

Aino Lampinen

# MERIMUOVIEIN KOOSTUMUS JA KÄYTTÖ

Tekniikan ja luonnontieteiden tiedekunta  
Kandidaatintyö  
Huhtikuu 2022

# TIIVISTELMÄ

Aino Lampinen: Merimuovien koostumus ja käyttö  
Composition and use of marine plastics  
Kandidaatintyö  
Tampereen yliopisto  
Materiaalitekniikan tutkinto-ohjelma  
Huhtikuu 2022

---

Merimuovit ovat merten muovijätteitä tai niiden osia, jotka kulkeutuvat meriin luonnonilmiöiden tai ihmisten toiminnan vaikutuksesta. Muovien kulkeutumista meriin aiheuttaa esimerkiksi kalastus- ja virkistystoiminta merellä sekä kaatopaikat, jätteiden hävitys- ja käsittelylaitokset ja virkistystoiminta maalla. Muovit säilyvät meriympäristössä pitkään, sillä ne ovat materiaaleina yleisesti kestäviä ja biohajoamattomia. Suuremmat muovikappaleet voivat pilkkoutua pienemmiksi kappaleiksi ja samalla vaikuttaa haitallisesti mereneliöihin ja ympäristöön. Suuren maailmanlaajuisen muovin tuotannon ja kulutuksen johdosta merimuoveista on muodostunut maailmanlaajuinen ympäristöongelma, johon etsitään jatkuvasti uusia ratkaisuja.

Tässä työssä tarkastellaan merissä olevia muoveja, niiden koostumuksia ja mahdollisia käyttökohteita keräyksen jälkeen. Merimuovien mahdollisia käyttökohteita käsitellään erilaisilla esimerkkituotteilla, joiden valmistuksessa on käytetty yksinomaan tai osittain merimuoveja. Merimuovien koostumusta tarkastellaan niiden tärkeimmillä merellisillä esiintyvyyalueilla, joita ovat merenpinta ja -pohja, valtamerten pyörteet ja rannikkoalueet. Työn tavoitteena on selvittää, mitä muovityyppejä ja -tuotteita kyseisillä alueilla esiintyy ja mitä tuotteita niistä on mahdollista valmistaa. Työ on tehty kirjallisuuskatsauksena.

Tutkimus osoittaa, että meriympäristöön kulkeutuu lyhyen elinkaaren tuotteita, joita tuotetaan maailmanlaajuisesti suuria määriä. Näitä meriympäristössä olevia tuotteita ovat esimerkiksi elintarvikepakkaukset, muovipullot, muovikannet, säiliöt, muovipillit ja kalastusvälineet eli verkot, köydet ja siimat. Tuotteita valmistetaan yleisesti meriympäristössä esiintyvistä muovityypeistä, joita ovat polyeteeni, polypropeeni, polystyreeni, polyamidi, akryylit ja polyesterit. Merimuovien koostumukset vaihtelevat sen mukaan, mikä meren syvyytaso tai maantieteellinen alue on kyseessä. Merivirtaukset, tuulet ja rannikkoväestön määrä vaikuttavat osaltaan siihen, missä merimuoveja esiintyy, ja mikä on niiden koostumus. Tutkimuksen perusteella merimuoveja voidaan hyödyntää muun muassa tekstiiliteollisuudessa paitojen, uimapukujen ja kenkien valmistuksessa. Niitä voidaan käyttää myös raaka-aineena asusteiden, kuten aurinkolasien ja rannekellojen, valmistuksessa. Pakkausten valmistuksessa merimuoveja ei hyödynnetä vielä laajasti, vaan niiden käytöstä on tehty tuotekokeiluja esimerkiksi shampoo- ja juomapullojen osalta.

Avainsanat: muovi, merimuovi, meriympäristö, muovin käyttö

Tämän julkaisun alkuperäisyys on tarkastettu Turnitin OriginalityCheck –ohjelmalla.

# SISÄLLYSLUETTELO

1. JOHDANTO.....	1
2. MUOVI MATERIAALINA .....	3
2.1 Muovit .....	3
2.2 Muovien ominaisuudet.....	5
2.3 Muovituotteiden hyödyt ja haasteet .....	6
3. MERIMUOVIT .....	7
3.1 Muovien kulkeutuminen mereen.....	7
3.2 Meriympäristön muovilaadut.....	8
3.2.1 Merenpinta ja -pohja .....	10
3.2.2 Valtamerten pyörteet .....	12
3.2.3 Rannikkoalueet .....	13
4. MERIMUOVIENTEN KÄYTTÖ .....	15
4.1 Meriympäristön vaikutukset muoveihin.....	15
4.2 Merimuovien keräys ja käsittely.....	16
4.3 Merimuoveista valmistetut tuotteet .....	18
5. YHTEENVETO .....	20
LÄHTEET .....	22

## LYHENTEET JA MERKINNÄT

ABS	Akryliniitrilibutadieenistyreeni
EPS	Solupolystyreeni
LCP	Nestekidemuovit
PA	Polyamidi
PC	Polykarbonaatti
PEEK	Polyeetterieetteriketoni
PE-HD	Suuritiheyspolyeteeni
PE-LD	Matalatiheyspolyeteeni
PET	Polyeteeniterftalaatti
PMMA	Polymetyylimetakrylaatti
PP	Polypropeeni
PS	Polystyreeni
PTFE	Polytetrafluorieteeni
PVC	Polyvinyylikloridi

# 1. JOHDANTO

Muovi on yleisesti käytetty materiaali taloudessa ja jokapäiväisessä elämässä. Muoveilla on useita käyttökohteita ja niistä on hyötyä monissa yhteiskunnan kohtaamisissa haasteissa. Muovien ominaisuuksien vuoksi autoissa ja lentokoneissa käytetyt kevyet ja innovatiiviset materiaalit tuovat säästöjä polttoaineen kulutuksessa, mikä vähentää niiden tuottamia hiilidioksidipäästöjä. Lisäksi tehokkaat eristysmateriaalit säästävät energiankulutuksessa, ja pakkauksissa olevat muovit varmistavat elintarviketurvallisuuden ja elintarvikejätteen vähentämisen. [1] Muovit ovat jo vuosikymmenien ajan tarjonneet yhteiskunnassa erilaisia tuote- ja materiaaliratkaisuja, mikä on tehnyt niistä maailmanlaajuisesti suosittua ja yleisesti käytettyä materiaalia [2, s. 1–2].

Vain muutamassa vuosikymmenessä lisääntynyt muovin käyttö on kasvattanut muovin tuotantoa merkittävästi. Vuonna 1950 muovia valmistettiin 1,5 miljoonaa tonnia ja vuonna 2018 sitä valmistettiin jo 359 miljoonaa tonnia. Muovijätteen määrä on kasvanut myös lisääntyneen muovin tuotannon myötä. [3] Ympäristöön muovia vapautuu maalta ja mereltä, mikä osaltaan aiheuttaa vahinkoja niin taloudessa kuin ympäristössä. Maailmanlaajuisesti meriin päätyy vuosittain jopa 13 miljoonaa tonnia muovijätettä, ja niiden esiintyvyydestä meriympäristössä raportoidaan laajalti. Muovin määrän ja kertymisen voidaan katsoa johtuvan useista tekijöistä. Esimerkiksi merivirrat, tuulet ja vuorovedet kuljettavat muovia merelle, kauas alkuperäisestä lähteestä. Muovien ainutlaatuisten ominaisuuksien vuoksi muovijätteet kerääntyvät ja säilyvät meriympäristössä pitkään, minkä johdosta merimuoveista on muodostunut yksi suurimmista maailmanlaajuisista ympäristöhaasteista. [1][2, s. 22]

Tässä työssä perehdytään yleisimpiin merimuoveihin. Työn tavoitteena on selvittää, mistä meriä saastuttavat muovit koostuvat, eli mitä muovityyppejä ja -tuotteita meriympäristössä esiintyy. Lisäksi työn tavoitteena on selvittää, mihin merimuoveja on mahdollista käyttää niiden keräyksen jälkeen. Työssä käytetty tutkimusmenetelmä on kirjallisuusselvitys, ja se on rajattu koskemaan muovijätteen tärkeimpiä esiintyvyyalueita eli valtamerten pyörteitä, tärkeimpiä rannikkoalueita sekä merenpintaa ja -pohjaa. Rajaus on tehty, sillä meriympäristö on laaja alue, ja se koostuu maantieteellisesti eri alueista sekä meren sisällä olevista syvyytasoista. Merimuovien mahdollisia käyttökohteita käsitellään erilaisten esimerkkituotteiden avulla.

Ensimmäisenä luvussa 2 perehdytään yleisesti muovimateriaaleihin. Luvussa käsitellään muovien ominaisuuksia sekä käydään läpi muovituotteiden mahdollisia etuja ja haittoja. Luvussa 3 käsitellään muovien kulkeutumista meriin sekä perehdytään merimuovien yleiseen koostumukseen. Lisäksi luvussa tutustutaan tarkemmin muovijätettä keräävien alueiden muovityyppeihin ja -tuotteisiin. Luvussa 4 käsitellään meren aiheuttamia muutoksia muoveissa ja sitä, miten nämä muutokset vaikuttavat merimuovien jatkokäsittelyyn. Luvun lopussa selvitetään vielä esimerkkien avulla, mihin tuotteisiin merimuoveja voidaan mahdollisesti käyttää. Lopuksi luvussa 5 esitetään työn keskeisimmät asiat yhteenvetona.

## 2. MUOVI MATERIAALINA

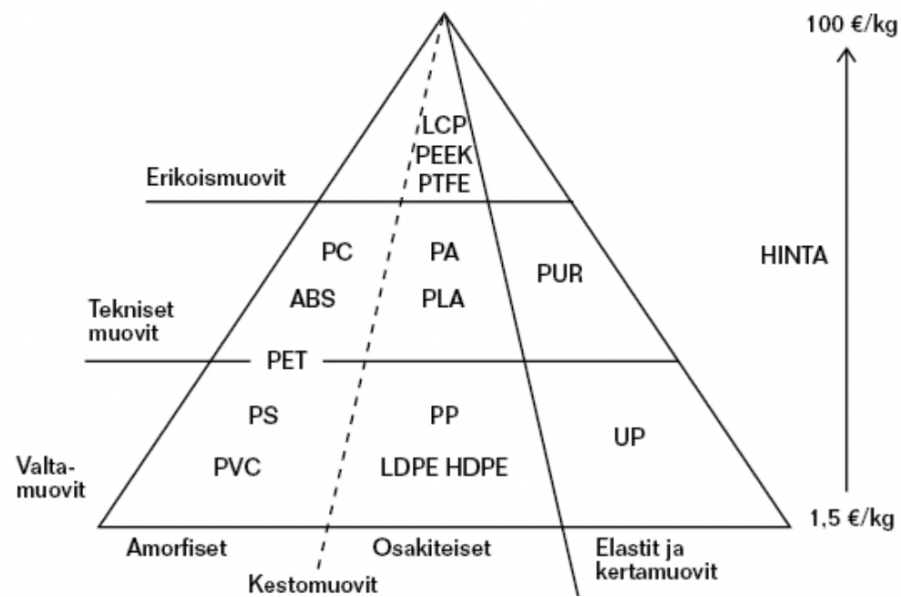
### 2.1 Muovit

Muovi on maailmanlaajuisesti suosittu materiaali, joka monipuolisuutensa ja edullisuutensa vuoksi soveltuu moniin käyttökohteisiin. Nyky-yhteiskunnassa muovit tarjoavat useita ratkaisuja jokapäiväiseen elämään ja siten niiden käyttö on lisääntynyt viimeisten vuosikymmenien ajan. [2, s. 1–2] Aikoinaan muovia pidettiin halpana korvikkeena muille materiaaleille, mutta nykyään muovi on hyvin vakiintunut ja tärkeä materiaali monissa sovelluksissa. Jatkuvasti lisääntynyt muovien käyttö on johtanut muovien jatkuvasti kasvavaan valikoimaan ja suoritusominaisuuksiin. [4, s. 2]

Muovit ovat suurimolekyylisiä, pääosin polymeereistä koostuvia synteettisiä tai puolisynteettisiä materiaaleja, jotka ovat helposti muovattavissa lämmön ja paineen avulla. Pääraaka-aineen eli polymeerin lisäksi muoveihin on tavallisesti sekoitettuna pieniä määriä lisäaineita. [2, s. 1–2][5] Muoveja valmistetaan polymerointimenetelmillä. Muovien lähtöaineiden mukaan ne voidaan erotella fossiilisiin ja biopohjaisiin muoveihin. Fossiiliset muovit valmistetaan uusiutumattomista raaka-aineista esimerkiksi kivihiilestä, maakaasusta ja raakaöljystä. Biopohjaisia muoveja puolestaan valmistetaan uusiutuvista materiaaleista, kuten selluloosasta, sokeriruo'osta ja maissista. Nämä lähtöaineet voivat sisältää kokonaan muovin valmistuksen tai osan siitä. [5]

Muovimateriaalit voidaan jakaa kahteen laajaan pääryhmään: kestumuoveihin ja kertamuoveihin. Jako perustuu muovien muovattavuusominaisuuksiin. Kestomuovien molekyylit ovat pitkiä polymeeriketjuja, joiden välillä ei ole vahvoja kemiallisia sidoksia. Polymeeriketjut pysyvät yhdessä heikkojen sekundaaristen van der Waals -voimien avulla. Muovia lämmitettäessä molekyylejä yhdessä pitävät voimat heikkenevät ja jäädyttäessä ne vahvistuvat uudelleen. Tämä mahdollistaa kestumuovien toistuvan muovaamisen lämmön ja paineen avulla, ja siksi niitä käytetään laajalti elintarvikkeiden ja juomien pakkauksissa. [6][7][8, s. 20] Puolestaan kertamuovit voidaan prosessoida vain kerran. Muovien uudelleen muovaaminen ei ole mahdollista polymeeriketjujen välisten ristosidosten vuoksi. Kuumennettaessa polymeeriketjut hajoavat, minkä jälkeen ne eivät voi palata alkuperäiseen tilaansa eikä muovin uudelleen käsittely ole mahdollista. Kertamuovien kestävyys korkeissa lämpötiloissa tekee niistä ideaalisen materiaalin korkeiden lämpötilojen elektroniikka- tai autosovelluksiin. [7][8, s. 20]

Hinnan ja käyttömäärän perusteella muovit voidaan edelleen jakaa kolmeen ryhmään: valtamuoveihin, teknisiin muoveihin ja erikoismuoveihin (kuva 1). Valtamuovit ovat eniten käytetty muoviryhmä, jota hyödynnetään monissa sovelluskohteissa. Ne sisältävät noin 80 % kaikkien muovituotteiden määrästä. Suurien tuotantomäärien ja monien sovellusten kertakäyttöisyyden vuoksi suurin osa muovikritiikistä kohdistuu valtamuoveihin. Niiden tärkeimmät käyttökohteet ovat pakkaukset, lelut, vaatteet ja kotitaloustuotteet. Yleisiä valtamuovilaatuja ovat esimerkiksi polypropeeni (PP), polyeteenitereflaatti (PET), polyeteenit (PE-LD ja PE-HD) ja polystyreenit (PS ja EPS). [4, s. 8–9][9, s. 44]



**Kuva 1.** Muovien jaottelu rakenteen, hinnan ja käyttömäärän mukaan [9, s. 45].

Tekniset muovit ovat valtamuoveihin verrattuna kalliimpia, ja niillä on myös hieman erikoistuneemmat käyttökohteet. Yleisiä teknisiä muoveja ovat muun muassa akrylinitriili-butadieenistyreeni (ABS), polykarbonaatti (PC), polymetyylimetakrylaatti (PMMA) ja elintarvikepakkauslaminaateissa käytetty polyamidi (PA). Teknisiin muoveihin kuuluvat esimerkiksi muovikuidut, joita käytetään elektroniikassa, autoissa sekä erilaisissa teknisissä tuotteissa tai vaatteissa. Biohajoavat tai kompostoituvat muovit luokitellaan usein myös teknisiksi muoveiksi. [9, s. 45–46]

Erikoismuovit ovat arvokkain muoviryhmä. Tällaisia muoveja ovat muun muassa teflon eli polytetrafluorieteeni (PTFE), nestekidemuovit (LCP) ja polyeetterieetteriketoni (PEEK). Erikoismuoveja hyödynnetään vaativissa teknisissä käyttökohteissa, kuten ilmailussa, avaruusalusten ja satelliittien rakenteissa sekä lääketieteessä. Erikoismuovien hinta valtamuoveihin verrattuna on monikymmenkertainen, mikä rajoittaa niiden käyttöä. [9, s. 46]



## 2.2 Muovien ominaisuudet

Muovit tarjoavat yhdistelmän ominaisuuksia, joita ei ole saatavilla muissa materiaaleissa. Tämän vuoksi muovista on muodostunut kilpailukykyinen materiaali perinteisille materiaaleille, kuten puulle, lasille ja metallille. Muoveja pidetään välttämättöminä materiaaleina, ja niiden merkitys on suuri esimerkiksi tekstiilien, pakkausten ja kulutuselektronikan aloilla. Ne antavat tuotteelle paljon etuja, kuten keveyden, kimmoisuuden, korroosion kestävyden, värin keston, läpinäkyvyyden ja käsittelyn helppouden. Käytön kannalta muovien tärkein perusominaisuus on niiden muovattavuus jossain käsittelyvaiheessa. [4, s. 1][6]

On olemassa suuria määriä eri muovilaatuja, joiden ominaisuudet poikkeavat täysin toisistaan. Muovien koostumusta muuttamalla voidaan mahdollistaa niiden käyttö lukuisissa eri sovelluskohteissa. Muunneltavuus tapahtuu lähes aina toiminnallisilla tai muilla lisäaineilla. Apuaineilla pyritään helpottamaan muovituotteen valmistusta sekä seos- ja täyteaineilla vaikuttamaan muovin ja lopputuotteen ominaisuuksiin. [4, s. 1–8][10, s. 45–55] Täyteaineiden vaikutukset kohdistuvat muun muassa muovin jäykkyyteen, tiheyteen, tuotteen pinnanlaatuun, optisiin ominaisuuksiin, väriin, kaasun- ja vedenläpäisyyn, sähköisiin ominaisuuksiin ja palonkestoon. Täyteaineet ovat tavallisesti epäorgaanisten materiaalien kiinteitä hiukkasia, kuten kalsium- ja magnesiumkarbonaatteja, piidioksideja ja alumiinihydrokseja. [6]

Kestomuovien ja kertamuovien ominaisuuksissa on eroja. Kertamuovit ovat yleensä ominaisuuksiltaan vahvempia, jäykempiä ja kovempia kuin kestomuovit. Ne sopivat myös paremmin sovelluskohteisiin, joissa materiaalilta vaaditaan korkean lämpötilan kestävyttä. Kertamuovit ovat myös kemiallisesti kestäviä, syttymättömiä ja mittapysyviä. Toisaalta ne ovat yleisesti hauraita ja niiden kierrättäminen on mahdollista vain täyteaineiksi. Kestomuovien ominaisuuksia puolestaan ovat alhainen tiheys, suuri joustavuus, hyvä läpinäkyvyys, helppo muovattavuus, alhaiset mekaaniset ominaisuudet sekä alhainen lämmönkestävyys. [4, s. 8–9,11] Hinnaltaan edullisia kestomuoveja hyödynnetään valtamuovien valmistuksessa muun muassa edellä mainittujen ominaisuuksien vuoksi. Siten ne soveltuvat materiaalina erilaisiin jokapäiväisiin käyttökohteisiin, kuten pakkauksiin. Teknisiin muoveihin kuuluvat muovilajit ovat lämmönkestoltaan ja muilta ominaisuuksiltaan kestävämpiä valtamuoveihin verrattuna, koska niitä käytetään vaativista olosuhteista. [9, s. 44–45]

## 2.3 Muovituotteiden hyödyt ja haasteet

Muovien monipuoliset ominaisuudet tarjoavat lopputuotteille erilaisia etuja. Yksi muovien tarjoamista hyödyistä on tuotteiden keveys. Kevyen painonsa ansiosta muovit ovat auttaneet vähentämään esimerkiksi autojen ja lentokoneiden polttoaineen kulutusta. Samalla ne ovat vähentäneet kuljetuskustannuksia ja ilmakehän hiilidioksidipäästöjä. [11][12] Muovit tarjoavat myös kansanterveydellisiä etuja, kuten elintarvikepakkauksia, jotka vähentävät ruokahävikin määrää. Muovipakkaus suojaa elintarvikkeita valon ja hapen vaikutuksilta sekä vähentää tuotteiden vahingoittumista varastoinnin ja kuljetuksen aikana. Muovit pidentävät esimerkiksi lihan, vihannesten ja muiden elintarvikkeiden säilyvyysaikaa sekä säilyttää ruoan tuoksun ja maun. [11][12][13]

Muovien lisääntynyt käyttö on aiheuttanut jatkuvasti kasvavan muovijäteongelman. Muovijätteet aiheuttavat merkittäviä ympäristöongelmia ja niiden hävittämisestä ympäristöhaittoja aiheuttamatta on tullut maailmanlaajuinen haaste. Muovien kierrätystä rajoittaa ja vaikeuttaa muun muassa muovien erottaminen toisistaan. [14] Tuotteen muovilaa- duissa voi olla vaihteluita sekä ne voivat sisältää monia erilaisia lisäaineita. Esimerkiksi muovin sisältämä pieni määrä väriainetta voi tuottaa ongelmia kierrätysprosessin aikana. Väriainetta on vaikea poistaa, mikä johtaa kierrätysmuovin värjäytymiseen. Usein tämän tapaiset ongelmat heikentävät kierrätysmuovien ominaisuuksia uusiin tai neitseellisiin muoveihin verrattuna. [4, s. 44] Erityyppisten muovien sekoittuminen keskenään vaikeut- taa kierrätysprosessia, koska päätuotteen sekoittuminen muilla eri ominaisuuksiltaan olevilla muoveilla voi rajoittaa kierrätysmuovin laatua [14].

Tyypillisesti muovit säilyvät hyvin luonnossa niiden kestävän ja stabiilin luonteensa vuoksi. Tämän seurauksena muovit voivat jäädä ympäristöön useiden vuosien ajaksi tuotteen käyttöään jälkeen. Luonnonympäristöön päätyessään muovit voivat kulkeutua maalta jokiin ja sieltä lopulta valtameriin. Kulkeutumisen aikana muovit voivat vaikuttaa haitallisesti luontoon, villieläimiin ja jopa ihmisten terveyteen. Esimerkiksi eläimen nie- lemä muovijäte voi aiheuttaa suolen tai mahalaukun tukkeutumisen, mikä voi lopulta joh- taa eläimen kuolemaan. Muovijätteeseen sotkeutuminen aiheuttaa myös eläimille ongel- mia luonnossa. Samaan aikaan muovijätteet voivat hajota pienemmiksi muovin paloiksi ympäristössä tapahtuvien prosessien vaikutuksesta. Tämän seurauksena pienet muovit, mikromuovit, voivat päätyä ravintoketjujen kautta ihmiseen. [15]

### 3. MERIMUOVIT

Merimuoveilla tarkoitetaan meren muoviroskia tai roskien ainesosia, jotka ovat peräisin luonnonilmiöistä tai ihmisten toiminnasta joko maalla tai merellä. Muovit ovat yksi haitallisimmista merijätteistä, joita kohdataan maailman valtamerillä, suljetuilla lahdilla sekä rannikkoalueilla. [16, s. 123] Arvioiden mukaan maailman merissä on yli 150 miljoonaa tonnia muoviroskaa [17], ja jokaisella valtameren neliökilometrillä niitä kelluu yli 13 00 kappaletta. Pelkästään muovipussit muodostavat noin 11 % yleisestä meriroskasta. [16, s. 123]

Verrattuna muihin roskaluokkiin, kuten lasiin, kankaaseen, paperiin ja metalliin, muoviroska on valtamerissä pysyvää jätettä muovien ominaisuuksien vuoksi [18]. Muovit säilyvät ympäristössä pitkään, sillä ne ovat materiaalina yleisesti biohajoamattomia. Kuitenkin meriympäristössä muovit voivat vähitellen hajota ja pilkkoutua pienemmiksi paloiksi mekaanisen rasituksen ja auringon säteilyn seurauksena. Säteilyn vaikutuksesta muovit myös haalistuvat. [16, s. 123][19]

#### 3.1 Muovien kulkeutuminen mereen

On arvioitu, että noin 80 % merien muoviroskasta on lähtöisin maalta. Muovia kulkeutuu maalta valtameriin usein jokien, jätevesien, tuulen tai vuorovesiliikkeen seurauksena. [17][20] Muovien kertymisnopeus valtameriin lisääntyy maalla olevista lähteistä, joissa vallitsevat äärimmäiset ilmasto-olosuhteet, kuten myrskyt, hurrikaanit ja tulvat. Rannalla olevat muovijätteet kulkeutuvat mereen lähinnä rannikkovesivirtojen mukana. [18][21]

Kaatopaikat ja kiinteän jätteen hävitys- ja käsittelylaitokset ovat eräitä lähteitä merien muovijätteelle [16, s. 124]. Jätehuollon ja merien saastumisen laajuus vaihtelee alueittain, vaikka muovia kulutetaan maailmanlaajuisesti. Maiden välisten erojen uskotaan johtuvan eroista rannikkoalueiden väestötiheydessä, muovin kulutuksessa ja jätehuoltokäytännöissä. [22] Muita meriä saastuttavia muovilähteitä maalla on muun muassa matkailu, kotitalous- ja teollisuusjätteiden sopimaton tai laitton kaato, julkinen roskaaminen, rannalla vierailijat, riittämättömästi katetut jätesäiliöt ja jätteenkuljetusajoneuvot sekä muut taloudelliset toimet, kuten satamatoiminta. Eräitä rannikkovesiin ja meriin päätyviä rantaviivan ja vapaa-ajan muovitarvikkeita ovat esimerkiksi muovikassit, ilmapallot, juomapullot, elintarvikekääreet, pillit ja lasten lelut. [16, s. 124][18]

Kiina, Indonesia ja Filippiinit ovat kolme suurinta muovijätteen saastuttajamaata, johtuen niiden suuresta rannikkoväestön määrästä, nopeasti lisääntyvästä muovin kulutuksesta sekä yleisesti huonoista jätehuoltokäytännöistä. Yhdessä nämä kolme maata aiheuttavat arviolta 44 % meren muovisaasteen kokonaismäärästä. [22] Jambeck et al. [20] arvioivat, että vuonna 2010 rannikkomaat tuottivat yhteensä 275 miljoonaa tonnia muovijätettä, joista 4,8–12,7 miljoonaa tonnia kulkeutui valtameriin. Huonosti hoidetulta kaatopaikalta tai väärin käsiteltynä muovijäte voi lentää tai huuhtoutua sisävesiväylien, jäteveden tai vuoroveden mukana valtameriin. [20]

Muovijätettä syntyy myös ihmisten toiminnasta merellä. Kalastusalukset, huviveneet, risteilyalukset, rahtilaivat ja äyriäisten tai kalojen viljely ovat keskeisiä valtameriin perustuvia lähteitä, jotka edistävät muovijätteen kerääntymistä meri- ja rannikkoalueilla. [16, s.125][18][23] Noin 18 % meriympäristöstä löytyvistä muovijätteistä on lähtöisin kalastusteollisuudesta. Kalastuslaivastot käyttävät nykyään muovisia kalastusvälineitä, joiden käytetyimmät muovilaadut ovat polyeteeni, polypropeeni ja polyamidi. Käytön aikana osa pyydyksistä voi kadota tai niitä voidaan heittää huolimattomasti mereen, minkä seurauksena ne päätyvät merien roskiksi. [23] Syöttisäiliöt, pakkaukset, puhdistusainepullot, pojut, kellukkeet, siimat, kalastusverkot, putket ja köydet ovat eräitä muovijätteitä, jotka ovat lähtöisin mereltä [16, s. 125].

### 3.2 Meriympäristön muovilaadut

Muovia löytyy nykyään kaikista tärkeimmistä valtameren pyörteistä, rannikkoalueilta, meren pinnalta, syvänmeren sedimenteistä ja merenpohjasta [24]. Muovijätteen maantieteellinen jakautuminen merissä on epätasaista, mikä johtuu muun muassa merien tuulista, virtauksista, rannikoista, kaupunkialueista sekä kauppareiteistä. Pääasiassa muovijätteet ovat keskittyneet rannikoiden ympärille ja valtamerien pyörteisiin. [22] Maantieteellisen jakautumisen lisäksi muoveja esiintyy meren eri syvyystasoilla. Muovien esiintymisen runsaus tietyllä meren tasolla johtuu muun muassa polymeerien tiheydestä. [24]

Polyeteeni, polypropeeni, polystyreeni, polyamidi, akryylit ja polyesterit ovat tutkimusten mukaan meriympäristön yleisimpiä polymeerityyppejä. Näitä materiaaleja käytetään yleisesti lyhyen elinkaaren tuotteissa, ja niiden osuus maailman muovituotannosta vuonna 2015 oli 74 %. Yhdistettyjen levinneisyystietojen mukaan polyeteeni on meriympäristön runsain saastuttava muovityyppi. Sen keskimääräinen runsaus on 23 %. Merien toiseksi yleisimmät muovit ovat polyamidi, polyesterit ja akryylit. Niiden yhteinen keskimääräinen runsaus on 20 %. Näitä muoveja seuraavat polypropeeni keskimääräisellä 13 %:n osuudella ja polystyreeni 4 %:n osuudella. [24]

**Taulukko 1.** Muovilaatujen esiintyvyys ja sijainti meressä. Tiedot lähteestä [24].

<b>Muovityyppi</b>	<b>Yleinen runsaus</b>	<b>Pintavesi</b>	<b>Vesimassa</b>	<b>Syvämeri/ merenpohja</b>
<b>Polyeteeni (PE)</b>	15–32 %	42 %	9 %	2 %
<b>Polyamidi, polyesterit ja akryylit</b>	11–32 %	5 %	64 %	77 %
<b>Polypropeeni (PP)</b>	7–20 %	25 %	3 %	3 %
<b>Polystyreeni (PS)</b>	2–9 %	-	-	-

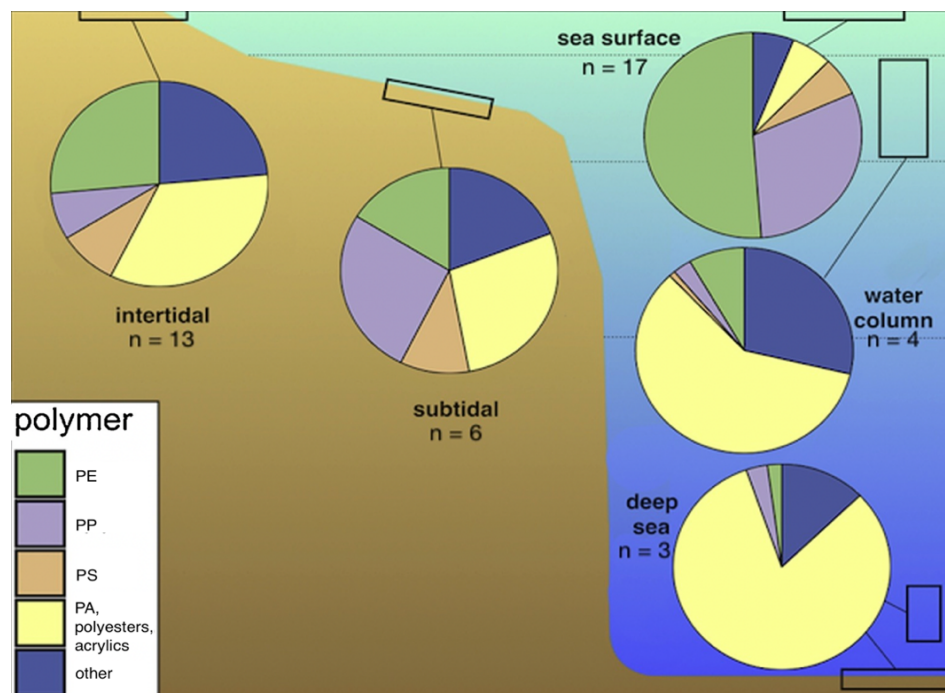
Taulukossa 1 on esitetty yleisimpien muovilaatujen esiintyvyyden runsaus ja sijainti meressä. Taulukosta nähdään, kuinka pienemmän tiheyden omaavat polymeerit eli polyeteeni ja polypropeeni ovat hallitsevia muoveja merenpinnalla. Polypropeenin esiintyvyys pinnalla on 25 % ja polyeteenin 42 %. Kevyen ominaispainonsa vuoksi näitä muoveja on suhteellisesti vähemmän meren pintavesien alla olevassa vesimassassa ja syvämeressä. Vesimassassa polyeteenin esiintyvyys on 9 % ja syvämeressä 2 %. Polypropeenin runsaus sekä vesimassassa että syvämeressä on 3 %. Tiheämpien polymeerien eli polyesterien, polyamidin ja akryylin esiintyvyys on korkein syvämeren ja vesimassan näytteissä. Syvämeressä näiden muovilaatujen esiintyvyys on 77 % ja vesimassassa 64 %. Merenpinnalla polyesteria, polyamidia ja akryyliä on vain 5 %. [24]

Eri alueiden lisäksi muovia esiintyy useassa eri kokoluokassa, sillä ympäristössä muovin tiedetään heikkenevän ja hajoavan. Vedessä hajoamista kuitenkin hidastavat alhaisemmat lämpötilat ja rajoitettu ultraviolettisäteily, mikä johtaa muovijätteen säilymiseen ja kerääntymiseen. [24] Yleinen jaottelu eri kokoluokan muoveille on makromuovit, mesomuovit ja mikromuovit. Makromuoveiksi luokitellaan muovit, jotka ovat silmällä havaittavissa ja kooltaan yleisesti yli 25 mm. Ne pilkkoutuvat merivedessä ollessaan mesomuoveiksi erilaisten ympäristövaikutusten johdosta. Mesomuovit voivat edelleen hajota mikromuoveiksi. Mesomuovien määritelmässä on vielä laajalti epävarmuuksia, sillä niitä ei ole tutkittu yhtä paljon kuin makro- tai mikromuoveja. Mesomuovit ovat kokoluokaltaan noin 5–25 mm. [25]

Yleisesti mikromuoviksi määritellään muoviesineet, jotka ovat kooltaan alle 5 mm. Meriympäristöön mikromuovit voivat vapautua ensisijaisena tai toissijaisena saasteena. Päämääräiset mikromuovit ovat mikromittakaavassa valmistettuja polymeerejä, joita käytetään esimerkiksi kosmetiikassa, lääkeaineissa sekä komponentteina tai raaka-aineina muovin valmistuksessa. Sekundaariset mikromuovit ovat tuotteita, jotka muodostuvat suurempien muoviosien hajoamisesta merellä. [16, s. 3][26] Mikromuoveja on löydetty pintavesistä, syvänmeren sedimenteistä ja makean veden järjestelmistä. Lisäksi niitä on havaittu maailmanlaajuisesti sekä tiheästi asuttujen alueiden läheltä, että syrjäisiltä alueilta ja laskeumavyöhykkeiltä. Mikromuovien seuranta on yleisesti keskittynyt rannikkoalueille tai avomerelle syntyneille muovijätettä kerääville alueille ja pyörteille. [26][27]

### 3.2.1 Merenpinta ja -pohja

Muovijätettä esiintyy kaikilla meren syvyystasoilla (kuva 2). Muovin kelluminen tai uppoaminen johtuu muun muassa muovin ominaispainosta ja tiheydestä, jolloin merivettä raskaammat muovit uppoavat ja kevyemmät muovit jäävät kellumaan merenpinnalle. [22][28, s. 18] Polystyreeni, polyamidi, polyvinyylikloridi (PVC) ja PET ovat esimerkkejä muovilaaduista, joiden tiheydet ovat suurempia kuin meriveden ( $\rho > 1,02 \text{ g/cm}^3$ ). Tämän vuoksi ne eivät yleisesti kellu merenpinnalla. [18]



**Kuva 2.** Yleisten muovityyppien suhteellinen runsas meren eri syvyystasoilla. Muokattu lähteestä [24].

Polypropeeni ja polyeteeni kelluvat meressä niiden alhaisen muovitiheyden vuoksi [18]. Kuten kuvasta 2 nähdään, ne ovat pintavesien ensisijaisia muovityyppejä. Myös muut tutkimukset [29][30] ovat osoittaneet polypropeenin ja polyeteenin yleisen runsauden merenpinnalla. Pintavesissä olevan suuren polypropeeni- ja polyeteenimäärän uskotaan johtuvan niiden laajasta käyttöalueesta pakkauksissa sekä niiden seoksen stabiiliudesta. Merenpinnalla olevia mikromuovijätteitä ovat muun muassa kuidut ja siimat, isompien muovikappaleiden rikkoutumisesta syntyneet sirpaleet ja palat, kalvot sekä polystyreenivaahdot. [29] Sen sijaan makrokokoisia muovituotteita merenpinnalla voi olla muovikannet, muovipussit, muovikääreet, pillit ja erilaiset kalastusvälineet. Merenpinnalla kelluu myös tyhjiä ja suljettuja muovipulloja. [31] Kelluvien muovijätteiden runsautta ja kulkeutumista säätelevät meressä vallitsevat olosuhteet, minkä vuoksi niiden esiintyvyys voi vaihdella alueittain [29].

Kelluva muovi voi lopulta myös upota, sillä muoviesineen tiheys voi muuttua meriympäristössä ollessaan. Yksi tärkeimmistä syistä tähän muutokseen on muovijätteen pinnalle muodostuva biofilmi, joka johtaa levien ja selkärangattomien kolonisaatioon ja kappaleen tiheyden kasvuun. [21][32] Muovikappaleen uppoamista voi aiheuttaa myös muovin hajoaminen tai biolikaantumisen johdosta tapahtuva kappaleen painon lisääntyminen. Tämän vuoksi kelluvaa muovia esiintyy vähemmän siirryttäessä rannikoilta kauemmaksi avomerelle. [24][28, s. 18]

Muovien pitoisuuksista syvänmeren sedimenteissä ja merenpohjassa tunnetaan rajallisesti. Muovityyppien esiintyvyys merenpohjassa vaihtelee alueittain, kuten meren pintavesissä. Tutkimuksien mukaan PET, PVC, polyamidi, polyuretaani, viskoosi ja akryylit ovat yleisimpiä muovityyppejä merenpohjassa ja syvänmeren sedimenteissä. Näiden lisäksi meren pohjavesissä esiintyy merivettä kevyempiä muoveja, kuten polypropeenia ja polyeteeniä sekä niiden yhdistelmiä. [33][34][35] Myös polyesterit, jotka ovat suosittuja kankaiden materiaaleja, ovat yleinen merenpohjan polymeeri [26][34]. Merenpohjasta löytyviä makrokokoisia muovijätteitä on muun muassa muovipussit, muovipullot, suurempien muovikappaleiden sirpaleet, muovilasit, muoviset kertakäyttöhaarukat, elintarvikepakkaukset ja muut tunnistamattomat muovikappaleet. Kalastukseen liittyvät tuotteet, kuten verkojen osat, köydet ja siimat, muodostavat suuren osan merenpohjan muovijätteistä, erityisesti matalammilla alueilla. Tutkituista mikromuoveista suurin osa on kuituja, muovien pieniä osia sekä pellettejä. [36]

### 3.2.2 Valtamerien pyörteet

Merimuovit voivat kerääntyä maailman valtamerissä eri alueille. Osa kelluvasta muovista kulkeutuu esimerkiksi merivirtausten ja tuulen mukana avomerelle ja valtamerien pyörteisiin. Näistä pyörteistä on muodostunut yksiä meren suurimpia muovijätteen kerääjiä. [32] Valtamerissä esiintyvät viisi subtrooppista pyörrettä ovat tuulen ja merivirran aiheuttamia. Ne pyörivät myötäpäivään pohjoisella pallonpuoliskolla ja vastapäivään eteläisellä pallonpuoliskolla. Kelluva muoviroska kerääntyy hitaasti liikkuvan pyörteen keskiosaan, johon muodostuu korkean muovipitoisuuden omaava alue. On arvioitu, että noin 11 miljoonaa tonnia kelluvaa muovia peittää lähes 13 miljoonan neliökilometrin alueen Tyynellämerellä. [16, s. 15–16]

Pohjoisen Tyynenmeren itäosassa sijaitsee yksi merkittävä muovijätettä keräävä subtrooppinen pyörte, joka tunnetaan nykyään myös nimellä Great Pacific Garbage Patch. Se pyörii Tyynellämerellä Kalifornian rannikon ja Havaijin välillä Yhdysvalloissa. Tällä alueella esiintyvien merimuovien suhteellisen korkeat pitoisuudet johtuvat enimmäkseen tehostetusta kalastustoiminnasta Tyynellämerellä sekä yhteydestä Aasian merkittäviin valtamerien muovilähteisiin. [16, s. 15–16][32]

Lebreton et al. [32] suorittivat vuonna 2015 tutkimuksen, jossa kerättiin näytteitä Great Pacific Garbage Patchin alueelta ja sen ympäristöstä. Tutkimuksessa määritettiin pyörteen sisällä kelluvia merimuoveja niiden koon, muovilaadun ja -tuotteen perusteella. Muoveja esiintyi alueella jokaisessa kokoluokasta. Muovimassasta yli kolme neljäsosaa oli ylempien kokoluokkien muoveja eli makromuoveja. Vaikka suuremmat muovit tuottivat korkeimman massapitoisuuden keskimääräisillä mitatuilla arvoilla, mikromuoveja ja mesomuoveja oli pitoisuuden mukaan eniten. Tuloksien mukaan polypropeeni ja polyeteeni ovat pyörteen yleisimmät polymeerityypit. Muoviesineet, jotka ovat mahdollista tunnistaa alueelta, joko kokonaan tai pirstoutumisen alkuvaiheessa, ovat säiliöt, pullot, kannet, pullonkorkit, pakkaushihnat, ankeriaanpyyntikartiot, köydet ja kalastusverkot. Tutkituista muoveista kovien muovien, levyjen ja kalvojen osuus muovien kokonaisuudesta oli 45 % sekä verkkojen, köysien ja narujen 52 %. Muutamissa kokoluokissa havaittiin myös kahta muuta partikkelityyppiä sekä pellettejä ja vaahtoja. Näiden kokonaisvaikutukset Great Pacific Garbage Patchin muovikuormituksesta on kuitenkin vähäiset. [32]



Myös Etelä-Atlantin valtamerellä sijaitsee yksi muovijätettä keräävä subtrooppinen pyörre. Sen alueelle suoritettussa tutkimuksessa määritettiin pintavesien lisäksi merenpohjavesissä olevia muovityyppejä. Merenpinnalla kelluvista muoveista saatiin samoja tuloksia kuin Lebreton et al. tekemässä tutkimuksessa. Etelä-Atlantin pyörteen pintavesissä kelluvat merimuovit ovat siis pääasiassa polyeteeniä ja polypropeenä. Tutkimustulosten mukaan syvemmällä pyörteessä esiintyy myös polyamidia, joka on tyypillinen materiaali kalaverkoissa ja -köysissä. Polyeteenin ja polypropeenin lisäksi löytyvän polyamidin runsas esiintyvyys on seurausta Etelä-Atlantin valtameren aktiivisesta kalastustoiminnasta. [37]

### 3.2.3 Rannikkoalueet

Vaikka suuret merivirrat kuljettavat osan muovista viiden subtrooppisen renkaan keskipisteisiin, suurimmat muovipitoisuudet löytyvät muualta. Erityisesti niitä löytyy tiheästi asutuilta rannikkovesien alueilta. [28, s. 31] Rannikkoalueille tehtyjen tutkimusten mukaan polyeteeni, polypropeeni, polystyreeni, polyuretaani, polystyreeni, polyeetteriuretaani sekä polyeteenin ja polypropeenin polymeeriseos ovat yleisiä rannikkovesien muovityyppejä. Muovien esiintyvyyden runsaus vaihtelee meriviljelyn, matkailun ja satamarakentamisen vaikutuksesta. [38] Lisäksi muovityyppien jakautuminen rannikko-vyöhykkeillä vaihtelee sen mukaan, onko rannikon välittömässä läheisyydessä kaupunkeja vai maaseutua [39].

Filippiinit ovat yksi rannikkomaa, jolla on suuri vaikutus meren rannikkoympäristön muovikuormitukseen. Tämä johtuu lähinnä väestön lisääntymisestä, runsaasta muovin käytöstä ja sen hallitsemattomasta hävittämisestä. Filippiinien rannikkovesille tehdyssä tutkimuksessa selviää, että rannikoiden hallitsevimmat muovijätteet ovat muoviset elintarvikekääreet, kertakäyttöiset astiat, muovikupit, muoviset ruokailuvälineet ja pussikäreet. Näiden tuotteiden valmistuksessa käytetyt muovit ovat siten Filippiinien rannikkovesissä olevia yleisimpiä muovityyppejä. Näitä muoveja ovat polyeteeni ja polypropeeni, joista matalatiheksinen polyeteeni on yleisin ja polypropeeni toiseksi yleisin muovityyppi. [39]

Rantojen saastuminen aiheutuu pääasiassa merestä rannoille huuhtoutuneista roskista. Tähän vaikuttavat eri luonnonilmiöt, kuten vuorovedet, rankkasateet, odottamattomat säämuutokset sekä ihmisten rannalla harjoittama virkistystoiminta. Laivoista ja pienistä aluksista syntyvä jäte saastuttaa myös rantoja ja saaria. Yleisiä rannoilta löytyviä muovijätteitä ovat muun muassa rikkoutuneet tai käytöstä poistetut kalastusvälineet, kalvot ja muovipullot. [16, s. 9–10]

Havaijin saariston eteläisimmässä kärjessä sijaitsee Kamilo Beach. Virtausten ja voimakkaiden maatuulien yhdistelmän vuoksi sinne huuhtoutuu valtavasti muovia. Kamilo Beach tunnetaan nykyään myös nimellä Plastic Beach, koska sinne on kertynyt muovia paikoin kymmenien senttien paksuna kerroksena. Suurin osa muoviroskasta on peräisin merenkulusta ja kalastuksesta, esimerkiksi verkoista, köysistä, poijuista ja kalalaatikoista. [28, s. 20] Korean rannoille tehdyn tutkimuksen mukaan poijut olivat Kamilo Beachin tavoin yksi tutkimusrantojen yleisin muovijätetyyppi. Niiden osuus roskien kokonaismäärästä oli 12,8 %. Kalastusköydet, muovipussit, muoviset elintarvikekääreet, muovikorkit ja muovipullot muodostivat poijujen lisäksi suuren osan Korean rantojen kokonaismuovijätteen määrästä. [40]

## 4. MERIMUOVIENTEN KÄYTTÖ

### 4.1 Meriympäristön vaikutukset muoveihin

Meressä ollessaan muovit ovat vuorovaikutuksessa useiden ulkoisten, kemiallisten, fyysikaalisten ja biologisten tekijöiden kanssa. Nämä tekijät voivat vaikuttaa meren muovijätteen tilaan ja koostumukseen. Merimuovit voivat esimerkiksi haurastua, hajota, likaantua, kulua sekä joutua meren eliöiden repimäksi. [41] Muovin materiaalikoostumus vaikuttaa sen mahdollisiin hajoamismekanismeihin ja -nopeuksiin. Esimerkiksi lisäaineet, polymeeriketjun runko ja ketjujen väliset sillat vaikuttavat osaltaan muovien hajoamiseen. Muovin sisältämät yhdisteet voivat lopulta vapautua ympäristöön. [42][43]

Meriympäristössä muovin pirstoutumista aiheuttaa mekaaninen rasitus, kuten aaltojen liike [44]. Mekaanisesti heikentyneet muovikappaleet ovat alttiimpia ylimääräisille sään vaikutuksille, sillä mekaaninen rasitus tekee muovista hauraamman. Useat rapautumisen muodot alkavat muovin pinnalla, jossa hapettuminen, haurastuminen ja säröily kehittyy. Tämän jälkeen muovin sisäinen hajoaminen etenee diffuusio-ohjatulla prosessilla, mikä johtaa lopulta materiaalin ominaisuuksien menettämiseen ja täydelliseen hajoamiseen. Meriympäristöstä kerätyt muovijätteet voivat olla murtuneita, hilseileviä, kuoppaisia tai pinnaltaan urittuneita. [45] Muovin pinta voi olla myös kulunut ja tasoittunut sekä kappaleen reunat muuttuneet säännöllisen muotoiseksi [41].

Gerritse et al. [42] tekemässä tutkimuksessa määritettiin merimuovien hajoamisen johdosta tapahtuvaa kappaleen painon häviämistä. Tulosten mukaan polyeteenin, polypropeenin ja polystyreenin painohäviö on vuodessa alle 1 %. Sen sijaan muovikappaleen painohäviö on suurempi polyuretaanilla ja PET:llä sekä biohajoavilla muoveilla. PET:n ja polyuretaanin painohäviö vuodessa on 3–5 % ja biohajoavien muovien yli 7 %.

Polymeerit, joilla on hiili-hiilirunko, korkea molekyylipaino ja vähän funktionaalisia ryhmiä, kestävät hyvin hajoamista. Tällaisia muoveja ovat esimerkiksi polyeteeni, polypropeeni, polystyreeni ja PVC. Mekaanisen rasituksen lisäksi auringon ultraviolettisäteily aiheuttaa muovien hajoamista, sillä säteily saa aikaan katkoksia muovien polymeeriketjuissa. [42] Valohapetus muuttaa muovien fysikaalisia ominaisuuksia molekyylitasolla, jolloin ketjun katkeamisen, silloittumisen ja hapettumisen seurauksena polymeerin molekyylipaino ja molekyylipainojakauma muuttuvat. Muovissa tapahtuvia visuaalisia säteilyn vaikutuksia ovat puolestaan läpinäkyvien muovien kellastuminen, ja polymeerin mekaanisten ominaisuuksien menetys. [44]

Monissa tapauksissa valohajoaminen tapahtuu enimmäkseen polymeerin pinnalla hapen diffuusion tai ultraviolettisäteilyn seurauksena. Säteilyn myötä muovin pinnalle muodostuu halkeamia, murtumia, hiutaleita, uria ja kuoppia. [43] Merivedessä kelluvien muovien hajoaminen on hitaampaa rannoilla oleviin muoveihin verrattuna, sillä veden läsnäolo heikentää valon aiheuttamaa hajoamista. Esimerkiksi mutaisilta rantaviivoilta kerätyillä muovihiukkasilla on havaittavissa vähemmän mekaanista murtumista kuin hiekkarannoilta kerätyillä muovijätteillä. [45] Merivedessä tapahtuva hitaampi hajoaminen johtuu veden alhaisemmista lämpötiloista ja happipitoisuuksista, heikentyneestä ultraviolettisäteilyn läpäisevyydestä sekä lisääntyneestä biofilmin muodostumisesta. Kelluvat muovit peittyvät nopeasti biofilmeillä ja uppoavat, jolloin muovikappaleet pääsevät suojautumaan auringon säteilyn vaikutuksilta. [42][45]

Mekaanisten ominaisuuksien lisäksi auringon ultraviolettisäteily voi vaikuttaa muovin väripigmenttiin [41]. Värjätyissä muovijätteissä on huomattu värimuutoksia haalistumisena sekä kiillon ja tekstuurin menetystä, tasoittumista ja kulumista. Aiemmin värjäytyjen muovien värinmenetyks voi tapahtua orgaanisten väriaineiden, pigmenttien tai väriaineiden häviämisen johdosta. Värien häviäminen johtuu niiden valohajoamisesta tai diffuusiosta meriveteen. [43] Värjäytymisaste ja värinmuutos voivat antaa viitteitä muovin lähteestä ja ajasta, jonka se on viettänyt meressä [41][43].

## 4.2 Merimuovien keräys ja käsittely

Merimuovit ovat maailmanlaajuinen haaste, johon on ehdotettu monia ratkaisuja. Suurin osa ratkaisuista keskittyy muovin kulkeutumisen ehkäisyyn sekä niiden keräykseen meristä. [46] Maailmalla onkin kehitetty eri toimintatapoja estää ja vähentää muovijätteen joutumista meriin. Merimuovien kerääminen on myös välttämätöntä, jotta niiden määrää ja vaikutuksia meressä saadaan vähennettyä. [47]

Erilaisia merimuovien keräysmenetelmiä on esimerkiksi muovien poistaminen manuaalisesti rannikoilta, pintatroulaus ja pitopuomin käyttö kelluvien roskien talteen ottamiseksi merenpinnalta sekä pohjatroulaus ja sukellus meriroskien keräämiseksi merenpohjasta. Kun muoveja kerätään käsin rannikoilta, käytetään tyypillisesti käsineitä ja muovipusseja käsien suojaamiseen ja meriroskien säilytykseen. Pitopuomi on kelluva este, joka kerää kelluvaa muovia passiivisesti vesivirtoja hyödyntäen. Pinta- ja pohjatrouliverkot hinataan aluksen perässä. Verkkojen silmäkoon avulla muovia kerätään siten, että pääosin pienemmät tavarat kerätään meren pinnalta ja suuremmat tavarat merenpohjasta. Sukellusta käytetään myös merimuovien keräämiseen merenpohjasta, mutta sen käyttöä suositetaan matalissa vesissä. [47]

Meristä kerätyille muoveille on eri käsittelyvaihtoehtoja, joita ovat muovin uudelleenkäyttö, kierrätys ja energian talteenotto eli poltto. Uudelleenkäyttö sisältää muovikappaleiden korjauksen ja kunnostuksen. Merimuovien laajamittainen uudelleenkäyttö on kuitenkin haastavaa, sillä materiaalit ovat usein vaurioituneita ja saastuneita. Tämän vuoksi ne vaativat esikäsittelyn puhdistusvaiheita tai korjauksia. [46]

Muovin hajoaminen meressä aiheuttaa yleensä polymeeriketjun katkeamista, mikä tarkoittaa sitä, että molekyylipaino laskee ja sen seurauksena viskositeetti pienenee. Nämä laskut eivät aiheuta vain ongelmia kierrätyskäsittelyn aikana, vaan ne vaikuttavat myös kierrätysmuovista valmistettujen tuotteiden ominaisuuksiin. [48] Erityyppisiä muovijätteitä voidaan kuitenkin kierrättää ja käyttää raaka-aineena muiden tuotteiden valmistuksessa. Näiden tuotteiden valmistusprosessi voi olla sama kuin neitseellisen materiaalin, mutta tämän lisäksi prosessi vaatii merimuovien puhdistusvaiheen. [49] Muovien puhdistaminen pyritään tehdä vahingoittamatta muovin rakennetta [46].

Esikäsittelyprosessi on tärkeä vaihe tuotteen kierrätyksen kannalta, sillä meren muoviroskat sisältävät suolaa, hiekkaa ja muita epäpuhtauksia, jotka voivat aiheuttaa vaikeuksia käsittelyn aikana. Prosessi sisältää muun muassa muovin lajittelun, leikkaamisen ja jauhamisen. Puhdistusvaiheessa muovista poistetaan hiekkaa, mereneliöitä, kasviperäistä materiaalia ja suolavettä. [46][49] Puhdistusprosessi varmistaa materiaalin suolajen vähentämisen sekä materiaalin laadun parantamisen [46].

Joitakin meren muovijätteitä ei voida kierrättää tai käyttää uudelleen, minkä johdosta useassa maassa ne käsitellään polttamalla [46][49]. Myös meriroskien vaikea erotus, puhdistus ja kierrätys lisää polton yleisyyttä. Energian talteenottomenetelmiä pidetään vaihtoehtona kerätyn merimuovien käsittelyyn, koska ne vähentävät jätemääriä sekä energia- tai kemiallisia tuotteita. Lisäksi ne ovat usein vaihtoehto tietyntyyppisille muovijätteille, joita ei voi kierrättää tai käyttää uudelleen. Valtameripohjaisilla muovijätteillä on myös korkea lämpöarvo niiden korkean polymeeripitoisuuden vuoksi. Energian talteenotto-prosessit voivat kuitenkin aiheuttaa vaaroja ihmisten terveydelle ja ympäristölle joutuessaan niiden monista eri materiaaleista ja usein tapahtuvasta epätäydellisestä palamisesta. Muovijätteen poltosta vapautuu vaarallisia ja myrkyllisiä kaasuja, kuten dioksiineja, furaaneja ja elohopeaa. Nämä tuotteet voivat aiheuttaa vakavia vahinkoja terveydelle ja ympäristölle. Kaikki polttoprosessit tuottavat myös hiilidioksidia. [46]

### 4.3 Merimuoveista valmistetut tuotteet

Vaikka merimuovien kierrätyksessä ja uudelleenkäytössä on haasteita, markkinoilla on nykyään myös tuotteita, jotka ovat valmistettu yksinomaan tai osittain valtameren muoveista. Halla Halla on yksi merimuoveja hyödyntävä yritys. Kyseessä on suomalainen uimapukuja valmistava yritys, joka valmistaa tuotteensa valtameren nylon- eli polyamidijätteistä. Uimapukukangas on alun perin lähtöisin kaatopaikkojen ja valtamerien kalastusverkoista, matoista, kangasjätteistä ja muoveista. Uimapuvuissa käytettävä lopullinen kangas on valmistettu Econyl ja Repreve -materiaalista. [50] Materiaalin valmistuksen aikana polyamidijäte regeneroidaan ja puhdistetaan, jonka jälkeen polyamidi kierrätetään takaisin sen alkuperäiseen puhtauteensa. Regeneroitu polyamidi jalostetaan langoiksi ja muutetaan korkealaatuiseksi polyamidimateriaaliksi, jota voidaan käyttää esimerkiksi Halla Hallan tuotteiden valmistuksessa. [51]

Myös Gant on tuonut markkinoille merien kierrätysmuovista valmistettuja vaatteita. Yritys on tehnyt yhteistyötä Seaqual Initiativen kanssa osana Gantin Beacons-projektia. Gant on käyttänyt Seaqualin valmistamaa lankaa omissa Tech Prep -paidoissaan sekä Ocean Prep Hightown -kengissään. [52] Seaqual jalostaa meristä kerättyä muovijätettä polyesterilangaksi, joka on fyysisiltä ominaisuuksiltaan lähes identtinen neitseellisen polyesterin kanssa. Sitä on saatavana useassa eri koossa ja laadussa. Lankaa käytetään vaatteiden lisäksi myös asusteiden, autoverhoilun, kodin kalusteiden ja teknisten tekstiilien valmistuksessa. Seaqual-lanka ei kuitenkaan koostu täysin merimuovista vaan siitä noin 10 % on muovista meriroskaa ja noin 90 % kulutuksen jälkeisistä PET-muovia. [53]

Vaatteiden lisäksi merimuoveista on valmistettu kenkiä. Esimerkiksi Adidas on tuonut markkinoille useampia merimuoveista valmistettuja kenkäpareja. Adidas on tehnyt yhteistyötä ympäristöjärjestön Parley for the Oceans kanssa vuodesta 2015 lähtien. Yhteistyön tuloksena on syntynyt Adidas x Parley -tuotteita, joiden valmistuksessa on käytetty Parley Ocean Plastic -materiaalia. [54] Materiaali on valmistettu kierrätetystä muovijätteestä, joka on Parleyn johdolla poistettu merten rannikkoalueilta, kuten syrjäisiltä saarilta ja rannoilta. Talteen otetuista raaka-aineista valmistettua lankaa käytetään neitseellisen muovin korvikkeena Adidas x Parley -tuotteiden valmistuksessa. [55] Vuoden 2020 loppuun mennessä Adidas oli valmistanut yli 30 miljoonaa paria kenkiä Parley Ocean Plastic -materiaalilla [54].

Merestä kerättyjä muoveja on hyödynnetty myös esimerkiksi aurinkolasien ja kellojen valmistuksessa. Merimuoveja keräävä ympäristöjärjestö The Ocean Cleanup esitteli vuonna 2020 aurinkolasit, joiden muovikehykset on valmistettu Great Pacific Garbage Patchin alueella kelluvasta muovijätteestä. Aurinkolasit on myös suunniteltu niin, että ne

on mahdollista kierrättää materiaalityypin mukaan. [56] Triwa puolestaan on kelloja valmistava yritys, jolla on kierrätetystä merimuovista valmistettu kellokokoelma. Kyseisten rannekellojen muoviosat, eli kotelo ja hihna, ovat valmistettu täysin kierrätetystä merimuovista. Muovi kerätään maailman valtameristä ja rannoilta, minkä jälkeen Triwan yhteistyökumppani Tide Ocean Material puhdistaa ja kierrättää ne niin, että muovista on mahdollista valmistaa kellojen tarvitsevat muoviosat. [57]

Merimuoveja on käytetty myös pakkaussovelluksissa, joissa se on korvannut osan pakkauksessa käytettävästä muovista. Muun muassa vuonna 2017 Head & Shoulders valmisti rajoitetun erän shampoopulloja, joiden pakkausmateriaalissa oli käytetty 25 % merimuovia. Muovi kerättiin merten rannoilta ja tuotettiin pakkausmateriaaliksi yhdessä Terracyclen ja Suezin kanssa. [58] Coca-Cola on puolestaan esitellyt ensimmäiset juomapullot, joiden valmistuksessa on käytetty merestä kerättyä ja kierrätettyä muovia. 300 mallipullon valmistuksessa on shampoopullojen tapaan käytetty 25 % kierrätettyä merimuovia, jotka on kerätty Välimerestä ja sen rannoilta. Pullojen valmistuksessa on hyödynnetty tehostetun kierrätyksen -teknologiaa, jonka avulla likainen muovi on muutettu muovin alkuperäisiksi rakennuspalloiksi puhdistuksen helpottamiseksi. Puhdistuksen jälkeen rakennuspalikat voidaan koota korkealaatuiseksi PET-muovin raaka-aineeksi ja lopputuloksena syntyy uuden veroista muovia. [59]

## 5. YHTEENVETO

Työn tavoitteena oli selvittää, mitä muovityyppejä ja -tuotteita meriympäristössä esiintyy sekä mihin merimuoveja on mahdollista käyttää niiden keräyksen jälkeen. Lisäksi työssä tarkasteltiin, miten muovit päätyvät mereen ja minkälaisia muutoksia meriympäristö muoveissa aiheuttaa. Muovien koostumuksia tarkasteltiin tärkeimmillä muovijätettä keräävillä alueilla eli merenpohjassa ja -pinnassa, valtameren pyörteissä ja rannikkoalueilla. Merimuovien käyttökohteita puolestaan käsiteltiin erilaisten esimerkkituotteiden avulla.

Koska muovien kulutus on ollut jatkuvassa kasvussa, muoveja on kulkeutunut merellisiin elinympäristöihin maailmalaajuisesti. Muovien kulkeutuminen meriin voi olla seurausta luonnonilmiöistä tai ihmisten toiminnasta joko maalla tai merellä. Meriympäristöön päästyään muovi voi säilyä siellä pitkään muovien sisältämien ominaisuuksien vuoksi. Muovijätettä löytyy kaikilta meren eri syvyytasoilta sekä sitä kerääntyy maantieteellisesti eri alueille. Yleisesti merien pääasialliset muovit ovat polyeteeni, polypropeeni, polystyreeni, polyamidi, akryylit ja polyesterit. Näistä muoveista polyeteenien osuudet ovat suurimmat ja polyamidin, polyesterien ja akryylien toiseksi suurimmat. Yleisimpiin merimuoveihin verraten polypropeenit ja polystyreenit esiintyvät vähiten. Taulukossa 2 on esitetty yhteenveto eri alueilla esiintyvistä yleisistä muovityypeistä ja -tuotteista.

**Taulukko 2.** Yhteenveto meriympäristön yleisistä muovityypeistä ja -tuotteista.

<b>Esiintyvyyalue</b>	<b>Muovityypit</b>	<b>Muovituotteet</b>
<b>Merenpinta</b>	polyeteeni, polypropeeni	kannet, pussit, kääreet, pillit, kalastusvälineet
<b>Merenpohja</b>	polyamidi, polyuretaani, viskoosi, akryylit, PVC, PET, muut polyesterit	pussit, pullot, elintarvikepakkaukset, kertakäyttöaterimet, kalastusvälineet
<b>Valtamerten pyörteet</b>	polyeteeni, polypropeeni, polyamidi	säiliöt, pullot, kannet, pullonkorkit, kalastusvälineet
<b>Rannikkoalueet</b>	polyeteeni, polypropeeni, polystyreeni, polyuretaani	elintarvikepakkaukset, kääreet, kertakäyttöaterimet, pullot, kalastusvälineet, pussit



Taulukosta 2 nähdään, miten merimuovien koostumukset vaihtelevat meren syvyydston ja maantieteellisen alueen mukaan. Merenpinnalla esiintyy merivettä kevyempiä muovilaatuja, joista yleisimmät ovat polyeteeni ja polypropeeni. Valtamerten pyörteiden merimuovit koostuvat myös näistä muoveista, sillä alueilla on tutkittu lähinnä pinnalla kelluvia muovikappaleita. Alempana pyörteessä voi esiintyä myös polyamidia. Merenpohjassa sen sijaan esiintyy raskaampia muoveja, joita ovat PET, PVC, polyamidi, polyuretaani, viskoosi, akryylit ja muut paljon käytetyt polyesterit. Näiden lisäksi meren pohjavesistä löytyy kevyemmän tiheyden omaavia muoveja, kuten polyeteeniä ja polypropeenia. Kelluva muovi voi laskeutua merenpohjaan muun muassa biolikaantumisen ja hajoamisen johdosta. Edellä mainituista muoveista polyeteeniä, polypropeenia ja polyamidia esiintyy myös rannikkoalueilla.

Merissä olevat muovituotteet voivat vaihdella tarkasteltavan alueen mukaan. Silti muovituotteissa toistuu pääosin samat kappaleet, kuten muovipullot, muovipussit, elintarviketekäreet, muovikannet ja kalastusvälineet eli verkot, köydet ja siimat. Näiden tuotteiden runsaus meriympäristössä on oletettavaa, sillä kyseisiä muoveja käytetään runsaasti lyhyen elinkaaren tuotteissa. Tuotteet on siis valmistettu muovimateriaaleista, jotka muodostavat suurimman osan maailmanlaajuisesta muovituotannosta.

Vaikka muovit ovat kestäviä materiaaleja, ajan kuluessa muovit muokkautuvat meriympäristön vaikutuksesta. Merimuovit voivat esimerkiksi kulua, rikkoutua, likaantua ja haa-listua. Kun merimuoveja kerätään meristä, niiden jatkokäsittelymenetelmä on riippuvainen meren aiheuttamista muutoksista. Tässä työssä keskityttiin käyttötavaroihin, joiden valmistuksessa on käytetty merimuovia. Merimuovia käytetään materiaalina joko kokonaan tuotteen valmistuksessa tai vain osittain. Työssä esiteltyjen tuotteiden perusteella merimuoveja voidaan hyödyntää erilaisissa tekstiiliteollisuuden tuotteissa ja asusteissa, kuten uimapuvuissa, paidoissa, kengissä, aurinkolaseissa ja rannekelloissa. Lisäksi merimuoveista on tehty kokeiluja pakkaussovelluksissa, kuten shampoopulloissa ja juomapulloissa.

Vaikka merimuovien käytöstä on erilaisia esimerkkejä, on niiden hyödyntäminen vielä alkutekijöissä. Meriympäristössä on edelleen suuria määriä muovijätettä, ja muovia kulkeutuu ja kerääntyy sinne jatkuvasti lisää. Jotta merimuovien aiheuttamasta ympäristöongelmasta voidaan selvitä, tulee merimuovien kierrätystä, keräämistä ja jatkokäsittelyä kehittää entisestään. Myös muovien kulkeutuminen meriin pitäisi saada pysähtymään. Tietoisuus muovijätteiden koostumuksista ja lähteistä voi olla ratkaisu tähän ongelmaan, jolloin muovien kulkeutuminen meriin voitaisiin estää. Merimuovien käytön osalta kehitystyötä vaaditaan vielä lisää, jotta niitä voidaan jatkossa hyödyntää vielä laajemmin.

## LÄHTEET

- [1] Komission tiedonanto Euroopan parlamentille, neuvostolle, Euroopan talous- ja sosiaalikomitealle ja alueiden komitealle, Euroopan komission, 2018. Saatavissa: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/TXT/HTML/?uri=CELEX:52018DC0028&from=EN>
- [2] R. E. Hester, R. M. Harrison, *Plastics and the Environment*, Royal Society of Chemistry, Lontoo, 2019.
- [3] Muovijäte ja kierrätys EU:ssa, Euroopan parlamentti, 2018. Verkkosivu, saatavissa (viitattu 16.4.2022): <https://www.europarl.europa.eu/news/fi/headlines/priorities/muovijatteen-vahentaminen/20181212STO21610/muovijate-ja-kierratys-eu-ssa>
- [4] R. J. Crawford, P. J. Martin, *Plastics Engineering*, 4th ed, Elsevier, Saint Louis, 2020.
- [5] M. Luhtala, Mistä muovit valmistetaan ja miten biomuovit siihen liittyvät? *Plasthouse*, 2018. Verkkosivu, saatavissa (viitattu 2.3.2022): <https://plasthouse.fi/mista-muovit-valmistetaan-ja-miten-biomuovit-siihen-liittyvat/>
- [6] O. Saarela, I. Airasmaa, J. Kokko, M. Skrifvars, V. Komppa, *Raaka-aineet*, Kevra Oy, 2019. Verkkosivu, saatavissa (viitattu 20.2.2022): <https://www.lujite-muovi.fi/terminologiajamerkinnaat/2-2-raaka-aineet/>
- [7] T. E. Long, Toward Recyclable Thermosets, *Science*, Vol. 344, No. 6185, 2014, pp. 706–707.
- [8] M.-L. Wang, R.-Y. Chang, C.-H. Hsu, *Molding Simulation – Theory and Practice*, Hanser Publishers, München, 2018.
- [9] J. Kohvakka, L. Lehtinen, *Hyvä Paha Muovi – Vähennä Viisaasti*, Minerva Kustannus Oy, Helsinki, 2019.
- [10] E. Baur, T. A. Osswald, N. Rudolph, *Plastic Handbook – The Resource for Plastics Engineers*, 5th ed, Hanser Publishers, München, 2019.
- [11] Muovit ja kestävä kehitys, Muoviteollisuus ry. Verkkosivu, saatavissa (viitattu 2.3.2022): [https://www.plastics.fi/fin/muovitietao/muovit\\_ja\\_ymparisto/kestava\\_kehitys/](https://www.plastics.fi/fin/muovitietao/muovit_ja_ymparisto/kestava_kehitys/)
- [12] Muoviopas, Ekokumppanit. Saatavissa (viitattu 6.3.2022): <https://oppaat.ekokumppanit.fi/muoviopas/>
- [13] A. L. Andrady, M. A. Neal, Applications and societal benefits of plastics, *Philosophical transactions, Biological sciences*, Vol. 364, No. 1526, 2009, pp. 1977–1984.
- [14] C.-Q. Wang, H. Wang, H.-G. Fu, Y.-N. Liu, Flotation separation of waste plastics for recycling—A review, *Waste management*, Vol. 41, 2015, pp. 28–38.

- [15] P. Li, X. Wang, M. Su, X. Zou, L. Duan, H. Zhang, Characteristics of Plastic Pollution in the Environment: A Review, *Bulletin of environmental contamination and toxicology*, Vol. 107, No. 4, 2020, pp. 577–584.
- [16] M. Doble, R. Venkatesan, N. V. R. Kumar, *Polymers in Marine Environment*, Smithers Rapra, Shrewsbury, 2014.
- [17] Merten muoviroska, WWF Suomi. Verkkosivu, saatavissa (viitattu 18.3.2022): <https://wwf.fi/uhat/merten-muoviroska/>
- [18] G. G. N. Thushari, J. D. M. Senevirathna, Plastic pollution in the marine environment, *Heliyon*, Vol. 6, No. 8, 2020, pp. e04709.
- [19] R. C. Thompson, Y. Olsen, R. P. Mitchell, A. Davis, S. J. Rowland, A. W. G. John, D. McGonigle, Lost at Sea: Where Is All the Plastic, *Science*, Vol. 304, No. 5672, 2004, p. 838.
- [20] J. R. Jambeck, R. Geyer, C. Wilcox, T. R. Siegler, M. Perryman, A. Andrady, R. Narayan, K. Lavender Law, Plastics waste inputs from land into the ocean, *Science (American Association for the Advancement of Science)*, Vol. 347, No. 6223, 2015, pp. 768–771.
- [21] W. C. Li, H. F. Tse, L. Fok, Plastic Waste in the Marine Environment: A Review of Sources, Occurrence and Effects, *Science of the total environment*, Vol. 566–567, 2016, pp. 333–349.
- [22] B. Worm, H. K. Lotze, I. Jubinville, C. Wilcox, J. Jambeck, Plastics as a Persistent Marine Pollutant, *Annual review of environment and resources*, Vol. 42, No. 1, 2017, pp. 1–26.
- [23] A. L. Andrady, Microplastics in the marine environment, *Marine Pollution Bulletin*, Vol. 62, No. 8, 2011, pp. 1596–1605.
- [24] G. Erni-Cassola, V. Zadjelovic, M. I. Gibson, J. A. Christie-Oleza, Distribution of plastic polymer types in the marine environment; A meta-analysis, *Journal of Hazardous Materials*, Vol. 369, 2019, pp. 691–698.
- [25] J. L. Lee, J. Lee, S. Hong, S.-H. Hong, W.J. Shim, S. Eo, Characteristics of meso-sized plastic marine debris on 20 beaches in Korea, *Marine Pollution Bulletin*, Vol. 123, No. 1–2, 2017, pp. 92–96.
- [26] B. Graca, K. Szewc, D. Zakrzewska, A. Dolega, M. Szczerbowska-Boruchowska, Sources and fate of microplastics in marine and beach sediments of the Southern Baltic Sea—a preliminary study, *Environmental Science and Pollution Research*, Vol. 24, No. 6, 2017, pp. 7650–7661.
- [27] A. L. Lusher, V. Tirelli, I. O'Connor, R. Officer, Microplastics in Arctic polar waters: the first reported values of particles in surface and sub-surface samples, *Scientific Reports*, Vol. 5, No. 1, 2015, p. 14947.
- [28] M. Roscam Abbing, *Plastic soup: an atlas of ocean pollution*, Island Press, Washington, 2019.

- [29] S. A. Naidu, L. Mawii, V. R. Rao, G. Anitha, P. Mishra, B. E. Narayanaswamy, V. A. Kumar, M. V. R. Murthy, G. V. M. Gupta, Characterization of plastic debris from surface waters of the Arabian Sea–Indian Ocean, *Marine Pollution Bulletin*, Vol. 169, 2021, p. 112468.
- [30] J. B. Koongolla, A. L. Andrady, P. B. T. P. Kumara, C. S. Gangabadage, Evidence of microplastics pollution in coastal beaches and waters in southern Sri Lanka, *Marine Pollution Bulletin*, Vol. 137, 2018, pp. 277–284.
- [31] D. Dwiyoitno, F. Andayani, U. Anissah, H. I. Januar, S. Wibowo, Concentration and Characteristic of Floating Plastic Debris in Jakarta Bay: a Preliminary Study, *Squalen Bulletin of Marine and Fisheries Postharvest and Biotechnology*, Vol. 15, No. 3, 2020, pp. 109–117.
- [32] L. Lebreton, B. Slat, F. Ferrari, B. Sainte-Rose, J. Aitken, R. Marthouse, S. Hajbane, S. Cunsolo, A. Schwarz, A. Levivier, K. Noble, P. Debeljak, H. Maral, R. Schoeneich-Argent, R. Brambini, J. Reisser, Evidence that the Great Pacific Garbage Patch is rapidly accumulating plastic, *Scientific reports*, Vol. 8, No. 1, 2018, pp. 1–15.
- [33] P. Goswami, N. V. Vinithkumar, G. Dharani, Microplastics particles in seafloor sediments along the Arabian Sea and the Andaman Sea continental shelves: First insight on the occurrence, identification, and characterization, *Marine Pollution Bulletin*, Vol. 167, 2021, p. 112311.
- [34] X. Peng, M. Chen, S. Chen, S. Dasgupta, H. Xu, K. Ta, M. Du, J. Li, Z. Guo, S. Bai, Microplastics contaminate the deepest part of the world's ocean, *Geochemical perspectives letters*, Vol. 9, 2018, pp. 1–5.
- [35] D. Zhang, X. Liu, W. Huang, J. Li, C. Wang, D. Zhang, C. Zhang, Microplastic pollution in deep-sea sediments and organisms of the Western Pacific Ocean, *Environmental Pollution*, Vol. 259, 2020, p. 113948.
- [36] M. Angiolillo, O. G rigny, T. Valente, M. -C. Fabri, E. Tambute, E. Rouanet, F. Claro, L. Tunesi, A. Vissio, B. Daniel, F. Galgani, Distribution of seafloor litter and its interaction with benthic organisms in deep waters of the Ligurian Sea (Northwestern Mediterranean), *Science of The Total Environment*, Vol. 788, 2021, p. 147745.
- [37] S. Zhao, E. R. Zettler, R. P. Bos, P. Lin, L. A. Amaral-Zettler, T. J. Mincer, Large quantities of small microplastics permeate the surface ocean to abyssal depths in the South Atlantic Gyre, *Global change biology*, Vol. 28, No. 9, 2022, pp. 2991–3006.
- [38] Q. Zhou, H. Zhang, C. Fu, Y. Zhou, Z. Dai, Y. Li, C. Tu, Y. Luo, The distribution and morphology of microplastics in coastal soils adjacent to the Bohai Sea and the Yellow Sea, *Geoderma*, Vol. 322, 2018, pp. 201–208.
- [39] V. R. K. R. Galarpe, C. M. B. Jaraula, M. K. O. Palar, The nexus of microplastic and microplastic research and plastic regulation policies in the Philippines marine coastal environments, *Marine Pollution Bulletin*, Vol. 167, 2021, p. 112343.
- [40] S. Hong, J. Lee, D. Kang, H.-W. Choi, S.-H. Ko, Quantities, composition, and sources of beach debris in Korea from the results of nationwide monitoring, *Marine Pollution Bulletin*, Vol. 84, No. 1–2, 2014, pp. 27–34.

- [41] V. Hidalgo-Ruz, G. Luna-Jorquera, M. Eriksen, H. Frick, D. Miranda-Urbina, M. Portflitt-Toro, M. M. Rivadeneira, C. J. R. Robertson, R. P. Scofield, J. Ser-ratosa, C. G. Suazo, M. Thiel, Factors (type, colour, density, and shape) deter-mining the removal of marine plastic debris by seabirds from the South Pacific Ocean: Is there a pattern?, *Aquatic conservation*, Vol. 31, No. 2, 2021, pp. 389–407.
- [42] J. Gerritse, H. A. Leslie, C. A. de Tender, L. I. Devriese, A. D. Vethaak, Frag-mentation of plastic objects in a laboratory seawater microcosm, *Scientific Re-ports*, Vol. 10, No. 1, 2020, pp. 1–16.
- [43] M. Masry, S. Rossignol, J.-L. Gardette, S. Therias, P.-O. Bussi ere, P. Wong-Wah-Chung, Characteristics, fate, and impact of marine plastic debris exposed to sunlight: A review, *Marine Pollution Bulletin*, Vol. 171, 2021, p. 112701.
- [44] C. Wayman, H. Niemann, The fate of plastic in the ocean environment – a mini-review, *Environmental science – processes and impacts*, No. 2, 2021, pp. 198–212.
- [45] T. Bond, V. Ferrandiz-Mas, M. Felipe-Sotelo, E. van Sebille, The occurrence and degradation of aquatic plastic litter based on polymer physicochemical properties: A review, *Critical reviews in environmental science and technology*, Vol. 48, No. 7–9, 2018, pp. 685–722.
- [46] M. D. Williams-Wynn, P. Naidoo, A review of the treatment options for marine plastic waste in South Africa. *Marine Pollution Bulletin*, Vol. 161, Part. B, 2020, p. 111785.
- [47] F. Schneider, S. Parsons, S. Clift, A. Stolte, M. C. McManus, Collected marine litter – A growing waste challenge, *Marine Pollution Bulletin*, Vol. 128, 2018, pp. 162–174.
- [48] F. Ronkay, B. Molnar, D. Gere, T. Czigany, Plastic waste from marine environ-ment: Demonstration of possible routes for recycling by different manufacturing technologies, *Waste Management*, Vol. 119, 2021, pp. 101–110.
- [49] M. E. Iniguez, J. A. Conesa, A. Fullana, Marine debris occurrence and treat-ment: A review, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 64, 2016, pp. 394–402.
- [50] Sustainability, Halla Halla, 2021. Verkkosivu, saatavissa (viitattu 29.3.2022): <https://www.hallaxhalla.com/sustainability/>
- [51] The Process, Econyl. Verkkosivu, saatavissa (viitattu 29.3.2022): <https://www.econyl.com/the-process/>
- [52] Gant Becons Project, Seaqual Initiative, 2018. Verkkosivu, saatavissa (viitattu 30.3.2022): <https://www.seaqual.org/projects/ocean-prep-by-gant/>
- [53] Seaqual Yarn, Seaqual Initiative. Verkkosivu, saatavissa (viitattu 30.3.2022): <https://www.seaqual.org/seaqual-yarn/>
- [54] How we turn plastic bottles into shoes: our partnership with Parley for the Oceans, Adidas, 2021. Verkkosivu, saatavissa (viitattu 5.4.2022): <https://www.adidas.fi/blog/639412-how-we-turn-plastic-bottles-into-shoes-our-partnership-with-parley-for-the-oceans>

- [55] Ocean Plastic, Parley for the Ocean. Verkkosivu, saatavissa (viitattu 5.4.2022): <https://www.parley.tv/updates/parley-ocean-plastic>
  
- [56] Turning trash into treasure: the Ocean Cleanup sunglasses, The Ocean Cleanup, 2020. Verkkosivu, saatavissa (viitattu 5.4.2022): <https://theocean-cleanup.com/updates/turning-trash-into-treasure-the-ocean-cleanup-sunglasses/>
  
- [57] Time for Oceans, Triwa. Verkkosivu, saatavissa (viitattu 5.4.2022): <https://www.triwa.com/page/time-for-oceans-2>
  
- [58] The world's first recyclable shampoo bottle made from beach plastic, Head & Shoulders. Verkkosivu, saatavissa (viitattu 5.4.2022): <https://headandshoulders.com/en-us/whats-new/shampoo-bottles-made-from-recycled-plastic>
  
- [59] Innovatiivinen merimuovipullo, CocaCola. Verkkosivu, saatavissa (viitattu 29.3.2022): <https://www.coca-cola.fi/vastuullisuus/juomapakkaukset/muovi/coca-cola-pullo-jossa-kaeytetty-merimuovia-materiaalina>