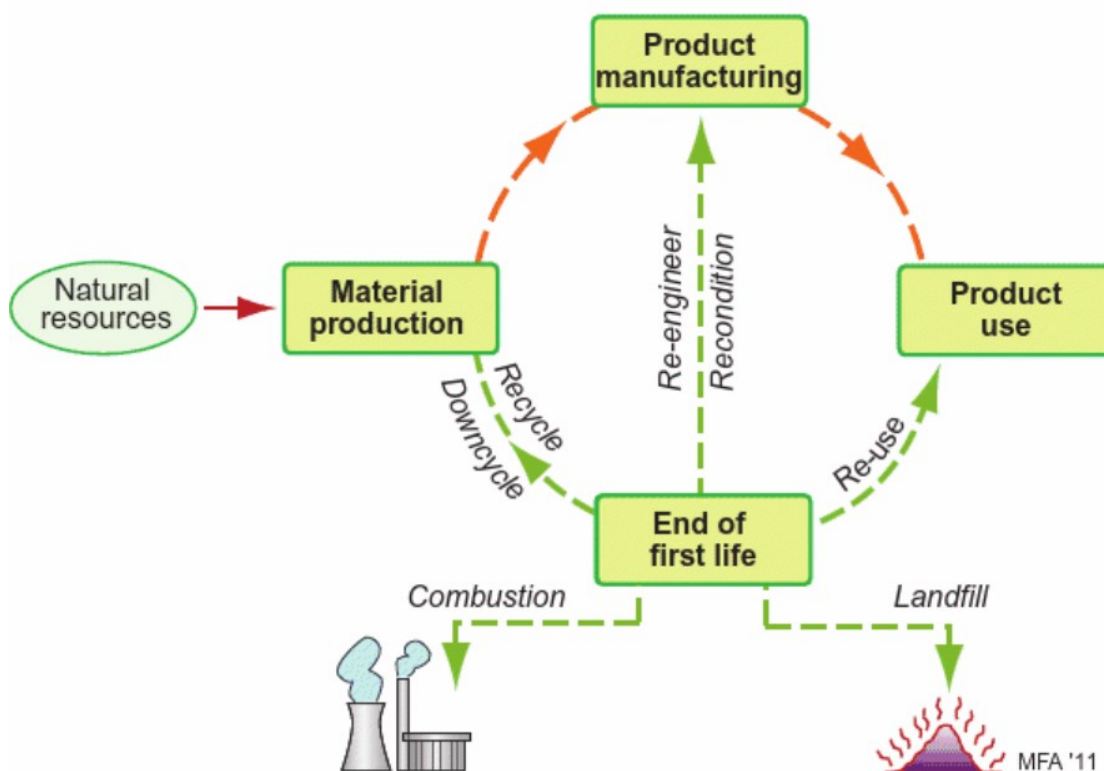
End of Life viittaa siihen, että tuote tulee elinkaarensa päähän, jolloin tuotteelle pyritään kehittämään uusi, paremmin toimiva vastine tai korvataan tuote täysin uudentyyppisellä tuotteella. Tämän lisäksi EoL-suunnitelman voi tehdä jo laitteen tai tuotteen suunnitteluvaiheessa, jolloin huomioon tulee ottaa uuden käyttötarkoituksen soveltuvuus ja mahdolliset kriteerit, joita uudella käyttötarkoituksella voi olla tuotteen tai laitteen suhteen. Tällaisia kriteerejä voi olla muun muassa tietyt pitoisuudet, materiaalien kestävyys tai haitallisten aineiden liukoisuus. Joissain tapauksissa EoL-suunnittelun avulla voidaan myös todeta, että nykyinen tuote ei palvele haluamalla tavalla, jolloin tuote poistetaan kokonaan markkinoilta. Tällaisissa tilanteissa tuote ei yleensä ole joko kilpailukykyinen, ajan tasalla tai kannattava yritykselle. [12.] Kuvassa 7 on esitetty yleisimpiä syitä siihen, miksi tuotteen loppusijoitusta on lähdetty miettimään.



Kuva 7. Syitä päätyä EoL-suunnittelun pariin [12]

EoL-suunnittelua aloitettaessa on tärkeä ottaa huomioon useita eri tekijöitä. Näihin tekijöihin lukeutuvat asiakkaiden pysyvyys, negatiiviset vaikutukset, kannattavuus ja riskit. Asiakkaiden pysyvyyttä kannattaa lähteä miettimään siltä kannalta, kuinka asiakkaat saataisiin pidettyä, vaikka tuote tuleekin elinkaarensa päähän. Pysymällä läpinäkyvänä asiakkaille tulee luottavaisempi mieli yrityksestä, ja mitä todennäköisemmin he saattavat ostaa uuden tuotteen vanhan tullessa elinkaarensa päähän. Negatiivisten vaikutusten kannalta on tärkeää ottaa huomioon kaikenlaiset huolenaiheet, joita tuotteen lopettamisesta saattaa koitua. Esimerkkinä se, että ei ole luvannut asiakkaille liikoja tai ei muuten pysy sovitussa asioissa. Tällaisten tilanteiden kautta asiakkaat menettävät usein luottonsa yrityksen muihinkin tuotteisiin ja yrityksen toimintaan ylipäänsä. Yrityksen menestymisen kannalta kannattavuus on yksi tärkeimpiä asioita kartoittaa. Mikäli tuote ei ole kannattava, vaan hukkaa yrityksen rahoja, niin sitä harvemmin on kovinkaan järkevää jatkokehittää ja käyttää rahaa sen tutkimiseen. Kannattavuuden kannalta onkin tärkeää kartoittaa tilanne, että olisiko resurssit parempi käyttää johonkin muuhun tuotteeseen, jolla voisi olla enemmän potentiaalia. Riskit puolestaan tulisi kartoittaa jo hyvin varhaisessa suunnitteluvaiheessa. Riskien kartoittamisen avulla yritys voi säästyä suuriltakin yllätyksiltä ja vältellä aktiivisesti sellaisiin tilanteisiin päätymistä. [12.]

Teoriassa tuotteiden EoL-mahdollisuuksia on olemassa viisi, joko kierrätys, jätteeksi muuttaminen (kaatopaikka), poltto, kunnostaminen tai uudelleenkäyttö. Kierrättämisen myötä raaka-aineet saadaan uudelleenkäytettyä, jonka ansiosta neitseellisiä raaka-aineita ei tarvitse käyttää yhtä paljon. Vastaavasti jos tuote muutettaisiin jätteeksi, niin silloin siitä ei saataisi hyötyä, kuin korkeintaan lämpöenergiana jätteenpolton yhteydessä, mikäli hävitystapana on polttaminen. [13.] Alla olevassa kuvassa 8 on esitetty erilaisia tapoja saada tuote tai materiaalit kiertoon tuotteen tullessa elinkaarensa päähän. Kuvassa on myös poltto ja kaatopaikkahävitys, mutta ne ovat viimeisiä vaihtoehtoja tuotteen tullessa elinkaarensa päähän, sillä niistä saatavat hyödyt ovat melko minimaalisia, suhteessa muihin tapoihin.



Kuva 8. Elinkaaren päähän tulevan tuotteen vaihtoehdot nykytilanteessa [13]

Jätteistä luopuminen on tällä hetkellä kuitenkin mahdotonta. Tähän vaikuttaa vahvasti kustannukset sekä opitut tavat. Ei ole olemassa sellaista tapaa, jonka avulla päästäisiin täysin jätteettömään tapaan tuottaa tuotteita ja palveluita. Tämän myötä onkin tärkeää kiinnittää huomiota siihen, kuinka jätettä syntyisi mahdollisimman vähän, niin tuotteen suunnittelussa, toteutuksessa, kuin loppusijoituksessakin. Tapoja, joilla tuotteen elinkaarta voidaan pidentää, on listattu edellisessä kappaleessa ja niiden kaikkien takana on se, että tuote halutaan kuitenkin tuottaa alun perin mahdollisimman pitkäikäiseksi, jolloin sen loppusijoitus tapahtuisi mahdollisimman myöhään. Pitkäikäisyyteen voidaan vaikuttaa vahvasti tuotteen materiaaleilla: mitä kestävämpiä materiaaleja tuotteessa on käytetty, sitä pidempi elinkaari tuotteella yleensä on. Mikäli tuote on tuotettu kestävästä materiaaleista, on todennäköisempää, että sen voi kierrättää, käyttää uudelleen tai sille voidaan keksiä uusi käyttötarkoitus. [13.]

EoL-vaihtoehdot tuotteen tullessa ensimmäisen elinkaarensa päähän

Kierrätys

Kierrätys perustuu siihen, että tuotteesta otetaan talteen raaka-aineita, joiden avulla voidaan tuottaa uusia tuotteita. Tämä vaatii tuotteen uudelleenprosessointia, jotta raaka-aineet voidaan erotella tuotteesta ja saada sellaiseen muotoon, että niitä voidaan hyödyntää uudelleen. Tämä on yksi parhaiten soveltuvista EoL-mahdollisuuksista, kun katsotaan laajaa kuvaa ja erilaisia tuotteita.

[13.]

Kaatopaikka

Kaatopaikka loppusijoituspaikkana on viime vuosikymmeninä menettänyt suosiotaan maailmalla. Kaatopaikka antaa käsityksen siitä, että antaa tuotteelleen oikeanlaisen loppusijoituksen, vaikka todellisuudessa kaatopaikoissa on paljonkin haittapuolia. Yksi suurimmista haitoista kaatopaikoissa on niiden todellinen koko ja se, kuinka vähän tällä maapallolla on enää todellista kapasiteettia kaatopaikoilla. Lähestulkoon kaikilla kaatopaikoilla on jo täyttä, mikä aiheuttaa suuria vaikeuksia jätteiden hävittämisessä. Tämän takia onkin pyritty keksimään vaihtoehtoisia tapoja hävittää jätteitä ja alettu keräämään veroa kaatopaikan hyödyntämisestä, millä on pyritty vähentämään kaatopaikalle tulevien jätteiden määrää. [13.]

Poltto

Polton avulla tuotteesta saatava energia voidaan hyödyntää esimerkiksi lämpönä. Rajoitteena poltolla on materiaalit, sillä kaikki materiaalit eivät sovellu polttoon. Useat tuotteet koostuvat useammasta kuin yhdestä raaka-aineesta, jolloin tuote on lajiteltava niin, että raaka-aineet jaotellaan palaviin ja ei-palaviin. Itse poltto tapahtuu aina valvotuissa tiloissa ja siten, että poltosta aiheutuvat päästöt minimoidaan ja poltto tapahtuu aina mahdollisimman puhtaasti sekä reaktion vaatimalla lämpötilalla. Suomessa polton lämmöntalteenotto on tehokasta, mutta mikäli polton avulla luodaan sähköä, laskee sen kannattavuus 35

%:iin. Haasteita poltolle luo sen huono kannattavuus, kallis hinta ja se, että paikkoja, jonne polttolaitoksia halutaan, ovat vähissä. [13.] Aaltovoimaloissa poltettavia materiaaleja harvemmin on, sillä ne koostuvat useimmiten teräksestä ja betonista.

Kunnostaminen

Kunnostamisella viitataan siihen, että tuotteen osia vaihdetaan, mutta alkuperäinen laite pysyy samana. Tuotteen kunnostamisen avulla sen elinkaari saadaan mahdollisimman pitkäksi. Tämä voi tarkoittaa esimerkiksi sitä, että jokin osa tuotteesta vaihdetaan uuteen, kehittyneempään osaan. Kunnostamisen avulla tuotteen arvo nousee ja elinkaari pidentyy. Tässä saatetaan kuitenkin kohdata se ongelma, että koko tuote ei uudistu, jolloin vaikka tuote olisi toimiva, niin sitä ei välttämättä käytetä enää sen takia, että se ei ole yhtä hieno tai sen ajan muodin mukainen. [13.]

Uudelleenkäyttö

Uudelleenkäytöllä voidaan viitata siihen, että tuotetta käytetään samaan käyttötarkoitukseen, tai sitten sen käyttötarkoitusta muutetaan jotenkin. Nykypäivänä uudelleenkäytöstä on muodostunut trendi, erityisesti vaateteollisuudessa, minkä myötä nuoret ovat alkaneet ostamaan tuotteita enemmän kirpputoreilta tai muuten käytettynä. Tämä on tietenkin positiivinen asia ja erityisesti tässä maailmantilanteessa suuri valtti tuotteille, jotka ovat uudelleenkäytettäviä. Yhä useampi yritys markkinoi tuotteitaan nykyään uudelleenkäytettävinä, mikä näkyy positiivisesti yritysten toiminnassa. [13.]

3.1 EoL:n hyödyntäminen WaveRollerille

Yleisesti tuotteen elinkaaren aikana saatetaan hyödyntää useampia mahdollisuuksia. Esimerkkinä tuotetta saatetaan ensin uudelleen käyttää eri tarkoituksessa, sen jälkeen kierrättää materiaalit ja lopuksi viedä loppusijoitukseen kaatopaikalle.

WaveRollerille ei ole tällä hetkellä tehty EoL-suunnittelua. Yritykselle tehdyn LCA-raportin mukaan asennuksessa hyödynnetyt ankkurit ja ketjut on suunnitella jättää mereen, vaikka niillä ei olekaan käyttötarkoitusta laitteen paikallaan pysymisen näkökulmasta [9]. Tämä aiheuttaa luonnollisesti materiaalien ennenaikaista kulumista, kuluttavan meriympäristön myötä. Ankkureiden ollessa samaa materiaalia kuin perustuksen niiden kulumisen tulee olemaan suhteessa samanlaista perustuksen kanssa, jolloin niiden yhteinen käyttöikä on samaa luokkaa, mikäli materiaalivahvuudet ovat samoja. Ketjut puolestaan ovat terästä, jolloin niiden käyttöikä meriympäristössä voi olla betonia pidempi. Teräksen käyttöikään vaikuttaa meren suolapitoisuus, aaltojen määrä ja lämpötila, mikäli lämpötilaerot ovat suuria. Nämä vaikuttavat siihen, kuinka nopeasti korroosiota tapahtuu. Teräs on kuitenkin hyvin korroosiota kestävä materiaali ja asianmukaisen huollon avulla teräksen käyttöikää voidaan kasvattaa entisestään. Näihin huoltotoimiin lukeutuu teräsrakenteiden puhdistaminen mahdollisesta liasta ja kasvustosta. Betonin ja teräksen suhde aaltovoimaloiden perustuksissa on vaihteleva, sillä siihen vaikuttaa useat eri tekijät, kuten betonin laatu, aaltojen voimakkuus ja veden suolapitoisuus. Laitteen asianmukaisten huoltojen avulla teräs saadaan kuitenkin kestävästi huomattavasti pidempään kuin betoni, jolloin laitteen tullessa käyttöikänsä päähän teräs voidaan hyvin käyttää uudelleen uudessa laitteessa tai vaihtaa sen käyttötarkoitusta ja mahdollistaa siten pidempi elinkaari. [14.]

LCA-raportin mukaan samankaltaisissa laitteissa kierrätys on hoidettu siten, että metallikomponentit kuljetetaan kierrätykseen ja betoni murskataan, minkä myötä se on mahdollista uudelleen käyttää [9]. Tämä onkin yksi järkevimmistä uudelleenkäyttötavoista erityisesti betonin kohdalla. Kierrättämisen valttina on se, että vaikka tuote itsessään ei enää ole käyttökelpoinen, niin useasti sen materiaalit voivat vielä ole hyödynnettävissä toisiin tuotteisiin tai käyttötarkoituksiin. Kierrätyksestä kerrotaan lisää luvussa 3.2.

Poltto ei ole mahdollista betonille tai teräkselle. Näin ollen yksi EoL-mahdollisuus on suoraan poisluettu laitteen perustuksen materiaalien osalta. Mikäli

otetaan huomioon koko laite, eli liikkuva paneeli ja voimanotto, niin poltto voi olla mahdollista tietyille komponenteille, joita laitteesta saadaan. [13.]

Kaatopaikkasijoitus on mahdollinen vahvistetulle betonille, mutta tämä vaatisen, että betoni olisi murskattu tai muulla tavoin saatu pienempiin osiin. Kaatopaikkasijoitus ei vaadi vahvistetussa betonissa olevan teräksen erottamista betonista ja on sen myötä helppo tapa luopua tarpeettomista raaka-aineista, mikäli niille ei muuta käyttötarkoitusta ole ja ne ovat tulleet käyttöikänsä päähän. [15.] Vahvistetun betonin, jossa terästä on 8 % painosta, hiilijalanjälki on noin 611 kg/m^3 ja energiasisältö $7\,250 \text{ MJ/m}^3$, joten saatava hyöty kaatopaikkasijoituksessa on melko pieni [13]. Näin ollen kaatopaikkasijoitus ei ole kovinkaan kannattava, erityisesti ensimmäisenä vaihtoehtona.

Verrattuna kaatopaikkasijoitukseen kunnostamisen myötä tuotteessa ja raaka-aineissa oleva energia saadaan säilytettyä todella hyvin. EoL:n näkökulmasta kunnostamisella saadaan säilytettyä huomattavan suuri määrä tuotteen sisältämästä energiasta, minkä myötä se on todella hyvä tapa pidentää tuotteen elinkaarta [13]. Kunnostamisen avulla koko laitetta ei tarvitse uusida, vaan uusiminen tapahtuu tarpeen vaatiessa, jolloin yksittäiset menoerät pysyvät pienempinä. Kunnostamisen avulla voidaan mahdollistaa kuluvien osien korvaaminen ennen niiden rikkoutumista. WaveRollerin kohdalla tämä tarkoittaa enimmäkseen ketjujen tai ankkureiden huoltoa, mikäli ne eivät kestä koko tuotteen elinkaarta. Ketjuista voidaan vaihtaa yksittäisiä lenkkejä tai pinnoittaa ketjuja, minkä avulla voidaan mahdollistaa pidempi käyttöikä. Ankkureissa puolestaan voidaan varmistaa betonin kestävyys ja tarpeen vaatiessa vahvistaa betonia, mikäli se ei ole tarpeeksi kestävää kuluttavassa meriympäristössä.

Koko perustuksenkin pinnoittaminen on mahdollista, jolloin elinkaarta voitaisiin saada pidemmäksi. Betoni voidaan pinnoittaa sen elinkaaren kasvattamiseksi. Pinnoituksia on mahdollista tehdä ruiskuttamalla, jolloin pinnoitus on helppo tehdä, sekä tarvittaessa uusida. Pinnoituksen avulla betonirakenteista voidaan saada tiiviimpiä, paremmin kemikaaleja kestäviä sekä helpommin puhdistettavia. Pinnoitusta on hyödynnetty yhdyskuntien vedenkäsittelylaitoksien altaissa,

minkä myötä se voisi hyvin soveltua WaveRollerin perustuksellekin. Liukene-mattomien epoksinnoitteiden avulla WaveRollerin tiivyyttä voitaisiin parantaa ilman, että siitä olisi merivesiympäristölle haittaa. Pinnoite on mahdollista tehdä perustukselle ennen kuin se lasketaan mereen tai kostealle pinnalle. Epoksinnoitteiden lisäksi WaveRollerin perustuksen pinnoittamiseen voisi soveltua hyvin polyuretaanipinnoite. Polyuretaanipinnoitteen kyky soveltua moniin käyttökohteisiin mahdollistaisi sen käytön merivesiympäristössä. Kyseisen pinnoitteen elastisuus ja iskunkestävyys takaisivat pitkän eliniän. Pinnoite kestää kulutusta hyvin sekä luo vesitiiviin pinnan, joten esimerkiksi perustuksen sisäkammioiden pinnoitus voisi mahdollistaa betonille entistä pidemmän käyttöiän. Akryylipinnoitteen luonteeseen kuuluu erinomainen kestävyys iskuja ja mekaanista kulutusta kohtaan, sekä hyvä tarttuvuus betoniin. Huonona puolena akryylipinnoitteessa on sen kyky kestää kemiallista rasitusta, mutta merivesiympäristössä tämä ei ole ongelma. [16.]

Uudelleenkäyttö on yksi tehokkaimmista tavoista lisätä tuotteen elinkaarta. Uudelleenkäytön avulla tuote saa mahdollisesti uuden käyttötarkoituksen, jolloin raaka-aineita ei tarvitse laittaa kiertoon, vaikka tuote tulee ensimmäisen elinkaarensa päähän. Uudelleenkäytön haasteena on kuitenkin se, että kaikkia tuotteita ei ole mahdollista uudelleen käyttää eri käyttötarkoituksessa. Useimpien edes muutamat osat tuotteesta ovat uudelleenkäytettävissä, mutta ei välttämättä koko tuote. [13.] WaveRollerin tapauksessa uudelleenkäyttöä tutkitaan perustuksen osalta, eikä esimerkiksi paneelin, jolloin kyseessä on osittainen uudelleenkäyttö. WaveRollerin uudelleenkäyttömahdollisuudet liittyvät vahvasti upcyclingiin, josta on kerrottu lisää luvuissa 4, 4.1 ja 4.2.

3.2 Materiaalien kierrätysmahdollisuudet

Betoni

Betoni valmistetaan sementistä, vedestä ja kiviaineksesta. Veden avulla sementistä saadaan juoksevaa, jolloin sen hyödyntäminen helpottuu ja kiviaineksen avulla sementistä saadaan kestävämpää, jolloin sitä on helppoa hyödyntää

erilaisissa rakennelmissa. Juokseva betoni voidaan valaa haluttuun muotoon melko helposti, jonka myötä rakentaminen on helppoa ja edullista. [17.] Wave-Rollerin tapauksessa betoni valetaan paikan päällä, sillä rakennelma on niin suuri, että sen siirtäminen valmiina komponenttina olisi erittäin haasteellista ja kallista. Ylijäämää tai purkamisessa syntyvää betonimursketta voidaan hyödyntää sellaisenaan, jolloin neitseellisiä raaka-aineita ei tarvita niin paljoa. Betonimursketta syntyy yleensä sivuvirtana, joka luokitellaan jätteeksi, mutta sitä voidaan hyödyntää uusiobetonina ja käyttää uusien betonirakennelmien runkoaineena. Uusiobetoni mahdollistaa jo jätteeksi luokitellun betonin hyödyntämisen uutena raaka-aineena. [18.]

Yleisesti ennen kuin betonirakennelmia voidaan alkaa purkamaan, tulee tehdä selvitys mahdollisista haitta-aineista ja niiden liukoisuuksista. Useimmiten kartoitus tehdään AHA-näytteen avulla, jolla voidaan selvittää, onko betonissa haitta-aineita ja jos on, niin kuinka paljon. Mikäli AHA-näytteestä käy ilmi, että betoni on saastunut, joko asbestilla, PAH- tai PCB-yhdisteillä, niin betonin loppusijoitus on kaatopaikka. Kemikaalijäämät aiheuttavat haittaa ympäristölle, jonka takia betoni on tärkeää tarkistaa, ennen kuin sitä hyödynnetään uudelleen meri- tai maaolosuhteissa. [19.] WaveRollerin suhteen tätä ongelmaa ei kuitenkaan ole, sillä sen rakentamisessa ei hyödynnetä kemikaaleja, eikä se ole sen käyttöänsä aikana yhteyksissä kemikaaleihin, jolloin haitta-aineita ei perustuksessa ole.

Betonin vaihtoehtoiset kierrätysmahdollisuudet ovat

- murske
- uusiokäyttö
- käyttötarkoituksen muuttaminen (upcycling)
- uusiorunkoaine
- leikatut palat [20].

Betonia on mahdollista kierrättää murskattuna. Betonimursketta käytetään runkoaineena uuden betonin valmistuksessa, jolloin neitseellistä kiviaineista ei tarvita betonin valmistukseen niin paljoa. Suhteessa kiviainekseen uusiobetonin

huokoisuus näkyy painossa, jolloin se on betonia kevyempää, ja sen myötä mahdolliset kuljetuskustannuksetkin ovat pienemmät. [20.] WaveRollerissa yhtenä tärkeimmistä asioista on paino, sillä rakennelman on pysyttävä kuluttavissa ja ankarissa meriolosuhteissa paikallaan, jolloin uusiobetonin käyttö uuden perustuksen rakentamisessa ei välttämättä ole kovinkaan kannattavaa. Toki pienissä määrin neutseellisen kiviaineksen korvaaminen uusiobetonilla ei pitäisi olla minkäänlainen ongelma, ja jo pienenkin määrän korvaaminen kierrätetyllä aineksella vähentää tarvittavien neutseellisten raaka-aineiden määrää. Tässä tulee ottaa huomioon se, että uusiobetonin laatu ei ole samanlaista kuin neutseellisistä raaka-aineista valmistetun betonin, jolloin sen kestävyys meriolosuhteissa on erilainen.

Betonimurskeen hyödyntäminen on kannattavaa jo pelkästään betonin karbonatisoitumisen kannalta. Karbonatisoitumisessa betonissa oleva sementti palautuu kalkkikiveksi. Karbonatisoitumisella viitataan betonin kykyyn sitoa itseensä hiilidioksidia eli toimia eräänlaisena hiilinieluna. Karbonatisoituminen on verrannollinen betonin pinta-alaan sillä tavoin, että suuren pinta-alan omaava perustus sitoo vähemmän hiiltä itseensä, kuin murskeena oleva betoni. Tämä perustuu siihen, että murskeena olevalla betonilla on useampi pinta ja se koostuu useista rakeista, joihin ilma on kosketuksissa, jolloin karbonatisoituminen on tehokkaampaa. Murskeen hyödyntäminen hiilen sidonnassa on varsin hyvä tapa pyrkiä kohti hiilineutraaliustavoitteita ja vähentää ilmaston kuormaa. Karbonatisoitumiseen vaikuttaa myös vahvasti ilman lämpötila ja kosteus. [21.] WaveRollerin tulevaisuutta suunnitellaan Portugaliin, jossa on varsin erilaiset olosuhteet kuin Suomessa, mikä puolestaan voisi edistää karbonatisoitumisen tehokkuutta.

Betonia ja kiviainesta myyvä Rudus on kehittänyt betonimurskeen Betoroc, jota hyödynnetään maanrakentamiseen. Ruduksen kehittämä murske on CE-merkitty, mikä koostuu kierrätetystä betonista ja tiilestä. Murskeella voidaan korvata sora- ja kalliomurskeita ja päästä jopa parempiin lopputuloksiin kuin neutseillisillä kivimateriaaleilla. Kun Betorocin tekniset ominaisuudet huomioidaan, niin tulos voi päihittää katu-, tie- ja kenttärakenteissa jopa luonnonkiven. Ominaisuudet tarkastetaan ja niiden avulla murskeet jaetaan eri luokkiin. Luokkia

on yhteensä 8, ja niiden avulla voidaan varmistaa murskeen oikeanlainen käyttö siten, että se on soveltuva käyttökohteeseen ja tarpeisiin. Betorocin käyttökohteita ovat

- maanrakentaminen
- talonrakentaminen
- viherrakentaminen.

Näihin lukeutuvat muun muassa yleiset tiet, pysäköintialueet, pyörätiet, jalkakäytävät, kadut, virkistysalueet ja ratapihat. Betoroc on erittäin laajalti eri käyttökohteisiin soveltuva rakennusaine, jonka avulla betoni saa pidemmän käyttöiän. [22.] Mursketta voidaan hyödyntää viherrakentamisessa muun muassa lannoitteena, kalkitusaineena, kasvualustana tai maanparannusaineena. Aiemmin Betoroc-mursketta ei saanut hyödyntää viherrakentamisessa, sillä murskeelle oli todella tarkat arviointiperusteet, joiden avulla määritettiin sallitut käyttökohteet. Vuonna 2022 betonimurskeen jätestatus kuitenkin uudistui siten, että mursketta ei luokiteltu enää jätteeksi, vaan sitä voitiin hyödyntää vielä varsinaisen käyttötarkoituksensa jälkeen. Edelleen säilyi tietyt arviointikriteerit, kuten murskeen käyttö vesistöjen ja pohjaveden läheisyydessä, pH:n määrittäminen ja käyttökohtainen arviointi. Näiden arviointikriteereiden perusteella voidaan taata betonimurskeen turvallinen käyttö, ilman että on riskiä ympäristön tai vesistöjen saastuttamisesta. [22.]

WaveRollerin yhtenä hyvänä kierrätysmahdollisuutena voisi olla perustuksen purkaminen ja murskaaminen. Tämä vaatisi kuitenkin sen, että murskaaminen olisi mahdollista siellä, missä WaveRoller sijaitsee, sillä perustusta on miltei mahdotonta liikuttaa pitkiä matkoja. Murskaamisen avulla perustuksesta voitaisiin luoda Betorocin tyylistä rakennusainetta, joten sitä voitaisiin hyödyntää samanaikaisesti teiden, rakennusten tai viheralueiden rakentamiseen ja hiilensidontaan. Tässä kohtaisivat niin ilmastoystävällisyys, hiilensidontan näkökulmasta kuin neitseellisten raaka-aineiden käytön vähentäminen.

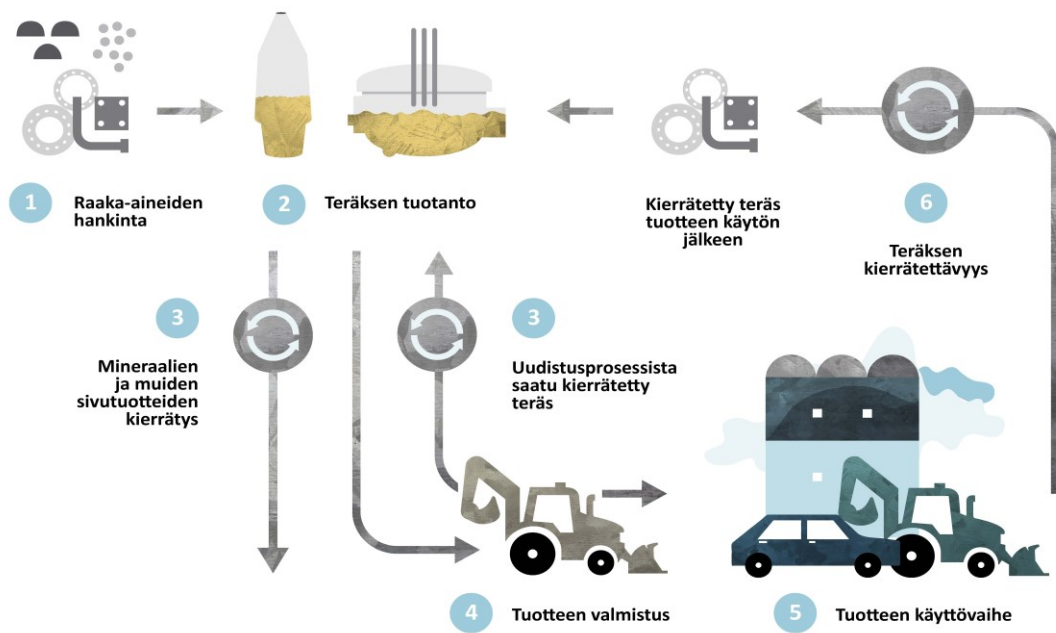
Toinen vaihtoehto WaveRollerista saatavan murskeen hyödyntämiselle voisi olla sen hyödyntäminen valumavesien käsittelyssä. Mursketta voi hyödyntää

fosforin sidonnassa eli rakentamalla kalkkisuodinojia, joissa betonimurske sitoisi fosforia vedestä. Tämän tarkoituksena on tehdä vedestä vähemmän hapanta. [20.] Murskeen soveltuvuutta kyseiseen tarkoitukseen ei ole vielä tutkittu kovin-kaan paljoa, mutta se voisi hyvin olla yksi mahdollisuus tulevaisuudessa.

Mikäli murskeen tekeminen koituu liian kalliiksi tai alueella ei ole tarvetta murskeelle, niin on hyvä olla vaihtoehtoisia keinoja hyödyntää perustusta. Nämä vaihtoehdot lukeutuvat upcycling-mahdollisuuksiksi ja WaveRollerille kehitetyt upcycling-mahdollisuudet käydään läpi kappaleessa 4.1.

Teräs

Teräs on kierrätetyin materiaali maailmassa, näin ollen sen uudelleenkäyttöarvo on suuri. Teräksen valmistaminen neitseellisesti vaatii paljon energiaa, minkä myötä sen kierrättäminen on erityisen tärkeää. Teräksellä ei ole niin sanottua loppua, vaan sitä voidaan kierrättää lähes loputtomasti. Teräksen kierrätys vaatii kuitenkin tarkan lajittelun ja käsittelyn, jotta kierrättämisestä saadaan tehokasta. Teräs koostuu rautamalmista tai kierrätysteräksestä. Rautamalmin tilanteessa jopa 40 % valmistuksesta voidaan kattaa kierrätetyllä teräksellä. Nyky-päivänä kierrätysteräksen osuus terästuotannosta maailmalla on jopa 32 %. [23.] Alla olevassa kuvassa 9 on havainnollistettu teräksen elinkaarta ja sitä, kuinka tuotteen tullessa käyttöikänsä päähän raaka-aineet voidaan ottaa talteen ja luoda kierrätettyjen raaka-aineiden avulla uusi tuote.



Kuva 9. Teräksen elinkaari [24]

Teräsrakenteet kestävät erinomaisesti korroosiota, erityisesti pinnoitetut ja ruostumattomat teräkset. Tämän lisäksi teräsrakenteet ovat yleensä varsin helposti puhdistettavia, niiden sileiden pintojen ansiosta, jolloin puolestaan kierrättäminen helpottuu, kun teräksestä saadaan eroteltua yksinkertaisesti ylimääräiset aineet. Teräksen kierrättämisessä otetaan aina huomioon asiakkaan toiveet, ja tämän myötä kierrätysteräksestä saadaan luotua asiakkaan käyttöön soveltuvia tuotteita. Terästä on mahdollista prosessoida leikkaamalla, taivuttamalla, hitsaamalla tai koneistamalla. Näillä eri prosessointimahdollisuuksilla voidaan taata sopiva terästuote asiakkaalle. Ennen prosessointia teräs on sulatettu, minkä myötä sen prosessointi eri käyttötarkoituksiin helpottuu huomattavasti. Juokseva teräs voi olla 100 % neitseellisistä raaka-aineista valmistettua, osittain neitseellisistä raaka-aineista valmistettua tai 100 % kierrätysteräksestä valmistettua. Nykypäivänä pyritään lisäämään entisestään kierrättämistä, minkä myötä suurin osa terästuotteista onkin osittain tai kokonaan kierrätetystä teräksestä tehtyjä. [25.]

4 Upcyclingin merkitys

Upcycling on jo jätteeksi mielletyn tuotteen muuttamista käyttökelpoiseksi tuotteeksi. Kyseiselle termille ei ole vielä kehitetty havainnollistavaa termiä suomeksi, minkä myötä siitä puhutaan vain englanninkielisellä termillä. Upcyclingin avulla tuote saa useimmiten uuden käyttötarkoituksen ja voi olla jopa arvokkaampi tai paremmin käyttötarkoitukseen sopiva kuin aiempi tuote oli. Tämän takia sitä nimitetäänkin upcyclingiksi, sillä usein tuotteen arvo kasvaa. [26.]

Englanninkielisiltä termeiltään kierrätys (recycling) ja upcycling ovat varsin lähellä toisiaan ja sen myötä helposti sekoitettavissa. Erityisesti arkisessa puheessa kyseiset termit ovat usein väärinkäytettyjä ja sen myötä vaikeasti erotettavissa toisistaan. Termi upcycling harvemmin kertoo kuulijalle mitään, vaikka lähes kaikki ovat hyödyntäneet upcyclingia arkielämässään, esimerkiksi tehnyt maitopurkista rairuohon kasvualustan tai keinunut autonrenkaasta tehdyssä kei-nussa.

Sanojen varsinaisissa merkityksissä kierrättämisellä viitataan rikkinäisen tuotteen lopulliseen hajottamiseen, jolloin siinä hyödynnetyt raaka-aineet saadaan uusiokäytettyä. Esimerkkinä muovipullosta tehdään kauppakassi, kun muovi sulatetaan, muotoillaan uusiksi ja voidaan tämän avulla hyödyntää uudessa käyttötarkoituksessa. Kierrätyksellä alkuperäisen tuotteen arvo on useimmiten suurempi kuin uuden tuotteen, minkä myötä voidaan viitata termiin downcycling. Upcyclingissä puolestaan alkuperäistä tuotetta ei tuhota, vaan sille keksitään uusi käyttötarkoitus sellaisenaan tai pienesti muokattuna. Tästä puolestaan esimerkkinä on eurolavat, joista voidaan rakentaa sohvia tai pöytiä. Sekä kierrättämisessä että upcyclingissä raaka-aineet saavat pidemmän käyttöiän, vaikkakin hieman eri tavoin. Kummankin valttina on se, että uusia materiaaleja ei tarvitse hyödyntää uuden tuotteen tekemisessä, vaan materiaalit saadaan uusiokäytettyä vanhoista tuotteista. [26.]

4.1 Upcyclingin mahdollisuudet WaveRollerille

WaveRollerin tapauksessa upcyclingia olisi tarkoitus hyödyntää perustuksen osalta. Perustus on suurin yksittäinen komponentti laitteessa ja suuren betonimääränsä vuoksi vaikeasti liikuteltavissa. Perustus koostuu valtavasta määrästä betonia, minkä takia yritys on kiinnostunut upcycling-mahdollisuuksista, joiden myötä perustus ei olisi niin sanotusti kertakäyttöinen ja hyödyntäisi neitseellisiä raaka-aineita ilman, että niitä voitaisiin uusiokäyttää toisenlaisena tuotteena. Neitseellisiä raaka-aineita on toki mahdollista kierrättää, mutta kierrätyksessä raaka-aineet kokevat usein inflaation suhteessa siihen, että niistä tehdyille tuotteelle keksittäisiin uusi käyttötarkoitus sellaisenaan.

Perustusta voisi hyödyntää sellaisenaan rannan lähetyvillä, jossa laite on ollut. Laitteen siirtäminen vesialueella ei ole kovinkaan haastavaa, vaan haasteet tulevat esiin siinä kohtaa, kun perustus nostetaan maalle. Tämän takia olisikin tärkeää, että perustuksen seuraava käyttötarkoitus olisi lähellä laitteen käyttöpaikkaa. Perustusta voisi hyödyntää sellaisenaan esimerkiksi erilaisina alustoina tai aallonmurtajana merenpohjassa rannikon lähellä. WaveRollerin perustuksesta tehty alusta voisi soveltua väliaikaiselle työmaatoimistolle tai vastaavalle.

Aallonmurtaja

Viitaten luvussa 3.2 mainittuun betonin murskaamiseen liittyen, betonimursketta voitaisiin hyvin hyödyntää WaveRollerin asennuspaikan lähistöllä aallonmurtajissa. Aallonmurtajat ovat usein louhintamateriaaleista rakennettuja kivrakennelmia, jotka suojaavat rannikkoa meriveden kuluttavalta aallokolta [27]. Hyödynnettäessä WaveRollerin perustusta rakennelmat eivät vaatisi neitseellisiä louhintamateriaaleja vaan voisivat olla kierrätettyjä materiaaleja perustuksesta. Muuttamalla perustuksen käyttötarkoitusta sen tullessa elinikänsä päähän voitaisiin mahdollistaa perustuksen materiaalille pidempi käyttöikä eri käyttötarkoituksen avulla. Tämä vaatisi luvussa 3.2 mainitun betonin murskauksen ja betonimurskeen siirtämisen rannikon lähelle suojaamaan rantaa aaltojen kuluttavilta voimilta. Tai vaihtoehtoisesti perustusta voisi käyttää sellaisenaan siirtämällä

sen lähelle rannikkoa ja täyttämällä kammiot esimerkiksi hiekalla, jolloin se pysyisi suuressakin aallokossa paikallaan. Rannat kärsivät merivedestä melkoisen paljon, ja aallonmurtajien avulla kulutusta pyritään vähentämään, joten tämä olisi todella hyvä tapa hyödyntää upcyclingia perustuksen osalta. Mikäli perustusta hyödynnettäisiin aallonmurtajana, niin murskeen ei tarvitsisi olla kovinkaan pientä, mikä taas vähentäisi murskeen tekemisen kustannuksia. Toki aallonmurtajia rakennettaessa tulee ottaa huomioon alueen soveltuvuus aallonmurtajien rakentamiseen ja mahdolliset toimenpiteet, jotta aallonmurtajat saadaan rakennettua. Portugalissa aallonmurtajia on jo rakennettu alueen läheisyyteen, joten tämän ei pitäisi olla ongelma. Portugalin naapurimaa Espanja on sitoutunut kehittämään aallonmurtajiensa määrää ja laatua. Espanja on sijoittanut kyseiseen projektiin melkein 27 miljoonaa euroa. [28.] Tämä viittaisi siihen, että kyseisellä alueella on tarvetta aallonmurtajille, jolloin todennäköisesti naapurimaa Portugalinkin voisi olla tarve lisätä aallonmurtajiensa määrää, jotta rannat saadaan pidettyä elinvoimaisina. Perustuksen rikkomisesta saatavalla murskeella voitaisiin myös tehdä nykyisiä aallonmurtajia tukevimmiksi ja laajentaa niiden toimintasadettä.

Kelluva aallonmurtaja

WaveRolleria on mahdollista hyödyntää myös sellaisenaan aallonmurtajana. On olemassa kelluvia aallonmurtajia, kuten Marinetekin kehittämä Breakwater-aallonmurtaja, jonka avulla voidaan estää rantavaurioita [29]. Kelluvissa aallonmurtajissa tärkeää on se, että ne kelluvat ankarissakin meriolosuhteissa. Mikäli WaveRollerin perustusta ei täytetä vedellä, niin se kelluu niin kauan, kunnes kammiot täytetään, jolloin se sopisi erinomaisesti kelluvaksi aallonmurtajaksi. Jotta perustus pysyisi halutulla paikalla, niin se vaatisi sen ankkuroinnin merenpohjaan, muuten perustus saattaisi lähteä liikkumaan aaltojen voimasta. Perustuksen hyödyntäminen kelluvana aallonmurtajana mahdollistaisi pidemmän käyttöajan perustukselle, ja säännöllisillä huolloilla perustusta olisi mahdollista käyttää jopa vuosikymmeniä aallonmurtajana sen jälkeen, kun se on tullut käyttökänsä päähän WaveRollerin perustuksena. Tässä olisi se hyvä puoli, että perustusta ei tarvitsisi siirtää kauas asennuspaikastaan, jolloin kulut olisivat

pienemmät. Nykyiset kelluvat aallonmurtajat on usein rakennettu teräsbetonista, teräksestä tai puun yhdistelmistä, jolloin materiaalienkin suhteen WaveRollerin perustus sopisi kyseiseen käyttötarkoitukseen. [30.]

Tuulivoimalan alusta

Perustusta voisi olla mahdollista hyödyntää vedessä olevien tuulivoimaloiden alustoina. Nykyisiä perustustapoja offshore-tuulivoimaloille on useita ja niiden rakentaminen on todella kallista, jolloin WaveRollerin perustuksen hyödyntäminen pohja-alustana voisi olla varteenotettava vaihtoehto tuulipuistoille. Tämän myötä perustusta ei tarvitsisi lainkaan nostaa vedestä, vaan sitä voitaisiin hyödyntää sellaisenaan, kun paneeli ja voimanotto on irrotettu. Mikäli perustusta haluttaisiin hyödyntää tuulivoimalan alustana, niin tulisi sen kunto tarkistaa huolellisesti ja varmistaa sen kestävyys. Ongelmana tässä voi kuitenkin tulla eteen sijainti. Tuulipuistojen sijainnit ovat hyvin harkittuja, jolloin tuulivoimalan pystyttäminen asennuspaikalle ei välttämättä ole mahdollista. Toisena ongelmana eteen voi tulla perustuksen kestävyys. Mikäli perustus on jo kulunut aaltovoimalaitteiston aikana liikaa, niin sen toimiminen toisena perustana ei välttämättä ole mahdollista. [31.] Kyseinen upcycling-mahdollisuus on melko sama kuin se, että perustusta hyödynnettäisiin uudestaan uuden paneelin ja voimanoton yhteydessä, mikä luo haasteita perustuksen kestävyuden näkökulmasta.

Ekosysteemien suojelu

Perustuksen ollessa meressä yli 20 vuotta sen pinnalle alkaa väistämättä ke-
räntymään elämää. Tämän myötä yksi mahdollisuus upcycling-näkökulmasta
olisikin jättää perustukset mereen suojelemaan merielämää. Asiaa on tutkittu öljynpora-
auslauttojen näkökulmasta, ja niillä muun muassa ravut, katkaravut ja si-
nisimpukat asuvat. Nämä mereen rakennettavat rakenteet mahdollistavat asu-
mispaikkoja meressä eläville eläimille ja kasveille. Öljynpora-
auslauttoihin liittyviä ekosysteemejä suojellaan kalastussäännöillä. Mahdollistamalla pitkän käyttö-
iän laitteelle voidaan varmistaa ekosysteemien elinvoimaisuus ja suojella niitä. Öljy-
pora-
auslauttojen suhteen onkin lähdetty miettimään asiaa siltä kannalta, että

purkamista ei tehtäisi, jolloin ekosysteemiä ei häiriköitäisi ja vältettäisiin mahdolliset ympäristövahingot, kun perustusten mekaanista poistoa ei suoriteta. [32.] Tämän kaltaisia keinotekoisia riuttoja on hyödynnetty suojelemaan merielämää jo pidemmän aikaa. Riuttojen kriteerinä on se, että ne ovat kovia ja karkeita alustoja, joihin on helppo tarttua. [32.] Samalla tavalla kuin öljynporausruttoja käytetään osana kasvualustaa, niin WaveRollerinkin perustus toimii samantyyppisesti. Tämän myötä yksi mahdollisuus onkin jättää perustus mereen suojelemaan ekosysteemejä ja antamaan kasvualusta mereneläville. [33.]

Hiilensidonta

3.2 luvussa mainitun betonin karbonatisoitumisen näkökulmasta hiilensidonnallisiin tarpeisiin WaveRollerin perustus voisi sopia mainiosti. Kuten luvussa 3.2 mainittiin, parhaat tulokset saadaan betonin ollessa murskeena, mutta mikäli perustusta hyödynnettäisiin samanaikaisesti muuhunkin tarpeeseen, niin sen kyky sitoa hiiltä tulisi niin sanotusti lisänä. Esimerkkinä perustusta voitaisiin hyödyntää jonkinlaisena laiturina tai maisemointina, jolloin ensisijainen tarkoitus olisi laiturin tai maisemointitarkoitus ja toissijainen puolestaan hiilensidonta. Tällainen samankaltainen käyttökohde voisi mahdollistaa perustuksen maksimaalisen käytön. Öljynporausruttojen rakennusaineita on pyritty hyödyntämään meriympäristössä niiden tullessa käyttöikänsä päähän, ja yksi keinoista on juuri hiilensidonta ja -varastointi. Öljynporausruttojen suhteen hiilensidonta tapahtuu siten, että ne jätetään asennuspaikoilleen, jolloin karbonatisoitumista tapahtuu luonnostaan. Öljynporausruttojen rakennusaineet ovat melko samantyyppisiä kuin WaveRollerin perustuskin, jolloin tämä käyttökohde voisi olla hyvinkin varteenotettava vaihtoehto. [34.]

Rakentaminen

Perustusta voitaisiin hyödyntää myös rakentamisessa, muun muassa rakennustornin vastapainona. Tämä vaatisi kuitenkin sen, että perustusta pienennettäisiin, esimerkiksi leikkaamalla sitä muutamiin osiin. Tässä heikkoutena on kuitenkin perustuksen kammioperiaate, jolloin betonipalikkoiden tulisi olla

huomattavasti suurempia kuin kiinteiden betonipalikoiden tai vastaavasti kammiot tulisi täyttää jollakin aineella. Tämä edistäisi kyllä uusiokäyttöä, mutta todellisuudessa voi olla hieman haastava toteuttaa. Samankaltaisia rakennusaineita, joita WaveRollerissa on, on käytetty ensimmäisen elinkaaren tullessa loppuun erilaiseen rakentamiseen, mutta se vaatii murskausta ja betonin muodostamista uudelleen, jolloin se ei varsinaisesti ole upcyclingia, vaan enemmänkin kierrätystä. [34.]

4.2 Kehitysideat upcycling-mahdollisuuksien lisäämiseksi

Kuten aiemmassa luvussa 4.1 todettiin, upcycling-mahdollisuuksia ei tällä hetkellä ole kovinkaan paljoa tarjolla niin isolle rakennelmalle, joten upcyclingin kehittämisen suhteen laitetta tulisi muokata pienemmäksi, jolloin mahdollisuuksia olisi enemmän. WaveRollerin tuoteperheeseen tulevan uuden pienemmän laitteen upcycling-mahdollisuudet ovat parempia, sillä betonipalikat ovat huomattavasti pienempiä, jolloin niiden hyödyntäminen sellaisenaan on helpompaa.

Tämänhetkisten tutkimusten mukaan aihetta ei ole kovinkaan paljoa tutkittu, minkä takia saatavilla olevien tietojen soveltaminen WaveRollerin tapauksessa on erittäin haastavaa. Upcyclingin mahdollisuuksia betonin suhteen ei ole vielä saatavilla niin paljoa, että tieto olisi suoraan sovellettavissa, varsinkaan niin isoon perustukseen kuin WaveRollerissa, joten tällä hetkellä mahdollisuudet ovat melko vähissä. Kehittämällä laitetta siten, että betonia hyödynnettäisiin pienemmissä palasissa, voisivat upcycling-näkymätkin olla paremmat tuotteen kannalta. Tämä mahdollistaisi sen, että betonia olisi helpompi liikuttaa, jolloin upcycling-mahdollisuudet eivät rajoittuisi ainoastaan asennuspaikan lähistölle. Toinen vaihtoehto olisi kehittää laitetta siten, että jo suunnitteluvaiheessa kehitettäisiin perustukselle uusiokäyttötarkoitus ja toteutettaisiin suunnittelu siten, että se toimisi sekä aaltovoimalan perustuksena että uusiokäyttökohteessa, jolloin tilanne voisi olla parempi upcycling-mahdollisuuksien suhteen. Tämä vaatisi kuitenkin kattavaa selvitystyötä siitä, mihin käyttötarkoitukseen laitetta suunniteltaisiin ja mitä kriteerejä perustukselle mahdollisesti tulisi uuden käyttötarkoituksen myötä. Mikäli tarkkaa käyttötarkoitusta ei tiedetä suunnitteluvaiheessa,

niin suunnittelun voi hoitaa joustavasti eli rakentamalla esimerkiksi irrotettavia kammioita tai seiniä. Useimmiten kriteereinä toimivat veden absorptio, seostukset, ominaispaino, puristuslujuus ja painuminen [35]. Näiden testien avulla voidaan varmistaa betonin sovellettavuus uusiokäyttöön. Tällä hetkellä parhailta vaihtoehdoilta näyttävät ekosysteemien suojele ja aallonmurtajissa raaka-aineiden hyödyntäminen, mikäli ei haluta kierrättää tuotetta ja hyödyntää sitä esimerkiksi rakentamisessa.

5 Yhteenveto

Aaltovoima on varteenotettava vaihtoehto tulevaisuudessa, osana energiantuotantoa. Tällä hetkellä aaltovoima on kehittyvää teknologiaa, jonka tavoitteena on tulevaisuudessa olla osa uusiutuvia energiantuotantomenetelmiä. AW-Energyn kehittämä WaveRoller on yksi aaltovoimaan keskittyneistä teknologioista ja tehtyjen testauksien perusteella varsin toimiva laite, jolla voitaisiin tulevaisuudessa turvata energiansaantia ja edistää uusiutuvien energianlähteiden käyttöä sähköntuotannossa.

Kierrätysnäkökulmasta katsoen aaltovoimaloiden kierrätysmahdollisuuksia ei ole kovinkaan paljoa tutkittu. Tämä liittyy osaltaan siihen, että kaupallisessa käytössä olevia aaltovoimaloita ei vielä markkinoilla kovinkaan paljoa ole, jolloin loppusijoitusta ei ole lähdetty vielä tutkimaan, kun laitteistojakaan ei ole jatkuvassa käytössä. Tulevaisuudessa tilanne tulee todennäköisesti olemaan erilainen, mutta tämänhetkisten tutkimusten mukaan loppusijoituspaikkoja ei kovinkaan paljoa ole kartoitettu.

Myöskään upcycling-mahdollisuuksia ei ole tutkimuksissa kartoitettu, varsinkin niin isoihin perustuksiin kuin WaveRollerissa on. Nykyisillä tutkimustuloksilla suurin osa vaihtoehdoista liittyvät enemmän kierrätykseen kuin upcyclingiin, mutta jollain tapaa yhdistämällä näitä kahta tapaa voisi saada toimivan toimintatavan WaveRollerin uusiokäytölle.

Työn avulla saatiin kartoitettua mahdollisia kierrätysmahdollisuuksia WaveRollerille. Nämä jakautuivat EoL- ja upcycling-mahdollisuuksiin. EoL-mahdollisuuksina olivat betonin sijoitus kaatopaikalle, materiaalien kunnostus, esimerkiksi pinnoittamalla sekä uudelleenkäyttö. Kierrätyksen osalta puolestaan mahdollisuuksina oli betonin kierrätys eli murskatun betonin hyödyntäminen betoroc-murskeen tavoin ja karbonatisoitumisessa hyödyntäminen. Upcyclingin osalta mahdollisuuksia oli useampia. Hyödyntäminen aallonmurtajissa, kelluvissa aallonmurtajissa, tuulivoimalan alustana tai uuden aaltovoimalan alustana, ekosysteemien suojelemisessa, hiilensidonnassa, maisemoinnin tai laitureiden avulla, tai rakentamisessa.

Johtopäätöksenä on se, että tulevien tutkimusten avulla EoL- ja upcycling-mahdollisuuksia voidaan tarkastella lähemmin ja löytää sopiva toimintatapa perustuksen kierrättämiseksi. Tämänhetkisten tutkimusten mukaan kaikista varteenotettavimpia vaihtoehtoja WaveRollerin näkökulmasta ovat osittainen kierrättäminen ja osittainen upcyclingin hyödyntäminen. Tämä tarkoittaa sitä, että tarpeen vaatiessa perustusta voitaisiin hyödyntää upcycling-käyttötarkoituksissa, mutta mikäli tarvetta ekosysteemien suojelemiselle, aallonmurtajalle, kelluvalle aallonmurtajalle tai hiilensidontaan ei ole, niin perustus murskattaisiin ja hyödynnettäisiin maanrakentamiseen, jolloin raaka-aineet saataisiin kierrätettyä.

EoL-suunnitelmana perustuksen osalta yritykselle voisi toimia se, että tarpeet kartoitettaisiin ja toimittaisiin niiden mukaisesti, jotta perustusta voitaisiin joko hyödyntää elinkaarensa päässä sellaisenaan tai hieman muokattuna tai ottamalla raaka-aineet talteen ja kehittämällä jotain uutta. Kumpikaan vaihtoehtoista ei ole huono, vaan päinvastoin tällaisen suunnitelman avulla saataisiin pidennettyä neitseellisten raaka-aineiden pysymistä kierrossa. Yhdistämällä nämä kaksi toimintatapaa voitaisiin mahdollistaa ympäristöystävällisempi tapa hyödyntää perustusta sen tullessa ensimmäisen elinkaarensa päähän.

Lähteet

- 1 An overview of wave energy. Verkkoaineisto. CorPower Ocean. <<https://corpowersocean.com/a-short-history-of-wave-energy/>>. Luettu 8.3.2024.
- 2 WaveFarm unleashes a wave of energy for a sustainable future. 2024. Verkkoaineisto. European Commission. <https://oceans-and-fisheries.ec.europa.eu/news/wavefarm-unleashes-wave-energy-sustainable-future-2024-01-31_en>. Luettu 23.4.2024.
- 3 Lopez, I; Andreu, J; Ceballos, S; Martinez de Alegria, I; Kortabarria, I. 2013. Review of wave energy technologies and the necessary power-equipment. Renewable & sustainable energy reviews. Vol 27.
- 4 Aaltovoimaa pohjoismaiseen sähköverkkoon. Verkkoaineisto. Uusi Teknologia.fi. <<https://www.uusiteknologia.fi/2016/01/23/aaltovoimaa-pohjoismaiseen-sahkoverkkoon/>>. Luettu 14.3.2024.
- 5 Pecher, Arthur; Kofoed Jens Peter. 2017. Handbook of Ocean Wave. Ocean Engineering Oceanography. Vol 7.
- 6 Meister, Mikkel. 2022. Miten aaltovoimala toimii? Verkkoaineisto. Tieteen kuvalehti. <<https://tiekku.fi/teknologia/energia/miten-aaltovoimala-toimii>>. Luettu 3.5.2024.
- 7 WaveRoller. Verkkoaineisto. WaveRoller by AW-Energy. <<https://aw-energy.com/>>. Luettu 13.3.2024.
- 8 AW-Energy Oy. Verkkoaineisto. Finder. <<https://www.finder.fi/Energiatuotannon+laitteet/Aw-Energy+Oy/Helsinki/yhteystiedot/464435>>. Luettu 13.3.2024.
- 9 Apolonia, Maria. 2020. Final LCA report of the MegaRoller device. Projektiraportti. AW-Energy.
- 10 LKAB Minerals Oy. 2015. Raskasta asiaa betonista – Raskasbetoni. Betoni. S. 74.
- 11 Choosing Materials for Use in the Ocean. Verkkoaineisto. Blue Trail Engineering. <<https://www.bluetrailengineering.com/post/choosing-materials-for-use-in-the-ocean>>. Luettu 25.3.2024.

- 12 What is a Product End of Life (EoL) Plan? Verkkoaineisto. Productside. <<https://www.productside.com/what-is-a-product-end-of-life-eol-plan/>>. Luettu 25.3.2024.
- 13 Ashby, Michael F. 2015. Materials and the Environment: Eco-Informed Material Choice. Alankomaat: Elsevier Science & Technology.
- 14 Steel Grades and Seawater Corrosion. 2018. Verkkoaineisto. Masteel. <<https://masteel.co.uk/news/steel-grades-seawater-corrosion/>>. Luettu 2.4.2024.
- 15 Betoni- ja tiilijäte. Verkkoaineisto. Rosk'n Roll. <<https://rosknroll.fi/jate-laji/betoni-ja-tiilijate/>>. Luettu 2.4.2024.
- 16 Pinnoitus. Verkkoaineisto. Betoni. <<https://betoni.com/suunnittelu/arkkitehtisuunnittelu/lattiat/betonilattian-pinnoitus/>>. Luettu 23.4.2024.
- 17 Betonin valmistus. Verkkoaineisto. Betoni. <<https://betoni.com/tietoa-betonista/betoni-rakennusmateriaalina/betonin-valmistus/>>. Luettu 23.4.2024.
//Hentula, Marie-Helen. 2021. Betonimurskeen käyttö infrarakentamisessa. Opinnäytetyö. Turun ammattikorkeakoulu. Theseus-tietokanta.
- 18 Kiertotalous. Verkkoaineisto. Betoni. <<https://betoni.com/betoni-ja-ymparisto/kiertotalous/>>. Luettu 5.4.2024.
- 19 Hentula, Marie-Helen. 2021. Betonimurskeen käyttö infrarakentamisessa. Opinnäytetyö. Turun ammattikorkeakoulu. Theseus-tietokanta.
- 20 Jortama, Jani. 2018. Betoroc-murskeen käyttö työmaalla. Opinnäytetyö. Oulun ammattikorkeakoulu. Theseus-tietokanta.
- 21 Hiilidioksidin sitoutuminen betoniin. Verkkoaineisto. Concrete solution. <<https://concretesolution.fi/karbonatisoituminen/>>. Luettu 23.4.2024.
- 22 Betoroc-betonimurskeen jätestatus poistui. Verkkoaineisto. Rudus. <<https://www.rudus.fi/tuotteet/kierratys/betonimurske>>. Luettu 23.4.2024.
- 23 Teräksen kierrättäminen. Verkkoaineisto. Teräsrakenneyhdistys. <<https://www.terasrakenneyhdistys.fi/fin/teras/co2-ja-kiertotalous/teraksen-kierratys/>>. Luettu 8.4.2024.
- 24 Teräksen elinkaari. Verkkoaineisto. SSAB. <<https://www.ssab.com/fi-fi/ssab-konserni/kestava-kehitys/alueet/teraksen-elinkaari>>. Luettu 8.4.2024.

- 25 Levada, Filipp. 2021. Teräksen valmistus ja sen laitteet. Verkkoaineisto. Levstal. <<https://levstal.com/fi/blog/teraksen-valmistus-ja-sen-laitteet/>>. Päivitetty 7.6.2022. Luettu 8.4.2024.
- 26 What is Upcycling? Verkkoaineisto. Upcycle that. <<https://upcyclethat.com/about-upcycling/>>. Luettu 9.4.2024.
- 27 Aallonmurtaja. Verkkoaineisto. Merilaituri. <<https://merilaituri.fi/aallonmurtaja/>>. Luettu 10.4.2024.
- 28 Benalmádenan rantoja suojataan aallonmurtajaprojektilla. 2022. Verkkoaineisto. Espanja.com. <<https://espanja.com/ajankohtaista/benalmadenan-rantoja-suojataan-aallonmurtajaprojektilla/>>. Luettu 10.4.2024.
- 29 Breakwater. Verkkoaineisto. Marinetek. <<https://marinetek.net/fi/tuotteet/breakwater/>>. Luettu 18.4.2024.
- 30 Uppoamaton ja ylivoimainen aallonsiirto Kelluvat aallonmurtajat. Verkkoaineisto. Vikingegaarden. <<https://vikingegaarden.com/fi/products/breakwater/>>. Luettu 10.4.2024.
- 31 Jääskeläinen, Mikko; Rantala, Lasse & Sundelin Ari. 2012. Merituulipuiston rakentaminen. Raportti. Prizztech Oy.
- 32 Kuningas, Sanna. Hylyt keinotekoisina riuttoina. Verkkoaineisto. <[https://www.ostersjon.fi/fi-FI/Luonto_ja_sen_muutos/Asiantuntijan_kynasta/Hylyt_keinotekoisina_riuttoina\(52403\)](https://www.ostersjon.fi/fi-FI/Luonto_ja_sen_muutos/Asiantuntijan_kynasta/Hylyt_keinotekoisina_riuttoina(52403))>. Luettu 18.4.2024.
- 33 Repurposing Offshore Rigs and Platforms. Verkkoaineisto. NOV. <<https://www.nov.com/products-and-services/capabilities/repurposing-offshore-rigs-and-platforms>>. Luettu 11.4.2024.
- 34 Repurposing. Verkkoaineisto. North Sea Transition Authority. <<https://www.nstauthority.co.uk/regulatory-information/decommissioning-and-repurposing/repurposing/>>. Luettu 11.4.2024.
- 35 Punitha, P. 2019. Study of natural aggregates and testing of recycled aggregates. Raportti. International journal for research & development in technology.