

TEKOSAARTEN RAKENTAMISEN HAASTEET JA YMPÄ- RISTÖVAIKUTUKSET

Lampela Julia

Opinnäytetyö

Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka
Insinööri (AMK)

2023

Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka
Insinööri (AMK)

Tekijä	Julia Lampela	Vuosi	2023
Ohjaaja(t)	Pekka Uutela		
Toimeksiantaja	Lapin ammattikorkeakoulu		
Työn nimi	Tekosaarten rakentamisen haasteet ja ympäristövaikutukset		
Sivumäärä	30		

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli tutkia tekosaarten rakentamisen haasteita ja rakentamisen aiheuttamia ympäristövaikutuksia. Opinnäytetyössä käytiin läpi tekosaarten rakennusmenetelmiä ja käytettiin yksityiskohtaisempaa esimerkkinä maailman suurimman tekosaaren, Palm Jumeirahin, rakennusprosessia. Ympäristövaikutuksia käsiteltiin pääosassa vesistöön ja biodiversiteettiin keskittyen. Loppuun kerättiin tietoa siitä, miten näitä ympäristövaikutuksia voitaisiin lieventää.

Tutkimusmenetelmänä tässä työssä käytettiin kvalitatiivista tutkimusta, ja tietoperustana useita kansainvälisiä tieteellisiä julkaisuja. Työssä käytetty aineisto on suurimmaksi osaksi englanninkielisiä tutkimuksia ja artikkeleja. Kokonaisvaltaisempia asioita löytyi myös suomenkielisistä lähteistä.

Tekosaarten rakentamisen ympäristövaikutukset ovat tiedossa useiden tutkimusten tuloksena, mutta kuten yleisesti ympäristöä ja ilmastonmuutosta koskevissa asioissa, suurimpia tekosaarihankkeita toteuttavat maat ja toimijat ovat haluttomia aloittamaan konkreettisia toimia. Rakennusmenetelmien kehittäminen ja ympäristövaikutusten pienentäminen vaatii pitkää kansainvälistä yhteistyötä ja kansainvälisen lainsäädännön päivittämistä.

Avainsanat Ympäristövaikutukset, ympäristövahingot, maarakennus, vesirakennus, ruoppaus, kehittäminen

Civil Engineering
Bachelor of Engineering

Author	Julia Lampela	Year	2023
Supervisor(s)	Pekka Uutela		
Commissioned by	Lapland University of Applied Sciences		
Title	Construction Challenges and Environmental Impacts of Artificial Islands		
Number of pages	30		

The purpose of this thesis was to research the challenges of constructing artificial islands and the environmental effects caused by said constructing. The thesis reviewed different artificial island construction methods and used the construction process of the world's largest artificial island, Palm Jumeirah, as an example. Environmental effects were mainly focused on water bodies and biodiversity. After an overview of environmental effects, information on how these environmental effects could be mitigated was collected.

Qualitative research was used as the research method. Several scientific publications were used as the database for this thesis. Most of the material used are studies and articles in English. General issues were also found in Finnish.

The environmental effects of artificial island construction are known as a result of several studies. However, in matters concerning the environment and climate change, the countries and companies implementing the largest artificial island projects are reluctant to start concrete actions. The development of construction methods and the reduction of environmental impacts require long-term international cooperation and the updating of international legislation.

Keywords Environmental effects, environmental damages, earth construction, hydraulic construction, dredging, development

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	5
2	TEKOSAARET ILMIÖNÄ	6
2.1	Tekosaarten historiasta	6
2.2	Tekosaaret maailmalla	6
2.3	Tekosaaret Suomessa	8
2.4	Erilaiset käyttötarkoitukset	10
2.5	Edut ja haitat	11
3	TEKOSAARTEN RAKENTAMISEN VAIHEET JA MENETELMÄT	12
3.1	Ennen rakentamisen aloittamista	12
3.2	Erilaisia menetelmiä	13
3.3	Erosiosuojaus	14
3.4	Esimerkkinä Palm Jumeirah	15
4	TEKOSAARTEN RAKENTAMISEN HAASTEET	18
4.1	Lainsäädännölliset asiat	18
4.2	Materiaalit ja työmenetelmät	19
4.3	Taloudelliset asiat	19
4.4	Luonnonvoimat	20
5	TEKOSAARTEN YMPÄRISTÖVAIKUTUKSET	22
5.1	Vaikutukset vesistöihin	22
5.2	Vaikutukset biodiversiteettiin	23
5.3	Ympäristövaikutuksien lieventäminen	25
6	POHDINTA	27
	LÄHTEET	28

1 JOHDANTO

Merenpinnan noustessa ja väestönkasvun kiihtyessä entisestään syntyy tarvetta uudelle maa-alueelle rannikkoalueilla. Yhtenä ratkaisuna tilanpuutteelle voidaan pitää tekosaarirakentamista. Tekosaari käsitteenä tarkoittaa siis yksinkertaisuudessaan sellaista saarta, joka on ihmisen rakentama eikä luonnollisin prosessein syntynyt (Sreekumar & Hassan 2020, 1.).

Tekosaarilla on useita eri käyttötarkoituksia: niitä voidaan rakentaa asuinalueiksi, teollisuuden käyttöön, kaupalliseen käyttöön ja moniin muuhun tarkoitukseen. Tekosaarirakentamisessa tulee kuitenkin huomioida useita asioita. Huomioitavien asioiden laajuus riippuu tekosaaren käyttötarkoituksen lisäksi sen maantieteellisestä sijainnista. Tekosaaret voivat olla ratkaisu joihinkin nyky maailman ongelmiin, mutta etujen lisäksi niillä on myös paljon haittoja. (Rahman 2017.)

Tekosaarten rakentaminen aiheuttaa erilaisia ympäristövaikutuksia niin rakentamisen aikana kuin pitkäaikaisestikin. Tekosaarirakentamisen yleistyessä väistämättömäksi ongelmaksi koituu se, kuinka saadaan vähennettyä rakentamisen vaikutuksia ympäristöön, ja kuinka mahdollisia vaikutuksia saataisiin kompensoida (Gao, Zhang, Jin, Chen 2020, 4).

2 TEKOSAARET ILMIÖNÄ

2.1 Tekosaarten historiasta

Ensimmäiset tekosaaret on rakennettu muinaisen Egyptin aikana, nykyajan tekosaarista ensimmäinen on rakennettu Kiinaan vuonna 1995 (Sreekumar & Hassan 2020, 1). 1600-luvulla tekosaaria rakennettiin öljyn etsintää ja porausta varten, hiilikaivosten tuuletukseen, maanpuolustukseen ja rannikon laajentamiseen (Rahman 2017). Kautta historian ihmiset ovat pyrkineet luomaan kuivaa maata erilaisiin vesistöihin asutustarkoituksessa (Fisher & Hirschfeld 2022).

Euroopassa ensimmäisiä tekosaarihankkeita toteutti Alankomaat. Hollantilaiset laajensivat niemimaata ja olemassa olevia saaria sekä rakensivat kokonaan uutta aluetta. 1700-luvulla hollantilaiset insinöörit neuvoivat myös ranskalaisia ja japanilaisia tekosaarien rakentamisessa. (Hannon & LeBlanc 1987.)

Suomessa tekosaarten historia sijoittuu lähimenneisyyteen. Nykyisillä rakennusmenetelmillä rakennettuja tekosaaria löytyy vain yksi, vuonna 2022 valmistunut Näsisaari (Hankaniemi 2022). Näsisaaren lisäksi Kemin edustalta löytyy puutararakenteinen Laitakari (laitakari.fi 2023). Joidenkin käsityksien mukaan myös aallonmurtajat voitaisiin lukea tekosaariin, mutta niiden käyttötarkoitus eroaa huomattavasti perinteisestä tekosaaresta. Suuri aallonmurtaja on rakennettu esimerkiksi Kuopioon.

2.2 Tekosaaret maailmalla

Tekosaaresta konseptina tulee useimmille ensimmäisenä mieleen paljon mediassa esillä olleet Palmusaaret, jotka sijaitsevat Dubaissa, Yhdistyneissä Arabimiraateissa. Palmusaaret on rakennettu Dubain edustalle Persianlahdelle. Palmusaari Palm Jumeirah on maailman suurin tekosaari. Palm Jumeirah sisältää muun muassa useita luksushotelleja, ostoskeskuksia ja vesipuiston. (Visit Dubai 2023.)

Suurimpia tekosaarihankkeita toteuttavat pääasiassa Kiina, Japani, Yhdysvallat ja Yhdistyneet Arabiemiraatit (Sreekumar & Hassan 2020, 1.). Maailmanlaajuisesti merkittävimpiä tekosaaria ovat Zakumin öljykenttä Abu Dhabissa, Metsäkaupunkiprojekti Malesiassa, Kansain kansainvälinen lentoasema Japanissa sekä tekosaaret Etelä-Kiinan merellä (Sreekumar & Hassan 2020, 3).

Zakumin öljykenttä rakennettiin öljynporaustarkoituksessa. Kentällä arvioidaan olevan 50 miljardia tynnyriä öljyä. Zakumin öljykenttä on toiseksi suurin merellä sijaitseva sekä maailman neljänneksi suurin öljykenttä. Öljykentän pinta-ala on noin 1,2 km². Kokoa voi olla hankala hahmottaa pelkän numeron perusteella. Kuviossa 1 näkyy useita suurikokoisia teollisia rakenteita, joiden avulla pinta-ala konkretisoituu. Öljyn hankintaa ohjataan etänä edistyneellä teknologialla. Saarella sijaitsee myös yli 2000 henkilön asuinalue. (Sreekumar & Hassan 2020, 3.)



Kuvio 1. Zakumin öljykenttä (Petrofac 2023)

Malesian metsäkaupunkiprojektin aloittamisen suurin tarkoitus on vähentää ruuhkautumista pienessä saarivaltiossa. Tekosaarelle rakennetaan asukkaille asuinalue ja vapaa-ajan aktiviteetteja. Tekosaaren on myös tarkoitus palvella teollisuutta ja kaupallista käyttötarkoitusta. Metsäkaupunkiprojekti koostuu neljästä tekosaaresta. (Sreekumar & Hassan 2020, 3.)

Kansain kansainvälinen lentoasema sijaitsee Osakan edustalla (kuvio 2). Tärkein syy lentoaseman rakentamiseen tekosaarelle oli mantereen melusaasteen vähentäminen. Tutkimuksien mukaan tekosaarelle rakennettu lentoasema on onnistunut melusaasteen vähentämisessä. Lentoasemalla on myös useita palveluja, mukaan lukien ostosalue. (Sreekumar & Hassan 2020, 3.)



Kuvio 2. Kansain kansainvälinen lentoasema (Masson 2004)

Etelä-Kiinanmerellä on merkittävä rooli Kiinan talouden ja turvallisuuden näkökulmasta. Tekosaaret toimivat Kiinan tukikohtana, ja niille on sijoitettu huomattavia määriä maapuolustukseen liittyviä rakenteita. Kiina on rakennuttanut merelle yhteensä seitsemän tekosaarta. (Sreekumar & Hassan 2020, 3.)

2.3 Tekosaaret Suomessa

Suomessa tekosaarirakentaminen on toistaiseksi alkutekijöissä. Suomessa ai-noana nykyisellä tekniikalla rakennettuna tekosaarena on Tampereelle Näsijär-veen rakennettu Näsisaari (kuvio 3). Näsisaari rakennettiin raitiotien kulkureitiksi uudelle 25000 asukkaan asuinalueelle, ja saarta aiotaan myöhemmin laajentaa uudeksi kaupunginosaksi. Näsisaari on 800 metriä pitkä ja 200 metriä leveä ja sen täyttöihin on ajettu yhteensä 1,2 miljoonaa kuutiota louhetta. Pinta-alaa Näsisaarella on siis 160 000 m². (Hankaniemi 2022.)



Kuvio 3. Näsisaari keskeneräisenä lokakuussa 2022 (Tampereen kaupunki 2022)

Tekosaari löytyy myös Kemistä, 20 minuutin matkan päässä sisäsatamasta. Kemin tekosaarelle on rakennettu kantavan maan päälle pohja puutavarasta, jonka päälle on kasvatettu kasvustoa ja puustoa (kuvio 4). Myöhemmin sinne on rakennettu saha ja taloja. Saarella oli sahatoimintaa vuodesta 1862 vuoteen 1939 ja asukkaita vuoteen 1966 saakka. Tekosaaren nimi on Laitakari, ja sitä pääsee katsomaan ja sen historiasta kuulemaan Kemin sisäsatamasta lähtevillä laivaretkillä. (laitakari.fi 2023.)



Kuvio 4. Laitakarin rakennetta Perämerellä Kemin edustalla

2.4 Erilaiset käyttötarkoitukset

Tekosaarten rakentamiselle on useita eri motiiveja. Väestönkasvu ja yleinen kehittyminen ovat aiheuttaneet maa-alueen loppumista halutuilla alueilla ja näin luonut tarvetta tekosaarten rakentamiselle (Rahman 2017). Tekosaaria rakennetaan esimerkiksi asuinkäyttöön, teollisuutta varten ja kaupalliseen käyttöön (Sreekumar & Hassan 2020, 1).

Asuinkäyttöön tarkoitettulle tekosaarelle rakennetaan asuntoja ja palveluja. Teollisuuskäyttöön rakennettaessa otetaan huomioon maakaasun, hiilen, öljyn ja mineraalien hankkiminen ja näitä varten tarvittavat rakenteet. Kaupallinen käyttötarkoitus sisältää merireitit, satamat ja salmet, matkailun ja virkistystoiminnan sekä kaupalliset infrastruktuurit, kuten ostoskeskukset ja lentokentät. Tekosaarilla voi olla myös strategisia käyttötarkoituksia liittyen esimerkiksi maanpuolustukseen. Tekosaarille voidaan sijoittaa esimerkiksi puolustusvoimien tukikohtia. (Sreekumar & Hassan 2020, 1.)

2.5 Edut ja haitat

Tekosaarilla on monia etuja ja haittoja. Etuna tekosaarirakentamisella on esimerkiksi se, että niitä voidaan rakentaa minkä kokoisina tahansa melkein minne vain. Maat saavat keinotekoisesti lisää pinta-alaa, ja siten esimerkiksi rannikkoalueiden ruuhkautuminen voi helpottua. Tekosaarirakentaminen mahdollistaa myös tulvavesien valtaamien maiden takaisin saamisen. Uusille maa-alueille voidaan rakentaa uusia rakennuksia ja parempaa infrastruktuuria. (Rahman 2017.)

Tekosaarien rakentamisella on myös välillisiä taloudellisia etuja. Esimerkiksi matkailua pääelinkeinona harjoittavien maiden massaturismia voidaan laajentaa tekosaarien päälle, ja näin kyseinen maa saa lisää tuloja. Tekosaarien tuomat edut voivat siis välillisesti parantaa monien maiden taloudellista tilannetta. (Rahman 2017.)

Tekosaarten haittoihin lukeutuu ratkaisevasti hidas rakennusprosessi sekä rakentamisen haasteet. Rakennusprosessi on monivaiheinen, ja sisältää monta mahdollisuutta virheille. Virheet rakennusprosessissa voivat olla katastrofaalisia ympäristölle ja ihmisille onnettomuuden sattuessa. Hidas rakennusprosessi myös kasvattaa rakentamisen kustannuksia, ja suuret hankkeet voivat johtaa jopa talouskriisiin. (Rahman 2017.)

Tekosaarirakentamisen suurimmat haitat liittyvät ympäristöön. Ympäristövaikutukset ovat hyvin laaja-alaisia ja mahdollisesti peruuttamattomia. Rakennettaessa olemassa olevan rakenteen päälle koralliriutat ja merielämä häiriintyvät. Tekosaaren rakentaminen voi myös vaatia erityistoimenpiteitä, kuten aallonmurta-jia, johtuen vuorovesistä, tuulista sekä maanjäristys- ja tsunamiriskistä. (Rahman 2017.)

3 TEKOSAARTEN RAKENTAMISEN VAIHEET JA MENETELMÄT

Tekosaaria rakennetaan rakentamalla kokonaan uutta maa-aluetta ja rakentamalla tai laajentamalla olemassa olevan maan päälle: saarille, kallioille, koralliriutoille ja saarekkeille (Sreekumar & Hassan 2020, 1).

Tekosaarten rakentamisprosessi on täynnä ongelmakohtia. Mitä kauempana rannikosta suunniteltu saari sijaitsee, sitä vaikeampaa rakentaminen on. Vesistöissä työskenneltäessä yksikin virhe voi aiheuttaa peruuttamattomia vahinkoja ympäristölle. (IBC 2023.)

3.1 Ennen rakentamisen aloittamista

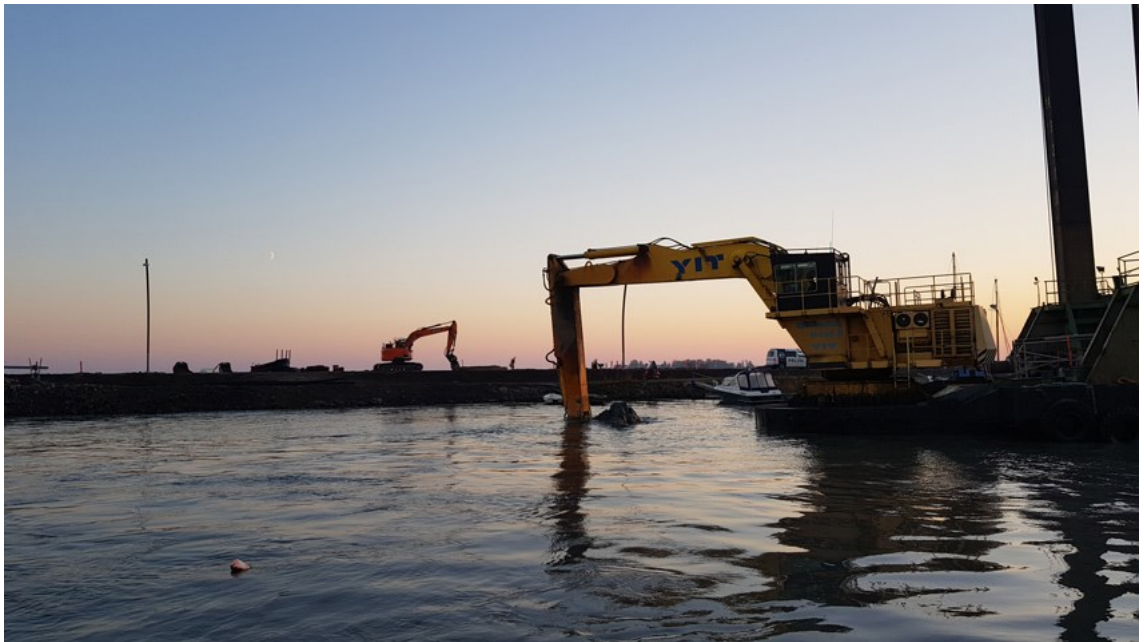
Ensimmäisenä tekosaarihanketta suunniteltaessa tulee ottaa huomioon lainsäädännölliset asiat. Rannikkovaltioiden laillinen valta on pikkuhiljaa laajentunut myös merialueille, joka tuo tekosaarten rakentamisen ja niiden käytön lainkäyttövallan alaisuuteen. Merialueita koskeva lainsäädäntö kehittyy jatkuvasti. Tekosaariin liittyvä lainsäädäntö riippuu siitä, millä merivyöhykkeellä ne sijaitsevat. Yleensä ne kuuluvat rannikkovaltiolle, mutta joskus on sovellettava kansainvälistä lainsäädäntöä. (Elferink 2013, 4.)

Ennen rakennustoimien käynnistymistä tehdään perusteellinen merenpohjan tutkimus. Tekosaaren rakentamisen onnistumisen kannalta on erittäin tärkeää ymmärtää, mitä meren pohjassa on ja missä kohtaa sijaitsee paras paikka tulevalle saarelle. Tutkimuksien perusteella valitaan tekosaarelle paikka, ja tämän paikan on oltava täysin alkuperäisten tavoitteiden mukainen tekosaarihankkeen toteuttamisen ja toimivuuden osalta. (IBC 2023.)

Tuleva tekosaari tarvitsee suojaa olosuhteita vastaan. Ennen itse saaren rakentamista tulee rakentaa aallonmurtaja, joka ottaa vastaan meren tai muun vesistön aaltojen vaikutuksen. Aallonmurtaja suojelee tulevaa tekosaarta merivirroilta. Ilman aallonmurtajaa saarelle rakennetut rakenteet ovat lyhytikäisiä ja tekosaaren pohja huuhtoutuu vähitellen pois. (IBC 2023.)

3.2 Erilaisia menetelmiä

Ruoppaus on uuden maa-alueen rakentamisen ensimmäinen vaihe (kuvio 5). Ruoppaukseen on käytössä muutamia erilaisia tekniikkoja. Ruoppauksessa poistetaan vedenpohjan pintakerros. Ruoppausmenetelmän valintaan vaikuttaa esimerkiksi ruoppaussyvyys, maalaji, veden syvyys, maalajin tiheys ja raekoko sekä automaatio. Vedenpohjaa ruopataan niin kauan, että löydetään kantava maa. (Rahman 2017.)



Kuvio 5. Esimerkki ruoppaamisesta (YIT 2023)

Ruoppauksen jälkeen rakennetaan veteen pohjaa tekosaarelle. Usein käytetään hyvälaatuista karkeaa hiekkaa pohjan rakentamiseen. Hiekka kipataan suoraan veteen. Kun hiekkaa on tarpeeksi, aletaan sitä levittää ruoppajan avulla haluttuihin, ennalta määrättyihin, paikkoihin. Hiekka tulee suojata eroosiolta usealla eri tavalla. (Rahman 2017.)

Tekosaari voidaan rakentaa myös hyödyntämällä väliaikaisia paaluja. Paalut voivat olla esimerkiksi massiivisia teräksisiä sylintereitä, jotka muodostavat tekosaaren ulkorajat. Kun ulkoraja on tiivis, keskelle jäävä vesi pumpataan pois. Pumpatulle alueelle kipataan hiekkaa niin, että maa-aines jää vedenpinnan yläpuolelle.

Lopuksi paalut puretaan ja jäljelle jää tekosaari. (Jiangsu Hansel Marine Equipment Co 2020.)

Näiden lisäksi tekosaaria voidaan rakentaa samankaltaisella periaatteella olemassa olevan, esimerkiksi koralliriutan tai muun vedenalaisen rakenteen, päälle. Tällöin jätetään ensimmäinen ruoppaus tekemättä, ja aletaan suoraan kippaamaan maa-ainesta rakenteen päälle, kunnes saavutetaan vedenpinta. (IBC 2023.)

3.3 Eroosiosuojaus

Eroosio tarkoittaa maaperän kulumista ja maaperästä irronneen kiintoaineksen kulkeutumista ja kasautumista jonkin ulkoisen voiman kuten virtaavan veden vaikutuksesta (Elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus 2022). Tekosaarten eroosiosuojaus noudattaa samoja periaatteita, kuin mikä tahansa rantaeroosion torjunta: rakennettua tekosaarta ympäröi ranta joka puolella. Eroosio aiheuttaa paikallisia ongelmia, kuten rantojen syöpymiä ja sortumia sekä pintavesien samentumista ja vesistön vedenlaadun heikkenemistä (Elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus 2022).

Eroosioherkkyys riippuu paljon käytettävästä materiaalista. Maa-aineksen rae-koolla, huokoisuudella ja vedenläpäisevyydellä on ratkaisevia eroja. Hiekkamaat ovat eroosioherkkiä, ja tekosaaret rakennetaan usein karkeasta hiekasta. Muita eroosion määrään vaikuttavia tekijöitä ovat maanpinnan muodot, kasvipeite, ilmasto- ja sääolosuhteet sekä vedenpinnan korkeuden vaihtelu eli vuorovedet ja tulva. (Elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus 2022.)

Tekosaarta voi suojata eroosiolta eri tavoin. Rantaluiskista tulee rakentaa tarpeeksi kaltevia, sillä tarpeeksi loiva luiska suojaa rakennetta veden aiheuttamalta eroosiolta. Loivan luiskan lisäksi hienomman maa-aineksen suojaaminen karkeammalla maa-aineksella pienentää rantaeroosiota. Suodatinkankaan tai geotekstiilin käyttäminen hienomman ja karkeamman aineksen välisenä rakenneker-

roksena voi myös olla tarpeen (kuvio 6). Kasvillisuuden istuttaminen sitoo rakennetta, mutta hiekkainen maa voi olla hankala kasvualusta. (Elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus 2022.)



Kuvio 6. Esimerkki eroosiosuojauksesta (TrapBag 2023)

3.4 Esimerkkinä Palm Jumeirah

Palm Jumeirah on maailman suurin tekosaari, sen kokonaispinta-ala on 5 720 000 neliometriä eli 5,72 km². Se sijaitsee Dubaissa, Yhdistyneissä Arabiemiirikunnissa. Palmusaaret ovat alun perin Dubain Sheikki Mohammed bin Rashid Al Maktoumin idea. Hänen ajatuksensa oli tehdä Dubaista yksi maailman johtavista turismikohteista. Palmusaarihankkeet toteutti valtion omistama yritys Nahkeel. (Buildr 2022.)

Palmusaarihankkeen rakentaminen alkoi Palm Jumeirahin rakentamisesta vuonna 2001. Ensimmäisenä ratkaistavana ongelmana oli tekosaaren suojaaminen rantaeroosiolta ja voimakkailta virroilta. Palmun muotoinen saari päätettiin ympäröidä puolikuun muotoisella aallonmurtajalla, joka toteutettiin ruoppaamalla ja kasaamalla ruopattua hiekkaa haluttuun paikkaan. Saaren rakenteiden muodot näkyvät kuviossa 7. Aallonmurtajasta tuli 7 metriä korkea, joista 4 metriä merenpinnan alla ja 3 metriä päällä. Aallonmurtajan ulkoluiska rakennettiin valtavista lohkeista, joista yksi painaa 6 tonnia. Aallonmurtajaa ja tekosaaria rakennettiin kuitenkin samaan aikaan ongelmien minimoimiseksi. (Buildr 2022.)



Kuvio 7. Palm Jumeirah satelliittikuvassa (Google Earth 2023)

Toinen suuri ongelma oli tietysti materiaalinhankinta. Yhdistyneissä Arabiemiirikunnissa on valtavasti aavikkoa, mutta aavikkohiekka ei sovellu rakentamiseen. Hiekka päätettiin hankkia Persianlahden merenpohjasta suhteellisen läheltä rakennuspaikkaa. Suuret kiviainekset hankittiin kuudestatoista louhoksesta ympäri maata. Palm Jumeirahin rakentaminen vaati 84 miljoonaa kuutiometriä hiekkaa ja 7 miljoonaa tonnia kiveä. Palmusaaren osien paikat suunniteltiin tarkoin, ja ne määräytyivät mittaustulosten perusteella. Koko rakentamisen ajan suunnittelijat seurasivat projektin etenemistä jalan ja satelliittien avulla. (Buildr 2022.)

Kun saarirakenteet saatiin valmiiksi, alettiin miettimään infrastruktuuria. Tällaisenaan saarirakenteet eivät tarjoa kantavaa pohjaa muulle rakentamiselle, joten rakenne tiivistettiin 12 metrin syvyyteen asti hyödyntäen tärypaaluja. Tiivistymisen myötä saarille ajettiin lisää hiekkaa. Vuonna 2004 aloitettiin infrastruktuurin rakentaminen 40 000 työntekijän voimin, ja nykyisin saarella on asuinrakennuksia, kaupallisia rakennuksia, hotelleja ja vesipuisto. Kuvion 8 mukaan infrastruktuurin määrä on mittava. (Buildr 2022.)



Kuvio 8. Palm Jumeirah kuvattuna Jumeirah Zabeel Saray -hotellilta

Palm Jumeirahin rakentamisen ympäristövaikutukset ovat puhuttaneet maailmalla jo suunnitteluvaiheesta alkaen. Ympäristövaikutuksilta ei tässäkään voinut välttyä. Palm Jumeirahin rakentamisessa huomattuja ympäristövaikutuksia ja niiden riskejä ovat levän kasvun kiihtyminen ja veden seisominen sekä merielämän heikentyminen. Muuttuneet virtaukset lisäävät myös eroosionopeutta rannikolla. Pidemmän aikavälin ympäristövaikutukset ovat edelleen esillä mediassa ja tieteellisissä julkaisuissa. (Buildr 2022.)

4 TEKOSAARTEN RAKENTAMISEN HAASTEET

Tekosaarten rakentamisen haasteisiin kuuluu muun muassa lailliset ja luvalliset asiat, oikean työmenetelmän ja materiaalin valinta, työn ja materiaalin hinta, alueen erityispiirteet (merivirrat, maanjäristykset, muut luonnonvoimat) sekä tarvittavan kantavuuden saavuttaminen. Suomeen rakennetun Näsisaaren rakentamisprojektin aikaa vievin osa oli oikeustaistelu (Hankaniemi 2022).

Tekosaarirakenteisiin vaikuttaa useita erilaisia voimia, niin kuin kaikessa muusakin rakentamisessa. Tekosaaren rakentamisessa huomioitavia kuormia ovat vedenpaine, maanpaine, rakennusaikaisten materiaalien ja koneiden aiheuttamat kuormat, ajoneuvojen ja koneiden liikkeiden aiheuttamat kuormat sekä luonnonvoimien aiheuttamat kuormat: tuulivoima, ilmastonmuutokset, aallot, vuorovedet, virtaukset ja maanjäristykset. Kaikki nämä tulee huomioida jatkuvasti hankkeen edetessä. (Rahman 2017.)

4.1 Lainsäädännölliset asiat

Tekosaarirakentamista ohjaavat kansalliset ja kansainväliset sopimukset sekä lainsäädäntö. Suomessa sisävesien tekosaarirakentamisen lupiin vaikuttaa erilaiset säädökset sekä esimerkiksi Maankäyttö- ja rakennuslaki ja Vesilaki. Muualla maailmassa lupien saaminen voi olla usean seikan takia helpompaa, sillä esimerkiksi Dubain Palmusaaret olivat vallassa olevan Sheikin idea (Buildr 2022).

Suomessa Tampereelle rakennetun Näsisaaren rakentaminen vaati pitkän oikeustaistelun. Tampereen kaupunki sai alun perin syksyllä 2018 Näsijärven rantatäytölle vesilain mukaisen luvan. Joulukuussa 2019 Vaasan hallinto-oikeus kuitenkin kumosi täyttöluvan, mutta tammikuussa 2020 Aluehallintovirasto myönsi luvan järvitäytölle. Tämän jälkeen hyväksyttiin yleissuunnitelma ja raitiotien asemakaava. Helmikuussa 2021 Vaasan hallinto-oikeus hylkäsi Tampereen ympäristönsuojeluyhdistys ry:n vesiluvasta tehdyn valituksen, ja tästä seurasi vielä valitus korkeimpaan hallinto-oikeuteen. Korkein hallinto-oikeus ei myöntänyt valituslupaa, mutta asetti tarkennuksia lupaehtoihin. Tämän jälkeen päästiin vihdoinkin

aloittamaan rakennustyöt lokakuussa 2022, 5 vuotta Hiedanrannan yleissuunnitelman laadinnan aloituksesta. (Hiedanranta.fi 2023.)

4.2 Materiaalit ja työmenetelmät

Tekosaarirakentamisessa sopivissa materiaaleissa ja työmenetelmissä ei ole merkittävää vaihtelua. Tekosaaria rakennetaan yleensä hyvälaatuisesta karkeasta hiekasta, eli esimerkiksi aavikkohiekka ei kelpaa rakennusmateriaaliksi. Karkeaa hiekkaa syntyy, kun kivet ja kalliot hajoavat pienemmiksi kappaleiksi esimerkiksi veden vaikutuksesta. Maailmaa uhkaa hiekkapula, sillä rakennusmateriaaliksi sopivaa hiekkaa kulutetaan paljon nopeammin kuin se uusiutuu. Hiekkapulaa yritetään ratkaista murskaamalla lasia ja jalostamalla aavikkohiekasta sopivaa (Karuvuori 2023).

Maailmalla tekosaarirakentamisessa käytettävä hiekka hankitaan ruoppaamalla sitä merenpohjista lähialueilla. Merenpohjissa ja rannoilla oleva karkea hiekka soveltuu kaikenlaiseen rakentamiseen. Valtavia tekosaarirakenteita rakentaessa lähialueiden hiekka tulee kuitenkin loppumaan. Tällöin hiekkaa täytyy kuljettaa pahimmillaan tuhansien kilometrien päästä rakennuspaikalle, jolloin kustannukset ja päästöt kasvavat huomattavasti. (Buildr 2022.)

Tekosaarirakentamisen työmenetelmät koostuvat pitkälti suurikokoisista työkooneista. Kaivinkoneet ovat pääroolissa, sillä niillä hoidetaan ruoppaaminen ja maaineksen asettelu suunniteltuihin paikkoihin. Kuorma-autoilla ajetaan materiaalia paikasta toiseen. Joskus ruoppaamisessa käytetään apuna ruoppausalusta, jolloin työkooneet pystyvät toimimaan esimerkiksi keskellä vesistöä. Ympäristövaikutusten ja ilmastonmuutoksen kannalta polttoöljymoottoreilla toimivat koneet tulevat jossain vaiheessa poistumaan käytöstä ja ne korvataan sähkökäyttöisillä koneilla. Tästä voi muodostua suuri kustannuskysymys. (Rahman 2017.)

4.3 Taloudelliset asiat

Tekosaarten rakennushankkeet vievät runsaasti aikaa ja rahaa. Tekosaaren rakentamisen materiaalit ja työmenetelmät ovat rajalliset, joten hintaan ei niillä voi

merkittävästi vaikuttaa. Hinta määräytyy maa- ja kiviainesten sekä työn hinnan perusteella. Maa- ja kiviainesten kohdalla täytyy huomioida myös kuljetuskalusto ja kuljetusetäisyydet, nämä voivat nostaa rakennusprojektin hintaa huomattavasti.

Tampereen Näsijärveen rakennetun Näsisaaren urakkahinta 1,2 miljoonalla kuutiometrillä louhetta lähentelee kolmea miljoonaa euroa, vaikka tekosaari on maailman mittakaavassa todella pieni 160 000 m² pinta-alallaan. Näsisaaren hinnan perusteella voi vain kuvitella, minkälainen hintalappu maailman suurimmilla tekosaarihankkeilla on. Näsisaaren pinta-ala 0,16 km² on mitättömän pieni verrattuna esimerkiksi Palm Jumeirahin 5,72 km² pinta-alaan. Suuren mittakaavan tekosaarihankkeissa miljoonatkaan eivät riitä, vaan hinta pyörii useissa kymmenissä miljardoissa. Mikäli tekosaarirakentaminen kiihtyy entisestään ja maailman taloudellinen tilanne heikkenee, voi vaarana olla maailmanlaajuinen talouskriisi. (Roth 2022.)

4.4 Luonnonvoimat

Tekosaarien rakentamista ja ylläpitoa uhkaavat monien luonnonvoimien vaikutukset, kuten aallot, virrat, tuuli, jää sekä maanjäristykset ja niistä johtuvat tsunamit. Tärkein tekosaaren suojelija on aallonmurtaja (kuvio 9), ja sen kestämyydellä voi olla katastrofaalisia seurauksia. Aallonmurtaja vastaanottaa etenkin vesistöjen aaltojen ja virtauksien aiheuttamat voimat. (Lai, Liu, Wang, Gao, Niu & Zhu 2020, 1.)

Kuten aiemmin mainittiin, suurimpia tekosaarihankkeita toteuttavat pääasiassa Kiina, Japani, Yhdysvallat ja Yhdistyneet Arabiemiraatit (Sreekumar & Hassan 2020, 1.) Näistä kaikki valtiot sijaitsevat litosfäärilaattojen rajojen läheisyydessä, eli tekosaaret ovat jatkuvan maanjäristysuhan alla. Myrskyt, maanjäristykset ja tulivuorenpurkaukset johtuvat litosfäärilaattojen liikkeistä, kun taas litosfäärilaattojen liikkeet johtuvat maapallon vaipan kiviaineksen konvektiovirtauksista. Litosfäärilaattojen liikkeessä limittäin, toisiaan kohti tai toisistaan poispäin tapahtuu maanjäristyksiä ja niistä johtuvia hyökyaaltoja eli tsunameja. (Tikkanen 2001, 1.)

Yksi suurista tekosaarihankkeiden toteuttajista, Kiina, on tutkinut maanjäristysten ja tsunamien vaikutusta etenkin aallonmurtajiin ja sitä kautta tekosaariin. Aallonmurtajan käyttötarkoitus on erilainen kuin tekosaaren, joten sen rakentaminen vaatii erilaisia toimia. Tekosaarien rakentamiselle on tietyt turvallisuusvaatimukset, joiden tulee täytyä myös maanjäristyksen sattuessa. Tekosaarirakenteen tulee kestää jännitys- ja venymisvoimia hajoamatta ja tämä aiheuttaa lisähaastetta suunnittelu- ja rakennustöihin. (Lai, Liu, Wang, Gao, Niu & Zhu 2020, 1.)



Kuvio 9. Aallonmurtajia on eri kokoisia, kuvassa esimerkki pienestä aallonmurtajasta (Rannikon Merityö Oy 2023)

5 TEKOSAARTEN YMPÄRISTÖVAIKUTUKSET

Tekosaaret aiheuttavat monia eri ympäristövaikutuksia niin rakentamisen aikana kuin pitkäaikaisesti rakentamisen jälkeen. Näitä ympäristövaikutuksia ovat muun muassa eroosio, vesistöjen rehevöityminen ja liettyminen, koralliriuttojen tuhoutuminen ja muu biodiversiteetin häiriintyminen, virtauksien muuttuminen ja vedenpinnan nousu, ilmastomuutoksen kiihtyminen ja monet muut asiat. Ympäristövaikutuksia voidaan jaotella useisiin eri kategorioihin.

Nykyisin tekosaarten rakentamista ohjaavat tiukat lait ja alueelliset säädökset kaikkialla maailmassa. Aiemmin näin ei tietysti ollut, ja puutteellisen johdon ja käytännön kokemuksen vuoksi tekosaarihankkeet ovat aiheuttaneet vahinkoa meren ekologiselle ympäristölle ja luonnonvaroille esimerkiksi Kiinan alueella (Gao, Zhang, Jin, Chen 2020, 2).

Tekosaarten rakentaminen tyypistä riippumatta aiheuttaa peruuttamattomia vaikutuksia ympäröivään ekologiseen ympäristöön. Tekosaarirakentamisen yleistyessä väistämättömäksi ongelmaksi koituu se, kuinka saadaan vähennettyä rakentamisen vaikutuksia ympäristöön, ja kuinka mahdollisia vaikutuksia saataisiin kompensoitua. (Gao, Zhang, Jin, Chen 2020, 4.)

5.1 Vaikutukset vesistöihin

Vesistöjen, tässä tapauksessa merien ja järvien, veden laatuun vaikuttavat monet fysikaaliset, kemialliset, biologiset ja ekologiset tekijät. Veden sisältämät fysikaaliset ja kemialliset epäpuhtaudet muuttavat veden ominaisuuksia. Ihmisen toiminnan vaikutusta vesistöjen vedenlaatuun tarkasteltaessa huomioidaan olosuhteet, jotka ylläpitävät eliöyhteisöjen häiriintymätöntä elinkiertoa ja lisääntymistä koko vesistöissä. (Vanajavesikeskus 2018.)

Tärkeimmän rakennusvaiheen, ruoppauksen, aiheuttamat ympäristövaikutukset ovat laajamittaisia. Ruoppaus tuhoaa olemassa olevan vedenpohjan ja häiritsee biodiversiteettiä (Smith, Cornillon, Rudnickas, Mouw 2019, 1). Ruopatessa vedenpohjassa oleva vuosituhansien aikana muodostunut pohjasedimentti nousee

ja lähtee liikkeelle rehevöittäen vesistöä. Ruoppaustoiminta stimuloi aluksi kasviplanktonin kasvua tarjoten ravinteita pintavesille, mutta myöhemmin ruoppauksen seurauksena luonnolliset pohjaeläimet tukahtuvat biologisen terveyden heikentymisen seurauksena (Smith, Cornillon, Rudnickas, Mouw 2019, 10).

Tekosaaren rakennusmateriaaleja uhkaa eroosio, kun veden virtaus kuljettaa materiaalia pois rakenteesta (Elinkeino-, liikenne ja ympäristökeskus 2022). Samalla tämä materiaali kulkeutuu vesistössä väriin paikkoihin. Ylimääräinen materiaali aiheuttaa rehevöitymistä ja liettymistä. Vesistöihin rakentaminen ja näistä rakenteista kulkeutuva materiaali nostavat vedenpintaa ajan kuluessa. Vedenpinnan nousu lisää tulvien riskiä rannikkoalueilla. Tulvat taas lisäävät rantaeroosion määrää (Elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus 2022).

Tekosaarten rakentaminen vaikuttaa myös vesien virtauksiin, ja veteen rakennetut rakenteet voivat muuttaa virtojen kulkureittejä. Jotkut virrat kulkevat pinnan tuntumassa ja jotkut syvemmillä. Virrat kuljettavat ravinteita vesistöjen eliöstölle sekä kuljettavat eliöstöä uusiin paikkoihin. Virtojen reitteihin vaikuttavat rantaviivan ja vedenpohjan muoto, eli tekosaarirakenteet pelaavat tässä asiassa ratkaisevaa roolia. (Stanley 2022.)

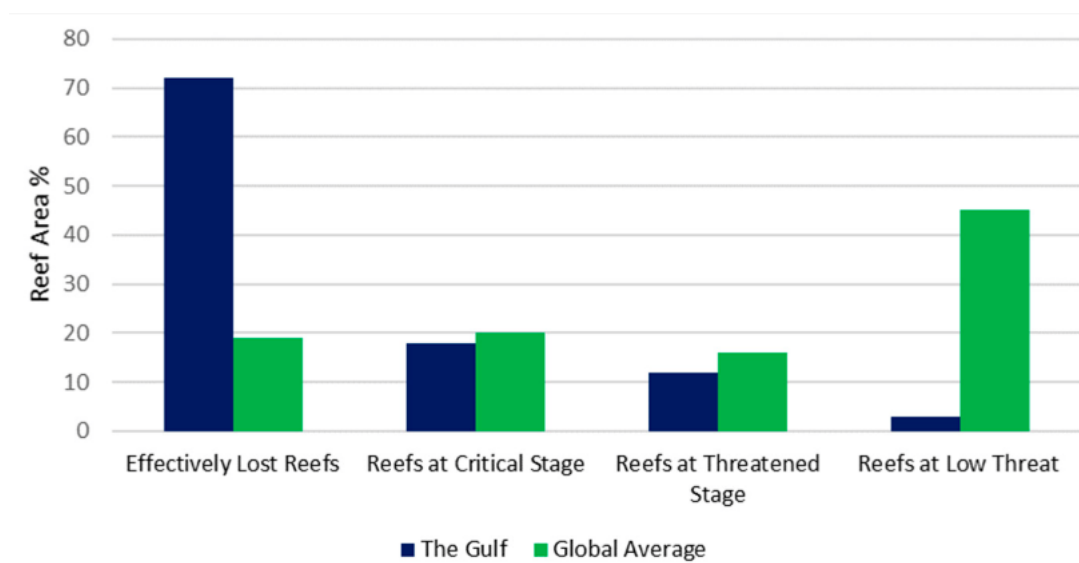
5.2 Vaikutukset biodiversiteettiin

Edellisessä luvussa käsitelty tekosaarirakentamisen seurauksena vesistöihin vaikuttavat ympäristötekijät vaikuttavat suoraan biodiversiteettiin. Biodiversiteetti tarkoittaa biologisen elämän monimuotoisuutta. Biodiversiteettiä voidaan jaotella kolmeen eri organisaatiotasoon: geenit, lajit ja elinympäristö. Biodiversiteettiä käytetään biologisten systeemien tilan mittarina. (luonnontila.fi 2014)

Koralliriutat ovat kaikista merellisistä elinympäristöistä monimuotoisimpia. Koralliriutat ovat myös yksi ihmisen toiminnan negatiivisille vaikutuksille alttiimpia elinympäristöjä. Tekosaarirakentaminen on yksi suurimmista riuttojen elinvoimaisuuteen vaikuttavista asioista (kuvio 10). Riuttoihin vaikuttavat sekä maailmanlaajuiset että paikalliset ympäristöseikat. Maailmanlaajuisiin ympäristöseikkoihin

kuuluvat esimerkiksi hiilipäästöjen määrä ja paikallisiin esimerkiksi huono vedenlaatu (McIntyre 2010, 65.)

Koralliriuttojen ylläpitämään biologiseen monimuotoisuuteen kuuluu erilaisia toisiaan täydentäviä ekologisia prosesseja. Näitä prosesseja ovat kalsiumkarbonaatin tuotanto ja bioeroosio, alkutuotanto ja kasvinsyönti, sekundäärinen tuotanto ja saalistus sekä ravinteiden otto ja vapauttaminen. Tekosaarirakentamisen ympäristövaikutukset haittaavat näiden prosessien toimintaa. (Brandl, Rasher, Cote, Casey, Darling, Lefcheck & Duffy 2019.)

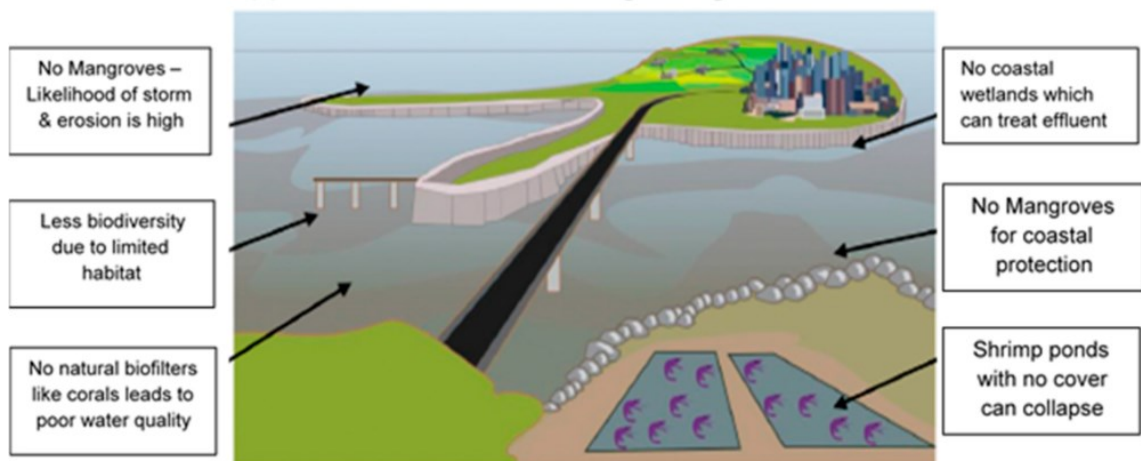


Kuvio 10. Ihmisen toiminnan vaikuttamien riuttojen vertailua Persianlahdella maailmanlaajuiseen keskiarvoon nähden (Afzal, Tahir & Al-Ghamdi 2022)

Tekosaarten aiheuttamat vaikutukset meri- ja järviympäristöjen biodiversiteettiin ovat mittavia ja peruuttamattomia. Koralliriuttojen eliöstön lisäksi tekosaarien rakentaminen vaikuttaa muualla vesistössä eläviin kaloihin ja niiden lisääntymiseen. Meribiologien tutkimukset ovat paljastaneet, että esimerkiksi Palmusaarien rakentamisen jälkeen rannikon nuoret kalat eivät pystyneet selviytymään rakentamisen ja ympäristön muutosten aiheuttamissa olosuhteissa. (Hasler 2021.)

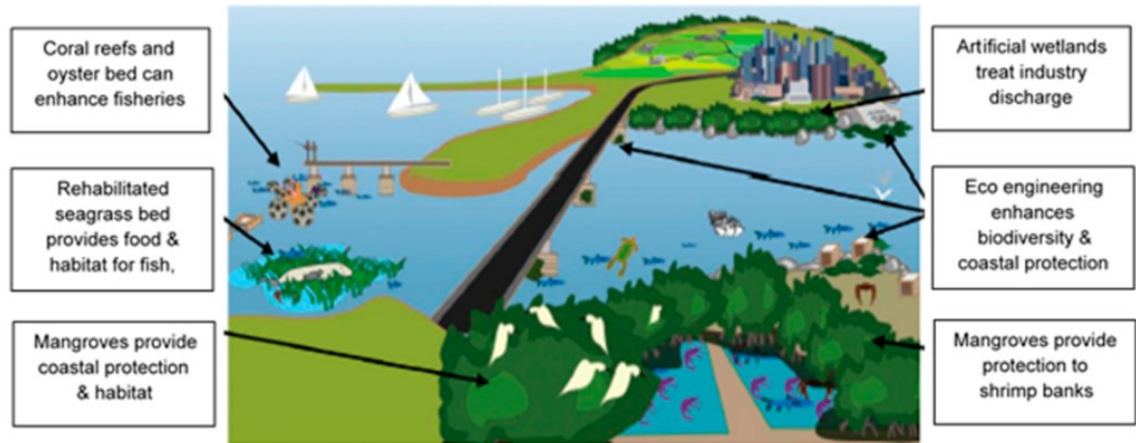
5.3 Ympäristövaikutuksien lieventäminen

Tekosaarirakentamisen aiheuttamia ympäristövaikutuksia ei voida kokonaan poistaa millään keinolla. Tekosaarirakentaminen aiheuttaa ennennäkemättömän ja jatkuvan meriympäristön ja erilaisten luonnollisten ekosysteemien heikkenemisen. Näitä ympäristövaikutuksia voidaan kuitenkin lieventää erilaisilla toimilla, esimerkiksi hyödyntämällä ekotekniikkaa. Ekoteknisten toimien puutteella on ratkaiseva vaikutus tekosaaren ympäristöön (kuvio 11). Ympäristövaikutukset ovat hieman erilaisia tekosaaren rakentamispaiosta riippuen. (Afzal, Tahir & Al-Ghamdi 2022.)



Kuvio 11. Tekosaaren ympäristö, kun ei ole sovellettu ekotekniikkaa (Afzal, Tahir & Al-Ghamdi 2022)

Yleispäteviä keinoja ympäristövaikutuksien lieventämiseen ovat ajantasaisen tieteellisen tiedon hyödyntäminen, sopivan paikan valinta, perusteellinen ympäristövaikutusten arviointi sekä kansallisen ja kansainvälisen lainsäädännön noudattaminen. Muita suosituksia ympäristövaikutusten lieventämiskeinoille ovat lainsäädäntökehyksen kehittäminen, tiedon seuranta, tilastollisen mallinnuksen ja ilmastomuutosmallinnuksen käyttö, ympäristövaikutusten arvioinnin toteuttamisen varmistaminen, geoputkien hyödyntäminen ja aiemmin mainitun ekotekniikan soveltaminen. Ekoteknisillä seikoilla ja niiden toimivuudella on esitetty kuviossa 12. (Afzal, Tahir & Al-Ghamdi 2022.)



Kuvio 12. Tekosaaren ympäristö toimivalla ekotekniikalla (Afzal, Tahir & Al-Ghamdi 2022)

6 POHDINTA

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli tutkia tekosaarten rakentamisen haasteita ja rakentamisen aiheuttamia ympäristövaikutuksia. Tekosaarien rakentamiseen kuuluu useita eri rakennusvaiheita, ja niistä jokaisella on erilaisia ympäristövaikutuksia. Tekosaarten rakentaminen aiheuttaa monialaisia ympäristövaikutuksia, lyhyt- ja pitkäaikaisia. Rakennusmenetelmät vaativat optimointia, ja ympäristövaikutusten todellinen mittakaava on ympäri maailmaa vielä hieman hukassa.

Rakennusmenetelmien kehittäminen ja ympäristövaikutusten pienentäminen vaatii pitkää kansainvälistä yhteistyötä ja kansainvälisen lainsäädännön päivittämistä. Ympäristövaikutukset ovat tiedossa useiden tutkimuksien tuloksena, mutta kuten yleisesti ympäristöä ja ilmastonmuutosta koskevissa asioissa, suurimpia tekosaarihankkeita toteuttavat maat ja toimijat ovat haluttomia aloittamaan konkreettisia toimia. Muutokset vaativat rutkasti pääomaa, jota toimijoilla kyllä olisi.

Tutkimus toteutettiin hakemalla ajankohtaista tietoa useista eri lähteistä. Rakennusmenetelmät eroavat hieman maantieteellisen sijainnin mukaan, ja työssä pyrittiin käyttämään asiantuntevia lähteitä. Ympäristövaikutusten tutkimuksessa käytettiin pääasiassa aasialaisia tieteellisiä julkaisuja, Suomessa ja Euroopassa aihetta ei ole juurikaan tutkittu ainakaan lähivuosikymmeninä. Aasialaiset julkaisut ovat puolueettomia, erilaisten tieteellisten toimijoiden julkaisemia.

Suomessa tekosaarirakentamisen voi todennäköisesti olettaa kasvavan Näisaaren onnistumisen jälkeen. Suomessa olisi mahdollisuudet tutkia tekosaarten rakentamisen menetelmien toimivuutta ja rakentamisen aiheuttamia ympäristövaikutuksia järvissä ja meressä. Suomalainen osaaminen on maailmalla arvostettua, joten suomalaisella tutkimuksella voitaisiin saada kansainvälistä yhteistyötä toimimaan.

LÄHTEET

Afzal, M., Tahir, F. & Al-Ghamdi, S. 2022. Kuvio 10, 11 ja 12. Viitattu 30.8.2023 <https://www.mdpi.com/2071-1050/14/9/5027>.

Afzal, M., Tahir, F. & Al-Ghamdi, S. 2022. Recommendations and Strategies to Mitigate Environmental Implications of Artificial Island Developments in the Gulf. Viitattu 30.7.2023 <https://www.mdpi.com/2071-1050/14/9/5027>.

Brandl, S., Rasher, D., Cote, I., Casey, J., Darling, E., Lefcheck, J. & Doffy, J. 2019. Coral reef ecosystem functioning: eight core processes and the role of biodiversity. Viitattu 23.7.2023 <https://esajournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/fee.2088>.

Buildr. 2022. How Dubai's Artificial Islands Were Built. Viitattu 30.7.2023 https://www.youtube.com/watch?v=E_1ze5LbV0I.

Elferink, A. G. O. 2013. Artificial Islands, Installations and Structures. Viitattu 30.7.2023 <https://opil.ouplaw.com/display/10.1093/law:epil/9780199231690/law-9780199231690-e247>.

Elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus 2022. Rantaeroosio ja sen torjunta. Viitattu 22.7.2023 https://vesi.fi/aineistopankki/wp-content/uploads/2022/04/Eroosio-opas_fi_web.pdf.

Fisher, R. & Hirschfeld, J. 2022. Why we are in 'the age of artificial islands'. Viitattu 22.7.2023 <https://www.bbc.com/future/article/20220105-why-were-in-the-age-of-artificial-islands>.

Gao, F., Zhang, C-I., Jin, R. & Chen, S. 2020. The Development of Offshore Island Construction and Application of Key Hydrodynamic Technologies in China – Take Haihua Island Project as an Example. Viitattu 22.7.2023 <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/580/1/012093/pdf>.

Google Earth. 2023. Kuvio 7. Viitattu 30.7.2023 <https://earth.google.com/web/>.

Hankaniemi, A. 2022. Kiistelty tekosaari valmistui etuajassa Tampereella – tästä on kyse 55 000 rekkaa vaatineessa jättimäisessä urakassa. Viitattu 24.6.2023 <https://yle.fi/a/74-20007752>.

Hannon, P. & LeBlanc, J. 1987. Artificial Offshore Islands. Viitattu 30.7.2023 http://minetechint.com/papers/phannon-artificial_offshore_islands-1987.pdf.

Hasler, N. 2021. Artificial islands: harmful or helpful? Viitattu 30.7.2023 <https://www.oxfordstudent.com/2021/07/01/artificial-islands-harmful-or-helpful/>

Hiedanranta. 2023. Näsisaari. Viitattu 30.7.2023 <https://hiedanranta.fi/nasisaari/>

Islands Building Company. 2023. Typical Process. Viitattu 30.7.2023 <https://www.islandsbuildingcompany.com/typical-process-of-building-island>.

Jiangsu Hansel Marine Equipment Co. 2020. How are artificial islands built? Viitattu 24.6.2023 <https://www.youtube.com/watch?v=dAC4BK455d8>.

Karuvuori, M. 2023. Hiekka loppuu maailmasta – Tilannetta yritetään pelastaa murskaamalla lasia ja jalostamalla autiomaiden hiekkaa. Viitattu 30.7.2023 <https://www.tekniikkatalous.fi/uutiset/hiekka-loppuu-maailmasta-tilannetta-yriteaan-pelastaa-murskaamalla-lasia-ja-jalostamalla-autiomaiden-hiekkaa/1bf719fe-a9c0-4aa1-a246-f377141d9be2>.

Kemin Laitakari ry. 2023. Laitakari. Viitattu 30.7.2023 <https://laitakari.fi>.

Lai, J., Liu, Y., Wang, W., Gao, C., Niu, Z. & Zhu, H. 2020. Study on dynamic behaviours of a breakwater triggered by earthquakes. Viitattu 23.7.2023 <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/758/1/012033/pdf>.

Lampela, J. 2023. Henkilökohtaisia valokuvia.

Luonnontila.fi. 2014. Biodiversiteetti. Viitattu 30.7.2023 <https://www.luonnontila.fi/fi/biodiversiteetti>.

Masson, D. H. 2004. Kuvio 2. Viitattu 29.8.2023 <https://www.airliners.net/photo/-/-/663221?qsp=eJwtjrEOwjAMRH%2BlurkTSAzdgA%2BAgR%2BwEquNGuLIs-QRV1X9vUtje3ensW%2BEkGX/ttWTGg-MKkbbkKPTervgmHFzMtH1FfGTKIQ6EJtaCILkih2FDSLWutMY-nln41F0wXDqUWpwqwhf3atznl09fv5DPWuLuLjj4dgGnBuyPv/qUqUP-JUc6rrBRiNi2HSn6PIU%3D>.

McIntyre, A. D. 2010. Life in the World's Oceans: Diversity, Distribution, and Abundance. Oxford: Blackwell Publishing Ltd.

Petrofac. 2023. Kuvio 1. Viitattu 29.8.2023 <https://www.petrofac.com/services/our-work/epcc-upper-zakum-oil-field-abu-dhabi-adnoc-off-shore/?sTerm=zakum>.

Vanajavesikeskus. 2018. Vedenlaatuopas. Viitattu 22.7.2023 https://www.vanajavesi.fi/2018/wp-content/uploads/2014/02/vvk_vedenlaatuopas_vedos_191213.pdf.

Rahman, F. 2017. Artificial Islands Construction Methods, Design and Advantages. Viitattu 24.6.2023 <https://theconstructor.org/construction/artificial-island-construction-methods/16380/>.

Rannikon Merityö Oy. 2023. Kuvio 9. Viitattu 29.8.2023 <https://merilaituri.fi/rantarakentaminen/>.

Roth, R. 2022. Kuvat: Tampereen tekosaari alkaa jo nousta Näsijärveen, ja tältä se näyttää – suurin miljoonaurakka käynnistyy nyt. Viitattu 22.7.2023 <https://www.aamulehti.fi/uutiset/art-2000008705255.html>.

Smith, L., Cornillon, P., Rudnickas, D. & Mouw, C. B. 2019. Evidence of Environmental Changes Caused by Chinese Island-Building. Viitattu 24.6.2023 <https://www.nature.com/articles/s41598-019-41659-3>.

Sreekumar, K. & Hassan, G. 2020. A Study of Artificial Islands. Viitattu 24.6.2023 <https://www.cppr.in/policy-briefs/a-study-of-artificial-islands>.

Stanley, M. 2022. Ocean Currents. Viitattu 30.7.2023 <https://education.nationalgeographic.org/resource/ocean-currents/>.

Tampere.fi. 2022. Kuvio 3. Viitattu 24.6.2023 <https://www.tampere.fi/ajankoh-taista/2022/10/07/nasisaari-saanut-jo-muotonsa-louhetta-ajettu-miljoona-kuu-tiota>.

Tikkanen, M. 2001. Perustietoa maapallostamme. Helsinki: Helsingin yliopisto.

TrapBag. 2023. Kuvio 6. Viitattu 29.8.2023 <https://trapbag.com/erosion-control/>.

Visit Dubai 2023. Palm Island. Viitattu 30.7.2023 <https://www.visitdubai.com/en/places-to-visit/palm-jumeirah-2>.

YIT Oyj. 2023. Kuvio 5. Viitattu 29.8.2023 <https://www.yit.fi/infra/kaupunkiraken-taminen/rantarakentaminen/ruoppaus>.