

Muovi nykypäivänä ja tulevaisuudessa



Ammattikorkeakoulututkinnon opinnäytetyö

Riihimäki, Konetekniikka

Syksy, 2019

Henri Virtanen

Konetekniikka
Hämeen ammattikorkeakoulu

Tekijä Henri Virtanen **Vuosi** 2019

Työn nimi Muovi nykypäivänä ja tulevaisuudessa

Työn ohjaaja/t Päivi Laaksonen

TIIVISTELMÄ

Tässä opinnäytetyössä käsitellään muovin tämänhetkisiä ominaisuuksia ja piirteitä. Lisäksi teen tutkimuksiin perustuvia päätöksiä, miten muovin ominaisuudet kehittyvät tulevaisuuden kannalta ja mihin sovelluksiin ne yleistyvät entisestään. Muovin käyttö nyky-yhteiskunnassamme on erittäin suurta ja sen käyttö tulee vain kasvamaan tulevaisuudessa, siksi se on oleellista, että ymmärrämme mitä muovi on, miten hyödyimme siitä ja mitä haittaa siitä on.

Opinnäytetyön tarkoitus on auttaa lukijaa saamaan kokonaisvaltaisen kuvan millainen asema muovilla on tulevaisuudessa ja mihin sovelluksiin muovia pystytään vielä käyttämään hyödyllisesti.

Avainsanat Muovi, nykypäivä, tulevaisuus, kehitys, sovellus

Sivut 28 sivua

Mechanical engineering
Häme University of Applied Sciences

Author	Henri Virtanen	Year 2019
Subject	Plastics today and in the future	
Supervisors	Päivi Laaksonen	

ABSTRACT

In this thesis I analyze the current characteristics of plastics, make decisions based on research to try and understand how these characteristics will change in the future and which applications plastics are going to be used for even more. The use of plastics in today's society is quite significant and it will be growing even higher in the future. This is why it is important to know what plastics are and how we are benefiting from them.

The objective of this thesis was to help the reader get a broad image about the kind of role plastics will have in the near and distant future and which applications we can still use plastics for effectively.

Keywords Application, development, future, plastic, present

Pages 28 pages

SISÄLLYSLUETTELO

1	JOHDANTO.....	1
2	YLEISTIETOA MUOVISTA	1
	2.1 Muovi.....	1
	2.2 Muovin valmistus.....	2
3	MUOVIN HISTORIA	3
	3.1 Ensimmäisen muovin kehitys	3
	3.2 Muovit 1900-luvun alkupuolella.....	4
	3.3 Muovit 1900-luvun puolivälissä.....	5
	3.4 Muovit 2000-luvulla.....	5
	3.5 Muovin historia Suomessa	5
4	VALTA- JA TEKNISET MUOVIT	6
	4.1 Polyvinyylikloridi (PVC)	8
	4.2 Polypropeeni (PP)	9
	4.3 Polystyreeni (PS, EPS)	10
	4.4 Suuri- ja pienitiheksinen polyeteeni (HDPE & LDPE)	10
	4.5 Polyetyleenitereftalaatti (PET)	11
	4.6 Polyoksimeteeni (POM/Acetal)	12
5	MUOVIEEN KEHITYS TULEVAISUUDESSA.....	12
	5.1 Muovin aiheuttamat ongelmat ympäristölle	12
	5.2 Biomuovit.....	14
	5.3 Korkean suorituskyvyn muovit	16
	5.3.1 Polyeteerietteriketoni (PEEK).....	16
	5.3.2 Polytetrafluoretyleeni (PTFE, Teflon)	17
	5.3.3 Polyimidi (PI).....	18
	5.3.4 Polysulfoni (PSU)	18
	5.4 Tulevaisuuden muovit	19
	5.4.1 Muovikomposiitit ja muovinanokomposiitit	19
	5.4.2 Itsestään korjautuvat muovit	19
	5.4.3 Muovielektroniikka.....	20
6	JOHTOPÄÄTÖKSET	20
7	LÄHTEET	23

1 JOHDANTO

Opinnäytetyön toimeksiantajana on Hämeen ammattikorkeakoulu. Työn tarkoituksena on selvittää millaisia muoveja on nykypäivänä ja miten ne tulevat kehittymään tulevaisuudessa vielä entisestään. Työssä käydään läpi muovin historiaa, yleisimmät muovit nykypäivänä ja niiden käyttötarkoitukset ja käyttökohteet sekä tutkitaan, miten muovit kehittyvät tulevaisuudessa ja mihin suuntaan niitä ollaan viemässä.

Keskeisiä tutkintakysymyksiä ovat,

- Millaisia muoveja meillä on tällä hetkellä?
- Mitä pystymme tekemään muovin aiheuttamalle ympäristöongelmalle?
- Millaisia haasteita tulevaisuuden käyttökohteet tuovat muoveille?

2 YLEISTIETOA MUOVISTA

2.1 Muovi

Muovi on termi, jolla kuvataan laajaa valikoimaa synteettisiä ja puolisynteettisiä materiaaleja, joita pystytään muovaamaan. Nyky-yhteiskunnassamme muovit ovat ratkaisu moniin ongelmiin, ne helpottavat arkea ja tekevät siitä mukavampaa, siksi niiden osuus jokapäiväisessä elämässä kasvaa vain entisestään. (Plastics Europe, n.d.)

Muovi on orgaaninen materiaali, kuten puu, villa ja paperi. Valmistuksessa käytettävät raaka-aineet ovat luonnollisia tuotteita, kuten kivihiili, raakaöljy, suola ja maakaasu. Muoveista on tullut tämän vuosituhannen valituin materiaali, sillä ne mahdollistavat ympäristönäkökulmasta kaikkein tasapainoisimman ratkaisun luonnon kulumisen välttämiseksi. (Plastics Europe, n.d.)

Sana Plastic tulee kreikkalaisesta sanasta Plastikos, mikä tarkoittaa soveltuu muovattavaksi. Tämä viittaa muovin muovattavuuteen, mikä mahdollistaa niiden puristamisen ja valamisen erilaisiin muotoihin valmistuksen aikana. Muovit ovat erittäin monipuolisia, mikä tekee niistä ihanteellisen kuluttaja- ja teollisuuskäyttöön. Muovien keveyden, kestävyden ja eristysominaisuuksiensa ansiosta, niitä suositaan korvaamaan monia muita materiaaleja. (Plastics Europe, n.d.)

Muovien ominaisuudet eivät rajoitu pelkästään niiden fyysisiin ominaisuuksiin. Jos tietty käyttökohde vaatii muovilta enemmän, kun mihin sen fyysiset ominaisuudet kykenevät voidaan muovia muokata erilaisilla vahvikkeilla, väreillä, palonestoaineilla ja pehmittimillä, jotta se saavuttaa käyttökohteen asettamat vaatimukset. (Plastics Europe, n.d.)

Vuonna 2015 Suomessa oli noin 530 muovituotteita valmistavaa yritystä, joissa henkilökuntaa oli yhteensä noin 12 000 ja koko Euroopassa 62 000 yritystä, jossa yhteensä 1,45 miljoonaa työntekijää. Valtamuovien, kuten polypropeenin (PP), polyeteenin (PE), polyvinylikloridin (PVC) sekä polystyreenin (PS) käyttö on noin 80 % muovien kokonaiskäytöstä (Muoviteollisuus Ry, 2016). Muovin eri käyttökohteet Suomessa löytää kuvasta 1.

Muoviteollisuuden yritykset valmistavat levyjä, profiileja, putkia, kalvoja sekä pakkaus- ja rakennusmuoveja. Elektroniikka- ja koneteollisuuteen jalostetaan teknisiä muoveja ja erikoismuoveja, josta tehdään komponentteja. Näitä samoja muoveja käytetään myös kotitaloustuotteiden valmistukseen. Osa yrityksistä valmistaa myös erilaisia muovien lisä- ja apuaineita. (Muoviteollisuus Ry, 2016)



Kuva 1. Pylväs kuvaaja muovin käyttökohteista Suomessa (Sahimaa, 2013).

2.2 Muovin valmistus

Suurin osa muoveista on valmistettu joko polymeroimalla tai polykondensaatioreaktiolla. Molemmassa menetelmässä öljystä jalostettuja monomeerejä yhdistetään tiettyjen katalyyttien kanssa, josta syntyy uusia ja yhä suurempia molekyyliä. Prosessit tapahtuvat reaktorissa mikä lämmitetään tai jäähdytetään ja sen seurauksena

pienemmät molekyylit yhdistyvät suuremmiksi molekyyleiksi. Lisäaineiden sisällyttäminen voi johtaa muovispesifisiin ominaisuuksiin. Joihinkin muoveihin sisällytetään lisäaineita jo valmistusvaiheessa, toisiin vasta käsittelyn aikana valmiisiin osiin. Lisäaineita lisätään muoveihin parantaakseen tai muokatakseen niiden mekaanisia, kemiallisia ja fysikaalisia ominaisuuksia. Lisäaineita käytetään myös suojaamaan muovia lämmön, valon ja bakteereiden haittavaikutuksilta, pienentämään kitkaa, parantamaan pinnanlaatua ja parantamaan palonestokykyä. (American Chemistry Council, n.d.)

Muovin tyypillisiä lisäaineita ovat mm. antioksidantit, voiteluaineet, väriaineet, pehmittimet, antistaatit, antimikroobit, palonestoaineet ja vaahdottimet. Antioksidantit tekevät muovista soveltuvan ulkokäyttöön, jos on esimerkiksi tarvetta säänkestävyydelle. Väriaineilla pystytään värjäämään muovi, minkä tahansa väriseksi. Pehmittimien avulla muovista saadaan soveltuva esimerkiksi johtojen eristeeksi, lattiapäällysteeksi tai kalvoksi. Antistaatit vähentävät pölyn kerääntymistä muovin pinnalle staattisen sähkön avulla. Muovista valmistetut seinän päällysteet tai suihkuverhot voidaan muokata antimikroobeilla, jotta ne hylkivät mikroobeja paremmin. Palonestoaineilla saadaan johto- ja kaapelipinnoitteiden turvallisuutta paremmaksi. Lisäksi vaahdottimia käyttämällä saadaan PS muovista tehtyä styroxia. (American Chemistry Council, n.d.)

3 MUOVIN HISTORIA

3.1 Ensimmäisen muovin kehitys

Muovi on suhteellisen uusi materiaali meidän mittapuullamme ja voidaan yleisesti pitää vuotta 1850 ajankohtana, jolloin muovin kehitys alkoi. Alexander Parkes keksi ensimmäisen synteettisen polymeerin vuonna 1862, minkä hän nimesi parkesiiniksi. Parkesiinin tarkoitus oli korvata norsunluu, jonka saatavuus oli heikkoa tuolloin. Keksinnöstä huolimatta, Parkes ei kyennyt teollistamaan parkesiinin valmistusta. Kyseinen parkesiini oli valmistettu selluloosasta, joka käsiteltiin typpihapolla. Tästä prosessista syntyi selluloosanitraattia, joka voitiin niin ikään liuottaa alkoholilla. Kovettuessa, tästä syntyi läpikuultavaa ainetta, josta saatiin tehtyä norsunluun näköistä lisäämällä pigmenttiväriä. (Science History Institute, n.d.)

Parkesin yritys meni konkurssiin ja 1860-luvun loppupuolella John Wesley Hyatt ja hänen veljensä hankkivat Parkesin patentin ja alkoivat kehittämään selluloosanitraattia. Tarkoituksena oli kehittää korvaava materiaali biljardipalloille, jotka tuohon aikaan valmistettiin norsunluusta. Vuonna 1869 Hyattin veljekset patentoivat materiaalin, jolla he pystyivät päällystämään biljardipallon.

Veljekset patentoivat vuonna 1870 tavan, jolla valmistaa norsunluun näköistä materiaalia selluloosanitraatin ja kamferin avulla. Veljekset nimesit tämän materiaalin selluloidiksi. Selluloidista valmistettiin koristeita, laatikoita, kalvosinnappeja, veitsenkahvoja ja pianon koskettimia, mutta sen todellinen markkina-arvo huomattiin vasta 50 vuotta myöhemmin, kun filmejä alettiin valmistamaan selluloidista. (Science History Institute, n.d.)



Kuva 2. Bakeliittipuhelin vuodelta 1934 (Waring, 2017).

Vuonna 1909 patentoitiin maailman ensimmäinen täysin keinotekoinen muovi, bakeliitti. Bakeliitti oli merkittävä keksintö sen hyvästä lämmönkestävyydestä ja erinomaisesta sähköeristeominaisuudesta. Bakeliittia käytettiin kädensijoissa ja kammoissa sekä sähköteknillisissä esineissä, kuten kuvan 2 osoittamassa puhelimessa. (Science History Institute, n.d.)

3.2 Muovit 1900-luvun alkupuolella

Muovien kehitys alkoi kiihtymään 1900-luvun alkupuolella, kun kemistit alkoivat tutkimaan erilaisia kemiallisia reaktioita, tämä auttoi uusien materiaalien etsinnässä. Muoveja alettiin valmistamaan öljystä tuotetuista kemikaaleista jo 1930-luvulla. Nykypäivänäkin käytettyjä muoveja, kuten polystyreeni, akryylipolymeeri ja polyvinyylidikloridi keksittiin jo tuolloin, mutta näiden käyttö lisääntyi hitaasti. 1939 vuonna alkanut toinen maailmansota aiheutti sitä edeltäville vuosille tarpeen varastoida ja säästää luonnollisia materiaaleja. Tämä kiihdytti erilaisten materiaalien keksimisessä ja muovin tuotanto kasvoi esimerkiksi Yhdysvalloissa jopa 300 %. Yksi näistä uusista materiaaleista oli nailon. (Science History Institute, n.d.)

Vuonna 1935 Wallace Carothers keksi nailonin. Se on yksi yleisimmistä kuituna käytetyistä polymeereistä. Nailonia voidaan kutsua myös polyamidiksi, sillä sen runkoketju koostuu ominaisista amidiryhmistä (Polymer Science Learning Center, n.d.). Nailonia käytettiin ensimmäisenä

hammasharjan harjoissa, mutta todellinen markkinamenestys olikin naisille suunnatut sukkahousut. Monia varusteita valmistettiin tai käytettiin valmistuksessa nailonia, kuten laskuvarjoissa, köysissä, suojaliiveissä sekä kypärien sisälmyksissä toisen maailmansodan aikana. Nykypäivänä nailonia käytetään monenlaisissa sovelluksissa; tekokuituna vaatteissa ja kankaissa, kitaran kielinä, komponentteina sähköteollisuudessa sekä erilaisina kiinnitystarvikkeina (Science History Institute, n.d.).

3.3 Muovit 1900-luvun puolivälissä

Vuodesta 1939 vuoteen 1945 muovin tuotanto oli nelinkertaistunut, arvioltaan noin 97 miljoonasta kilogrammasta 371 miljoonaan kilogrammaan ja muovin tuotanto oli nousussa vielä toisen maailmansodan jälkeenkin (Freinkel, 2011). Polyuretaania käytettiin ensimmäistä kertaa toisessa maailmansodassa rajallisin määrin lentokoneiden runkojen pinnoitusaineena. Polyuretaanin hyvien eristeominaisuuksien ansiosta 1960-luvulla alettiin korvaamaan muita eristeitä kylmäkalusteissa polyuretaanilla ja lopulta 1970-luvulla polyuretaanin käyttö lämpöeristeenä yleistyi vauhdikkaasti. Nykyään polyuretaania käytetään eristeenä, pinnoitteena ja liimoissa (American Chemistry, n.d.).

3.4 Muovit 2000-luvulla

Kasvavasta epäluottamuksesta huolimatta muovit ovat silti erittäin tärkeitä nykypäivänä meidän arjessamme. Ne ovat mahdollistaneet nykuteknologian, kuten puhelimet, tietokoneet ja elintärkeät lääketieteelliset kehitykset. Edulliset muovit ovat nostaneet ihmisten elintasoja ja ilman niitä, monet itsestään selvinä pidetyt asiat saattaisivat olla meidän ulottumattomissa paitsi kaikista rikkaimmille ihmisille. Muoveilla on korvattu monia luonnollisia materiaaleja, mikä on johtanut halvempiin, kestävämpiin, turvallisempiin ja kevyempiin tuotteisiin. Muovien elintärkeää paikkaa nyky-yhteiskunnassamme ei voida kieltää, siksi monet tutkijat ovat alkaneet tutkimaan, miten muoveista saadaan ympäristöystävällisempiä ja turvallisempia. Tämä on johtanut biomuovien kehitykseen. (Science History Institute, n.d.)

3.5 Muovin historia Suomessa

Suomeen perustettiin vuonna 1921 ensimmäinen muovitehdas Sarvis Oy. Raaka-aineena käytettiin kuoritun maidon ylijäämää, kaseiinia. Sarvis Oy valmisti nappeja, kampoja, kynänvarsia ja brodeerauspuikkoja galaliitistä. Myöhemmin alettiin valmistamaan lampunvarjostimia, jotka nousivat todelliseen suosioon.

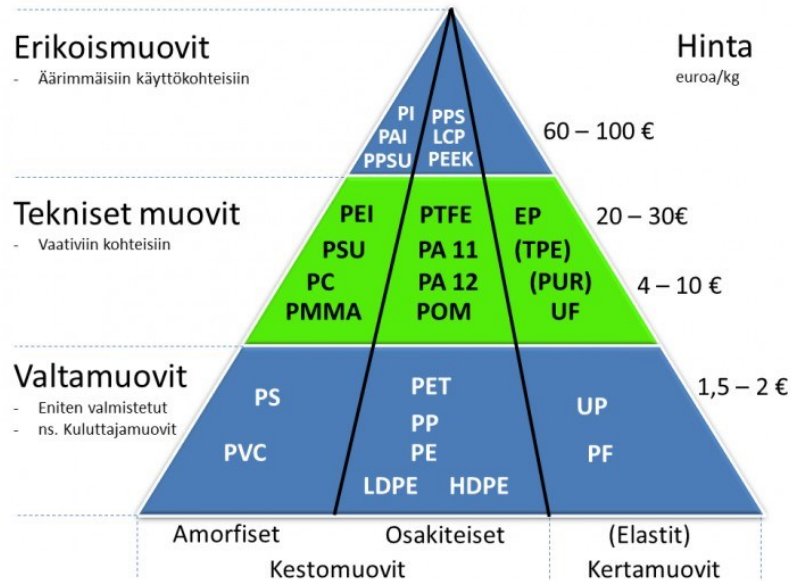
Kuvassa 3 näkyy Sarvis Oy:n myyntinäyttelyssä olevia muovituotteita. Sodan jälkeen muoviteollisuus alkoi kehittyä voimakkaasti ja tässä vaiheessa Sarvis Oy:ssä työskenteli noin 400 työntekijää. Auto-, lentokone- ja kutomaosia valmistettiin tehtaalla, kuten myös kameroita ja äänilevyjä. Bakeliittituotteiden valmistus aloitettiin vuonna 1932 Oy Hartsiteollisuus Ab:n toimesta. (Pyynikinlinna, n.d.)



Kuva 3. Sarvis Oy:n myyntinäyttely muovituotteistaan (Pyynikinlinna, n.d.).

4 VALTA- JA TEKNISET MUOVIT

Muovit jaetaan kerta- tai kestmuoveihin. Kertamuovi ns. termoset on muovi, joka jähmettyy kuumennettaessa tai kovettuessa, niin että se ei palaudu enää alkuperäiseen muotoonsa. Kertamuoveja ei voi enää pehmentää kerran kun ne on asettunut muotoonsa. Kertamuoveja arvostetaan niiden lujuudesta ja kestävydestään ja niitä käytetään laajasti autoteollisuudessa. Tuttuja kertamuoveja ovat esimerkiksi polyuretaanit ja epoksit. Termoplastisuus viittaa kestmuoveihin, joissa molekyylejä pitävät yhdessä heikot sekundääriset sidosvoimat. Ne pehmenevät altistettuaan lämmölle ja palaavat alkuperäiseen tilaansa jäähtyessään takaisin huoneenlämpötilaan. Kestamuoveja voidaan muovata, kun ne on pehmennetty lämmöllä ja tämä prosessi voidaan toistaa useita kertoja. Kestamuovit sopeutuvat moniin eri käyttökohteisiin ja suurin osa muoveista onkin kestmuoveja. (American Chemistry Council, n.d.)



Kuva 4. Muovit lajiteltuna valtamuovien, teknisten muovien ja erikoismuovien suhteen (Muoviteollisuus Ry, 2015).

Kuva 4 havainnollistaa yleisesti jakauman valtamuovien, teknisten muovien ja erikoismuovien välillä. Valtamuovien alta löytyvät yleisimmät muovit joihin törmätään arkisin, kuten suuritiheysinen polyeteeni (HDPE), pienitiheysinen polyeteeni (LDPE), polyetyleenitereftalaatti (PET), polyvinyylikloridi (PVC) ja polystyreeni (PS). Teknisten muovien alta löytyy polyoksimeteeni (POM), polytetrafluoretyleeni (PTFE, Teflon), polyamidi (PA) ja polymetyylimetakrylaatti (PMMA). Erikoismuoveihin lukeutuu mm. polyeetterieetteriketoni (PEEK), polyimidi (PI) ja polyfenyleenisulfidi (PPS).

Valtamuovit ovat edullisia muoveja, jotka soveltuvat hyvin sovelluksiin, joissa materiaalin mekaaniset ominaisuudet, kuten lujuus, jäykkyys ja kovuus eivät ole kriittisiä suorituskyvyn kannalta, vaikka tämän ryhmän muoveilla onkin tiettyjä haluttuja ominaisuuksia, minkä vuoksi ne valitaan. Muovien suurin etu verrattuna muihin materiaaleihin, kuten puuhun ja metalliin on niiden kestävyys painoonsa nähden. Metallit ovat toki kestäviä, mutta ne ovat myös paljon painavampia. Puu on kevyttä, mutta muoviin ja metalliin verrattuna kestävyys on paljon heikompaa. Muovit, jotka lukeutuvat tähän ryhmään ovat yleensä massatuotettuja ja kertakäyttöön tarkoitettuja, mutta myös osa muoveista soveltuu monikäyttöön, joita käytetään esimerkiksi vesiputkissa ja lasten leluissa. Valtamuoveihin lukeutuu suuri- ja pienitiheysinen polyeteeni, polyeteeni, polystyreeni, polypropeeni ja polyvinyylikloridi. (Pitt, 2018)

Teknisiin muoveihin lukeutuvat muovit joiden mekaaniset ominaisuudet soveltuvat hyvin haastaviin sovelluksiin ja ympäristöihin. Teknisiä muoveja ei valmisteta yhtä suurissa määrin, kuin valtamuoveja vaikka niitä käytetäänkin suhteellisen laajasti. Niiden laaja käyttö johtuu niiden erityisistä ominaisuuksista, kuten kemiallisesta stabiilisuudesta,

mekaanisesta lujuudesta, lämmönkestävyydestä ja itsevoitelusta ja nämä ominaisuudet ovat mahdollistaneet muiden materiaalien, kuten puun ja metallin korvattavaksi teknisillä muoveilla. Yleisesti tekniset muovit voidaan yhdistää jonkun muun materiaalin kanssa, kuten lasikuidun jotta ominaisuuksia saadaan parannettua vielä entisestään. Näistä syistä johtuen tekniset muovit ovat huomattavasti kalliimpia kuin valtamuovit. (Pitt, 2018)

4.1 Polyvinyylidikloridi (PVC)

PVC on kolmanneksi yleisin valtamuovi nykypäivänä. Se on yksi halvimmista kestopuoveista ja sen osuus on noin 16 % maailman muovin kulutuksesta. Kemiallisesti puhdas PVC on jäykkää ja kovaa, mutta sillä on pieni iskulujuus. Se on kuitenkin yhteensopiva monien pehmittimien kanssa, jolla saadaan parannettua huomattavasti sen joustavuutta ja sitkeyttä. (Polymer Properties Database, n.d.)

PVC:tä on kahdessa eri muodossa, jäykässä ja joustavana. Jäykälle PVC:lle löytyy laajaa käyttöä rakennusalalla. USA:ssa 75 % kaikesta PVC:n käytöstä käytetään rakennusalalla. Vastaava luku Euroopassa on 60 %. Sitä käytetään vesi- ja viemäriputkissa, karmeissa ja ikkunakehyksissä. Kuva 5 kuvastaa hyvin PVC:n käyttöä putkissa. Muita sovelluksia jäykälle PVC:lle löytyy pankkikorteista, erilaisissa pakkauksissa ja pulloissa. Jäykkä PVC haurastuu pakkasessa, siksi sitä ei voida käyttää ulkona erilaisissa käyttökohteissa ainakaan Suomen olosuhteissa. (Polymer Properties Database, n.d.)



Kuva 5. Putken osia valmistettu jäykästä PVC:stä. (Omnexus, n.d.).

PVC:stä saadaan joustavaa lisäämällä siihen pehmittimiä, yleisimpänä ftalaatteja. PVC:tä tässä muodossa voidaan käyttää tekonahkana, lattiamateriaalina, erilaisten sähkökaapeleiden eristyksenä ja muissa sovelluksissa missä se korvaa kumin. Myös puuvillan ja pellavan kanssa siitä saadaan kangasta. (Creative Mechanisms, 2016)

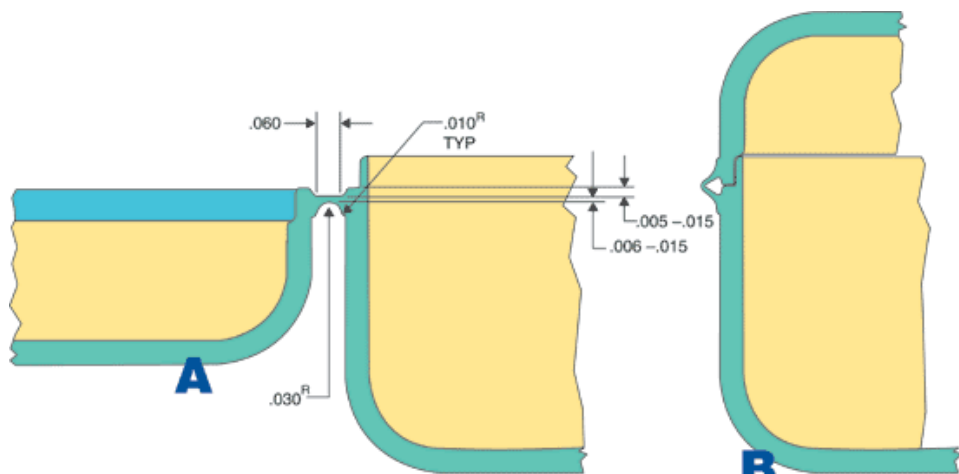
PVC:n suurin haittapuoli on sen heikko lämmönkestävyys. Se hajoaa helposti jo kohtalaisessa lämpötilassa dehydrokloorauksen nimisellä prosessilla, mikä johtaa voimakkaaseen värin muodostukseen ja muovin ominaisuuksien vääristymiseen. (Polymer Properties Database, n.d.)

4.2 Polypropeeni (PP)

Polypropeeni on yksi yleisimmistä ja halvimmista kestopuoveista ja sen osuus kaikista muoveista koko maailmassa on noin 23 %. Suurin osa polypropeenista on isotaktista, jossa on keskitasoinen kiteisyys. Isotaktisella polypropeenilla on korkea iskunkestävyys, joustavuus ja optinen kirkkaus ja lisäksi se on suhteellisen helppo muovata. PP kilpailee suuritiheyksisen polypropeenin kanssa monessa eri osa-alueessa. PP:llä on korkeampi sulamispiste, parempi rasituksesta johtuvan halkeamisen resistanssi ja lämpöresistanssi mutta pienempi iskunkestävyys. Polypropeeni on parempi muovi vaativimpiin käyttötarkoituksiin, ellei korkeampaa resistanssia lämpöhapettumisrappeutumista vastaan vaadita. (Polymer Properties Database, n.d.)

Pakkausteollisuus on selvästi suurin isotaktisen polypropeenin kuluttaja, jonka jälkeen tulee auto- ja vaateteollisuus. PP on korvannut metallit, lasin, puun ja paperin monissa sovelluksissa sen prosessoinnin helppouden, alhaisen hinnan ja kemiallisen inerttiytensä vuoksi. (Polymer Properties Database, n.d.)

Hyvän kemiallisen kestävyuden ansiosta emäkset ja hapot eivät reagoi polypropeenin kanssa helposti, siksi se on hyvä valinta kun säilötään tämänkaltaisia nesteitä, kuten puhdistusaineita ja ensiaputarvikkeita. Polypropeeni säilyttää hyvin muodon kun sitä taivutetaan ja väännetään minkä takia saranakorkit tai ns. ketsuppullon korkit valmistetaan todella usein polypropeenista. Kuva 6 havainnoi saranakorkkia hyvin. (Creative Mechanisms, 2016)



Kuva 6. Polypropeenista valmistettu saranakorkki (Beall, 2002).

PP:llä on matala korkein toimintalämpötila, joka on n. 90–120 celsiusastetta. PP on herkkä mikrobihyökkäyksille (bakteerit, homeet ym.) ja on erittäin helposti syttyvää materiaalia. (Omnexus, n.d.)

4.3 Polystyreeni (PS, EPS)

Polystyreeni on suosittu kestopuovi, jonka osuus koko maailman muovin kulutuksesta on noin 7 %. Polystyreeni on amorfinen kestopuovi, millä on erinomainen optinen kirkkaus sen kiderakenteen puutteellisuuden vuoksi. Lisäksi polystyreenillä on erinomaiset lämpö- ja sähköominaisuudet, joten se soveltuu eristyskäyttöön. PS:llä on kuitenkin rajoituksia; se on hauras, sillä on huono UV- ja hapenkestävyys ja sen ylin toimintalämpötila on matala. (Polymer Properties Database, n.d.)

Polystyreeniä on saatavilla kahdessa eri muodossa; tyyppillisenä kiinteänä muovina tai sitten jäykkänä vaahtomateriaalina. Yleensä polystyreeni on tunnettu sen vaahtomateriaalin muodossa tai yleiskielellä styroxina (Styrofoam). Styrox on paisutettua polystyreenimuovia (EPS = Expanded Polystyrene), jota suositaan sen keveyden, kestävyys ja hyvän lämmöneristysominaisuuksiensa ansiosta rakennus- ja pakkausteollisuudessa. (Rogers, 2015)

Polystyreeni on hyvin inertti. Se ei reagoi happamien ja perusliuosten kanssa. Juuri tämä ominaisuus tekee polystyreenistä haitallisen ympäristölle, sillä se kestää luonnossa hyvin pitkään, kun tyyppillisesti polystyreeni heitetään pois hyvin lyhyen ajan jälkeen. (Rogers, 2015)

4.4 Suuri- ja pienitiheksinen polyeteeni (HDPE & LDPE)

Polyeteeni on kestopuovi, jolla on vaihtelevan kiteinen rakenne. Polyeteeni soveltuu erittäin moneen käyttötarkoitukseen riippuen sen tyyppistä. Polyeteeni on yksi tuotetuimmista muoveista, jotta valmistetaan arviolta kymmeniä miljoonia tonneja vuodessa. Polyeteenille on olemassa laaja valikoima sovelluksia. (Rogers, 2015)

Yleisesti ottaen HDPE on paljon kiteisempi rakenteeltaan ja se on tiheämpää kuin LDPE. HDPE:n tiheys on noin $0,941\text{--}0,965\text{ g/cm}^3$ ja LDPE:n tiheys on noin $0,91\text{--}0,925\text{ g/cm}^3$. LDPE:tä käytetään laajalti muovipakkauksissa, kuten muovikasseissa ja kelmuissa, kun taas HDPE muovista valmistetaan roskakoreja, pesuainepulloja ja rakennusputkia. (Rogers, 2015)

HDPE on yksi halvimmista kestopuoveista, jonka osuus koko maailman muovikulutuksesta on noin 15 %. Sen rakenteessa esiintyy paljon vähemmän haaroittumista kuin LDPE:n rakenteessa, mikä johtaa 70–80 % kiteyteen muovissa. Kiteet ovat paljon suurempia ja yhtenäisempiä, kuin

LDPE:ssä, mistä seuraa tiheämpi, jäykempi ja vaikeammin läpäistävässä oleva muovi. HDPE:n haittapuolena on, että se on huomattavasti joustamattomampi ja sillä on pienempi kestävyys jännityksestä aiheutuvalla halkeamalla. LDPE muovi on matalampi tiheydeltään ja kiteisyydeltään, joustavampi ja sitkeämpi kuin HDPE muovi, mutta vastakohtana pienempi vetolujuus ja matalampi sulamispiste. Kiteisyysaste LDPE:llä on noin 40–55 %. Se on erittäin joustava muovi, jolla on erinomaiset virtausominaisuudet, minkä vuoksi se soveltuu erittäin hyvin muovikalvoihin, kuten ostoskasseihin. (Polymer Properties Database, n.d.)

4.5 Polyetylenitereftalaatti (PET)

PET on kirkas, kevyt ja vahva muovi, jota käytetään laajalti ruokien ja juomien, erityisesti virvoitusjuomien, veden ja mehujen pakkaamisessa. Yhdysvalloissa käytännössä kaikkien virvoitusjuomien ja vesien pullot ovat valmistettu PET muovista. Se on myös erittäin suosittu salaattikastikkeiden, suuvesien, tennispallojen, ruokaöljyjen ja pesuaineiden pakkaamisessa. Erityislaatuisia PET muoveja voidaan käyttää valmisruokapakkauksissa ja astioissa, joiden pitää kestää lämmitystä mikroaaltouunissa tai uunissa. Nykyään yli puolet maailman synteettisistä kuiduista valmistetaan PET:stä, jota kutsutaan polyesteriksi käytettäessään sitä kuitu- ja kangassovelluksissa. (PETRA, 2015)

Terveysturvallisuusvirastot ja FDA ovat hyväksyneet PET:n turvalliseksi kosketukseen elintarvikkeiden ja juomien kanssa kaikkialla maailmassa asiakirjassa Recycled Plastics In Food Packaging (U.S. Food & Drug Administration, 2018). PET muovin turvallisuus on toistuvasti osoitettu laajojen tutkimusten ja viranomaisten hyväksyntöjen avulla jo yli 30 vuoden ajan, PET ei sisällä Bisfenoli-A:ta (BPA) eikä ftalaatteja. (PETRA, 2015)

PET:stä on tulossa yksi maailman suosituimpia elintarvikkeiden ja juomien pakkausmateriaaleja sen ominaisuuksiensa vuoksi. Kuten lasi, PET on hyvin vahva ja inertti materiaali eikä se reagoi erilaisten elintarvikkeiden kanssa. Se kestää myös hyvin mikro-organismien hyökkäyksiä vastaan eikä hajoa biologisesti. Selvä hyöty lasiin verrattuna on se, että PET on kevyttä, on särkymätön ja se on helppo ja tehokas kuljettaa. (PETRA, 2015)

PET on hyvin kierrätettävää ja erittäin kestävä. Itse asiassa se on kierrätetyin muovi maailmassa ja Yhdysvalloissa, sitä voidaan käyttää uudestaan ja uudestaan kerta toisensa jälkeen. Vaikka PET:n raaka-aineet ovatkin öljypohjaisia, sen ympäristövaikutukset ovat suotuisat verrattuna alumiini-, lasi- ja muihin kierrätettäviin materiaaleihin. Sen kevyt paino ja lujuus mahdollistavat sen, että enemmän tuotteita toimitetaan pienemmällä pakkauspainolla, mikä vähentää polttoainekulutusta huomattavasti. (PETRA, 2015)

4.6 Polyoksimeteeni (POM/Acetal)

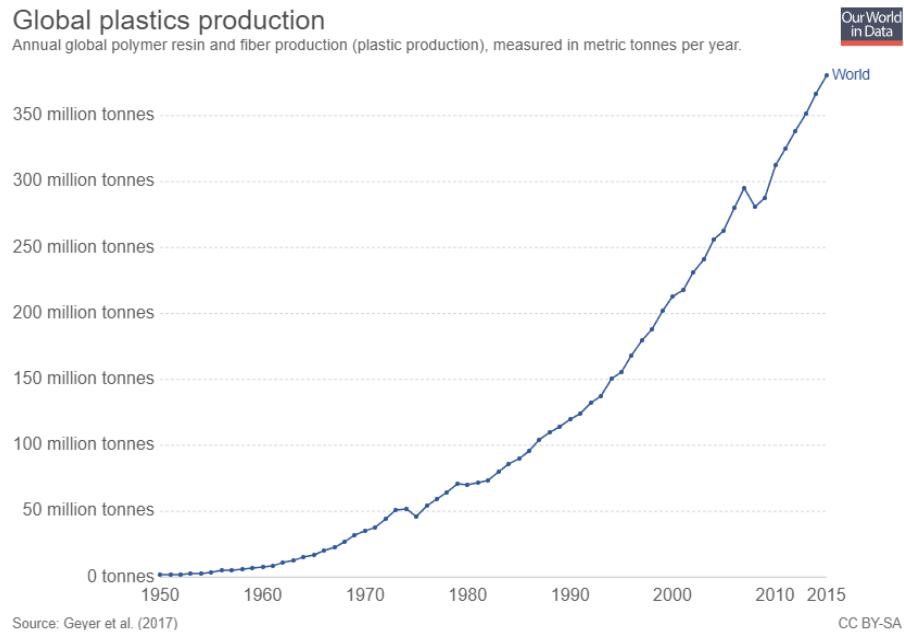
POM tai yleensä myös Asetaalina tunnettu muovi on yksi tärkeimmistä teknisistä muoveista. Muoveista sillä on kiteisin rakenne ja se tunnetaan hyvästä väsymiskestävyydestä, suorituksesta alhaisessa lämpötilassa ja alhaisesta kitkasta (Plasticprop, n.d.). POM jaetaan kahteen eri ryhmään; POM-homopolymeeriksi ja POM-kopolymeeriksi. Homopolymeeri viittaa siihen, että muovi koostuu vain yhden tyyppisestä monomeeristä ja jos muovi koostuu enemmän kuin yhden tyyppisestä monomeeristä sitä nimitetään kopolymeeriksi (PolyPlastics, n.d.). Kopolymeeri on vähemmän kiteisempi kuin homopolymeeri, mutta sen kemiallinen kestävyys on parempi. Tämän vuoksi homopolymeeri on jäykempi. Toisaalta kopolymeeri termisesti hajoaa vähemmän, kuin homopolymeeri käytön tai tuotannon aikana. (Resinex, n.d.)

POM on tunnettu sen hyvistä ominaisuuksista, kuten jäykkyydestä, kimmoisuudesta, kulumisenkestävyydestä, vähäisestä veden imevyydestä ja pienestä kitkakertoimesta. Sitä yleisimmin käytetään teknisissä osissa, kuten hammasrattaissa, inhalaattoreissa, jousissa, kahvoissa, ruuveissa, vetoketjuissa ja erilaisissa kiinnittimissä. (Resinex, n.d.)

5 MUOVIENTYÖN KEHITYS TULEVAISUUDESSA

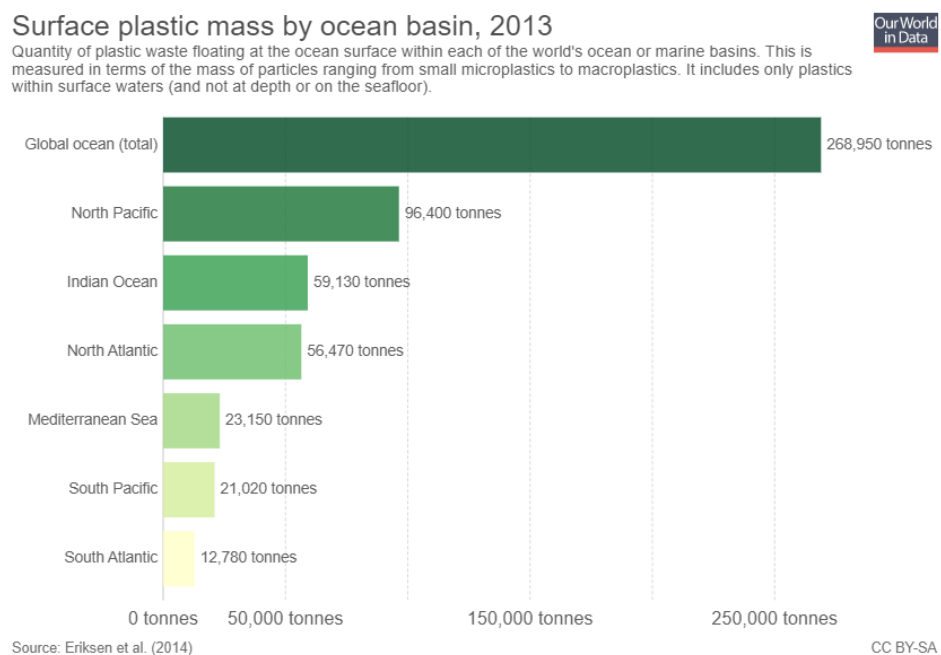
5.1 Muovien aiheuttamat ongelmat ympäristölle

Muovi on yksi nyky-yhteiskuntamme tärkeimmistä ja käytetyimmistä materiaaleista. Niiden suosio on pitänyt teollisuuden kasvun yllä jo viimeiset 50 vuotta. Vuodesta 1964 lähtien maailmanlaajuinen tuotanto nousi 15 miljoonasta tonnista 311 miljoonaan tonniin vuonna 2014 ja seuraavan 20 vuoden aikana tämä luku pitäisi ennustettavasti tuplaantua 600 miljoonaan tonniin. Muovien hyödyillä on kuitenkin oma haittapuolensa. Muovipakkaukset edustavat pohjimmillaan eniten kertakäyttötuotteita, sen osuus on neljäsosa muovien kokonaismäärästä ja noin 95 % muovipakkauksien materiaalin arvosta, joka on n. 80–120 miljardia dollaria vuodessa menetetään taloudessa. Tyypillisesti ottaen muovipakkausten käyttöikä on alle vuosi, mutta materiaali elää vuosikymmenten ajan. Kun näin suurista lukemista ja maailmanlaajuisesta käytöstä on kyse, on selvää, että niistä aiheutuu haittaa, suurin haitta kohdistuu planeettamme luontoon (McKinsey & Company, 2016). Kuvasta 7 pystyy seuraamaan koko maailman muovien tuotannon kasvua viimeisen 65 vuoden aikana.



Kuva 7. Viivakaavio kuvastaa koko maailman muovin tuotantoa (Our World in Data, 2018).

Tällä hetkellä säilytämme noin 79 % muovijätteistä kaatopaikoilla, mikä johtaa jopa 2,4 miljoonan tonnin muovijätteen kulkeutumiseen valtameriin jokien kautta vuosittain. Muovi ei häviä luonnosta, vaan se hajoaa entistä pienempiin osiin, joita kutsutaan ns. mikromuoveiksi. Mikromuovit ovat kooltaan 5,0 mm tai sitä pienempiä ja ne päätyvät merenelämästä meidän ruokaketjuun ja sitä kautta meidän suuhun (Nature, 2018). Kuvasta 8 näkyy, kuinka paljon missäkin meressä oli muovijätettä vuonna 2013.



Kuva 8. Pylväskuvaaja muovijätteen määrästä merien pintavesissä. (Our World in Data, 2018).

Tähän päivään mennessä yleisin lähestymistapa lisääntyvän muovijätteen ongelman torjumiseksi on ollut käytön vähentäminen, kierrätys ja uudelleenkäyttö. Muutosta ollaan jo havaittu parempaan suuntaan, mutta se on ollut hidasta vaikka molekyyllintason kierrätyksessä on menty eteenpäin, mikä mahdollistaa erityyppisten muovien kierrätyksen yhdessä. Kierrätys on kallista ja se on loppupeleissä riippuvainen ihmisten käyttäytymisestä ja muutoksenhalusta. Lisäksi uudelleenkäytetty muovi on heikkolaatuisempaa sekä termisten, että mekaanisten ominaisuuksien puolesta. (Nature, 2018)

Elämäntapamuutokset ovat mahdollisia, kuten Euroopassa ollaan huomattu, jossa ollaan saatu vähennettyä muovipussien ja muovipullojen käyttöä, mutta nyky-yhteiskunnassamme muovivapaa tulevaisuus näyttää erittäin epätodennäköiseltä. Ihmisten käyttäytymisen muuttaminen kokonaan on vaikeaa, mikä tulee ilmi siitä, että vain 9 % muovijätteestä kierrätetään. Muovin käytön vähentämisen, uudelleenkäyttämisen ja kierrätyksen lisäksi tarvitsemme toisen vaihtoehdon, jotta muovien haittavaikutusta saadaan vähennettyä huomattavasti ja yksi ratkaisu tähän on biohajoavat muovit. (Nature, 2018)

5.2 Biomuovit

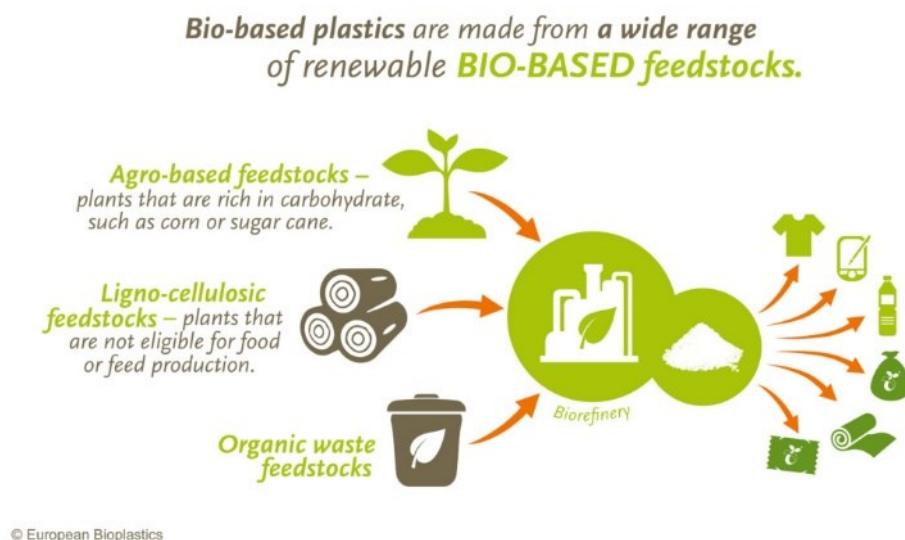
Biomuovilla tarkoitetaan muovia, joka on valmistettu osittain tai kokonaan orgaanisesta biomassasta eikä maaöljystä. Suurin osa biomuoveista on biologisesti hajoavia, mikä onkin niiden suurin hyöty. Biomuoveja käytetään nykyään monissa erilaisissa kulutustuotteissa, kuten elintarvikepakkauksissa, ruokakasseissa, aterimissa/ottimissa ja astioissa. Näitä kutsutaan hyötymuoveiksi. Biomuoveja voidaan myös käyttää teknisiin käyttötarkoituksiin, kuten sähkö- ja elektroniikkatuotteissa. Nykypäivänä biomuoveja löytyy jokaisesta eri teollisuuden alasta, niiden käyttö ulottuu autoteollisuudesta lääketeollisuuteen asti (Creative Mechanisms, 2016). Kuvasta 9 näkee eri käyttötarkoituksia biomuoveille.



Kuva 9. Biomuovien käyttökohteet (European Bioplastics, n.d.).

Yleisesti ottaen suurin etu kasvavassa biomuovisessa arjessa on pienempi hiilijalanjälki ja vähemmän saastunut ekosysteemi. Teoriassa biomuovien pitäisi suoraan vaikuttaa muovijätteen määrään ja hillitsemään sen kasvua, mutta todellisuudessa asia ei kuitenkaan ole niin yksinkertainen. Osa biomuoveista ei biologisesti hajoa järkevässä aikamääreessä etenkin jos niiden jätekeräyksestä ei pidetä huolta. Biomuovit eivät sisällä Bisfenoli-A:ta ja monet tuotteet, kuten vauvan ruokailutarvikkeet ja ruoansäilykerasiat ylipäänsä mainostetaan olevan BPA-vapaita, sillä bisfenoli-A tunnetusti vaikuttaa hormoni- ja immuunijärjestelmätoimintaan (Creative Mechanisms, 2016). Bisfenoli-A:n vaikutusta ihmiskehoon on tutkittu esimerkiksi NCBI:n julkaisemassa tutkimuksessa Low-Dose Bisphenol-A Exposure: A Seemingly Instigating Carcinogenic Effect On Breast Cancer (Liu, Liu & Wang, 2016).

Suomessa Bisfenoli-A on hyväksytty käytettäväksi elintarvikemuovin raaka-aineena. Sen ainekohtainen siirtymäraja-arvo on noin 0,6 mg yhtä kiloa kohti, tämä tarkoittaa paljonko sitä enimmäkseen siirtyy elintarvikkeeseen muovituotteesta. Siedettävä saanti BPA:ta vuorokaudessa on noin 0,05 mg henkilön painokiloa kohti (YLE, 2011). BPA:n käyttö tuppulloissa kiellettiin vuonna 2011 Euroopassa (YLE, 2010). Riippuen biomuovista, niiden valmistusprosessi päästää vähemmän kasvihuonekaasuja, kuin maaöljypohjaiset muovit. Yksi näistä on polylaktidi (PLA), jonka valmistuksessa voidaan hyödyntää olemassa olevia valmistuslaitteita. Tämä tekee siitä erittäin kustannustehokkaan biomuovin (Creative Mechanisms, 2016).



Kuva 10. Biomuovien valmistukseen käytetyt raaka-aineet (European Bioplastics, n.d.).

Metodit, joilla kasvatetaan biomuovien valmistuksessa käytettäviä uusiutuvia raaka-aineita voivat usein jättää ison jalanjäljen ympäristöön, joten se ei välttämättä aina ole ympäristöystävällisempi vaihtoehto.

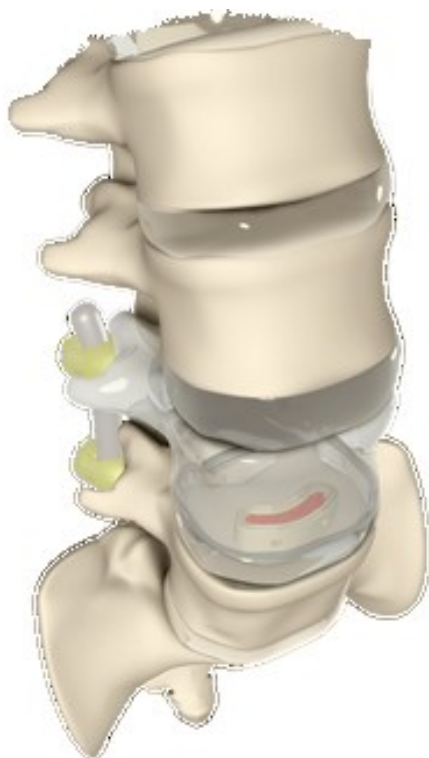
Raaka-aineet, jota käytetään biomuovien valmistuksessa näkyvät kuvassa 10. Kuluttajien voi olla todella vaikea erottaa ovatko heidän käyttämänsä biomuovit biologisesti hajoavia tai kompostoitavia tai ylipäänsä biomuoveja. Tästä syystä biomuoveja ei yleensä kierrätetä oikein ja monissa paikoissa ei edes ole edellytyksiä kierrättää tai lajitella biomuoveja oikein, sillä tarvittavat laitokset ja tilat puuttuvat kokonaan. Tämä johtaa siihen, että biomuovit päätyvät samoille kaatopaikoille, kuin kaikki muutkin muovit. Esimerkkinä PLA muovista tehty kuppi tuntuu ja näyttää ihan samanlaiselta, kuin mikä tahansa valtamuovi, joten kuluttaja saattaa hyvinkin heittää sen pois vaikka sen voisi kompostoida. Monet biomuovit täytyy hävittää oikeaoppisesti, jotta ne pystyvät hajoamaan tai kompostoitumaan. Joissakin olosuhteissa biomuovien hajoaminen hapettomassa, mutta kosteassa tilassa saattaa vapauttaa metaania ilmaan (Creative Mechanisms, 2016). Yhdysvaltojen EPA järjestö (Environmental protection agency) vaatiikin, että kaatopaikat ovat suljettu ilmalta, auringonvalolta ja kosteudelta. Nämä ovat kolme fundamentaalista tarvetta biomuoville, jotta se alkaa hajoamaan (Redstone, n.d.).

5.3 Korkean suorituskyvyn muovit

Korkean suorituskyvyn muovit ovat ryhmä muoveja, jotka säilyttävät halutut termiset, mekaaniset ja kemialliset ominaisuudet, kun ne altistuvat äärimmäisille olosuhteille, kuten korkeille lämpötiloille, korkeille paineille, syövyttävillä aineilla tai kun halutaan erittäin kitkatonta pintaa. Näitä muoveja valmistetaan pienemmissä määrissä ja ovat kalliimpia, kuin tavalliset valtamuovit. Korkean suorituskyvyn muoveja on käytössä monissa eri teollisuuden aloissa, joista yleisimmät ovat ilmailu, ydinvoima, kemikaali ja öljy/kaasu. (De Leon, Chen, Palaganas, N., Palaganas, J., Manapat, Advincula, 2016, s. 141-155)

5.3.1 Polyeetterieetteriketoni (PEEK)

Polyeetterieetteriketoni eli PEEK on puolikiteinen korkean lämpötilan muovi, joka tarjoaa ainutlaatuisen yhdistelmän poikkeuksellisia ominaisuuksia. PEEK sisältää suhteellisen jäykän polymeerirungon, joka on syynä sen korkeisiin termisiin siirtymiin. Tästä syystä PEEK:tä voidaan jatkuvasti käyttää noin 240 °C, jopa kuumassa vedessä ja höyryssä. Sillä on hyvät mekaaniset ominaisuudet ja erinomainen kemiallinen kestävyys. PEEK päästää erittäin vähän savua, mikä tekee siitä yhden parhaista materiaaleista tulenkestävyydeltään (Fluorocarbon, 2016). Elintärkeä käyttökohde PEEK:lle löytyy kuvasta 11, jossa sitä käytetään selkänikamaimplanttina.



Kuva 11. PEEK muovin käyttöä lääketieteellisyydessä (SpineCraft, n.d.).

Erinomainen pinta- ja kulutuskestävyys on saavutettavissa PEEK:lle erilaisilla lisäaineilla. Se voidaan sekoittaa PTFE:n kanssa, jotta samanaikaisesti saadaan aikaan erinomaiset kulutus- ja kitkaominaisuudet. PEEK:llä on erittäin hyvä väsymiskestävyys sekä hydrolyyttinen stabiilisuus ja säteilyn kestävyys. Se on ideaalinen materiaali metalliosien korvikkeeksi sen erinomaisen korroosionkestävyyden, lujuuden, kestävyuden, kulutuskestävyyden ja korkean lämpötilan vakauden vuoksi. Hyvä materiaali aggressiiviseen ympäristöön, minkä vuoksi se on käytössä ydinvoimaympäristöissä, öljy- ja geotermississä kaivoissa, kemikaaliteollisuudessa ja korkeapaineventtiileissä. PEEK on FDA:n hyväksymä materiaali, joten se soveltuu käytettäväksi elintarviketeollisuudessa, esimerkiksi ruoanjalostuslaitteiden laakereina ja tiivisteinä. Lisäksi se on myös täysin kierrätettävissä oleva materiaali. (Fluorocarbon, 2016)

5.3.2 Polytetrafluoretyleeni (PTFE, Teflon)

Polytetrafluoroethylene eli PTFE on yleisesti ottaen kova ja joustava materiaali, jolla on keskimääräinen vetolujuus, mutta erinomaiset lämpöominaisuudet ja erinomainen resistanssi sähkövirran kululle ja kemikaaleille. PTFE:n kitkakerroin on epätavallisen pieni, se on mitattu olevan 0,05–0,1, mikä on kolmanneksi pienin kaikista kiinteistä aineista. PTFE on myös loistava lämpötila- ja taajuuseristin. Ei ole liuottimia, jotka voisivat liuottaa PTFE:tä huoneenlämmössä. Ainoastaan joissakin tapauksissa sulatettu emäs tai fluori voivat vaikuttaa PTFE:n pintaan. (Fluorocarbon, 2016)

Ominaisuudet, kuten kemiallinen inerttisyys, sään- ja lämmönkestävyys, erinomainen sähköeristys ja erittäin alhainen kitkakerroin mahdollistavat PTFE:n käyttämisen tiivisteinä, venttiileinä, pumpun osina, johtojen eristyksissä ja pinnoitteina. PTFE muovia käytetään myös ohjuksissa ja ilma-aluksissa, jossa materiaalin täytyy kestää korkeita lämpötiloja. (Fluorocarbon, 2016)

5.3.3 Polyimidi (PI)

Polyimidi eli PI on sulamaton muovi, joka on tunnettu sen lujuudesta, stabiilisuudesta (kyky pysyä alkuperäisessä koossa käytön aikana) ja kestävydestä epämuodostumista vastaan jopa 260 °C lämpötiloissa. Pieni kulumisnopeus yhdistettynä kykyyn toimia voitelemattomissa olosuhteissa tekee PI:stä ihanteellisen materiaalin haastaviin kitka- ja kulumiskohteisiin, näin pidentäen käyttöikää ja pienentäen huoltokustannuksia, näistä esimerkkeinä ovat kovalevyjen ja tulostimien erilaiset osat. Sen lisäksi, että PI vapauttaa itsestään hyvin vähän kaasuja se on myös erittäin puhdas materiaali, mikä tekee siitä erittäin soveltavan materiaalin tyhjiö-, avaruus, ja puolijohdeteollisuuteen. (Ensinger, n.d.)

PI:llä on pitkäaikainen terminen stabiilisuus noin 300 °C (lyhytaikainen stabiilisuus 400 °C) ja se sietää korkeita lämpötiloja noin 470 °C asti. Vastakohtana sillä on hyvät kryogeeniset ominaisuudet noin -270 °C asti. PI:llä on vielä korkea lujuus ja jäykkyys yli 260 °C lämpötiloissa. Lisäksi PI:tä on hyvä työstää, sillä on korkea puhtaus ja pieni kaasujen vapautus tyhjiössä, se on palonkestävää ja se on erinomainen materiaali lämpö- ja sähköeristyksessä. (Ensinger, n.d.)

5.3.4 Polysulfoni (PSU)

Polysulfoni eli PSU on termoplastinen läpinäkyvä muovi. Amorfisen molekyyliarakenteensa vuoksi, PSU on läpikuultavaa ja sillä on vaaleanruskea sävy. PSU on korkean lämpötilan muovi, jolla on myös korkea mekaaninen lujuus ja jäykkyys. Korkean jatkuvan käyttölämpötilan lisäksi, PSU:lla on erinomainen kestävyys epämuodostumia vastaan monessa eri lämpötilassa, erinomainen stabiilisuus, erittäin hyvä kestävyys hydrolyysia vastaan ja hyvä kemiallinen yhteensopivuus. PSU:ta käytetään muoviastioissa, joita voidaan lämmittää mikrossa, öljytason ilmaisimissa, liittiminä, korkean taajuuden eristimissä, tarkastusikkunoissa, venttiileissä ja laipoissa. (Ensinger, n.d.)

PSU:lla on korkea käyttölämpötila, joka on noin 160 °C. Kuten mainittu jo aiemmin sillä on myös erittäin hyvä kestävyys hydrolyysia vastaan, mikä tekee PSU:sta kestävästä materiaalin esim. toistuvaa höyrysterilointia vastaan. Lisäksi PSU:lla on kova sitkeys, jopa matalissa lämpötiloissa, sillä on hyvä sähköeristys, sekä hyvä kestävyys säteilyä vastaan. (Ensinger, n.d.)

5.4 Tulevaisuuden muovit

5.4.1 Muovikomposiitit ja muovinanokomposiitit

Muovikomposiitit ja muovinanokomposiitit ovat muoveja, jotka on vahvistettu erilaisilla kuiduilla tai kiteillä, jotta ne ovat vahvempia tai joustavampia. Voidaan esimerkiksi tehdä muovista vahvempaa yhdistämällä siihen hiilikuituja. Tämä luo kevyen materiaalin, joka on ideaalinen nykyaikaiselle polttoaine tehokkaalle kuljetukselle, sillä mitä kevyempää materiaali on sitä vähemmän se vaikuttaa polttoainekulutukseen. Tämänkaltaiset kuiduilla vahvistetut muovit ovat jatkuvasti nousseet suosiossaan varsinkin ilmailualla, jossa vaaditaankin materiaalia, joka on kestävä ja kevyttä. Esimerkiksi Boeing 787 ja Airbus A360 ovat noin 50 % komposiittia. Kalliin hintansa vuoksi näitä muoveja ei käytetä kaikissa kulkuneuvoissa nykypäivänä. (Arrighi, 2015)

Muovinanokomposiitit ovat viimeaikaisin lisäys alalle. Muovi vahvistetaan sen sijaan pienillä aineiden hiukkasilla, kuten grafeenilla. Muovinanokomposiiteilla on useita mahdollisia käyttötarkoituksia, jotka ulottuvat tuuliturbiinien siipien kevyistä antureista, tehokkaampiin pattereihin ja luumurtumien parantaviin tukirakenteisiin (Arrighi, 2015). Pikkuhiljaa ollaan alettu tutkimaan jo perinteisten teräsruiuvien ja teräslevyjen korvaamista muovikomposiiteilla luumurtumien parantamisessa. Ne on tutkittu toimivan paremmin, kuin teräksestä valmistetut tukirakenteet ilman samankaltaisia jälkiongelmia (Assmann, 2018). Muovinanokomposiitit tulevat olemaan erittäin mielenkiintoinen materiaali jos pystymme valmistamaan niitä prosessimenetelmillä, mitkä mahdollistavat niiden suunnittelun hyvin hallitusti (Arrighi, 2015).

5.4.2 Itsestään korjautuvat muovit

Vaikka kuinka huolellisesti valitsemme materiaalin sen ominaisuuksiensa mukaan tiettyyn käyttötarkoitukseen, ne tulevat väistämättä hajoamaan jossain vaiheessa. Ikääntyminen, rappeutuminen ja mekaanisen eheyden menetys osumien, iskujen ja väsymisen vuoksi ovat vaikuttavia tekijöitä. Tämä ei ole pelkästään kallista, mutta saattaa aiheuttaa myös tuhoisaa jälkeä. (Arrighi, 2015)

Biologisten järjestelmien inspiroimana ollaan kehitetty uusia materiaaleja, jotka kykenevät korjaantumaan takaisin siihen pisteeseen, joka ollaan yleensä pidetty peruuttamattomasti vahingoittuneena. Muovit ovat näyttäneet olevan hyviä materiaaleja tässä. Haastavana tässä on pidetty laajentaminen suurin sovelluksiin ja käyttökohteisiin, sillä itsestään korjautuvat muovit vaativat paljon monimutkaisempaa suunnittelua kuin aikaisempien sukupolvien muovit. Itsestään korjautuvat muovit vaikuttavat kuitenkin olevan selvin keino pitkäkestoisille, vikasietoisille

materiaaleille, joita voidaan soveltaa pinnoitteissa, kuljetuksissa ja elektroniikassa. (Arrighi, 2015)

Muovit eivät aina tarvitse kehittyneitä sisäisiä järjestelmiä vaurioiden korjaamiseksi. Muovin hajotessa ne voivat paljastaa erittäin reaktiivisia päitä tai fragmentteja, jotka pyrkivät luonnostaan liittymään takaisin yhteen. Nämä päät tai fragmentit pyrkivät valon tai lämmön voimalla yhdistymään takaisin muihin lähellä oleviin molekyyleihin, näin ollen korjautuvan. Jotkut muovit hajoavat paljastaakseen sähköisesti varautuneet päät, jotka antavat rikkoutuneille fragmenteille elektrostaattisen vetovoiman. Materiaalin rikkoutuessa elektrostaattiset voimat vetävät päät yhteen, jolloin materiaali itse korjaa itsensä. (Woodford, 2019)

5.4.3 Muovielektroniikka

Suurin osa muoveista toimii eristeenä, joten ne eivät johdata sähköä. Kumminkin tämä kenttä alkoi kohota vuonna 2000, kun Alan MacDiarmid, Alan Heeger ja Hideki Shirakawa voittivat Nobel-palkinnon. He havaitsivat, että polyasetyleeni muovi alkaa johdattamaan sähköä, kun siitä poistetaan epäpuhtaudet dopingiksi kutsutun prosessin kautta. Tämä prosessi ei pelkästään muita samantyyppisiä muoveja muuta sähköä johtavaksi, vaan osasta voidaan tehdä jopa ledejä ja tämä avaa oven joustaville ja taipuisille näytöille. (Arrighi, 2015)

Tämä on kumminkin vielä alue, jossa muovit ovat kovassa kilpailussa muiden vakiintuneiden materiaalien, kuten piin ja orgaanisten ledien kanssa. Etsiessään halpoja monipuolisia korvikkeita elektroniikkalaitteisiin, muoveilla on paljon tarjottavaa koska niitä voidaan 3D-tulostaa ja niitä on helppo käsitellä prosesseissa. (Arrighi, 2015)

6 JOHTOPÄÄTÖKSET

Muovi on osa jokapäiväistä elämäämme. Se on luotu helpottamaan meidän arkea ja niin se helpottaakin. Se mahdollistaa modernin arkielämän. Tuotteita joita käytämme päivittäin, ovat valmistettu tai osittain valmistettu muovista; hammasharjat, kammot, säiliöt, roskikset, kännykät, kypärät, lelut ja muut elektroniset laitteet. Muovit ovat jo niin normaaleja meidän arjessamme, että emme edes huomaa niiden hyötyjä kovin selkeästi. Ympäristöongelmien vuoksi muovit ovat saaneet erittäin huonon maineen ja usein luullaan, että muovin kieltäminen kokonaan nyky-yhteiskunnastamme parantaisi nämä ongelmat välittömästi. Se ei kuitenkaan poista sitä ongelmaa, että ihmisten keskimääräinen kulutus ja materiantarve ovat nousseet huomattavasti; halutaan omistaa paljon erilaisia tuotteita, halutaan että kaikki on heti ja helposti saatavilla ja halutaan että tuotteet kestävät arjen kulutusta.

Muovit helpottavat ihmisen arkea; ne tekevät esineistä kestävämpiä, kevyempiä ja ovat kustannustehokas säilytysmuoto monelle asialle, kuten nesteille ja elintarvikkeille. Mieluummin nostat kahden litran pullon, mikä on valmistettu PET muovista, kuin lasista. Ensinäkin se on huomattavasti kevyempi ja toiseksi se ei särje jos sen pudottaa. Muovien paino/kestävyyssuhde on yksi niiden suurimmista hyödyistä verrattuna muihin materiaaleihin, kuten lasiin, puuhun tai metalliin. Riippuen toki muovilaadusta, mutta yleisesti ottaen muovit ovat erittäin kevyitä, kestävät suhteellisen hyvin lämpöä ja mikrobihyökkäyksiä, kestävät vääntöä ja taivutusta sekä muutenkin erilaisia rasituksia. Toki metallista valmistettu kappale on paljon lujempaa ja kestävämpää, mutta paino on myös huomattavasti suurempi. Teknisiä ja korkean suorituskyvyn muoveja voidaan nykyään käyttää sovelluksissa, joissa aiemmin metallit ovat olleet ainoa sopiva vaihtoehto. Näiden yhteissumma tekee muovista yhden yleisimmistä materiaaleista ja yleisimmän pakkausmateriaalin maailmassa.

Muovien vaikutusta ympäristöön ei voida kieltää, sillä sen näkee paljain silmin joka päivä, missä ikinä onkaan. Muovijätteet kerääntyvät lähes joka paikkaan maalla, mutta suurin haitta niistä syntyy kun ne virtaavat jokien ja vesistöjen mukana meriin. Ne päätyvät suoraan merieläinten ruokaketjuun ja sitä kautta meidän suihin, tappavat riuttoja ja eläimiä ja kaiken lisäksi muovijäte on vaikea kerätä pois merestä. Nykyään muovijätettä löytyy jopa Mariaanien haudasta 11 kilometrin syvyydestä (Brady, 2019). Muovin erittäin suuressa käyttömäärässä ja tarpeessa ei olla pysytty mukana kierrätyksen ja lajittelun kannalta. Artikkelissa Production, use, and fate of all plastics ever made tiedotetaan, että 90,5 % tähän päivään asti kaikista valmistetuista muoveista ei ole ikinä kierrätetty (Geyer, Jambeck, Law, 2017). Muovin yksi parhaimmista ominaisuuksista onkin niiden yksi suurimmista haittapuolista, tällä tarkoitan niiden kestävyttä. Tapa miten käytämme muoveja nykypäivänä, tekee niiden hyvästä kestävyydestä osittain haitallisen.

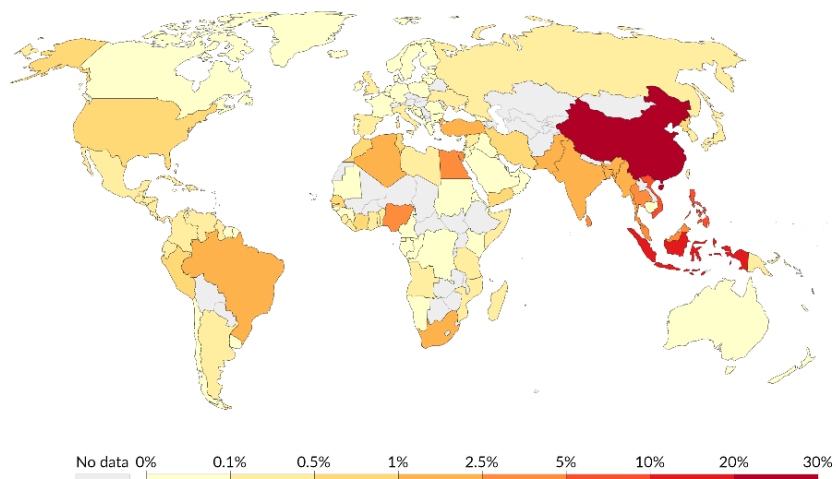
Muovien kertakäyttöisyys korostaa niiden haitallista vaikutusta ympäristöön, sillä suurin osa muovista käytetäänkin kertakäyttöisesti pakkausmateriaalina, joka heitetään menemään heti käytön jälkeen. Muovin käytön kieltäminen tai määrän laskeminen pienentäisi niiden vaikutusta ympäristöön huomattavasti. Se ei vaan ole niin yksinkertaista, koska muoveista on myös paljon hyötyä. Se, että elintarvikkeita ja nesteitä säilytetään muovivälikkeissä tuo jo säästöjä polttoainekulutuksissa kuljetuksien aikana, mikä vaikuttaa suoraan hiilijalanjälkeemme. Myös muovien käyttö autoissa on lisääntynyt. Nykyautot ovat kevyempiä ja polttoainetehokkaampia, kuin edeltäjänsä (American chemistry council, 2019). Biomuovit ovat hyvä ratkaisu torjumaan haitallisten aineiden kulkeutumista meidän kehoon. Normaaleista muoveista irtoaa esimerkiksi BPA:ta, mikä on todistettu aiheuttavan hormonaalisia ongelmia ihmisen kehossa. Normaalien muovien todellinen haitta ihmisiin tullaan näkemään

vasta tulevaisuudessa. Vaikka biomuovit ovatkin vähemmän haitallisempia ihmisille, ne voivat silti olla yhtä haitallisia ympäristölle kuin normaalit muovit, sillä tavallinen kuluttaja kierrättää biomuovit todennäköisesti väärin. Niiden valmistuksessa käytettävät raaka-aineet jättävät jalanjäljen ja väärissä olosuhteissa ne saattavat jopa vapauttaa metaania ilmaan. Määristä ei löydy konkreettista tietoa ja tutkijat ja biomuovien valmistajat ovat mitanneet ristiriitaisia tuloksia.

Share of global mismanaged waste, 2010

Global share of mismanaged plastic waste derived from a given country. Mismanaged waste is the sum of littered or inadequately disposed waste. Inadequately disposed waste is not formally managed and includes disposal in dumps or open, uncontrolled landfills, where it is not fully contained. Mismanaged waste could eventually enter the ocean via inland waterways, wastewater outflows, and transport by wind or tides.

Our World
in Data



Source: Jambeck et al. (2015)

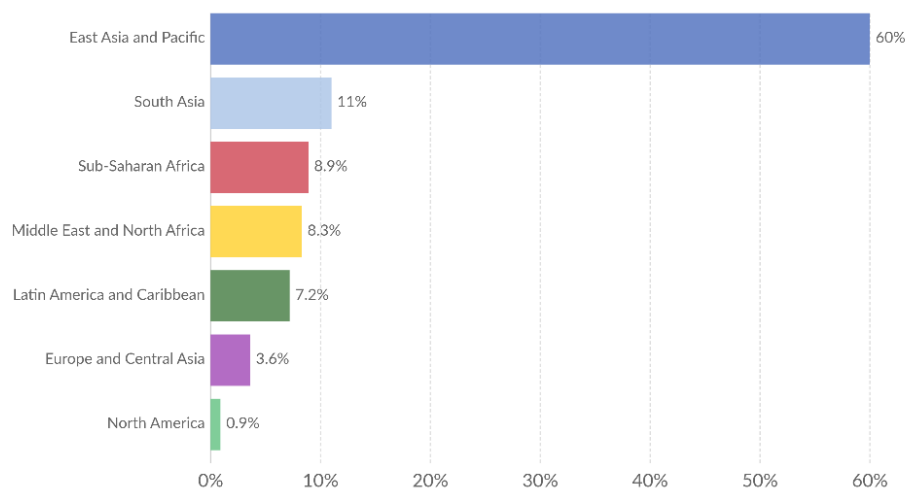
CC BY

Kuva 12. Osoittaa maiden prosentuaalisen määrän väärinkäsitellyä jätettä (Our World in Data, 2015).

Global mismanaged plastic by region, 2010

This is measured as the total mismanaged waste by populations within 50km of the coastline, and therefore defined as high risk of entering the oceans. Mismanaged plastic waste is defined as "plastic that is either littered or inadequately disposed. Inadequately disposed waste is not formally managed and includes disposal in dumps or open, uncontrolled landfills, where it is not fully contained. Mismanaged waste could eventually enter the ocean via inland waterways, wastewater outflows, and transport by wind or tides."

Our World
in Data



Source: OWID based on Jambeck et al. (2015)

OurWorldInData.org/plastic-pollution • CC BY

Kuva 13. Pylväskuvaaja väärinkäsitellyn muovin määrästä (Our World in Data, 2015).

Kestävin ratkaisu nyky-yhteiskuntamme muoviongelmalle on oikeaoppinen kierrätys ja ohjeistus. Tehokkain tapa muoviongelman torjumiselle olisi muutos nykypäivän kulutustottumuksissa, mutta muovi on niin syvästi integroitu meidän jokapäiväiseen elämäämme, että en näe kestäväenä ratkaisuna sitä, että alettaisiin taas valmistamaan perinteisiä arkituotteita jostakin muusta materiaalista kuin muovista.

Suurin osa ihmisistä käyttää liian paljon muovia vuodessa ja jos saataisiin yleisesti tietoon se, että mitä liiallinen muovin käyttö ja vääränlainen kierrätystapa aiheuttaa maapallolle, olisi selvää että parannusta alkaisi näkymään. Nykyään ollaankin menossa jo parempaan suuntaan. Muoviongelmissa on alettu uutisoimaan entistä enemmän ja yhä suurempi osa ihmisistä on tietoisia muovin mukana tulleista ongelmista, esimerkkinä Forbes:n julkaisema uutinen Coca-Cola named the world's most polluting brand in plastic waste audit (Nace, 2019). YLE:ltä löytyy myös monta ajankohtaista uutista muoveihin liittyen, esimerkkinä niiden julkaisema uutinen juomaveden mikromuovin määrä ei ole toistaiseksi terveysriski (YLE, 2019). Suomi on maailmanlaajuisesti erittäin hyvä esimerkki siitä, miten muovia pitäisi kierrättää, sillä se on yksi harvoista maista, mistä löytyy pullojen panttisysteemi. Kiina yksinään päästää jo suuren määrän muovia ympäristöön ja suurin osa merissä olevista muoveista tulee Aasiasta. Kuvat 12 & 13 osoittavat, kuinka tärkeää on saada hallintaan muovijätteen kontrolloimaton käsittely Aasiassa ja etenkin Kiinassa. Tutkimalla kuvaa 12 tarkemmin huomataan, että Aasiassa väärinkäsitellyn jätteen määrä on 10–30 % maasta riippuen ja tätä kuvaa verrattaessa kuvaan 13 huomataan, että väärinkäsitellyn muovin määrä Itä-Aasiassa on 60 %. Muissakin maissa on vielä paljon parannettavaa ja ongelman ratkaisu vaatii maailmanlaajuisia yhteistyötä. Muoveja ei tulla todennäköisesti korvaamaan millään muulla materiaalilla, joten on oleellista, että löydämme tasapainoisen tavan käyttää niitä.

7 LÄHTEET

American Chemistry Council. (n.d.). History of polyurethanes. Haettu 25.09.2019 osoitteesta

<https://polyurethane.americanchemistry.com/History/>

American Chemistry Council. (n.d.). How Plastics Are Made. Haettu 03.02.19 osoitteesta

<https://plastics.americanchemistry.com/How-Plastics-Are-Made/>

American Chemistry Council. (2019). Plastics and polymer composites in light vehicles. Haettu 1.11.2019 osoitteesta

<https://www.automotiveplastics.com/wp-content/uploads/Plastics-and-Polymer-Composites-in-Light-Vehicles-2019-REV-Sm.pdf>

Arrighi, V. (2015). 5 Synthetic Materials that will Shape the Future. Haettu 06.07.2019 osoitteesta
<https://www.weforum.org/agenda/2015/02/5-synthetic-materials-that-will-shape-the-future/>

Assmann, K. (2018). Healing bones with polymers. Haettu 26.09.2019 osoitteesta
<https://elements.evonik.com/research-and-innovation/healing-bones-with-polymers/>

Beall, G. (2002). Polypropeenista valmistettu saranakorkki. Haettu 11.03.2019 osoitteesta
https://www.plasticstoday.com/sites/default/files/images/Des_Beall2.gif

Brady, S. (2019). Plastic Waste Mariana Trench. Haettu 1.11.2019 osoitteesta
<https://www.lonelyplanet.com/articles/plastic-waste-mariana-trench>

Creative Mechanisms. (2016). Everything you need to know about PVC. Haettu 10.03.2019 osoitteesta
<https://www.creativemechanisms.com/blog/everything-you-need-to-know-about-pvc-plastic>

Creative Mechanisms. (2016). Everything you need to know about PP. Haettu 11.03.2019 osoitteesta
<https://www.creativemechanisms.com/blog/all-about-polypropylene-pp-plastic>

Creative Mechanisms. (2016). Everything you need to know about bioplastics. Haettu 07.04.2019 osoitteesta
<https://www.creativemechanisms.com/blog/everything-you-need-to-know-about-bioplastics>

De Leon, A., Chen, Q., Palaganas, N., Palaganas, J., Manapat, J. & Advincula, R. (2016). High performance polymer nanocomposites for additive manufacturing applications. *Reactive and Functional Polymers* s. 141-155. Haettu 02.10.2019 osoitteesta
<https://www.sciencedirect.com/journal/reactive-and-functional-polymers/vol/103/suppl/C>

Ensinger. (n.d.). PI – Polyimide. Haettu 07.06.2019 osoitteesta
<https://www.ensingerplastics.com/en/shapes/high-performance-plastics/pi-polyimide>

Ensinger. (n.d.). PSU – Polysulfone. Haettu 18.06.2019 osoitteesta
<https://www.ensingerplastics.com/en/shapes/high-performance-plastics/psu>

European Bioplastics. (n.d.). Biomuovien käyttökohteet. Haettu 20.04.2019 osoitteesta

https://www.european-bioplastics.org/wp-content/uploads/2016/11/EUBP_Bioplastics_in_everyday_life.jpg

European Bioplastics. (n.d.). Biomuovien valmistukseen käytetyt raaka-aineet. Haettu 20.04.2019 osoitteesta

https://www.european-bioplastics.org/wp-content/uploads/2016/11/EUBP_Biobased_feedstocks-1024x622.jpg

Fluorocarbon. (2016). What is polyethererketone. Haettu 10.05.2019 osoitteesta

<http://www.fluorocarbon.co.uk/news-and-events/post/13/what-is-poly-ethererketone-peek>

Fluorocarbon. (2016). What is polytetrafluoroethylene. Haettu 25.05.2019 osoitteesta

<http://www.fluorocarbon.co.uk/news-and-events/post/10/what-is-poly-tetrafluoroethylene-ptfe>

Freinkel, S. (2011). A Brief history of plastic's conquest of the world. Haettu 27.09.2019 osoitteesta

<https://www.scientificamerican.com/article/a-brief-history-of-plastic-world-conquest/>

Geyer, R., Jambeck, J & Law, K. (2017). Production, use, and fate of all plastics ever made. Haettu 1.11.2019 osoitteesta

<https://advances.sciencemag.org/content/3/7/e1700782>

McKinsey & Company. (2016). Rethinking the future of plastics. Haettu 02.05.2019 osoitteesta

<https://www.mckinsey.com/business-functions/sustainability/our-insights/rethinking-the-future-of-plastics>

Muoviteollisuus Ry. (2016). Muovit lajiteltuna valtamuovien, teknisten muovien ja erikoismuovien suhteen. Haettu 21.02.19 osoitteesta

http://www.plastics.fi/data/cache/resizedContentImage_929e1fa3e1543616d52a530d234ac739.jpg

Muoviteollisuus Ry. (2016). Muoviteollisuus lukuina. Haettu 17.01.19 osoitteesta

http://www.plastics.fi/fin/muovitieto/muoviteollisuus/muoviteollisuus_lukuina/

Nace, T. (2019). Coca-Cola named the world's most polluting brand in plastic waste audit. Haettu 1.11.2019 osoitteesta <https://www.forbes.com/sites/trevornace/2019/10/29/coca-cola-named-the-worlds-most-polluting-brand-in-plastic-waste-audit/#6ac505c174e0>

Nature. (2018). The Future of Plastic. Haettu 04.05.2019 osoitteesta <https://www.nature.com/articles/s41467-018-04565-2>

Omnexus. (n.d.). Putken osia valmistettu jäykästä PVC:stä. Haettu 10.03.2019 osoitteesta https://omnexus.specialchem.com/_/media/selection-guides/omnexus/polymer-profiles/polyvinylchloride/pvc-pipes.jpg?h=285&w=468&la=en

Omnexus. (n.d.). The Definitive Guide to Polypropylene. Haettu 05.10.2019 osoitteesta <https://omnexus.specialchem.com/selection-guide/polypropylene-pp-plastic>

Our World in Data. (2018). Plastic Pollution. Haettu 02.05.2019 osoitteesta <https://ourworldindata.org/plastic-pollution>

Our World in Data. (2018). Globaalinen muovin tuotanto. Haettu 02.05.2019 osoitteesta <https://ourworldindata.org/plastic-pollution>

PETRA. (2015). An introduction to PET. Haettu 08.04.2019 osoitteesta http://www.petresin.org/news_introtPET.asp

Pitt, A. (2018). Commodity vs Engineering Plastics. Haettu 21.02.19 osoitteesta <https://pnplastics.co.uk/thermoplastics-commodity-vs-engineering/>

Polymer Science Learning Center. (n.d.). Nylons. Haettu 02.10.2019 osoitteesta <https://pslc.ws/macrog/nylon.htm>

Plasticprop. (n.d.). POM Properties. Haettu 05.10.2019 osoitteesta <https://www.plasticprop.com/articles/pom-properties-experiences-and-useful-links>

Plastics Europe. (n.d.). What Are Plastics. Haettu 17.01.19 osoitteesta <https://www.plasticseurope.org/en/about-plastics/what-are-plastics>

Polyplastics. (n.d.). Homopolymer vs Copolymer. Haettu 05.10.2019 osoitteesta <https://www.polyplastics.com/en/product/lines/diff2pom/index.vm>

Polymer Properties Database. (n.d.). Thermoplastics. Haettu 10.03.2019 osoitteesta

<http://polymerdatabase.com/polymer%20classes/Thermoplastics.html>

Pyykinlinna. (n.d.). Tehtaat. Haettu 15.02.19 osoitteesta

<http://www.pyynikinlinna.fi/emil-aaltonen/tehtaat/>

Pyykinlinna. (n.d.). Sarvis Oy:n myyntinäyttely muovituotteistaan. Haettu 15.02.19 osoitteesta

<http://www.pyynikinlinna.fi/wp-content/uploads/2016/05/Emil-Aaltonen-5-2-e1516710885321.jpg>

Redstone, D. (n.d.). 5 surprising secrets of biodegradable plastic bags. Haettu 03.10.2019 osoitteesta

<https://www.plasticplace.com/blog/5-surprising-secrets-of-biodegradable-plastic-bags>

Resinex. (n.d.). POM – Polyoksimeteeni. Haettu 16.04.2019 osoitteesta

<https://www.resinex.fi/polymeerilaatuja/pom.html>

Rogers, T. (2015). Everything you need to know about PS. Haettu 15.03.2019 osoitteesta

<https://www.creativemechanisms.com/blog/polystyrene-ps-plastic>

Rogers, T. (2015). Everything you need to know about PE. Haettu 17.03.2019 osoitteesta

<https://www.creativemechanisms.com/blog/polyethylene-pe-for-prototypes-3d-printing-and-cnc>

Sahimaa, O. (2013). Muovin käyttökohteet Suomessa. Haettu 18.01.2019 osoitteesta

<https://www.ym.fi/download/noname/%7BF8C51BB0-19E7-4722-AB60-CA27C3A8C556%7D/136130>

Science History Institute. (n.d.). The History of Plastics and Future of Plastics. Haettu 05.02.19 osoitteesta

<https://www.sciencehistory.org/the-history-and-future-of-plastics>

Science History Institute. (n.d.). Nylon – A Revolution in Textiles. Haettu 05.02.19 osoitteesta

<https://www.sciencehistory.org/distillations/nylon-a-revolution-in-textiles>

Spinecraft. (n.d.). PEEK muovin käyttöä lääketieteellisyydessä. Haettu 10.05.2019 osoitteesta

<https://www.spinecraft.com/uploads/6/9/6/5/69656389/ctlif-transparent.png?201>

U.S. Food & Drug Administration. (2018). Recycled Plastics In Food Packaging. Haettu 17.10 osoitteesta
<https://www.fda.gov/food/packaging-food-contact-substances-fcs/recycled-plastics-food-packaging>

Wang, Z. Liu, H. & Liu, S. (2016). Low-Dose Bisphenol A exposure: A seemingly instigating carcinogenic effect on breast cancer. Haettu 01.10.2019 osoitteesta
<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5323866/>

Waring, S. (2017). Bakeliitti puhelin vuodelta 1934. Haettu 10.02.19 osoitteesta
https://blog.sciencemuseum.org.uk/wp-content/uploads/2017/12/cd0145_014-050817-CG-2003_22_66_2-Table-telephone.png

Woodford, C. (2019). Self-healing materials. Haettu 06.10.2019 osoitteesta
<https://www.explainthatstuff.com/self-healing-materials.html>

YLE. (2010). EU kieltää bisfenoli A kemikaalin tuttipulloissa. Haettu 20.04.2019 osoitteesta
<https://yle.fi/uutiset/3-5676144>

YLE. (2011). Bisfenoli A on hormonihäirikkö. Haettu 20.04.2019 osoitteesta
<https://yle.fi/uutiset/3-5091096>

YLE. (2019). WHO: Juomaveden mikromuovin määrä ei ole toistaiseksi riski. Haettu 1.11.2019 osoitteesta
<https://yle.fi/uutiset/3-10932605>