Tutkimusraportti

30.5.2025

Pidä saaristo siistinä ry

Tutkimusraportti, kalaverkot

Interreg

Co-funded by the European Union

Central Baltic Programme

Re:Fish

1 Johdanto

Keväällä 2025 LAB-ammattikorkeakoulun ja Pidä Saaristo Siistinä ry:n yhteistyönä toteutetussa tutkimuksessa selvitettiin käytöstä poistettujen kalastusverkkojen uusiokäyttömahdollisuuksia.

Tutkimus oli osa kansainvälistä Re:Fish-hanketta, jonka tavoitteena on vähentää muovisaastetta Itämerellä sekä edistää kestävämpää materiaalikiertoa merellisessä ympäristössä.

Vähennä, vältä, kierrätä ja korvaa on Suomen ympäristöministeriön kasaaman työryhmän laatiman muovitiekartan (1) mukaan keskeisimmät keinot kohti parempaa muovin kiertotaloutta. Tässä tutkimuksessa tehtävät toimenpiteet ovat olleet keskeisiä muovitiekartan toimenpiteitä, ja esimerkiksi muovitiekartassa yhtenä tavoitteena on vuonna 2030 merkittävästi vähemmän muoviroskaa meriympäristössä ja useilla roskaantumisen kannalta keskeisillä alueilla vuoteen 2022 verrattuna. (1)

Tutkimuksen tavoitteena oli selvittää, miten käytöstä poistettuja kalastusverkkoja voidaan hyödyntää turvallisesti ja tehokkaasti uusien tuotteiden raaka-aineena kiertotalouden periaatteiden mukaisesti.

2 Materiaalit

Tutkimuksessa analysoitiin näyte Suomen saaristosta kerätyistä käytöstä poistetuista kalastusverkoista. Näytteet sisälsivät verkko-osia sekä niihin kuuluvia ala- ja yläpauloja. Saapuneet verkot purettiin manuaalisesti, jolloin paulat eroteltiin varsinaisesta verkkomateriaalista leikkaamalla. (Kuva 1. Verkot purettuna pakkauksesta ja eroteltuna) Erotellut osat prosessoitiin analyysia varten useilla eri valmistus- ja tutkimusmenetelmillä.

Ylä- ja alapauloista valmistettiin levymäisiä koekappaleita puristamalla materiaalia tarkkuuslevypuristimessa. Tätä varten materiaalit leikattiin sopivaan kokoon ja aseteltiin kerroksittain puristusmuottiin niin, että rakenne tiivistyi tasaisesti puristusvaiheessa. Levypuristus toteutettiin hallituissa lämpötila- ja painetasoissa, joiden avulla materiaalin termoplastiset ominaisuudet mahdollistivat sulamisen ja mekaanisen yhdistymisen ilman lisäaineita. Prosessin aikana materiaali altistui tarkkaan säädellylle lämpöprofiilille ja

puristusajalle, minkä jälkeen kappaleet jäähdytettiin ja irrotettiin muotista jatkokäsittelyä varten. Näin tuotetuista levyistä valmistettiin viimeisteltyjä näytteitä visuaalista ja rakenteellista arviointia varten.

Verkkomateriaalista valmistettiin lisäksi vetokoesauvoja ruiskupuristusmenetelmällä, joka soveltuu tarkasti muotoiltujen standardikoekappaleiden valmistukseen mekaanisia testejä varten. Ennen ruiskutusta verkko materiaali esikuivattiin lämpökaapissa, jotta mahdollinen kosteus ei vaikuttaisi muovin sulavuuteen tai aiheuttaisi vaurioita puristusvaiheessa. Esikuivattu verkkomateriaali syötettiin ruiskupuristuskoneen syöttöön, josta se eteni lämmitettyyn ruuvipuristimeen. Sulanut muovi ruiskutettiin standardoituun koekappalemuottiin korkealla paineella. Kappaleet jäähdytettiin ja irrotettiin muotista mittatarkkoina vetokoesauvoina, joita käytettiin myöhemmissä mekaanisissa kimmokertoimen, murtolujuuden ja venymäominaisuuksien määrityksissä.

Materiaalien kemiallista koostumusta selvitettiin FTIR-spektroskopian (Fourier Transform Infrared Spectroscopy) avulla, joka on yleisesti käytetty analyysimenetelmä polymeerien rakenteen tunnistamiseen. Menetelmä perustuu molekyylien infrapunasäteilyn absorptioon. Tuloksena syntyy spektri, joka vastaa tiettyä materiaalikoostumusta. Näytteet ylä- ja alapauloista sekä itse verkkomateriaalista analysoitiin FTIR-laitteistolla ja spektritulokset vertailtiin tunnettuja referenssimateriaaleja vastaan muovityypin tunnistamiseksi. Menetelmä soveltuu erityisesti polymeerien kvalitatiiviseen tunnistukseen, mutta ei yksiselitteisesti määritä tarkkaa polymeerilaatua ilman lisäanalytiikkaa.

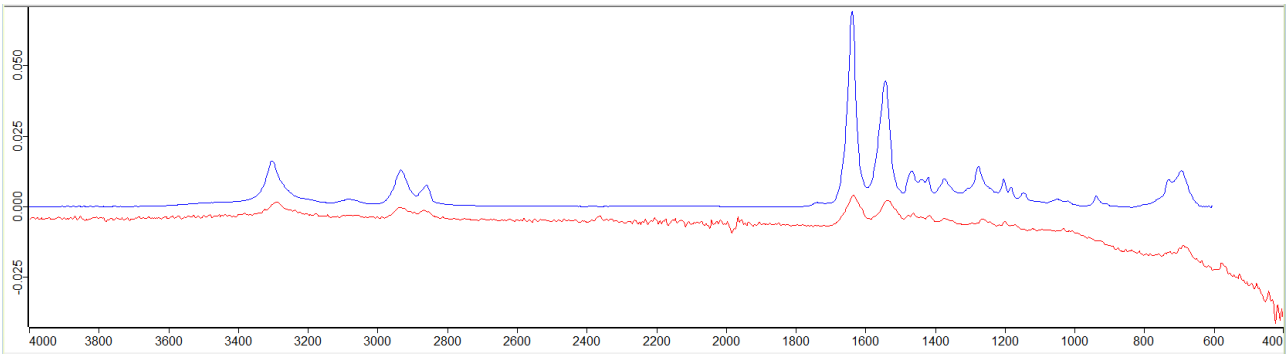
Tutkittujen muovimateriaalien turvallisuutta arvioitiin lisäksi SVHC-analyysillä (Substances of Very High Concern), jonka tavoitteena on tunnistaa EU:n REACH-asetuksessa määriteltyjä erityistä huolta aiheuttavia aineita. SVHC-aineisiin kuuluvat esimerkiksi syöpävaaralliset, perimää vaurioittavat, lisääntymiselle haitalliset sekä ympäristössä pysyvät, biokertyvät ja myrkylliset kemikaalit. Analyysi toteutettiin akkreditoidussa laboratoriossa, jossa tutkittiin materiaalinäytteiden kemialliset pitoisuudet mahdollisten haitta-aineiden osalta. SVHC-analyysi on oleellinen vaihe kierrätysmateriaalien jatkokäyttökelpoisuuden ja ihmisten sekä ympäristön turvallisuuden arvioinnissa.

Kuva 1. Verkot purettuna pakkauksesta ja eroteltuna

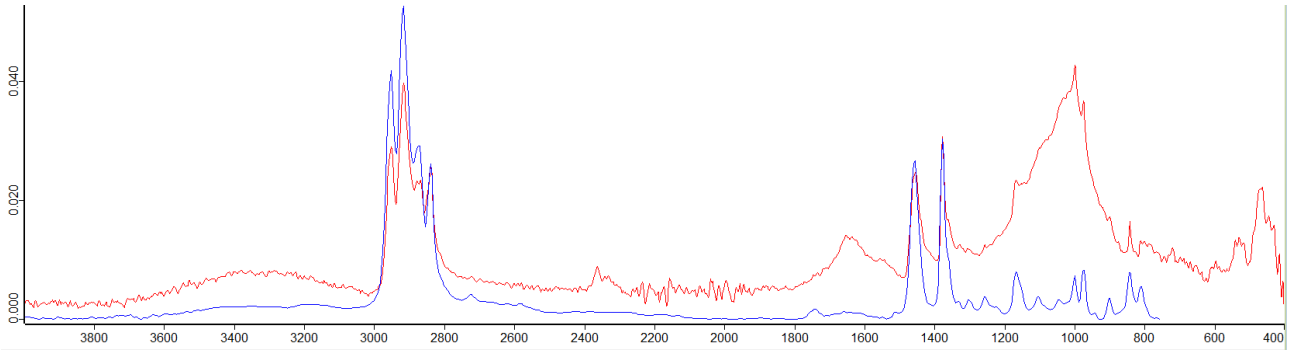
3 Tulokset

FTIR-mittaus

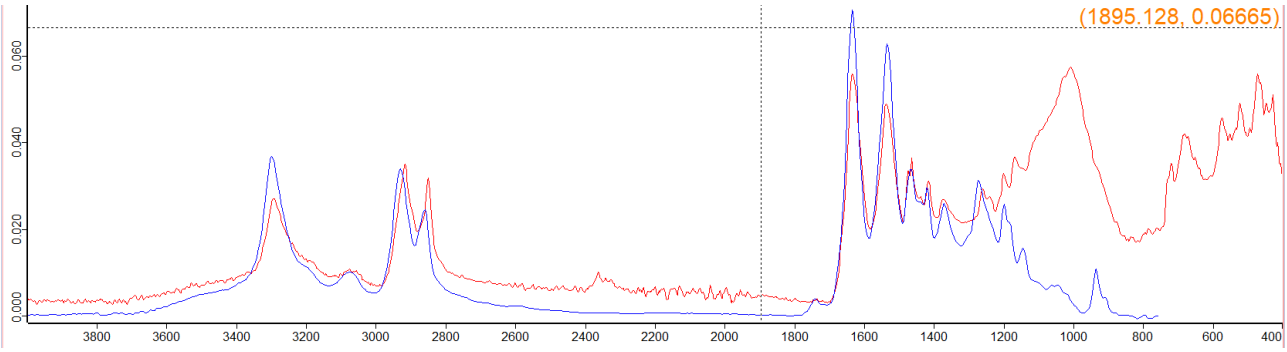
Verkon ja paulojen materiaalia tutkittiin FTIR (Fourier transform infrared spectroscopy) tutkimuksella. FTIR- tutkimuksen tarkoituksena on analysoida mitä materiaalia tutkittava aine on. Näytteet tutkittiin sekä verkkojen ylä- ja alapauloista ja verkosta itsestään. Tutkimuksen tuloksena voitiin todeta, että verkon ja alapaulan valmistusmateriaali on polyamidia, ja yläpaulan materiaali on polypropeenia (PP). Alla materiaalien tunnistuskuvat eri mitatuista materiaaleista



Kuva 2. Verkon materiaalin tunnistus



Kuva 3. Yläpaulan materiaalin tunnistus



Kuva 4. Alapaulan materiaalin tunnistus

Materiaalien valmistuskokeet

Kalaverkoista saatujen materiaalien uusiokäytettävyyttä selvitettiin kahdella eri menetelmällä, eli itse verkosta erotettua materiaalia ruiskupuristettiin vetokoekappaleita (kuva 5) standardin SFS-EN ISO 527-1:2019 mukaisesti. Vetokoesauvasta määritettiin materiaalin mekaanisia ominaisuuksia standardin mukaisesti ja vetokoekappaleiden onnistunut valmistaminen osoitti myös sen, että käytöstä poistetut verkot soveltuvat ruiskupuristuskappaleiden raaka-aineeksi. Ruiskupuristus on yleinen muovinvalmistusmenetelmä, jossa esikuivattu muoviraaka-aine kuumennetaan ja puristetaan muottiin. Ruiskupuristamalla voidaan valmistaa monenlaisia muovituotteita, ja se on yksi käytetyimmistä muovin valmistusmenetelmistä.

Kuva 5. Ruiskupuristusmenetelmällä valmistettu vetokoesauva

Ylä- ja alapauloista valmistettiin levymäistä materiaalia tarkkuuslevypuristimessa. Ensin paulat pätkittiin noin 30 cm:n mittaisiksi pätkiksi puristuskokeita varten. Sen jälkeen pauloja ladottiin kaksi kerrosta, toinen pitkittäin ja toinen poikittain. Kovin tarkka ladonta oli haastavaa, koska paulat ovat käyriä. Seuraavaksi aihiot puristettiin tarkkuuslevypuristimessa. Lämpötilana käytettiin 135 °C:tta, paineportaina paineita 2 MPa, 9 MPa ja 5 MPa. Puristuksen kokonaisaika oli 10 minuuttia. Tarkoituksena oli saada muovimateriaaleja sulamaan, joka sitoisi materiaalit yhteen ja näin vältettäisiin täysin eri lisäaineiden, kuten liiman, käyttö levyn valmistuksessa. Kuvassa 6 on esitetty verkon paulat ennen ja jälkeen kuumapuristuksen.

Kuva 6. Vasemmalla puristamattomat alapaulat, ja oikealla puristettu alapaulalevy

Puristuksen jälkeen levyjen reunat siistittiin leikkaamalla ne suoriksi. Levyjen pinta on hieman epätasainen ja paksuus levyillä vaihtelee 5 mm:n ja 8 mm:n välillä. Alla olevassa kuvassa 7 näkyvät siistityt levyt.

Kuva 7. Vasemmalla alapauloista puristettu levy ja oikealla yläpauloista puristettu levy

Huomiona levyjen valmistuksesta voidaan todeta se, että alapauloissa oli enemmän sulavaa materiaalia ja näin ollen levystä tuli jäykempi ja parempi. Yläpauloista puristettu levykin pysyi hyvin kasassa ilman lisättyä liimaa, mutta vaikuttaa aistinvaraisesti heikommalta levyltä kuin alapaulamateriaalista kuumapuristamalla valmistettu levy.

Tekniset ominaisuudet

Itse verkosta valmistetuista vetokoesauvoista tutkittiin materiaalin mekaanisia ominaisuuksia, erityisesti vetolujuutta ja kimmokerrointa (kts. liite 4). Alla olevassa taulukossa on vetokoesauvoista mitatut keskiarvo lujuusarvot.

Taulukko 1. Mekaaniset ominaisuudet

Materiaali	Max Force (N)	Tensile Stress (MPa)	Max Disp (mm)	Kimmokerroin (MPa)
Kalaverkko, k.a.	17823	46	10	2369

Verrattuna neitseellisestä raaka-aineesta valmistettuihin materiaaleihin esimerkiksi eräs kaupallinen Polyamidi 6 (2) on vetolujuudeltaan (Tensile Stress) 79 MPa, eli noin kaksinkertainen kalaverkoista valmistettuun, ja kimmokerroin 3300, eli noin 1000 MPa enemmän. Toinen kaupallinen laatu oli vetolujuudeltaan 80 MPa ja kimmokertoimeltaan 3000 (3), eli hyvin ensimmäisen kaltainen.

Vastaavasti polyamidi12:n vetolujuus on enää 53 MPa ja kimmokerroin 1800MPa, joten kalaverkon kimmomoduuli on jopa kaupallista polyamidi12:a suurempi (4). Kalaverkon materiaali on siis alustavan testauksen perusteella mekaanisesti verrattavissa kaupalliseen polyamidiin.

SVHC- analyysi

Kalastusverkoista otetut materiaalinäytteet analysoitiin erityistä huolta aiheuttavien aineiden (SVHC) varalta. Näyte otettiin Pidä Saaristo Siistinä ry:n toimittamasta kalaverkkoerästä, tarkemmin sen verkko-osasta. Analyysin suoritti Measurlabs, LAB-ammattikorkeakoulun toimeksiannosta. (Liite 3.) Näyte toimitettiin ulkopuoliseen, ISO/IEC 17025 -akkreditoituun laboratorioon 2.5.2025, ja analyysi valmistui 23.5.2025.

Menetelmällisesti analyysi kattoi laajan valikoiman orgaanisia ja epäorgaanisia yhdisteitä, haihtuvat ja ei-haihtuvat orgaaniset aineet määritettiin (GC) kaasukromatografian ja (LC) nestekromatografian avulla ja epäorgaaniset aineet analysoitiin ICP-OES-menetelmällä.

Mittaukset osoittivat, ettei materiaaleista löytynyt EU:n REACH-asetuksessa määritettyjä haitallisia aineita yli raja-arvojen. Tämän perusteella materiaali soveltuu jatkokäyttöön ilman merkittäviä kemiallisia riskejä käyttäjälle tai ympäristölle.

Analyysissä etsittiin yhteensä 247 erityistä huolta aiheuttavaa (SVHC, Substances of Very High Concern) ainetta, joiden pitoisuuksien raja-arvona käytettiin 0,01 %. Tulosten perusteella kalaverkon SVHC-pitoisuus jäi alle 0,1 painoprosentin, mikä tarkoittaa, että materiaali täyttää REACH-asetuksen vaatimukset eikä sisällä ilmoitusvelvollisuuden alaisia aineita. Tämä osoittaa, että materiaali on EU:n kemikaalilainsäädännön näkökulmasta turvallinen käyttää ja soveltuu siten uusiokäyttöön.

Yksityiskohtaiset tulokset ja analyysimenetelmät on esitetty liitteessä 3 (SVHC-analyysi).

Taulukko 2. Kooste kaikista kokeista

Tulosalue	**Kuvaus**
FTIR-mittaus	FTIR-analyysillä tunnistettiin verkon ja paulojen materiaalit. Verkon ja alapaulan materiaaliksi osoittautui polyamidi, yläpaulan polypropeeni.
Ruiskupuristuskokeet	Itse verkosta valmistettiin vetokoesauvoja ruiskupuristusmenetelmällä. Tarkoituksena oli selvittää uusiomateriaalin mekaanisia ominaisuuksia.
Levypuristuskokeet	Ylä- ja alapauloista puristettiin levyjä tarkkuuslevypuristimessa ilman lisäliimaa. Alapauloista saatiin rakenteeltaan yhtenäisempiä levyjä.
Vetokokeet	Vetokoesauvojen avulla mitattiin uusiomateriaalin vetolujuus ja kimmokerroin. Tuloksia verrattiin kaupallisiin polyamideihin.
SVHC-analyysi	Verkkonäytteistä ei löytynyt EU:n REACH-asetuksen mukaisia haitta-aineita yli raja-arvojen. Materiaali soveltuu jatkokäyttöön kemiallisesti turvallisesti.

4 Tulosten analysointi

FTIR-mittauksen perusteella yläpaulan materiaaliksi saatiin polypropeeni ja verkon sekä alapaulan materiaaliksi polyamidi. Kuten kuvista 2 ja 4 voidaan huomata, kuvat eivät ole identtiset, joten tarkempaa määritystä ei ole pystynyt tekemään, että mitä polyamidilaatua materiaalit ovat, eli verkko ja alapaula eivät FTIR-mittauksen mukaan ole välttämättä samaa polyamidia. Polyamideja on siis olemassa useaa eri laatua, ja näiden laatujen välillä on erilaisia ominaisuuksia (3).

Levypuristuskokeen tuloksena havaittiin, että alapauloista valmistetut levyt olivat jämerämpiä ja kestävämpiä kuin yläpauloista tehdyt. Levyjen paksuus vaihteli 5–8 mm välillä ja pintojen epätasaisuus oli hyväksyttävällä tasolla kokeellisessa tuotteessa. Tämä antaa viitteitä siitä, että yksinkertaisilla mekaanisilla ja termisillä prosesseilla voidaan tuottaa uusia materiaaleja ilman lisäaineita.

Verkon muovaaminen vetokoesauvoiksi onnistui erinäisen yritysten jälkeen, kunhan materiaali esikuivattiin, jolloin materiaalin sitoutunut vesi ei päässyt enää haittaamaa prosessointia. Vetokoesauvoista tehtyjen mekaanisten mittausten vertailu muihin polyamideihin osoitti, että joiltain osin kalaverkon mekaaniset ominaisuudet olivat jopa paremmat kuin neitseellisestä materiaalista valmistetun kaupallisen tuotteen. Ominaisuuksien vertailun perusteella kalaverkon mekaaniset ominaisuudet vastasivat Polyamidi12:n ominaisuuksia. Koska ei ole tarkkaa tietoa mitä polyamidia verkon materiaali on, ei voi tehdä vertailua kuinka paljon materiaalin ominaisuudet ovat muuttuneet siitä, kun materiaali alun perin on valmistettu, mutta voidaan kuitenkin todeta, että materiaalilla on lujuusominaisuuksia, jotka vastaavat neitseellistä materiaalia.

SVHC-analyysi

SVHC-analyysin perusteella tuotteeseen ei ole kertynyt haitallisia aineita. Näin ollen uusiomateriaali ei ole vaarallinen ja siitä valmistettujen tuotteiden käyttö on turvallista. Uusiomateriaali täyttää REACH-asetuksen vaatimukset eikä sisällä ilmoitusvelvollisuuden alaisia aineita. Tämä osoittaa, että materiaali on EU:n kemikaalilainsäädännön näkökulmasta turvallinen käyttää ja soveltuu siten uusiokäyttöön.

Kiertotalouden näkökulma

Tutkimus tukee keskeisiä kiertotalouden periaatteita seuraavasti:

- Arvon säilyttäminen

Kalastusverkkojen materiaalit voitiin ottaa tehokkaasti talteen ja jalostaa edelleen käyttöön, jolloin niiden arvo säilyy kierrossa. Tämä vähentää uusien, neitseellisten raaka-aineiden käyttöä ja edistää luonnonvarojen säästämistä.

- Kiertojen sulkeminen ja pidentäminen

Materiaalien uudelleenkäyttö ja kierrätys edustavat kiertotalouden ydintoimintaa. Kalastusverkkojen muuttaminen uusiksi levyiksi on konkreettinen esimerkki kierron sulkemisesta ja tuotteen elinkaaren jatkamisesta.

- Kokeilukulttuuri ja innovaatio

Tutkimuksen aikana kehitettiin kokeellinen valmistusmenetelmä, joka mahdollistaa levyjen tuotannon ilman lisäaineita. Tällaiset innovaatiot voivat toimia pohjana uusille kaupallisille tuotteille ja teollisille sovelluksille.

Tulosten perusteella voidaan todeta, että kalaverkkojen materiaali on mekaanisesti ja kemiallisesti uudelleenkäytettävää ja kokeelliset valmistusmenetelmät tukevat kiertotalouden periaatteita lupaavalla tavalla.

5 Johtopäätökset ja jatkokehityskohteet

Tutkimuksessa analysoitiin näyte Suomen saaristosta kerättyjä kalastusverkkoja. Verkot purettiin laboratoriossa komponentteihinsa, ja niiden muoviosien uusiokäyttömahdollisuuksia testattiin onnistuneesti. Tulokset osoittivat, että verkkojen ylä- ja alapaulat voidaan muuntaa kiinteiksi levyiksi, kun taas verkko-osa jalostettiin uusiokäyttöön soveltuvaksi raaka-aineeksi. Lisäksi SVHC-analyysi varmisti materiaalien turvallisuuden ja soveltuvuuden jatkokäyttöön.

Tehty tutkimus osoitti, että käytöstä poistetuilla kalaverkoilla on potentiaalia toimia jonkin uuden tuotteen raaka-aineena. Jätteeksi mielletyt tuotteet voivat olla arvokkaita raaka-

aineita, kunhan ne tutkitaan ja käsitellään asianmukaisesti. Tutkimus edistää kiertotaloutta konkreettisin keinoin ja tarjoaa käytännön ratkaisuja ympäristöongelmiin, samalla se luo pohjaa uusille liiketoimintamalleille ja kestävälle innovoinnille tutkittujen resurssien hyödyntämisessä.

Kuten jo aikaisemminkin todettiin, materiaalista ei löytynyt mitään haitallisia ainoita, jotka voisivat estää sen uusiokäytön. Materiaalin prosessointi onnistui, joten konkreettisesti uusien tuotteiden valmistaminen voisi olla täysin mahdollista. Verkkojen hyötykäyttö on myös yksi merkittävä ympäristökuorman vähentäjä, merten roskaantumisen vähentäminen, joka on nähty muovitiekartta 2.0:ssakin merkittäväksi toimenpiteeksi.

Lopuksi on todettava, että tämä tutkimus edusti vasta aihepiirin alkuvaiheen tarkastelua. Tulokset olivat lupaavia ja antavat suuntaa jatkokehitykselle, mutta aiheen ympärillä on yhä runsaasti tutkimattomia mahdollisuuksia.

Tulevissa selvityksissä voitaisiin keskittyä esimerkiksi uusiotuotannon skaalaamiseen, materiaalien seostamiseen, uusiomateriaalien testaukseen erilaisissa käyttökohteissa sekä kaupallistamisen edellytysten arviointiin. Näin voidaan entistä tehokkaammin edistää kiertotalouden periaatteiden jalkauttamista osaksi merellisen muovijätteen hallintaa ja hyödyntämistä.

Lähteet

1) Ympäristöministeriön muovitiekartta 2.0. Saatavissa: Vähennä+ja+vältä,+kierrätä+ja+korvaa.+Muovitiekartta+2.0.pdf
2) Aikolon Oy. Saatavissa: https://www.aikolon.fi/tuotteet/tekniset-muovit/pa-6
3) Vink Finland Oy. Saatavissa: https://www.vink.fi/pa_muovi/#:~:text=Polyamidi%20eli%20PA%20ovat%20ryhm%C3%A4%20teknisi%C3%A4%20muoveja%2C,lujuus%2C%20sitkeys%2C%20pieni%20kitkakerroin%20sek%C3%A4%20hyv%C3%A4%20ty%C3%B6stett%C3%A4vyys.
4) Aikolon Oy. Saatavissa: https://www.aikolon.fi/tuotteet/tekniset-muovit/pa-12

Liitteet

Liite 1. Raportti ylä- ja alapaulojen prosessoinnista

Liite 2. Raportti verkon prosessoinnista

Liite 3. SVHC-analyysi

Liite 4. Verkon vetokokeet