

Kehittämistutkimus: Muovien kierrätyksen opettaminen ongelmalähtöisen oppimisen avulla lukio-opetuksessa

Tekijä: Toni Asikainen

Pro Gradu-tutkielma

Kemian opettajankoulutusyksikkö

Kemian laitos

Matemaattis-luonnontieteellinen tiedekunta

Helsingin yliopisto

4.5.2016

Ohjaajat:

Maija Aksela

Sami Hietala

Tiedekunta/Osasto Fakultet/Sektion – Faculty Matemaattis- luonnontieteellinen tiedekunta		Laitos/Institution– Department Kemian laitos	
Tekijä/Författare – Author Toni Asikainen			
Työn nimi / Arbetets titel – Title Kehittämistutkimus: Muovien kierrätyksen opettaminen ongelmalähtöisen oppimisen avulla lukio-opetuksessa			
Oppiaine /Läroämne – Subject Kemia (kemian opettajan suuntautumisvaihtoehto)			
Työn laji/Arbetets art – Level Pro gradu -tutkielma	Aika/Datum – Month and year 4.5.2016	Sivumäärä/ Sidoantal – Number of pages 80+21	
Tiivistelmä/Referat – Abstract Muovit ovat materiaaleina hyvin suosittuja niiden halpuuden ja monikäyttöisyyden takia. Suomessa on tullut vuoden 2016 alusta voimaan asetus, joka tiukentaa muovien keräyksen ja kierrätyksen toteutusta. Aihe onkin ajankohtainen ja se sisältyy kestävän tulevaisuuden rakentamisen kanssa lukion opetussuunnitelmien perusteiden sisällöllisiin tavoitteisiin. Ongelmalähtöinen oppiminen on oppilaslähtöinen opetusmenetelmä, jossa oppimisen pohjana käytetään käytännöstä nousevia ongelmia. Opetusmenetelmä sisältää aina käsiteltävän ongelman, itseopiskelun ja tiedonkokoamisen. Ongelmalähtöinen oppiminen, kuten myös lukion opetussuunnitelmien perusteiden oppimiskäsitys, on konstrukttiivisen oppimiskäsityksen mukainen. Tutkimus toteutettiin kaksisyklisenä kehittämistutkimuksena, jonka tavoitteena oli kehittää ongelmalähtöistä oppimateriaalia muovien kierrätyksen opettamiseen lukion kemian opetuksessa. Tutkimus sisälsi tarveanalyysin, teoreettisen ongelma-analyysiin ja oppimateriaalin kehittämisen, arvioinnin ja jatkokehittämisen. Empiirisessä ongelma-analyysissä selvitettiin miten muovien kierrätystä opetetaan lukiossa. Tämä toteutettiin suorittamalla valituille lukion oppikirjoille sisällönanalyysi. Tulosten mukaan aihe käsitellään lukion neljännessä kemian kurssissa materiaalien ja polymeerien yhteydessä. Kierrätyksessä käytettäviä eri menetelmiä ei kirjoissa juurikaan nimellisesti esitelty, vaikka osaa kuvailtiinkin teksteissä. Aiheeseen liittyviä tehtäviä löytyi joka kirjasta, mutta ne eivät käsitelleet aihetta kokonaisuutena ja yhtään kokeellista tehtävää ei aiheesta löytynyt. Teoreettisessa ongelma-analyysissä tutkittiin muoveihin, niiden kierrätykseen, niiden opetukseen, ympäristöopetukseen ja ongelmalähtöiseen oppimiseen liittyvää tutkimuskirjallisuutta. Tämän ja empiirisen ongelma-analyysin pohjalta kehitettiin ongelmalähtöisen oppimisen mukaisia tehtäviä ja niiden tueksi verkko-oppimateriaalia muovien kierrätyksestä. Tehtävät käsittelevät muovien kierrätystä Suomessa, muoveja merissä ja muovien hajoamista luonnossa. Verkkomateriaali on suunniteltu niin, että se ei anna suoria vastauksia kehitettyihin tehtäviin, vaan se toimii pohjana tarkemmalle tiedonhauille. Tutkimuksen toisessa syklissä kehitettyä oppimateriaalia arvioitiin opettajille suunnatulla verkkokyselyllä. Verkkokyselyllä kartoitettiin materiaalin kehityskohteita ja saadun palautteen avulla materiaalia jatkokehitettiin. Kyselyn perusteella vastaajat pitivät ongelmalähtöistä oppimista hyvänä lähestymistapana muovien kierrätyksen opettamiseen ja kehitettyjä tehtäviä ja materiaalia soveltuvana opetukseen ehdotettujen korjausten jälkeen. Opettajien oppaita ja apua tiedonhakuun-osiota pidettiin hyvin hyödyllisinä ja onnistuneina. Tärkeimpinä kehityskohteina pidettiin sisällön tarkastusta asiantuntijalla, ulkoasun parantamista, kuten kuvien lisäämistä, ja tekstin rakenteen selkeyttämistä. Materiaali olisi jatkossa hyvä testata oppilailla, jotta näkisi miten se toimisi oikeassa koulukontekstissa ja millaista oppimista sen avulla on mahdollista saada aikaan.			
Avainsanat – Nyckelord – Keywords muovit, muovien kierrätys, ongelmalähtöinen oppiminen, verkkomateriaali, kemian opetus, kehittämistutkimus			
Säilytyspaikka – Förvaringställe – Where deposited E-thesis			
Muita tietoja – Övriga uppgifter – Additional information Ohjaajat: Maija Aksela & Sami Hietala			

Sisällys

1.	Johdanto.....	1
2.	Kehittämistutkimus.....	4
2.1	Tutkimuskysymykset	5
2.2	Kehittämistutkimuksen toteutus.....	6
3.	Teoreettinen ongelma-analyysi: Ongelmalähtöinen oppiminen.....	7
3.1	Ongelmalähtöisen oppimisen rakenne	8
3.2	Työskentelyssä käytettävät roolit	9
3.3	Ongelmien suunnittelu	10
3.4	Ongelmalähtöisen oppimisen hyödyt	11
3.5	Haasteet	12
3.5.1	Arviointi.....	13
3.6	Yhteenveto	14
4.	Teoreettinen ongelma-analyysi: Muovien kierrätys.....	16
4.1	Muovit.....	16
4.1.1	Polymeerit.....	17
4.1.2	Muovien haitat.....	18
4.2	Muovien kierrätys	19
4.2.1	Energiantuotanto.....	21
4.2.2	Mekaaninen kierrätys	22
4.2.3	Kemiallinen kierrätys	24
4.2.3.1	Pyrolyysi.....	24
4.2.3.2	Kaasutus	25
4.2.3.3	Muita kemiallisia kierrätysmenetelmiä	26
4.3	Biohajoavat muovit	28
4.3.1	Käytössä olevia biohajoavia muoveja	29
4.3.2	Biohajoavien muovien kierrätys.....	31

4.4 Yhteenveto	33
5. Teoreettinen ongelma-analyysi: Muovien kierrätys opetuksessa.....	34
5.1 Muovien kierrätys lukion opetussuunnitelmien perusteissa	34
5.2 Muovien opetus.....	35
5.3 Ympäristöopetus ja kestävä kehitys opetuksessa.....	36
5.4 Oppilaiden kiinnostus luonnontieteiden opiskeluun	38
5.5 Yhteenveto	38
6. Empiirinen ongelma-analyysi.....	40
6.1 Tarveanalyysin toteutus	40
6.2 Tulokset.....	41
6.3 Yhteenveto	43
7. Kehittämisosprosessi: Oppimateriaalin kehittäminen.....	45
7.1 Tavoitteet oppimateriaalille	45
7.1.1 Ongelmalähtöisen oppimisen hyödyntäminen	45
7.1.2 Kemian oppisisältö	46
7.1.3 Ympäristöopetuksen tukeminen	46
7.1.4 Yhteenveto oppimateriaalin tavoitteista	47
7.2 Oppimateriaalin kehittäminen.....	47
7.3 Kehitetty oppimateriaali.....	49
7.3.1 Verkkomateriaali muovien kierrätyksestä.....	49
7.3.2 Ongelmalähtöisen oppimisen mukaiset tehtävät	52
7.4 Oppimateriaalin arvioiminen	55
7.4.1 Kyselylomakkeen laatiminen.....	55
7.4.2 Kyselytutkimuksen tulokset.....	56
7.4.3 Sähköpostipalautteen arviointi	62
7.5 Oppimateriaalin jatkokehittäminen.....	63
8. Johtopäätökset ja pohdinta	65

Lähteet	71
---------------	----

Liitteet	
----------	--

Lyhenneluettelo

EG	Etyyliglykoli
HDPE	High-density polyethylene, suuritiheyksinen polyeteeni
LDPE	Low-density polyethylene, pienitiheyksinen polyeteeni
LLDPE	Linear low-density polyethylene, lineaarinen pienitiheyksinen polyeteeni
PE	Polyeteeni
PLA	Polylaktidi
PHA	Polyhydroksialkonaatti
PHB	Polyhydroksibutyraatti
PHBV	Poly(3-hydroksibutyraatti-ko-3hydroksivaleraatti)
PP	Polypropeeni
PS	Polystyreeni
PVC	Polyvinyylikloridi
PET	Polyteeniterftalaatti
PU	Polyuretaani
MSWI	Municipal solid waste incinerator
SRF	Solid recovered fuel
TPA	Tereftalaattihappo

1. Johdanto

Valtioneuvosto antoi vuoden 2014 heinäkuussa pakkauksia ja pakkausjätettä koskevan asetuksen, jossa asetettiin tavoitteelliseksi muovipakkausjätteen kierrätysasteeksi vuoden 2016 alusta 16 % ja vuoden 2020 alusta 22 % jätteen painosta. Tässä ei huomioida juomapullojen palautuksessa kerättyjä pulloja. Asetuksessa siirretään kuluttajapakkausten kierrätyksen järjestämisen vastuu kunnalta tuottajille. Kierrätysverkoston tulisi kattaa koko maa ja keräyspisteiden sijaita yleisesti käytössä olevien palveluiden yhteydessä tai kulkureittien varressa. Muovien osalta keräyspisteitä tulisi olla vähintään yksi jokaisessa taajamassa, jossa on yli 10000 asukasta ja niiden tulisi olla valmiina vuoden 2016 alusta. (Valtioneuvosto, 2014) Tällä asetuksella pyritään edistämään kierrätyksen toteutusta ja edistää kestävän kehityksen mukaista toimintaa. Suomen jätelain mukaan talousjätteestä tulisi kierrättää tai saada muuten hyötykäyttöön 50 % kunkin materiaalin painosta vuoteen 2020 mennessä suosien kierrätystä edistäviä menetelmiä ja sen jälkeen hyödyntää kierrätykseen kelpaamatonta jätettä energiantuotannossa. (Jätelaki, 2011/646; Ympäristövaliokunta, 2010)

Brundtlandin komission vuonna 1987 antaman alkuperäisen määritelmän mukaan kestävä kehitys on kehitystä, minkä avulla on mahdollista täyttää nyky-yhteiskunnan tarpeet viemättä tulevilta sukupolvilta mahdollisuutta samaan (Redclift, 2005). Aikojen kuluessa sillä on kuitenkin ollut monia eri määritelmiä, mutta yleisimmät määritelmät erottavat kolme eri näkökulmaa: ympäristön, yhteiskunnan ja talouden. Kulttuurillinen näkökulma on myös ollut viimeisten vuosina vahvasti esillä. (Hopwood, Mellor & O'Brien, 2005)

Muovien kierrätys onkin nyt ajankohtainen asia ja sen tehokas toteuttaminen vaatii myös kuluttajilta tietoisuutta ja toimia, koska heidän tulee itse viedä muovijäte keräyspisteisiin ja tuntea mitkä muovit sopivat kierrätettäväksi. Muovien kierrätys liittyy myös vahvasti kestävän kehityksen edistämiseen ja kestävän tulevaisuuden edistäminen on iso ainerajat ylittävä kokonaisuus lukion opetussuunnitelmien perusteissa (Opetushallitus, 2015). Aiheen opettamisesta ei juurikaan löydy tutkimustietoa, minkä takia on tarvetta kehittää ajantasaista oppimateriaalia aiheesta. Muovien kierrätykseen liittyy myös monia pieniä aihealueita, joiden opettamiseen sitä on mahdollista käyttää. Näitä ovat esimerkiksi polymeerit, kierrätys yleisesti ja kestävä kehitys, Myös tiheys tulee esille muovien lajittelun yhteydessä.

Nykyään usein käytössä oleva konstruktivisen oppimiskäsityksen mukaan ihmiset oppivat yhteisöllisesti käsittelemällä uutta tietoa aktiivisesti vanhan tiedon pohjalta. Oppimisen tulisi myös olla liitetty mahdollisimman hyvin oppilaan omaan elämään ja hänen tulisi pystyä vaikuttamaan omaan opiskeluunsa. (Pecore, 2012) Myös lukion opetussuunnitelmien perusteiden oppimiskäsitys korostaa tällaista oppimista (Opetushallitus, 2015). Ongelmalähtöinen oppiminen on tämän oppimiskäsityksen mukainen opetusmenetelmä, jossa oppimisen pohjana käytetään käytännöstä nousseita ongelmia. Opetusmenetelmällä on useita erilaisia toteutustapoja, mutta ne kaikki sisältävät pohdittavan ongelman, itsenäisen opiskelun ja tiedon kokoamisen. (Perennet, Bouhuijs & Smits, 2000)

Tämän Pro gradu –tutkielman tavoitteena oli kehittää ongelmalähtöisen oppimisen mukaista oppimateriaalia muovien kierrätyksen opettamiseen lukion kemian opetuksessa. Materiaalin tavoitteena on antaa oppilaille ajantasaista tietoa ja laajan kokonaiskuvan muovien kierrätyksestä. Sen avulla pitäisi myös pystyä edistämään kestävän tulevaisuuden mukaista ajattelutapaa opetussuunnitelmien perusteiden tavoitteiden mukaisesti. Oppimateriaali on suunnattu lukion neljännelle kurssille, koska sen keskeisiä sisältöjä ovat materiaalit, polymeerit ja kemian merkitys teollisuudessa ja yhteiskunnassa. Tämän kurssin tavoitteiden mukaisesti ongelmalähtöisellä oppimisella pyritään harjaannuttamaan oppilaita ilmaisemaan itseään kemialle ominaisella tavalla, analysoimaan eri tiedonlähteitä argumentoimalla ja oppimaan käyttämään ja soveltamaan materiaaleihin ja teknologiaan liittyviä kemian käsitteitä jokapäiväisen elämän, ympäristön ja yhteiskunnan ilmiöissä. (Opetushallitus, 2015)

Tutkimus on suoritettu kaksisyklisenä kehittämistutkimuksena, jonka tavoitteena oli kehittää ongelmalähtöinen oppimateriaali, joka tukee muovien kierrättämisen mielekästä oppimista. Tutkimuksen ensimmäisessä syklissä kehitettiin kolme ongelmalähtöistä tehtävää ja niiden tuoksi verkkosivut muovien kierrättämisestä. Toisessa syklissä selvitettiin miten materiaali soveltuu opettajien mielestä asetettujen tavoitteiden mukaisten sisältöjen opettamiseen ja mitä kehityskohteita siinä on, minkä jälkeen materiaalia jatkokehitettiin näiden löydettyjen kehityskohteiden avulla.

Tämä tutkielma koostuu 8 luvusta. Luku kaksi esittelee kehittämistutkimuksen tutkimusmenetelmänä, tutkimuskysymykset ja tutkimuksen toteuttamisen. Luvussa kolme esitellään teoreettisen ongelma-analyysin ensimmäinen vaihe, eli ongelmalähtöistä oppimista käsittelevä tutkimuksen kannalta oleellinen tieteellinen tutkimustieto. Luvussa

neljä jatketaan teoreettisen ongelma-analyysin läpikäymistä esittelemällä muoveja ja niiden eri kierrätysmenetelmiä. Viidennessä ja viimeisessä teoreettista ongelma-analyysiä käsittelevässä luvussa käydään läpi muovien kierrätyksen opetuksen kannalta oleellisista tutkimustietoa perehtymällä muovien opetukseen, kestävän kehityksen opetukseen ja ympäristöopetukseen. Kuudennessa luvussa esitellään empiirinen ongelma-analyysi, jossa käydään läpi tarveanalyysin avulla miten muovien kierrätys opetetaan tällä hetkellä lukio-opetuksessa. Seitsemännessä luvussa käsitellään oppimateriaalin kehittäminen, sen arviointi ja jatkokehittäminen. Viimeisessä kahdeksannessa luvussa tehdään johtopäätökset tuloksista, käydään läpi tutkimuskysymykset ja pohditaan tutkimuksen merkitystä ja luotettavuutta.

2. Kehittämistutkimus

Tutkimusmuotona kehittämistutkimus sai alkunsa 1990-luvun alussa Yhdysvalloista, mistä suurin osa siihen liittyvistä julkaisuista on peräisin. Viime vuosien aikana kehittämistutkimuksia on ruvettu julkaisemaan myös muualla maailmassa ja se onkin vakiinnuttanut paikkansa opetuksen tutkimuksessa. Luonnontieteiden opetus on ollut yksi suurimmista kehittämistutkimuksien kohteista. (Anderson & Shattuck, 2012; Collins, Joseph & Bielaczyc, 2004)

Perinteistä tutkimusta on syytetty siitä, että tutkimustieto ja käytäntö ovat erillään toisistaan. (Collins *et al.*, 2004; Pernaa, 2013) Kehittämistutkimuksella pyritään vastaamaan tähän tarpeeseen kehittämällä sekä teoreettista tietoa opettamisesta ja oppimisesta oikeassa maailmassa että luomalla käytännön opetustyötä edistävä kehittämissuotos. (Collins *et al.*, 2004; Juuti & Lavonen, 2006;)

Oikean maailman kontekstit ovat monimutkaisia ja niitä ei ole mahdollista aina mitata perinteisillä tutkimusmenetelmillä, koska niissä ei ole yhtä muuttujaa, joka olisi mahdollista eristää täysin muista muuttujista. Näin ollen luokkahuoneissa tutkittavia ilmiöitä on vaikea mitata muuttuja kerrallaan. Tästä syystä kehittämistutkimus pyrkii ottamaan koko kontekstin huomioon kehittämisprosessissa. (Barab & Squire, 2004)

Kehittämistutkimuksella ei ole yhtä selvää määritelmää ja siinä käytetään usein monimuotoisia tutkimusmenetelmiä. Siitä löytyy kuitenkin aina iteratiivinen kehittämisprosessi, joka pohjautuu aikaisempaan tutkimuskirjallisuuteen, kehittämissuotoksen kehittäminen ja uuden tiedon luominen opettamisesta ja oppimisesta. (Juuti & Lavonen, 2006)

Edelsonin (2002) mukaan kehittämistutkimukseen kuuluu aina kolme seuraavaa vaihetta:

1. Ongelma-analyysi
2. Kehittämisprosessi
3. Kehittämissuotos

Nämä vaiheet eivät välttämättä esiinny tietoisesti tässä järjestyksessä, mutta ne ovat aina osa prosessia. Ongelma-analyysissä kartoitetaan kehittämistutkimuksen tarpeet ja tavoitteet. Kehittämistutkimus lähtee liikkeelle yleensä havaitusta ongelmasta ja siihen kehitellystä ratkaisusta. Mahdollista ongelmaa ja sen ratkaisua kehitetään ja tarkennetaan ongelma-

analyysin aikana, yleensä empiirisesti ja teoreettisesti. Kehittämisprosessissa on tarkoitus kartoittaa kehittämistutkimuksen käytännön toteutus. Kehittämisen lopputuloksena saadaan kehittämistuotos, jolla pyritään vastaamaan ongelma-analyysissä nousseisiin tarpeisiin ja tavoitteisiin. (Edelson, 2002)

Nämä vaiheet tapahtuvat kehittämistutkimuksessa sykleittäin, missä lopputuotosta tarkastellaan alkuperäisten teorioitten ja tavoitteiden perusteella. Tämän tarkastelun perusteella tuotosta tai kehittämisprosessia voidaan muokata ja koko kehittämisprosessin lopputuloksena luodaan uutta teoriaa. (Edelson, 2002; Wang & Hannafin, 2005)

Kehittämistutkimuksen ongelmina on pidetty tulosten luotettavuuden arviointia (Edelson, 2002; Pernaa, 2013). Edelsonin (2002) mukaan kehittämistutkimusta ei tulisi arvioida samoin kuin perinteisiä empiirisiä tutkimuksia, koska kehittämistutkimuksen tavoitteet eroavat perinteisten tutkimuksien tavoitteista. Kehittämistutkimuksen mittareina voidaan käyttää tutkimuksen yleispätevyyttä ja kykyä vastata alkuperäisiin tarpeisiin. Luotettavuuden parantamiseksi kehittämistutkimusta pitääkin dokumentoida tarkasti ja siinä tulee huomioida mikä kehittämistuotoksessa toimii ja mikä ei. Yleistyksien kanssa pitää olla myös tarkkana, koska kaikki kontekstit eivät ole samanlaisia ja kehitetty tuotos ja kehittämisessä saatu teoria eivät välttämättä toimi kaikissa konteksteissa. Tutkimuksen kuvauksen pitää antaa lukijalle kuva käytetystä kontekstista, tutkimuksen vaikutuksista yleisellä tasoalla ja tuotoksen paikallisista vaikutuksista. (Barab & Squire, 2004; Collins *et al.*, 2004; Edelson, 2002)

2.1 Tutkimuskysymykset

Tämän tutkimuksen tavoitteena on kehittää ongelmalähtöisen oppimisen mukainen oppimateriaali muovien kierrätyksen opettamiseen lukio-opetuksessa. Tutkimuskysymykset ovat seuraavat:

1. Mikä on muovien kierrätyksen opetuksen nykytilanne lukio-opetuksessa?
2. Minkälainen ongelmalähtöinen oppimisympäristö tukee muovien kierrätyksen mielekästä opetusta?
3. Miten kehitetty oppimisympäristö soveltuu muovien kierrätyksen opettamiseen?

2.2 Kehittämistutkimuksen toteutus

Tämä tutkimus on kaksisyklinen kehittämistutkimus. Sen ensimmäinen vaihe sisälsi tässä tutkimuksessa sekä teoreettisen että empiirisen ongelma-analyysin. Empiirinen ongelma-analyysi toteutettiin tarveanalyysillä, jossa suoritettiin sisällönanalyysi valituille lukion kemian oppikirjoille. Empiirisellä ongelma-analyysillä pyrittiin vastaamaan ensimmäiseen tutkimuskysymykseen ja se kuvataan luvussa 6.

Teoreettinen ongelma-analyysi toteutettiin tutustumalla ongelmalähtöistä oppimista, muovien kierrätystä, sen opettamista, kestäväää kehitystä ja ympäristöopetusta käsittelevään tutkimuskirjallisuuteen. Teoreettisella ongelma-analyysillä pyrittiin etsimään vastausta toiseen tutkimuskysymykseen ja se kuvataan luvuissa 3., 4. ja 5.

Ongelma-analyysin perusteella kehitettiin ongelmalähtöisen oppimisen mukainen oppimateriaali muovien kierrätyksen opettamiseen. Tämän jälkeen kehitettyä oppimateriaalia arvioitiin kehittämistutkimuksen toisessa syklissä. Arviointi tapahtui verkkokyselyllä, joka lähetettiin opettajilla sähköisesti. Verkkokyselystä saatujen tulosten perusteella oppimateriaalia jatkokehitettiin. Tällä kehittämisprosessilla pyrittiin vastaamaan kolmanteen tutkimuskysymykseen ja se kuvataan tarkemmin luvussa 7. Kehittämistutkimuksen kuvaaminen tapahtuu tällä Pro gradu –tutkielmalla. Raportoinnilla pyritään antamaan mahdollisimman tarkka kuvaus sen eri vaiheista, millä pyritään parantamaan tutkimuksen luotettavuutta (Collins *et al.*, 2004; Edelson, 2002).

3. Teoreettinen ongelma-analyysi: Ongelmalähtöinen oppiminen

Ongelmalähtöinen oppiminen on saanut alkunsa vuonna 1969 Kanadassa, McMasterin yliopistossa, missä se kehitettiin lääketieteen opintoja varten, vastaamaan tarpeeseen soveltaa opittua tietoa käytännön konteksteihin. Opetusmenetelmä on kehittämisen jälkeen kerännyt suosiota lääketieteen opinnoissa ja levinnyt myös muille aloille. (Perennet *et al.*, 2000)

Ongelmalähtöisessä oppimisessa oppilaat käyttävät ongelmatapauksia oppimisen pohjana. Ongelmien ratkaiseminen ei ole pääasia, vaan niiden hyödyntäminen oppimisessa. Ongelmalähtöinen oppiminen yhdistää tiedon, taidon ja asenteiden oppimista. (Wood, 2005)

Ongelmalähtöisen oppimisen tavoitteina ovat tiedon hankinta, hankitun tiedon soveltaminen ja opiskelu- ja ongelmanratkaisutaitojen kehittäminen. Perinteinen opetus ei ota huomioon oppilaiden kykyä sisäistää heille opetettua tietoa tai kykyä hyödyntää tietoa muissa konteksteissa. (Perennet *et al.*, 2000)

Kognitiivisen psykologian mukaan ihminen ei ole tyhjä astia, johon tietoa voi vain kaataa. Sen mukaan oppiminen on aktiivinen prosessi, missä tietoa rakennetaan vanhan tiedon päälle. (Perennet *et al.*, 2000) Ongelmalähtöinen oppiminen onkin oppilaslähtöinen opetusmenetelmä, jossa opiskelijat käsittelevät uutta tietoa aktiivisesti vanhan tiedon pohjalta. Oppilaat pystyvät itse vaikuttamaan ongelmanratkaisutapaan ja he saavat suunnitella prosessin toteutuksen itse. Ongelmalähtöinen oppiminen on yhteisöllinen opetusmenetelmä, koska ryhmällä on yhteinen oppimistavoite, he jakavat vastuun ryhmän oppimisesta ja ovat toisistaan riippuvaisia. Oppiminen on myös kontekstuaalista, koska käytetään käytännöstä nousevia ongelmia. Oikean maailman ongelmien käyttö auttaa oppilaita siirtämään tietoa eri kontekstien välillä. Tällainen oppiminen vastaa hyvin pitkälle lukion opetussuunnitelman perusteiden oppimiskäsitystä. (Dolmans, De Grave, Wolfhagen & Van Der Vleuten, 2005; Opetushallitus, 2015)

Ongelmalähtöinen oppiminen voi olla opetussuunnitelman perusta tai osa sitä. Kummassakin tapauksessa ongelmalähtöisen oppimisen rinnalla käytetään perinteisiä opetusmenetelmiä, kuten luennointia ja käytännön taitojen harjoittelua. Jos opetussuunnitelma perustuu ongelmalähtöiseen oppimiseen, toimivat perinteiset opetusmenetelmät opetuksen tukena. (Perennet *et al.*, 2000)

3.1 Ongelmalähtöisen oppimisen rakenne

Ongelmalähtöisessä oppimisessa on mukana aina ongelma, mitä pohditaan ryhmissä, itsenäisen opiskelun vaihe ja tiedonkokoaminen (Perennet *et al.*, 2000). Schmidt (1983) ja Wood (2005) kuvaavat ongelmalähtöisen oppimisen prosessia 7 askeliseksi. Askeleet ovat:

1. Termien ja käsitteiden selventäminen
2. Ongelman määrittely
3. Ongelman analysointi
4. Ratkaisuiden lajittelu
5. Oppimistavoitteiden määrittely
6. Itsenäinen opiskelu
7. Tiedon kokoaminen

Termien ja käsitteiden selventämisessä ryhmät käyvät läpi kaikki ongelmatapaukseen liittyvät termit ja käsitteet. Jos joku termi tai käsite ei ole tuttu ryhmän kaikille jäsenille, tulee sen merkitys selvittää. Toisessa vaiheessa määritellään mikä on tapauksen ratkaisemista vaativa ongelma. Tällä pyritään varmistamaan, että tiedetään mitä ilmiötä tutkitaan. Ongelman analysoinnissa ryhmä lähtee pohtimaan ongelman syitä vanhan tiedon pohjalta tai loogisen päättelyn perusteella. Yleensä tämä tapahtuu vapaana keskusteluna, missä kaikki ryhmän jäsenet saavat ehdottaa ideoita vapaasti ja kaikki ehdotukset käydään yhdessä läpi. Ehdotukset voidaan hyväksyä, hylätä tai muokata, kun ne on käyty läpi. Tätä askelta voidaan kutsua myös aivoriiheksi. Tämän jälkeen ratkaisut lajitellaan niiden tärkeyden, kytkösten ja toimivuuden perusteella. Tämä askel toimii koontina ongelman analysoinnille ja hahmottaa ongelman rakennetta. (Schmidt, 1983)

Ennen itseopiskelua ryhmän tulee pohtia yhdessä mistä asioista heidän tulee ottaa selvää, että he pystyvät ratkaisemaan ongelman. Askeleen aikana sovitaan myös itsenäisen opiskelun työnjaosta ja pohditaan mistä tietoa voisi lähteä mahdollisesti etsimään. Kun ongelmalähtöistä oppimista käytetään ensimmäisiä kertoja ja oppilaiden tiedonhakutaidot eivät ole vielä kehittyneet tarvittavalla tasolla, tulee opettajan käydä oppilaiden kanssa läpi mistä tietoa voi löytää ja mitkä lähteet ovat tärkeimpiä (Poikela & Poikela, 2005). Seuraavaksi jokainen ryhmän jäsen opiskelee itsenäisesti sovituista asioista. (Schmidt, 1983)

Prosessin viimeisessä vaiheessa ryhmät kokoontuvat yhteen ja käyvät läpi mitä kukin jäsen oppi itsenäisen opiskelun aikana. Tämän tiedon perusteella ryhmälle saattoi nousta uusia kysymyksiä, mihin he tarvitsevat vastauksia ja he voivat toteuttaa uuden itsenäisen opiskelun syklin. Kun tietoa on ryhmän mielestä tarpeeksi, muodostaa ryhmä ratkaisun alkuperäiseen ongelmaan. (Schmidt, 1983)

3.2 Työskentelyssä käytettävät roolit

Ongelmalähtöisessä oppimisessa on yleensä normaalista opiskelusta poikkeavat roolit. Ryhmissä oppilaat valitsevat ryhmälleen puheenjohtajan ja sihteerin. Puheenjohtajan tehtävänä on varmistaa, että ryhmän keskustelut pysyvät aiheessa ja työskentely aikataulussa. Sihteeri puolestaan tekee tarkat muistiinpanot ryhmän keskusteluista ja johtopäätöksistä. Hän osallistuu myös keskusteluihin parhaansa mukaan kirjoittamisen ohessa. Muut ryhmän jäsenet osallistuvat aktiivisesti keskusteluihin ja esittävät ideoita. (Wood, 2003)

Perinteisessä opetuksessa opettaja toimii tietoa antavana asiantuntijana, mutta ongelmalähtöisessä oppimisessa hän on tuutori, joka ohjaa oppilaiden oppimisprosessia. Työtä ohjaavana tuutorina voi toimia myös ulkopuolinen henkilö, mutta usein se on kouluissa opettaja. Tämän tulee varmistaa, että oppilaat pääsevät oppimistavoitteisiin ja ryhmät toimivat. Hän kannustaa oppilaita pohtimaan, selittämään ja keskustelemaan avoimesti käsiteltävästä ongelmasta. Opettaja ei siis anna oppilaille suoraa vastausta asiantuntijana, vaan kannustaa heitä itsenäiseen ajatteluun ja oppimiseen. (Dolmans *et al.*, 2005; Wood, 2003)

Osaavalla tuutorilla on hyvät ryhmänhallintataidot, he hallitsevat käytävän aiheen ja opetussuunnitelman sisällöt ja osaavat olla innostavia. Heidän tulee varmistaa, että kaikki oppilaat ovat hoitaneet itsenäisen opiskelun ja kannustaa heitä löytämään sopivan tavan esittää löytämänsä tiedon. Tuutoreiden on myös hyvä antaa oppilaille palautetta työskentelyn aikana ja kannustamaan ryhmiä arvioimaan omaa toimintaansa. (Wood, 2003)

3.3 Ongelmien suunnittelu

Ongelmalähtöisen oppimisen perustana käytettävä ongelma voi olla skenaario, tapaus tai lähtökohta. Skenaario on laajempi kokonaisuus, mikä voi vaatia enemmän kuin yhden ongelmalähtöisen oppimisen syklin. Seuraavissa sykleissä tehtävät kohdistetaan aina oppimisalueeseen, mitä edellinen tehtävä ei kattanut. Tapaus on yksittäinen ratkaisua vaativa ongelma, mikä ratkaistaan yhdessä syklissä. Tapauksella on yleensä reunaehdot, mitkä määrittelevät ratkaisun luonteen. Lähtökohta on asia, mikä herättää oppilaiden kiinnostuksen käsiteltävään tilanteeseen. Lähtökohtana voi toimia kuva, ääni, video, esitys tai vastaava asia. Näistä käytetyimpiä ovat todelliseen maailmaan perustuva tapaus tai lähtökohta. (Poikela & Poikela, 2005)

Toimivassa ongelmalähtöisen oppimisen tehtävissä aiheet ovat opetussuunnitelman mukaisia, vastaavat oppilaiden tasoa, liittyvät oppilaiden arkeen, kannustavat oppilaiden välisiin keskusteluihin, kannustavat monipuoliseen tiedonhakuun ja ovat avoimia. (Wood, 2003)

Ongelmien ei tulisi olla liian samanlaisia, mikä saisi ne vaikuttamaan kaavamaisilta. Niitä suunniteltaessa voi miettiä millaisia tietoja ja taitoja tarvitaan ongelman ratkaisemiseksi, mitä oppilaan on tarkoitus oppia prosessin aikana, miten esität ongelman niin, että herätät oppilaiden mielenkiinnon, mihin ammatteihin ongelma liittyy ja missä siihen voisi oikeasti törmätä? (Poikela & Poikela, 2005)

Ongelmat kannattaa kirjoittaa nykyhetken aikamuodossa, niissä kannattaa kuvailla konteksti tarkasti ja kirjoittaa ne mahdollisimman selkeästi. Ongelmista ei tule kirjoittaa kysymyslistaa, vaan ongelmien pitäisi olla aktivoivia. Ennen ongelman käyttöönottoa opetuksessa, on se hyvä testata oppilailla ja kollegoilla ja muokata ongelmaa saadun palautteen perusteella. Tehtävän toteutuksesta kannattaa myös aina kirjoittaa ohjeet tuutorille. (Poikela & Poikela, 2005)

Ongelmien suunnittelussa tulee myös huomioida oppilaiden muu työkuorma. Jos ongelma vaatii liian pitkää itsenäistä opiskelua, voi ongelmalähtöisen oppimisen mukaista tapaamista joutua siirtämään aiottua myöhemmäksi. Toisaalta taas liian vähäinen itsenäisen opiskelun tarve ei aktivoi oppilasta eikä tiedonhankinnassa ei ole haastetta. (Poikela & Poikela, 2005)

3.4 Ongelmalähtöisen oppimisen hyödyt

Strobelin ja Barnewaldin (2009) meta-analyysin mukaan ongelmalähtöisellä oppimisella saavutetaan parempia oppimistuloksia kuin perinteisillä opetusmenetelmillä pitkäaikaisessa oppimisessa, taitojen oppimisessa ja selitystä vaativissa tehtävissä. Perinteisillä opetusmenetelmillä saavutettiin parempia tuloksia oppimisessa, mitä testattiin heti opintojakson päätyttyä monivalintakysymyksillä tai väittämillä. Ongelmalähtöinen oppiminen toimi paremmin myös tällaisessa lyhytaikaisessa oppimisessa, jos kysymykset vaativat vapaata selittämistä. (Strobel & Barnewald, 2009)

Tutkimuksessaan Ferreira & Trudel (2012) havaitsivat, että oppilaiden ongelmanratkaisutaidot ja asenteet luonnontieteiden opiskelua kohtaan paranivat, kun käytettiin ongelmalähtöistä oppimista. Yhtenä ongelmalähtöisen oppimisen tärkeimmistä hyödyistä onkin oppilaiden kiinnostuksen lisääminen. Suurin osa oppilaista valitsisi ongelmalähtöisen oppimisen mukaisen opetuksen perinteisen opetuksen sijaan. Ongelmalähtöisen oppimisen suosio on suurempaa oppilaiden keskuudessa, jotka ovat toteuttaneet sitä aikaisemmin tai opiskelleet kemiaa. Oppilaiden itsensä mielestä he myös oppivat paremmin ongelmalähtöisen oppimisen avulla. (Ferreira & Trudel, 2012; Kelly & Finlayson, 2009).

Kellyn ja Finlaysonin (2009) mukaan oppilaat pitivät ryhmätyöskentelyä yhtenä ongelmalähtöisen oppimisen parhaista puolista. Heidän mielestä ryhmätyöskentelyn ja sen aikaansaaman aktiivisen keskustelun avulla oppilaat oppivat paremmin. Opettajien havaintojen perusteella oppilaat kertoivat omia ideoitaan ja ehdotuksiaan normaalia aktiivisemmin, kun he eivät pelänneet olevansa väärässä. Oppilaat pitivät myös heidän saamastaan vastuusta oppimisesta, mikä antaa heille heidän mielestään aktiivisemmän roolin opiskelussa ja se auttaa heitä pohtimaan asioita syvällisemmin. (Ferreira & Trudel, 2012)

Ongelmalähtöinen oppiminen toimii hyvin luonnontieteiden opetuksessa, mutta sen soveltamisesta ympäristöasioiden opettamiseen on vain vähän tutkimuksia. (Vasconcelos, 2012)

3.5 Haasteet

Ongelmalähtöisessä oppimisen käytännön toteutuksissa on havaittu olevan myös haasteita. Näihin haasteisiin lukeutuvat sopivien ongelmien luominen, tuutorien rooli, huonosti toimivat ryhmät, ajan puute ja arvioinnin hankaluus. (Dolmans *et al.*, 2005)

Ongelmien kehittämisessä tulisi olla tarkkana, jotta ongelmat olisivat tarpeeksi avoimia. Jos ongelmat jäävät liian strukturoiduiksi tai yksinkertaisiksi, ei oppilaille jää mahdollisuutta aktiiviseen oppimiseen. Ongelmat saattavat jäädä liian teoreettisiksi, jolloin oppilaat eivät hahmota yhteyttä todelliseen maailmaan ja oppiminen ei ole kontekstuaalista. Poikela ja Poikela (2005) painottavatkin, että ongelmat tulisi suunnitella huolella ja niiden toimivuutta testata. Ensimmäisiä ongelmia suunnittelevat opettajat tekevät ongelmista helposti liian läpinäkyviä, minkä seurauksena oppilaat voivat turhautua, koska he näkevät suoraan mitä ongelmassa haetaan. (Dolmans *et al.*, 2005)

Harjaantumattomat tuutorit voivat olla liian aktiivisia tai epäaktiivisia. Liian aktiiviset tuutorit voivat viedä oppilailta tarpeen omaan ajatteluun ja toisaalta liian epäaktiiviset eivät ole auttamassa oppilaita heidän ongelmiansa kanssa. Tuutorin tulisi löytää sopiva rooli työskentelyn eri vaiheissa, muuten he voivat haitata oppimisprosessia. Kun lähdetään siirtymään pois opettajajohtoisesta oppimisesta kohti oppilaslähtöistä, tulee opettajan roolin pienentyä opetustilanteessa vaihteittain. Siirtymän alkuvaiheissa opettajalla on vielä suurempi rooli oppimisprosessin ohjailussa, kunnes vähitellen siirrytään oppilaan ja opettajan yhteiseen ohjaukseen, mistä päästään lopulta oppilaan itseohjautuvaan oppimiseen. Tuutorin tärkeimpinä tavoitteina tulisikin olla oppilaan oppiminen ja oppimisprosessin kehittäminen. Taitavat tuutorit pystyvät tunnistamaan milloin ja millaista apua oppilaat tarvitsevat. (Dolmans *et al.*, 2005)

Huonosti toimivissa ryhmissä oppiminen ei ole yhteisöllistä. Ryhmät voivat näyttää päällisin puolin toimivilta, mutta toiminta on rutiininomaista. Tällaisissa ryhmissä uusia ideoita ei selitetä kunnolla vanhan tiedon pohjalta tai yhdistetä muihin ideoihin. Ryhmissä voi olla myös jäseniä, jotka eivät valmistaudu ongelmalähtöisen oppimisen kertoihin sovitulla tavalla, mikä saattaa johtaa muiden oppilaiden motivaation laskemiseen. Tuutorien tulisi opetalla ryhmätyöskentelyn dynamiikan toimintaa ja sen ongelmien ratkaisemista. Ryhmien toimintaa ja tuutorin omaa toimintaa tulisi myös arvioida säännöllisesti, jotta ongelmiin olisi mahdollista puuttua ajoissa. (Dolmans *et al.*, 2005)

Nämä ongelmalähtöisen oppimisen haasteet ovat riippuvaisia toisistaan ja niille on yhteistä hyvän toteutuksen puuttuminen. Huonosti suunniteltu ongelma ei aktivoi oppilaita rakentamaan uutta tietoa, minkä seurauksena ryhmätyöskentely ei toimi. Liian passiiviset tai aktiiviset tuutorit haittaavat oppimisprosessia, mikä saattaa myös johtaa huonosti toimiviin ryhmiin. (Dolmans *et al.*, 2005)

Opettajat muokkaavat yleensä uutta opetusmenetelmää sopimaan heidän vanhoihin käytäntöihinsä. Tällöin opettajat, joiden käytännöt eivät vastaa ongelmalähtöisen oppimisenperiaatteita, eivät välttämättä toteuta kokonaan ongelmalähtöistä oppimista sen suunnittelussa muodossa. (Pecore, 2012)

Oppilaiden mielestä ongelmalähtöinen oppiminen vie enemmän aikaa kuin perinteinen opetus ja he pitävät tätä ongelmalähtöisen oppimisen suurimpana haittana (Kelly & Finlayson, 2009).

Kun opiskelijat päättävät itse oppimistavoitteensa, voi heiltä jäädä käymättä osa suunnitelluista sisällöistä, mikä aiheuttaa hankaluutta etenkin luonnontieteiden opetuksessa, koska luonnontieteet ovat lineaarisia tieteitä, joissa uusi tietoa rakentuu vanhan tiedon päälle. Tällöin puuttuva tieto voi estää uuden tiedon oppimista ja tuutorin tulee huomioida tämä työskentelyä seuratessaan. (Perennet *et al.*, 2000)

3.5.1 Arviointi

Ongelmalähtöisen oppimisen tavoitteisiin lukeutuu tiedon hankinnan lisäksi kriittisen ajattelun, itseohjautuvan oppimisen, yhteisöllisen työskentelyn ja elinikäisen oppimisen kehittäminen ja tukeminen Käytetty opetusmenetelmä ja sen tavoitteet tulisikin huomioida arvioinnissa (Waters & McCracken, 1997). Arvioinnilla pitäisi varmistua siitä, että oppilaat pääsevät haluttuihin oppimistavoitteisiin. (Dalrymple, Wong, Rosenblum, Wuenschell, Paine, Shuler, 2007; Elizomondo-Montemayor, 2004)

Liian kapea-alaisella arvioinnilla ei testata oikeaa ymmärtämistä, vaan siinä pärjää pelkällä ulkoa opettelulla. Arvioinnin tulisi olla myös osa oppimisprosessia ja parhaassa tapauksessa sitä ei edes erota oppimisprosessista. Jos käytetään perinteisiä arviointimenetelmiä ongelmalähtöisen oppimisen arviointiin, ei tueta ongelmalähtöisen oppimisen periaatteita. Oppilaat voivat tällöin hämmentyä arvioinnista ja turhauta. (Waters & McCracken, 1997)

Elizondo-Montemayorin (2004) mukaan ongelmalähtöisen oppimisen arvioinnin tulisi olla sekä formatiivista että summatiivista ja olla mukana koko työskentelyn ajan. Arvioinnin tulisi vastata myös oppilaiden tasoa ja haluttua oppimisen lopputulosta. Arvioinnissa keskitytään välillä liikaa pelkkään prosessiin, eikä lopputuloksiin. (Elizondo-Montemayor, 2004)

Ongelmalähtöisen oppimisen ryhmätyöskentelyn formatiivinen arviointi ei ole aina yhtä objektiivista kuin perinteisten kokeitten arviointi. Arvioinnin tulisi kuitenkin olla mahdollisimman objektiivista ja pystyä toistamaan mahdollisimman tarkasti (Waters & McCracken, 1997). Ryhmätyöskentelyn arviointi saattaa vaihdella ryhmien ja oppilaiden välillä, koska opettajilla ei ole aina tarvittavaa koulutusta menetelmän arvioinnista. Muita arvioinnin vaihtelevuuteen vaikuttavia tekijöitä voivat olla epäselvät arvioinnin kohteet tai puutteellinen havainnointi. Opettajien koulutuksella voidaan mahdollisesti parantaa arvioinnin luotettavuutta. (Dalrymple, *et al.*, 2007)

Ongelmalähtöisen oppimisen prosessiin kuuluu yleensä oppilaan itsearviointi. Tällöin oppilas arvioi omaa oppimista ja oppimisprosessia sekä vertaa näitä asettamiinsa oppimistavoitteisiin. Kun oppilas tarkkailee omaa oppimistaan ja sen kehittymistä, pääsee hän lähemmäksi elinikäisen oppimisen tavoitetta. (Waters & McCracken, 1997)

3.6 Yhteenveto

Ongelmalähtöinen oppiminen on oppilaslähtöinen opetusmenetelmä, missä käytetään käytännöstä nousevia ongelmia oppimisen apuna. Ongelmalähtöisessä oppimisessa oppilas käsittelee tietoa aktiivisesti vanhan tiedon pohjalta. Opetusmenetelmänä se on saanut alkunsa lääketieteen opinnoista, missä oli tarvetta taidolle soveltaa tietoa käytäntöön. Nykyään menetelmä on levinnyt laajasti muidenkin alojen opintoihin ja se soveltuu hyvin luonnontieteiden opettamiseen.

Kehitettävät opetusmateriaalit tullaan kehittämään ongelmalähtöisen oppimisen periaatteiden mukaisesti ja pohjana tullaan käyttämään Schmidtin (1983) ja Woodin (2005) esittämää seitsemän askelista ongelmalähtöisen oppimisen prosessia.

Ongelmien suunnittelussa pitää huolehtia, että ongelmat ovat vaihtelevia, sopivat oppilaiden tasoon, aiheet on mahdollista liittää oppilaiden arkeen, ne ovat avoimia ja kannustavat keskusteluun ja huomioida oppilaiden muu opiskelukuorma.

Ongelmalähtöisiä tehtäviä suunniteltaessa täytyy keskittyä tuutorien rooliin ja heidän ohjeistukseen, arvioinnin toteutukseen, ajan käyttöön ja ryhmien toimintaan. Nämä ovat ongelmalähtöisen oppimisen haasteita, mitkä tulee huomioida erityisesti opettajien koulutuksessa. Tästä syystä täytyy laatia kattavat opettajien oppaat kehitettäviin materiaaleihin.

Suunniteltaessa tehtäviä tukevaa verkkomateriaalia, tulee huolehtia, että sivusto ei anna suoria vastauksia tehtäviin ja niiltä löytyvä tieto ja lähteet johdattavat oppilaat itsenäiseen tiedonhakuun.

4. Teorettinen ongelma-analyysi: Muovien kierrätys

4.1 Muovit

Muovit ovat synteettisiä materiaaleja, jotka ovat valmistettu polymeereistä ja erilaisista lisäaineista. Puhtaat polymeerit ovat yleensä kovia ja hauraita, minkä takia niihin lisätään lisäaineita parantamaan niiden ominaisuuksia. Muoveissa käytettyjä lisäaineita ovat muun muassa hiili, piioksidi, erilaiset pehmittimet ja väriaineet. (Campbell; 2000; Subramanian, 2000)

Muovit ovat halpoja, vahvoja, kevyitä ja monikäyttöisiä. Näiden ominaisuuksien takia muoveja käytetään nykyään hyvin laajasti esimerkiksi ruokapakettien, muovikassien, elektroniikan ja rakennusmateriaalien valmistukseen. Monien käyttömahdollisuuksien ansiosta muovit ovat nousseet yhdeksi tärkeimmistä teollisuuden materiaaleista. (Al-Salem, Lettieri & Baeyens, 2009; Subramanian, 2000)

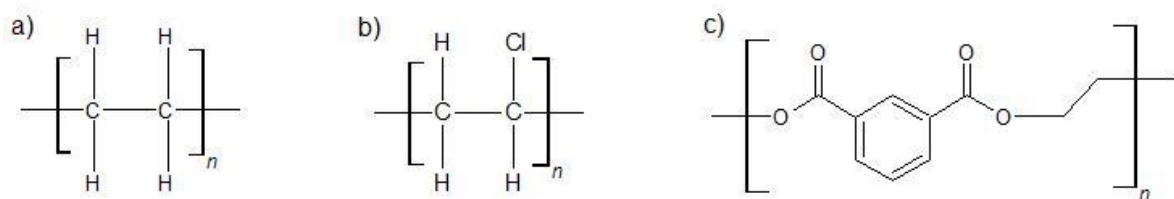
Ensimmäinen muoviksi kutsuttu yhdiste, Bakeliitti, patenttoitiin vuonna 1907. Tämän jälkeen muovien kehitys kiihtyi ensimmäisen maailmansodan aikana, kun teollisilla muoveilla yritettiin korvata luonnosta saatuja materiaaleja. Maailmansotien välissä opittiin valmistamaan uusia polymeerejä ja ruvettiin ymmärtämään polymeerien valmistuksen prosesseja paremmin. Toisen maailman sodan aikana muovien tutkimusta kehittyi, kun muoveja kehitettiin sotatarkoituksiin. Sodan aikana muovit eivät kuitenkaan levinneet muualle yhteiskuntaan, koska suurin osa resursseista syötettiin sodankäyntiin. (Mulder, 1998)

Sotien jälkeen muovit alkoivat vallata maailman markkinoita. Muovilla pystyttiin korvaamaan perinteisesti käytettyjä materiaaleja, kuten paperia, luuta, puuta ja jopa metalleja. Muovit eivät aluksi vastanneet täysin ominaisuuksiltaan materiaaleja, joita niillä korvattiin. 60- ja 70-luvuilla muovien ominaisuudet paranivat, kun onnistuttiin kehittämään uusia lisäaineita ja opittiin valmistamaan komposiitteja. Tämän jälkeen muovien kasvua on hidastanut vain vuosien 1973 ja 1979 öljykriisit, jotka nostivat muovien raaka-aineen, öljyn, hintaa. Näiden kriisien jälkeen muovien tuotanto on pysynyt kasvussa aina vuoteen 2009 asti, jolloin öljyn hinta taas nousi. Tämän jälkeen muovien tuotanto on palautumassa öljyn hinnan nousua edeltäneelle tasolle. (Mulder, 1998; PlasticsEurope, 2015)

Polypropeeni (PP), polyeteeni (LDPE, LLDPE, HDPE), polivinyylidikloridi (PVC), polyuretaani (PU), polyeteenitereftalaatti (PET) ja polystyreeni (PS) olivat vuonan 2014 Euroopan käytetyimmät muovit. (PlasticsEurope, 2015)

4.1.1 Polymeerit

Polymeerit ovat suuria ketjumaisia molekyyliä, joiden ketjut muodostuvat pienistä toistuvista yksiköistä (CRU). Toistuvat yksiköt voivat koostua yhdestä tai useammasta monomeeristä, jotka liittyvät toisiinsa kemiallisin sidoksien, muodostaen polymeeriketjun rungon. Polymeeriksi kutsutaan yleensä vasta yli 50 toistuvasta yksiköstä muodostunutta molekyyliä. Kuvassa 1 on esitetty polyeteenin (PE), PVC:n ja PET:n toistuvat yksiköt. (Campbell, 2000)



Kuva 1 Esimerkkejä toistuvista yksiköistä. a) polyeteeni b) polyvinyylidikloridi c) polyeteenitereftalaatti. (Campbell, 2000)

Polymeerit voidaan valmistaa joko yhdestä tai useammasta monomeeristä. Yhdestä monomeeristä valmistettua polymeeriä kutsutaan homopolymeeriksi ja kahta tai useampaa monomeeriä yhdistämällä valmistetaan kopolymeerejä. (Campbell, 2000)

Muovien valmisteuksessa käytettyjä synteettisiä polymeerejä valmistetaan pääasiassa kahdella eri menetelmällä. Askelpolymeroinnissa monifunktionaaliset monomeerit reagoidaan keskenään, jolloin muodostuu pitkiä ketjuja tai verkkoja. Verkkoja on mahdollista valmistaa monomeereistä, joiden funktionaalisuus on yli kaksi. Askelpolymerointireaktiossa lohkeaa yleensä pienimolekyylinen yhdiste, kuten vesi. Reaktiossa voi olla mukana joko yksi tai useampi monomeeri. Kuvassa 2 on esitetty polyamidien askelpolymerointi. Yleisin askelpolymeroinnilla valmistettava muovi, PET, valmistetaan kahdesta eri bifunktionaalisesta monomeeristä. (Campbell, 2000)



Kuva 2 Polyamidien askelpolymerointi (Zhang, June, Long, 2012)

Ketjupolymeroinnissa polymeeriketjujen reaktiivisiin päihin liitetään monomeerejä. Ketjupolymeroinnissa on kolme vaihetta, initiaatio, propagaatio ja terminaatio. Reaktio käynnistyy initiaatiolla, missä initiaattori reagoi yhden monomeerin kanssa muodostaen reaktiivisen kohdan, josta reaktio voi alkaa. Propagaatiossa ketjun päähän liittyy uusia monomeerejä, joihin ketjun reaktiivinen kohta siirtyy ja joista reaktio voi jatkua. Terminaatiossa ketjun reaktiivinen pää poistuu, kun ketjun liittyy toinen reaktiivinen ketju, initiaattori tai epäpuhtauksia. Initiaatio voi tapahtua radikaalien, kationien, anionien ja kordinaatiomolekyylien avulla. PP ja PE valmistetaan ketjupolymeroinnilla. (Campbell, 2000; PlasticsEurope, 2015)

4.1.2 Muovien haitat

Muovit valmistetaan yleensä raakaöljystä johdetuista tuotteista, minkä takia ne kuluttavat fossiilisia polttoaineita ja ne lisäävät hiilidioksidipäästöjä, jos niitä poltetaan. Muovien valmistuksessa käytetään yleensä katalyyttejä, jotka sisältävät usein raskasmetalleja. Katalyytit kuluvat valmistusprosesseissa ja kun ne poistuvat käytössä, pitää huolehtia, että niitä ei pääse ympäristöön. Muoveihin lisätään valmistuksen yhteydessä pehmittimiä, stabilisaattoreita ja antioksidantteja. Vaarallisimpia lisäaineita ovat ftalaatit, bisfenoli-A (BPA), orgaaniset bromi- ja klooriyhdisteet, antinoniumoksidit, fosfori, fenolit ja rikki. Nykyään yritetään kehittää turvallisempia lisäaineita, jotta vaarallisten yhdisteiden käytöstä voitaisiin luopua. (Mulder, 1998; Thompson, Moore, vom Saal & Swan, 2009)

Muovit ovat kestäviä ja pitkäikäisiä, eivätkä ne hajoa yleensä luonnossa, koska luonnon mikrobit eivät yleensä pysty hajottamaan muovien polymeeriketjuja. Hajoamattomuuden takia muovijätteen määrä ei vähene ympäristössä nopeasti, vaikka muovijätteen syntymistä pystyttäisiin vähentämään. Pahimmassa tapauksessa muovit voivat säilyä luonnossa vuosisatoja. Luonnossa muovijäte voi hajota mekaanisesti tai kemiallisesti pienemmiksi paloiksi, jolloin ne voivat päätyä helpommin ympäristöön. Huonosti hoidetuilta

kaatopaikoilla voi muoveista liueta ajan kuluessa haitallisia yhdisteitä maaperään ja ympäristöön. (Hopewell, Dvorak & Kosior, 2009; Thompson *et al.*, 2009)

Komposteihin päätyneet muovit voivat haitata mikrobien luonnollista toimintaa, jolloin kompostien toiminta häiriintyy. Meriin ja muihin vesistöihin muovia voi päätyä viemäreistä, sadevesien kuljettamana tai ihmisten suoraan jättämänä. Esteettisten ongelmien lisäksi muovit voivat merissä päätyä eläimiin. Eläimet voivat luulla muovia ruuaksi tai jäädä jumiin muovirooskaan, jonka seurauksena ne voivat kuolla. Merissä muovit voivat hajota hitaasti pieniksi paloiksi, mikromuoveiksi, jotka voivat olla jopa alle 1,6 µm suuruisia. Nämä mikromuovit voivat kertyä hitaasti merten pieneliöihin ja näistä vähitellen ruokaketjussa ylöspäin aina ihmisiin asti. Mikromuoveilla on suuri pinta-alaa verrattuna tilavuuteen, minkä seurauksena niihin kertyy helposti epäpuhtauksia ja tästä syystä ne voivat aiheuttaa sairauksia ja lisääntymiskyvyn heikkenemistä. (Derraik, 2002; Thompson *et al.*, 2009)

4.2 Muovien kierrätys

Muoveja päätyy suuria määriä talousjätteeseen niiden monikäyttöisyyden takia. Vuonna 2009 Euroopassa syntyi 24,3 miljoonaa tonnia muovijätettä. Tästä jätteestä yli 60 % oli pakkausjätettä, josta yli 90 % on PE-, PET-, PVC- ja PS-muoveja. (Al-Salem *et al.*, 2009; Krähling & Sartorius, 2012)

Euroopan Unionin direktiivin 2008/98/EC mukaan jokaisen Euroopan Unionin jäsenmaan tulee järjestää erillinen kierrätys ainakin paperille, metallille, lasille ja muoville. Vuoteen 2020 mennessä jäsenmaiden tulee järjestää kotitalousjätteen kierrätys niin, että puolet näiden materiaalien painosta hyödynnetään käytön jälkeen.

Muovien ja muiden materiaalien jätteenkäsittelyn eri vaihtoehdot ovat tärkeysjärjestyksessä jätteen vähentäminen, uudelleenkäyttö, kierrätys, energiantuotanto ja kaatopaikat. (Hopewell, *et al.*, 2009)

Muovijätteen määrän vähentäminen on hankalaa ilman kulutuksen vähentämistä, koska yritykset käyttävät jo valmiiksi mahdollisimman vähän materiaalia pakkausten valmistukseen, koska silloin he saavat tuotteista mahdollisimman kustannustehokkaita. Jos muovit korvattaisiin muilla materiaaleilla, kuluisi enemmän energiaa ja syntyisi enemmän kasvihuonekaasupäästöjä, mikä hankaloittaa muovien käytön vähentämistä. Käyttämällä

muoveja muiden materiaalien sijaan, voidaan vähentää tuotteiden painoa, minkä seurauksena kuljetuskustannukset pienenevät. Myös ruokien säilyvyyttä voidaan parantaa muovipakkausten avulla ja näin vähentää pilaantumisen takia hukkaan menevän ruuan määrää. Muoveja käytetään myös esimerkiksi talojen eristyksissä, joiden avulla taloista saadaan energiatehokkaampia. Koska syntyvän muovijätteen määrän vähentäminen on hankalaa, tulee muoveja käyttää tehokkaasti hyödyksi käytön jälkeen. (Hopewell *et al.*, 2009; Krähling & Sartorius, 2012).

Uudelleenkäytössä muovituotteita käytetään sellaisenaan uudelleen alkuperäisissä tai niitä vastaavissa käyttötarkoituksissa. Pullokoreja voidaan esimerkiksi hyödyntää uudelleenkäytössä. (Hopewell *et al.*, 2009)

Kierrätyksen ja energiantuotannon hyödyntäminen on kasvanut vuosittain vuodesta 2006 lähtien. Vuonna 2014 39,5 % muovijätteestä hyödynnettiin energiantuotannossa, 30,8 % päätyi kaatopaikoille ja 29,7 % kierrätettiin. Muovien kierrätys ja hyödyntäminen energiantuotannossa on selvästi tehokkainta maissa, jotka ovat rajoittaneet kaatopaikkojen käyttöä. (Krähling & Sartorius, 2012; PlasticsEurope, 2015)

Kierrätyksellä pyritään valmistamaan jätemuovista raaka-aineita, joita voidaan hyödyntää uusien muovien tai muiden hyödyllisten tuotteiden valmistuksessa. Kierrätyksen avulla on mahdollista vähentää sekä ympäristöön päätyvän muovin määrää että tarvetta uusille raaka-aineille ja säästää energiaa. Kierrätysprosesseissa muovien ominaisuudet heikkenevät yleensä jonkin verran, mikä voi johtua polymeeriketjujen katkeamisesta, ketjujen toisiinsa liittymisestä, substituenttien eliminaatiosta tai kaksoissidosten muodostumisesta. Lisäämällä muoveihin antioksidantteja ja stabilisaattoreita, yritetään estää ominaisuuksien heikkenemistä. Näiden reagenssien lisääminen nostaa toisaalta kierrätysprosessein kustannuksia, minkä seurauksena kierrätysmuovin taloudellinen kilpailukyky heikkenee. (Hopewell *et al.*, 2009; Sánchez-Soto, Rossa, Sánchez & Gámez-Pérez, 2008)

Kierrätysmuovia ei voida aina käyttää samoissa tuotteissa kuin uusia muoveja, koska kierrätysmuovit eivät aina vastaa ominaisuuksiltaan puhtaita muoveja ja niihin voi jäädä epäpuhtauksia ja lisäaineita. Kierrätysmuovin käyttö on kielletty esimerkiksi ruokateollisuudessa, koska ei voida olla varmoja, että niissä ei ole ihmisille haitallisia epäpuhtauksia tai lisäaineita. (Briassoulis, Hiskakis & Babou, 2013)

Kaatopaikoille päätyvän muovin määrää halutaan vähentää, koska kaatopaikoiksi sopiva maa-ala on rajallista ja niistä ei saada taloudellista hyötyä (Al-Salem *et al.*, 2009). Hyvin

hoidetut kaatopaikat eivät ole suoranaisesti ympäristölle haitallisia, mutta huonosti hoidetuista kaatopaikoista voi liueta ympäristölle haitallisia yhdisteitä, jotka saastuttava pohjavesiä ja ympäristöä. Tuotteiden elinkaari jää lineaariseksi, kun ne päätyvät kaatopaikoille ja niitä ei hyödynnetä käytön jälkeen. (Hopewell *et al.*, 2009)

Eri muoveille sopivat eri kierrätysmenetelmät. Esimerkiksi kertamuovit eivät sovi sellaisenaan puhtaaseen mekaaniseen kierrätykseen ja ketjupolymeerejä ei pystytä kierrättämään kemiallisesti hydrolyysin, glykolyysin tai aminoglykolyysin avulla (Achilias, Roupakias, Megalokonomos, Lappas & Antonakou, 2007; Hopewell *et al.*, 2009). Komposiittien sisältämät useat eri muovilajit ja muovien lisäaineet vaikuttavat myös kierrätysmenetelmän tai jätteenkäsittelyvaihtoehdon valintaan (Mulder, 1998; Thompson *et al.*, 2009).

Kierrätyksen edistämiseksi tärkeintä on saada ihmiset tietoiseksi kierrätysmahdollisuuksista ja sen tärkeydestä. Yksittäinen ihminen tekee aina kierrätyspäätöksen itse, mikä takia kierrätyksestä pitäisi tehdä ihmisille mahdollisimman helppoa ja antaa heille tietoa kierrätyksen vaikutuksista. (McDonald & Ball, 1998)

4.2.1 Energiantuotanto

Muovit sisältävät paljon energiaa, koska niiden valmistukseen käytetään öljypohjaisia raaka-aineita. Tämä energia saadaan hyödynnettyä polttamalla energiantuotannossa, kun muoveja ei voida hyödyntää taloudellisesti muilla menetelmillä käytön jälkeen (Al-Salem *et al.*, 2009). Muovien polton tulee olla huolellisesti järjestettyä, jotta vältetään polton yhteydessä syntyvien haitallisten yhdisteiden, kuten dioksiinien ja furaanien päästöiltä. Haitallisia yhdisteitä syntyy esimerkiksi PVC-muovin poltosta. (Hopewell *et al.*, 2009;)

Hyödyntämällä muoveja energiantuotannossa pystytään vähentämään kaatopaikoille päätyvän muovijätteen määrää. Energiantuotannolla ei pystytä kuitenkaan vähentämään fossiilisten polttoaineiden tarvetta, koska öljyä tarvitaan uusien muovien valmistukseen. Polttaminen energiantuotannossa on kuitenkin kaatopaikkoja parempi vaihtoehto, koska tällöin muovien sisältämä energia saadaan hyötykäyttöön. (Hopewell *et al.*, 2009; Thompson *et al.*, 2009)

4.2.2 Mekaaninen kierrätys

Mekaanisessa kierrätyksessä muoveja käytetään uudelleen mekaanisten prosessien avulla, yleensä sulattamalla ja uudelleenmuovaamalla. Tähän kierrätykseen sopii parhaiten puhdas homogeeninen muovijäte, jota on saatavilla riittäviä määriä. Muovien huolellinen lajittelu ja puhdistus ovat edellytyksiä tehokkaalle mekaaniselle kierrätykselle. Sen avulla tuotettuja tuotteita ovat esimerkiksi osa muovikasseista, muoviputkista ja juomapulloista. (Al-Salem *et al.*, 2009; Briassoulis *et al.*, 2013)

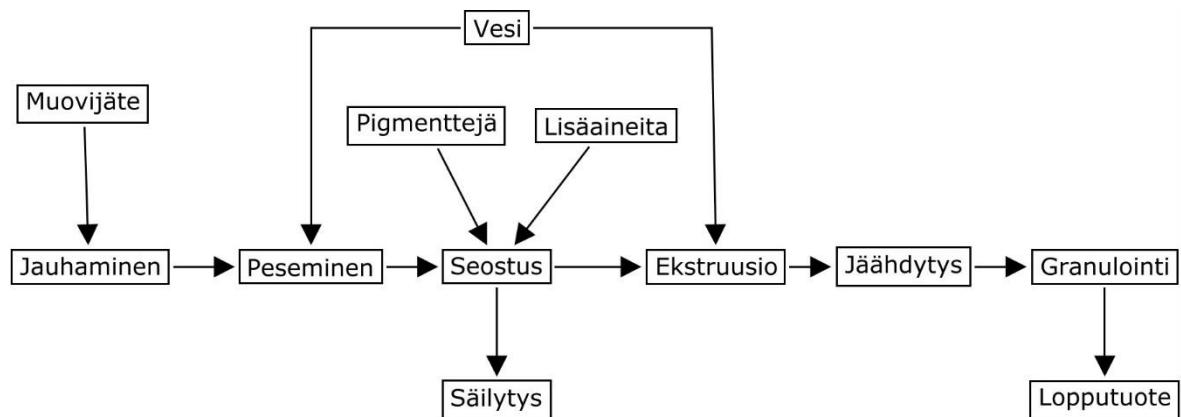
Mekaaninen kierrätys on tällä hetkellä tehokkain kierrätysmenetelmä ja sen avulla pystytään säästämään enemmän energiaa kuin sen kierrätysprosesseissa kuluu, koska voidaan välttää uusien raaka-aineiden valmistusta ja käsittelyä. PET-muovipullojen mekaanisen kierrätyksen on arvioitu vähentävän syntyviä päästöjä yli 25 %. (Hopewell *et al.*, 2009;)

Kestomuovit sopivat hyvin mekaaniseen kierrätykseen, mutta kertamuovien mekaaninen kierrätys on hankalaa, koska niiden valmistuksessa polymeeriketjut silloittuvat kovalenttisin sidoksin, minkä takia ne eivät sula ja uudelleenmuovaudu kunnolla. Kertamuoveja on kuitenkin mahdollista hyödyntää kierrätyksessä lisäaineina. (Hopewell *et al.*, 2009;)

Muovilaatujen suuri määrä hankaloittaa mekaanisen kierrätyksen toteuttamista, koska eri muovilaadut eivät yleensä sekoitu keskenään ja ne voivat vaatia erilaisia kierrätysprosesseja. Kierrätykseen päätyvät pienet määrät eri muoveja voivat heikentää kierrätettyjen muovien ominaisuuksia. Esimerkiksi PVC:n seassa oleva PET voi muodostaa pieniä kiteitä muovimassaan kierrätysprosessin aikana, jolloin kierrätetyn PVC:n ominaisuudet, kuten väri, läpinäkyvyys ja iskunkestokyky, ja kaupallinen arvo laskevat. Mekaanisesti kierrätettyä muovia voidaan käyttää sellaisenaan, sekoitteena puhtaan muovin kanssa tai kerroksina puhtaan muovin välissä. (Hopewell *et al.*, 2009;)

Suunnittelemalla mekaanisen kierrätyksen prosesseista mahdollisimman yksinkertaisia, saadaan kierrätyksestä tehokasta ja taloudellista. Mekaanisen kierrätyksen perusprosessi on esitetty kuvassa 3. Ennen varsinaisen kierrätysprosessin alkua erotellaan epäpuhtaudet, kuten paperi ja pöly, muovista syklonissa. Erottelun jälkeen muovit lajitellaan esimerkiksi kelluntatankeissa, joissa muovit erotellaan tiheyden perusteella. Seuraavaksi kierrätettävä muovit jauhetaan pieniksi paloiksi. Jauhamiseen voidaan käyttää märkärouhintaa, missä teriä huudellaan jatkuvasti vedellä, jolloin leikkurien terät eivät ylikuumene ja sulata muovia ja ne kestävät pidempään. Kun on saavutettu haluttu palakoko, pestään muovit vedellä

epäpuhtauksista ja kuivataan. Jos muovissa on vielä esimerkiksi liimoja, voidaan pesuun käyttää kemikaaleja, kuten tensidejä. Puhtaat muovit kerätään yhteen säilytystä ja jatkokäsittelyä varten. Loppukäsittelyssä muovit sulatetaan, jonka jälkeen sula muovimassa pursotetaan nauhaksi suuttimen läpi ja pelletoidaan. Lopuksi muovipelletit jäähdytetään vedellä, minkä jälkeen se rakeistetaan hienoksi muovimassaksi, jota voidaan hyödyntää muovien valmistuksessa. (Al-Salem *et al.*, 2009; Briassoulis *et al.*, 2013)



Kuva 3 Mekaanisen kierrätyksen perusaskleet. (Aznar, Caballero, Sancho & Francés, 2006)

Mekaanisesti kierrätetystä muovista voidaan valmistaa tuotteita samoilla valmistusmenetelmillä kuin tavallisista muoveista. Näitä menetelmiä ovat ekstruusiomuovaus, ruiskuvalu, puhallusmuovaus, tyhjiömuovaus ja puhalluskalvoekstruusio. Ekstruusiomuovauksessa sula muovimassa pursotetaan halutun muotoisen muotin läpi. Tällä menetelmällä valmistettuja tuotteita ovat erilaiset putket ja muovipussit. Ruiskuvalussa sula muovi suihkutetaan suoraan tuotteen malliseen muottiin. Erilaiset säilytysastiat, kuten ämpärit ja kulhot, tai autonpuskurit valmistetaan ruiskuvalun avulla. Puhallusmuovaus alkaa ekstrusiolla tai ruiskuvalulla, minkä jälkeen saatu ontto muovisula suljetaan muottiin ja siihen puhalletaan ilmaa, jolloin sula laajenee muotin reunoille. Puhallusmuovauksella valmistetaan onttoja tuotteita, kuten erilaisia muovipulloja. Tyhjiömuovauksessa ohut muovikerros asetetaan kahden muotin väliin ja muotit sinetöidään. Syntyneestä tiiviistä muotista imetään ilma pois, jolloin muottiin syntynyt alipaine muotoilee muovin muotin muotoiseksi. Esimerkiksi tarjottimet valmistetaan tyhjiömuovauksella. Puhalluskalvoekstruusiossa sula muovimassa pursotetaan suuttimen läpi ja saatu sylinterimäinen muovi laajennetaan ohueksi kalvoksi puhaltamalla siihen ilmaa. Ostoskassit valmistetaan yleisesti tällä menetelmällä. (Al-Salem *et al.*, 2009)

4.2.3 Kemiallinen kierrätys

Kemiallisessa kierrätyksessä muovien polymeeriketjut pilkotaan pieniksi molekyyleiksi, joita voidaan hyödyntää uusien muovien tai öljytuotteiden valmistuksessa. Kemiallinen kierrätys voidaan jakaa termolyyttisiin prosesseihin, joissa käytetään lämpöä muovijätteen pilkkomiseksi pienemmiksi molekyyleiksi ja puhtaasti kemiallisiin menetelmiin. Pyrolyysi ja kaasutus ovat tärkeimmät termolyytiset menetelmät. (Al-Salem *et al.*, 2009)

4.2.3.1 Pyrolyysi

Pyrolyysissä muovijätettä hajotetaan lämmön avulla hapettomissa olosuhteissa. Hajottaminen voi tapahtua katalyyttisesti tai ilman katalyyttiä. Pyrolyysin tuotteina saadaan pieniä hyödyllisiä molekyylejä, kuten hiilivetyjä ja mahdollisesti jopa monomeerejä. Prosessin sivutuotteena syntyy kiinteää hiiltä, jota voidaan hyödyntää jatkokäsittelyn jälkeen energiantuotannossa. Pyrolyysin suurimpia hyötyjä ovat kaatopaikkajätteen väheneminen, kasvihuonekaasupäästöjen väheneminen ja hyödylliset lopputuotteet, joita on mahdollista hyödyntää polttoaineina. (Al-Salem *et al.*, 2009; Panda, Singh & Mishra, 2010)

Katalyyttittömässä pyrolyysissä käytetään yleensä raaka-aineena PE-, PS- ja PP-muoveja ja reaktiot tapahtuvat 350° C ja 900° C välillä. Tuotteina saadaan pääasiassa matala oktaanisia nesteitä ja kaasuja. Näiden reaktioiden reaktiomekanismeja ei ymmärretä kunnolla, minkä takia lopputuotteiden jakauma on suuri ja lopputuotteet vaativat jatkokäsittelyä. (Al-Salem *et al.*, 2009; Panda *et al.*, 2010)

Katalyyttisessä pyrolyysissä tuotejakauma on kapeampi ja reaktioita on helpompi kontrolloida. Katalyyttittömän pyrolyysin tuotteiden jakauma on yleensä C₅-C₂₈, kun taas katalyyttisen C₅-C₁₂. Tuotteet ovat pääasiassa haarautuneita hiilivetyjä, aromaattisia yhdisteitä ja olefiineja, mitä voidaan hyödyntää polttoaineina. Katalyyttien avulla pyrolyysi voidaan toteuttaa alhaisemmassa lämpötilassa ja pienemmillä reaktioajoilla, mikä tekee prosessista taloudellisesti tehokkaampaa. (Panda *et al.*, 2010)

BP-polymeerikrakkausprosessi on pyrolyysimenetelmä, missä hajotettava jäte pienennetään ja syötetään tyypiatmosfääriseen leijupetireaktoriin, jonka lämpötila on 500° C. Näissä oloissa muovit hajoavat pieniksi hiilivedyiksi, jotka poistuvat reaktorista kaasuina. Jätteen mukana olevista klooripitoisista yhdisteistä muodostuu suolahappoa, joka neutraloidaan kalkkikiven avulla. Lopputuotteina saadaan pääasiassa eteeniä, propeenaa ja hieman metaania. (Al-Salem *et al.*, 2009)

4.2.3.2 Kaasutus

Kaasutus vastaa toimintaperiaatteiltaan hyvin pitkälle pyrolyysiä sillä erolla, että siinä käytetään polymeerien hajottamiseen myös happea. Kaasutus prosessin ensimmäisessä vaiheessa jätteistä erotellaan palavat jätteet, jotka pienennetään sopivan kokoisiksi. Eroteltu jäte syötetään reaktoriin, missä se kulkeutuu leijupedin läpi, joka koostuu piihiekaista, dolomiitista ja väliaineista. Leijupedin lämpötila on 850-900°C, koska dolomiitti, jota käytetään syntyvän tervan hajottamiseen, aktivoituu vasta näissä lämpötiloissa. Syöttämällä ilmaa reaktioon, pysyy peti hyväkuntoisena, voidaan vähentää syntyvän tervan määrää ja pidetään reaktion lämpötasapainoa yllä. Leijupedissä jäte kaasuttuu kaasuiksi ja kulkeutuu sykloneihin, joiden lämpötilaa pidetään 400–500 °C, jotta vältetään ylimääräisen tervan syntymiseltä. Sykloneista kaasut kerätään ja erotellaan kondensoimalla. Viimeisessä vaiheessa kaasut putsataan ja viedään tarvittaessa jatkokäsittelyyn. Ilman typpi, N₂, on pysyvää ja se ei reagoi kaasutuksen aikana, minkä seurauksena se jää lopputuoteisiin. Tällöin lopputuotteet laimenesivat ja niiden arvo laski. Tämän takia typpeä poistetaan lisäämällä vesihöyryä reaktoriin. (Al-Salem *et al.*, 2009; Aznar, *et al.*, 2006)

Kaasutuksessa voidaan käyttää myös biomassaa, hiiltä tai viemärijätettä, mutta mitä suurempi muovien osuus raaka-aineesta on, sitä korkeaaenergiaisempää kaasua saadaan valmistettua. Lisäämällä enemmän ilmaa reaktioon, syntyy vähemmän tervaa, mutta kaasun energia-arvo laskee. Lähtöaineissa olevasta tyypestä syntyy reaktiossa typpioksideja, jotka heikentävät lopputuotteiden energia-arvoa. (Aznar *et al.*, 2006)

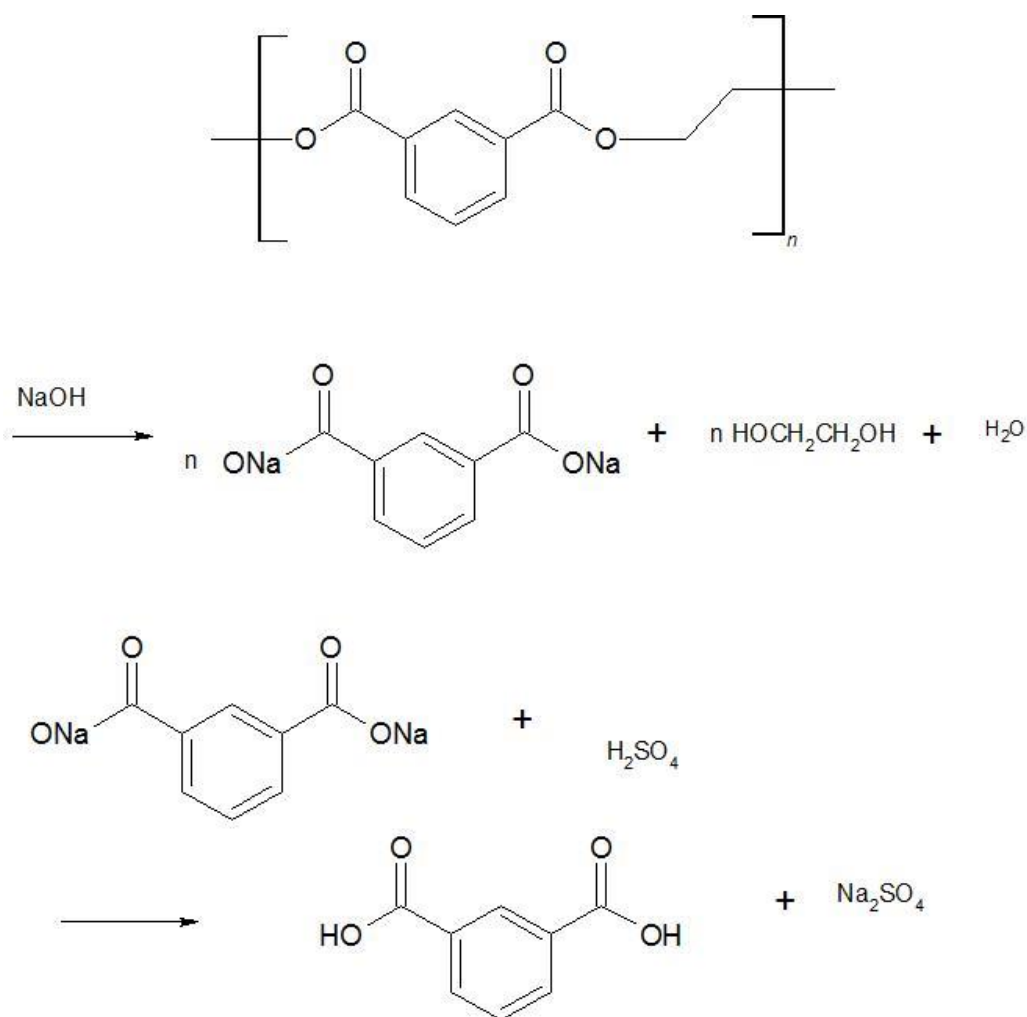
4.2.3.3 Muita kemiallisia kierrätysmenetelmiä

Puhtaasti kemiallisiin kierrätysmenetelmiin lukeutuvat hydrolyysi, glykolyysi, hydroglykolyysi ja aminoglykolyysi (Al-Salem *et al.*, 2009; Çam, Bal & Güçlü, 2015). Näillä menetelmillä voidaan kierrättää askelpolymeroinnilla valmistettuja muoveja, mutta ei ketjupolymeroinnilla valmistettuja. Askelpolymeroinnissa monomeerien substituentit reagoivat keskenään ja vastakkaiset reaktiot on mahdollista toteuttaa näistä kohdista, kun taas ketjupolymeroinnissa polymeerien ketjut menettävät aktiivisuutensa reaktion loputtua. (Achilias *et al.*, 2007)

Hydrolyysissä polymeeriketjujen hajottamiseen käytetään vettä ja se voidaan toteuttaa neutraalina, alkalisenä tai hapollisena. PET:n neutraalissa hydrolyysissä käytetään vain vettä 200-300°C lämpötiloissa ja 1-4 MPa paineessa. Tuotteina saadaan tereftalaattihappoa (TPA) ja etyleeniglykolia (EG). Reaktio on ympäristöystävällinen, koska siinä ei synny epäorgaanisia suoloja, minkä seurauksena tuotteiden käsittely helpottuu. Alkuperäisessä muovissa olevat mekaaniset epäpuhtaudet jäävät lopputuotteisiin, mikä laskee tuotteiden taloudellista arvoa. (Karayannidis, Chatziavgoustis & Achilias, 2002)

Hapollisessa hydrolyysissä käytetään yleensä rikkihappoa, typpihappoa tai fosforihappoa ja tuotteina saadaan samoja yhdisteitä kuin neutraalissa hydrolyysissä. Reaktiossa käytettävät hapot tulee kuitenkin erotella tuotteista, mikä vaatii pitkiä reaktioaikoja ja kalliita erotusmenetelmiä. Erottelu nostaa kierrätyksen kustannuksia, minkä takia muut hydrolyysimenetelmät ovat houkuttelevampia. (Karayannidis *et al.*, 2002)

PET:n alkalisen hydrolyysin (kuva 4) tuotteena saadaan muista hydrolyyseistä poiketen EG:a ja tereftalaatin suoloja, joista voidaan muodostaa TPA:a. Hydrolyysin ensimmäisessä vaiheessa lisätään natriumhydroksidia tai kaliumhydroksidia silputtuihin PET-rakeisiin ja lämmittämällä seos 340°C. Muodostuva EG höyrystyy ja se voidaan kerätä talteen. Jäljelle jää TPA:n suoloja, joista voidaan valmistaa TPA:a esimerkiksi rikkihapon avulla. (Kao, Cheng & Wan, 1998; Karayannidis *et al.*, 2002)



Kuva 4 PET alkalinen hydrolyysi NaOH:n avulla (Karayannidis *et al.*, 2002)

Glykolyysissä polymeerien hajottamiseen käytetään glykoleita. PET:n glykolyysissä käytetään EG:a reagenssina ja katalyyttinä sinkki-, mangaani-, lyijy tai kobolttiasetaattia. Tuotteena saadaan bis-2-hydroksietyylitereftalaattia (BHET), josta voidaan polymeroida suoraan uutta PET:a. (Chen, Chen & Cheng, 1999; Chen, Chen, Lo, Mao & Liao, 2001; Karayannidis *et al.*, 2002)

Aminoglykolyysissä hajottamiseen käytetään samanaikaisesti glykolia ja amiinia. PET:n aminoglykolyysissä käytetään EG:a ja dietyyliamiinia, jolloin saadaan hyrdoksyyli- ja karboksyyli-ryhmiä sisältäviä amiineja. Nämä amiinit sopivat esimerkiksi pinnoitemateriaalien valmistukseen. (Acar, Bal & Güçlü, 2013; Acar & Orbay, 2011)

4.3 Biohajoavat muovit

ASTM (American Society for Testing and Materials) määrittelee muovit biohajoavaksi kun ne hajoavat mikro-organismien entsyymien avulla luonnollisesti hiilidioksidiksi, metaaniksi, vedeksi ja epäorgaanisiksi yhdisteiksi. Muovit voivat olla myös kompostoituvia, jolloin niiden pitää hajota samaa tahtia muun biomassan kanssa komposteissa hiilidioksidiksi, vedeksi, epäorgaanisiksi yhdisteiksi ja biomassaksi ilman, että muovia voi erottaa massasta tai siitä jää myrkyllisiä jämiä. (Mooney, 2009; Song, Murphy, Narayan & Davies, 2009)

On olemassa sekä bio- että öljypohjaisia biohajoavia muoveja. Biopohjaisten muovien valmistukseen käytetään luonnosta saatavia materiaaleja ja ne ovat yleensä luonnostaan biohajoavia. Niitä voidaan valmistaa esimerkiksi polysakkarideista, proteiineista, lipideistä sekä biotuotteista johdetuista monomeereistä, kuten maitohaposta. Alifaattiset polyesterit, aromaattiset kopolyesterit, polyvinyylialkoholi lukeutuvat öljypohjaisiin muoveihin, jotka ovat ainakin osittain biohajoavia. Kaupallisesti käytössä olevien biohajoavien muovien valmistukseen käytetään yleensä bio- ja öljypohjaisten muovien komposiitteja, jotta niihin saadaan halutut ominaisuudet ja niiden hinta pysyy mahdollisimman kilpailukykyisenä. (Song *et al.*, 2009)

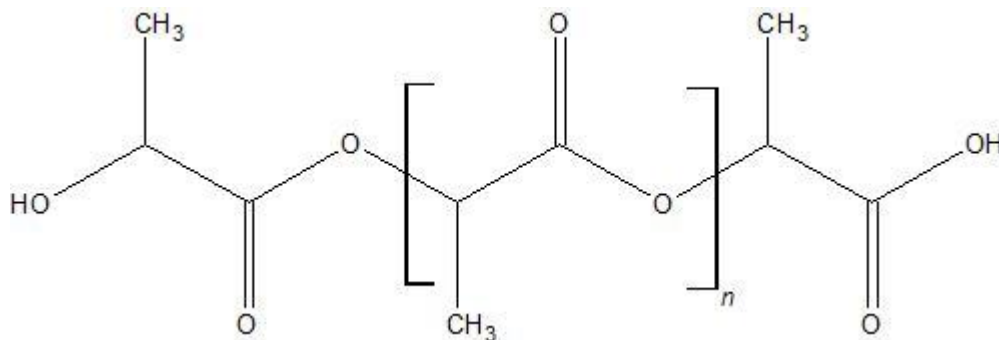
Viime vuosikymmenen lopussa biohajoavien muovien osuus vuosittaisesta muovituotannosta oli alle 0,2 %. Alhainen valmistuskapasiteetti ja kalliit valmistusmenetelmät tekevät biohajoavista muoveista perinteisiä muoveja kalliimpia. Biohajoavien muovien hinta on mahdollista saada kilpailukykyiseksi tulevaisuudessa, kun teknologian kehittyessä valmistuskapasiteetti nousee ja muovien ominaisuudet paranevat, öljyn hinta ja ympäristöasiat nousevat vahvemmin esille. (Mohanty, Misra & Drzal, 2002; Song *et al.*, 2009)

Biohajoavia muoveja käytetään pakkausmateriaaleina, kertakäyttöastioissa, muovikasseissa ja maataloustuotteissa. Biohajoavia muoveja voidaan käyttää myös pidempi-ikäisissä tuotteissa, kuten tekstiileissä, autonosissa ja rakennusmateriaalina. Biohajoavia muoveja pyritään käyttämään sellaisissa käyttötarkoituksissa, joissa biohajoavuutta on mahdollista hyödyntää, mutta siitä ei ole haittaa käytön aikana. (Mohanty *et al.*, 2002; Song *et al.*, 2009)

4.3.1 Käytössä olevia biohajoavia muoveja

Polylaktidi (PLA) on maitohaposta valmistettu polymeeri (kuva 5.). Polymeroinnissa käytettävä maitohappo valmistetaan teollisesti jalostetuilla bakteereilla, syöttämällä niille ravinnoksi glukoosia tai sakkaroosia, joista bakteerit valmistavat maitohappoa käymäisellä. Maitohapon polymerointi tapahtuu yleensä ketjunavauksella, joka on tehokasta, mutta kallista. PLA:n polymeroinnissa on kokeiltu myös mikrobitehtaita. (Hagen, 2012; Mooney, 2009)

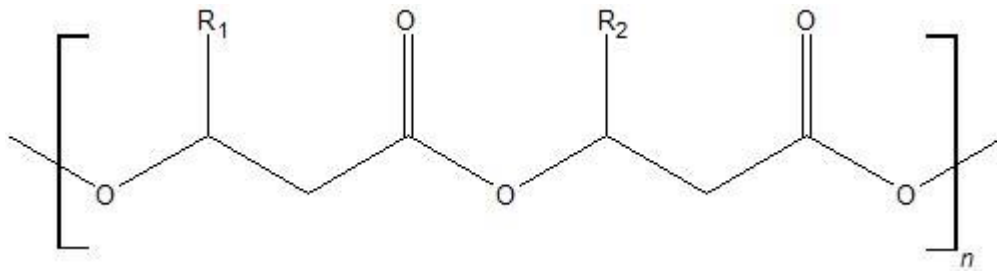
PLA on monikäyttöistä, kompostoituvaa, läpinäkyvää ja vedenkestävää ja sitä on helppo kierrättää ja käsitellä (Siracusa, Rocculi, Romani & Dalla Rosa, 2008). Sitä voidaan valmistaa perinteisillä muovien valmistusmenetelmillä, mutta se tulee kuivattaa huolellisesti, koska se hajoaa helposti kosteuden ja lämmön vaikutuksesta. (Hagen, 2012)



Kuva 5 PLA rakenne (Hagen, 2012)

Polyhydroksialkonaatit (PHA) ovat hydroksialkonaateista valmistettuja polyestereitä. Hydroksialkonaatit toimivat luonnossa bakteerien energiavarastoina hiilipitoisissa ja vähäravinteisissa oloissa. Polyhydroksialkonaatteja käytetään muun muassa täysin biohajoavissa filmeissä, päällystetyssä paperissa ja pahvissa, kompostipusseissa, kertakäyttöastioissa ja pulloissa. PHA:t valmistetaan yleensä jalostettujen bakteerien avulla. Orgaanista jätettä on ehdotettu korvaamaan glukoosia bakteerien ravintona, mutta tällöin PHA:n tuotanto on laskenut huomattavasti. (Mooney, 2009)

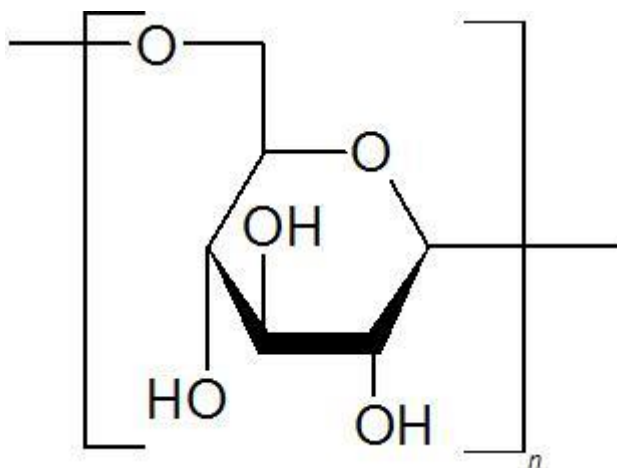
Yleisin käytössä oleva PHA on polyhydroksibutyraatti (PHB), jota polymeroidaan 3-hydroksibutyraatista. PHB on ominaisuuksiltaan PP:n kaltaista, mutta kovempaa ja hauraampaa. Poly(3-hydroksibutyraatti-ko-3-hydroksivaleraatti) (PHBV) on toinen tunnettu PHA. Se on polyhydroksibutyraatin ja valeraatin kopolymeeri, mitä käytetään pakkausmateriaalina ja se on pehmeämpää ja kestävämpää kuin PHB. Kuvassa 6. on esitetty PHA:n perusrakenne, mistä PHB ja PHBV ovat johdettu. (Siracusa *et al.*, 2008)



Kuva 6 PHA polymeerien perusrakenne. PHB:ssä R_1 ja R_2 ovat metyyli-ryhmiä. PHBV:ssä R_1 on metyyli-ryhmä ja R_2 etyyli-ryhmä. (Keshavarz & Roy, 2010)

Tärkkelys on amyloosista ja amylopektiinistä muodostunut yhdiste (kuva 7) (Bastioli, 1998). Sitä on saatavilla suuria määriä eri maataloustuotteista, mikä tekee siitä lupaavan raaka-aineen polymeerien valmistukseen. Puhtaasta tärkkelyksestä valmistetut polymeerit hajoavat noin kuukaudessa kompostissa ilman haittavaikutuksia. Tärkkelyksestä valmistetut muovit hajoavat kosteuden vaikutuksesta ja niiden ominaisuudet heikkenevät nopeasti. Tärkkelystä käytetään yleensä komposiiteissa muiden muovien, kuten vinyylialkoholien kanssa, jolloin muoveista saadaan kestävämpiä. Muovien biohajoavuus on yleensä suoraan verrannollista tärkkelyksen osuuteen. (Mooney, 2009)

Tärkkelysmolekyyleissä on vetysidoksia, jotka muodostavat vahvoja sidoksia ketjujen välillä, minkä seurauksena ketjut lukkiutuvat paikalleen. Tämän takia perinteisissä lämpökäsittelymenetelmiä ei voi käyttää tärkkelyspolymeerien valmistukseen, vaan niiden prosessointi vaatii omat laitteistot. (Glittenberg, 2012)



Kuva 7 Tärkkelyksen perusrakenne (Glittenberg, 2012)

Selluloosaa on puolestaan pystytty modifioimaan niin, että siitä johdettuja muoveja on mahdollista valmistaa lämpökäsittelyllä. Perinteinen selluloosa kärsii tärkkelyksen tavoin

vetysidoksien aiheuttamista prosessointivaikeuksista. Selluloidi on selluloosasta valmistettu polymeeri, joka valmistetaan nitroselluloosasta ja kamferista ($C_{10}H_{16}O$). Selluloidia käytettiin aikoinaan norsunluun korvikkeena esimerkiksi biljardipalloissa. Selluloosa-asetaatti ftalaattia (CAP) käytetään lääkkeiden päällysteenä, minkä avulla lääkkeet on mahdollista vapauttaa tarkasti halutussa kohteessa. (Mooney, 2009)

4.3.2 Biohajoavien muovien kierrätys

Biohajoavien muovien perinteinen kierrättäminen ei ole kannattavaa, koska niitä ei ole tarpeeksi markkinoilla mekaanisen tai kemiallisen kierrätyksen toteuttamiseksi. Ne voivat myös hajota kierrätysprosessien aikana pieniksi luonnollisiksi yhdisteiksi, jotka haittaavat muiden muovien kierrätystä. (Song *et al.*, 2009)

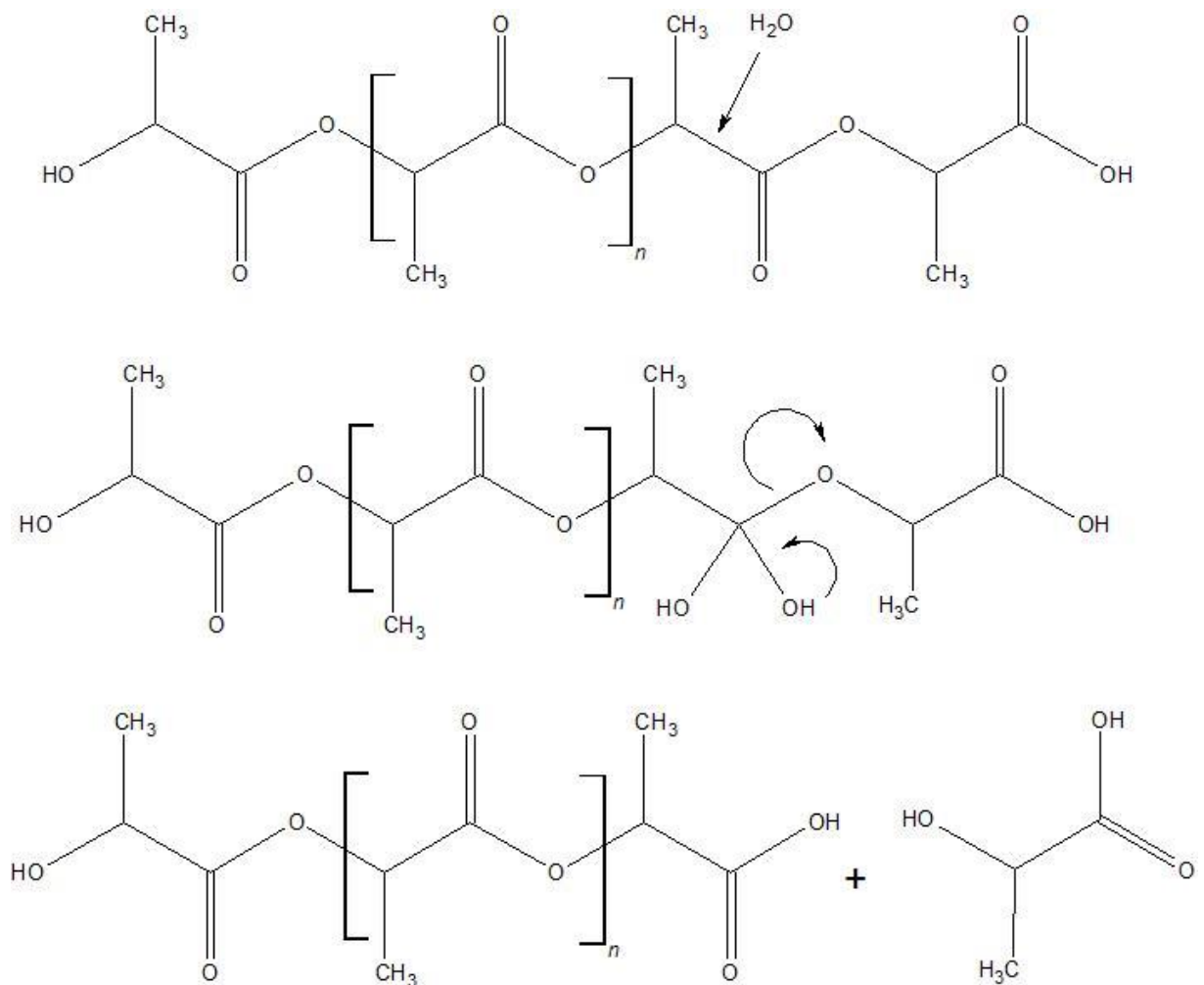
Kaatopaikat ovat huonoin vaihtoehto käsitellä biohajoavia muoveja, koska niiden anaerobisissa oloissa biohajoavat muovit hajoavat metaaniksi, joka on moninkertaisesti hiilidioksidia vahvempi kasvihuonekaasu. (Song *et al.*, 2009)

Biohajoavia muoveja voidaan käyttää myös energiantuotannossa. Kun biopohjaiset muovit on valmistettu luonnon materiaaleista, toimivat ne uusiutuvana energiana. Energiantuotannossa ei kuitenkaan hyödynnetä muovien biohajoavuutta mitenkään eikä niiden hyödyistä energiantuotannossa ole juurikaan tieteellistä tutkimustietoa. (Song *et al.*, 2009)

Biohajoavien muovien suurin etu verrattuna perinteisiin muoveihin, on niiden biohajoavuus ja tätä ominaisuutta on mahdollista hyödyntää kompostoinnissa. Kompostointi tapahtuu mikrobien aerobisen toiminnan avulla kontrolloidusti lämpimissä ja kosteissa olosuhteissa ja sen tuotteena saadaan ravinnerikasta kompostia. Kompostoinnissa syntyy hiilidioksidia, mutta se on osa hiilen luonnollista kiertokulkua, eikä se näin lisää kasvihuonekaasupäästöjä. Suurin osa markkinoilla olevista biohajoavista tuotteista ei kuitenkaan hajoa kunnolla kotikomposteissa, vaan ne olisi parempi kierrättää teollisissa kompostilaitoksissa, joissa on tarkasti säädellyt olosuhteet. (Song *et al.*, 2009)

Biohajoavien muovien hajoaminen alkaa hydrolyysillä. Koska hydrolyysi voi tapahtua sattumanvaraisesti polymeeriketjun eri kohtiin, on todennäköisempää, että pitkät ketjut katkeavat ennen lyhyitä ja mikrobit pääsevät nopeammin käsiksi pieniin molekyyleihin.

Hydrolyysi vaatii toimiakseen kosteutta, mutta toisaalta liika kosteus tekee komposteista hapettomia, jolloin mikrobitoiminta ei ole optimaalista. Hydrolyysin jälkeen mikrobit pääsevät hajottamaan pieniä molekyylejä entsymaattisesti monimutkaisilla reaktiomekanismeilla. PLA:n hydrolyysi on esitetty kuvassa 8. (Siracusa *et al.*, 2008)



Kuva 8 PLA:n Hydrolyysi (Siracusa *et al.*, 2008)

4.4 Yhteenveto

Polymeereistä synteettisesti valmistetut muovit ovat nousseet nykypäivänä yhdeksi suosituimmista materiaaleista niiden monikäyttöisyyden, kestävyys ja halpuuden takia. Koska muovit valmistetaan yleensä raakaöljystä johdetuista tuotteista, aiheutuu muovien valmistuksesta ja polttamisesta hiilidioksidipäästöjä. Muovien ominaisuuksien parantamiseksi niihin lisätään valmistuksessa lisäaineita, jotka voivat olla ympäristölle haitallisia. Ympäristöön päätynyt muovi voi aiheuttaa myös haittoja eläimille. Muovia on löydetty kuolleiden merilintujen ja muiden merenelävien vatsista ja eläimiä on jäänyt jumiin meressä olevaan muovijätteeseen. Merissä on havaittu myös mikromuoveja, jotka voivat päätyä pieneliöihin ja niistä ruokaketjussa ylöspäin aina ihmisiin asti.

Muovien käyttöä tulisi ensisijaisesti vähentää ja jos se ei ole mahdollista tulee muovituotteita käyttää uudelleen, kierrättää tai hyödyntää energiantuotannossa. Muovijätteen päättymistä kaatopaikoille tulisi välttää.

Tällä hetkellä muovien tehokkain kierrätystapa on homogeenisen muovijätteen mekaaninen kierrätys. Teknologian kehittyessä kemiallinen kierrätys on houkutteleva vaihtoehto, koska sen avulla saadaan uusia puhtaita raaka-aineita muovien valmistukseen ja polttoaineita. Näin fossiilisten polttoaineiden tarvetta voitaisiin vähentää.

Biohajoavat muovit tarjoavat vaihtoehdon perinteisille muoveille. Näitä muoveja valmistetaan yleensä bio- ja öljypohjaisten muovien seoksista. Parhaassa tapauksessa biohajoavat muovit voidaan valmistaa uusiutuvista biomateriaaleista ja ne voidaan kierrättää komposteissa luonnonmateriaalien kanssa. Biohajoavien muovien suurin haaste on tällä hetkellä rajallinen valmistuskapasiteetti ja korkea hinta. Teknologian kehittyessä ja öljyn hinnan noustessa voi biohajoavista muoveista tulla kilpailukykyinen vaihtoehto perinteisille muoveille.

Kehitettävissä tehtävissä tullaan käyttämään aihealueita muovien kierrättämisestä, muovien aiheuttamista haitoista ja biohajoavista muoveista. Tehtävien tueksi tullaan kehittämään verkkosivut, joissa on tässä luvussa käsiteltyä opetukseen soveltuvaa tietoa muoveista, niiden kierrätyksestä, niiden haitoista ja biohajoavista muoveista

5. Teoreettinen ongelma-analyysi: Muovien kierrätys opetuksessa

5.1 Muovien kierrätys lukion opetussuunnitelmien perusteissa

Kemian opetuksen yleisiin tavoitteisiin kuuluu kemian sovellusten merkitys yhteiskunnassa ja ympäristössä, kehittää valmiuksia opiskella luonnontieteellisillä aloilla, opettaa kemiaa monipuolisissa tilanteissa. välittää kuva kemian merkityksessä kestävän tulevaisuuden edistämisessä ja ohjaamaan oppilaita ottamaan vastuuta omista toimista ja ympäristöstä. (Opetushallitus, 2015)

Lukion opetussuunnitelmien perusteissa (Opetushallitus, 2015) kemian kurssi Materiaalit ja teknologia (KE4) käsittelee polymeerejä ja niiden ympäristövaikutuksia. KE4 kurssin keskeisiin tavoitteina lukeutuu, että opiskelija

- osaa käyttää ja soveltaa materiaaleihin ja teknologiaan liittyviä kemian käsitteitä jokapäiväisen elämän, ympäristön ja yhteiskunnan ilmiöissä
- osaa tutkia kokeellisesti ja malleja käyttäen materiaaleihin ja sähkökemian liittyviä ilmiöitä
- harjaantuu ilmaisemaan itseään kemialle ominaisilla tavoilla ja analysoimaan eri tietolähteiden argumentointia

Kurssin keskeisiä sisältöjä ovat:

- kemian merkitys teknologiassa ja yhteiskunnassa
- metallien ja polymeerien ominaisuudet, käyttö ja elinkaari
- tutkimuksen tai ongelmanratkaisun ideointi ja suunnittelu
- yhteistyön rooli kemiallisen tiedon tuottamisessa

Ilman kierrätystä muovit päätyvät kaatopaikoille tai hiilidioksidi, mikä ei ole kestävän kehityksen mukaista. Muovien valmistuksen ja kierrätyksen tulisikin olla kestävän kehityksen mukaista. (Mulder, 1998). Tämän takia muovien kierrätys sopii myös kestävän tulevaisuuden periaatteiden opettamiseen. Lukion opetussuunnitelmien perusteissa kestävän elämän tavan edistäminen korostuu arvoperustassa, minkä mukaan opiskelijoiden on tarkoitus ymmärtää omien toimintojensa merkityksen kestävän kehityksen toteutumisessa. (Opetushallitus, 2015)

Kestävän elämäntavan edistäminen on lukion opetussuunnitelmien perusteiden yleisiä tavoitteita. Opiskelijoiden tulee ymmärtää kestävän elämän tavan välttämättömyys ja sen moniulotteisuus. Kestävä elämäntapa ja globaalivastuu on opetussuunnitelman perusteissa ainerajat ylittävä ainekokonaisuus. Kokonaisuus keskittyy kestävän elämäntavan edistämiseen, minkä tavoitteina oppilas (Opetushallitus, 2015)

- tuntee perusasiat kestävän elämäntavan ekologisesta, taloudellisesta sekä sosiaalisesta ja kulttuurisesta ulottuvuudesta sekä ymmärtää, että vasta niiden yhteensovittaminen tekee elämäntavasta kestävän
- osaa analysoida ja arvottaa luonnonympäristöissä, rakennetuissa ympäristöissä ja sosiaalisissa ympäristöissä tapahtuvia muutoksia sekä rohkaistuu toimimaan myönteisten ratkaisujen puolesta
- tuntee ilmastonmuutokseen ja luonnon monimuotoisuuden heikkenemiseen
- vaikuttavia tekijöitä sekä tiedostaa niiden merkityksen ympäristölle ja ihmisen
- toiminnalle osaa analysoida globalisoitumista ja sen vaikutuksia kestävään elämäntapaan paikallisesti ja maailmanlaajuisesti sekä tuntee keinoja köyhyyden ja eriarvoisuuden lievittämiseksi
- osaa analysoida kestävän elämäntavan, tuotanto- ja kulutustapojen sekä poliittisten päätösten välisiä yhteyksiä
- osaa noudattaa luontoperustastaan ja kulttuuriperinnöstään ylisukupolisesti huolehtivaa elämäntapaa

5.2 Muovien opetus

Muovien tai muovien kierrätyksen opettamisesta lukio-opetuksessa on vain vähän tutkimustietoa. Muovien kierrättämiseen liittyviä kokeellisia töitä tai aktiviteetteja on kuitenkin kehitetty. Hudson, Glaisher, Bishop & Katz (2015) kehittivät kokeellisen työn, missä valmistetaan biohajoavaa muovia kitiinistä. Työtä voi käyttää biopolymeerien opiskeluun, muovien käsittelyyn tai johdantona kierrätykseen. Mc Ilrathin, Robertsonin & Kuchtan (2012) kokeellisessa työssä valmistetaan polykaprolaktoni (PCL) biopolymeeriä ilman liuottimia. Tamburini, Kelly, Weerapana & Byers (2014) puolestaan laativat eri oppiaineita yhdistävän kokeellisen työn, missä valmistetaan biopolymeerejä pahvista.

Kuntzleman (2015) kehittämässä työssä tehdään erottelupullo, missä on suolavettä ja alkoholia. Erottelupulloa ravisteltaessa muodostuu suolaveden ja alkoholin välille emulsio, minkä avulla on mahdollista erotella PS- ja LDPE-muovit toisistaan. Erottelu perustuu tiheyteen, koska LDPE nousee emulsion pinnalle kevyempänä ja PS valuu pullon pohjalle. Myös Harris & Walker (2010) ovat kehittäneet kokeellisen työn, missä muoveja erotellaan tiheyden avulla. Työssä luokitellaan 7 eri muovia niiden kellumisominaisuuksien perusteella. Näillä töillä on mahdollista johdattaa oppilaat muovien lajitteluun ja kierrättämiseen. Nämä työt myös osoittavat, että muoveja voi käyttää monien eri kontekstien opettamiseen.

Romanin (2013) työssä oppilaat suunnittelevat muovisia poranteriä ongelmalähtöistä oppimista soveltaen. Työ on esimerkki siitä, että ongelmalähtöistä oppimista on mahdollista soveltaa muovien ja niiden kierrätyksen opettamiseen. Cook (2014) puolestaan laati väittelyn muovien kierrätykseen liittyen, missä oppilaiden tulee hakea aktiivisesti itse tietoa väittelyyn, mikä vastaa ongelmalähtöisen oppimisen itseopiskelua.

5.3 Ympäristöopetus ja kestävä kehitys opetuksessa

Koska muovien kierrättämisellä yritetään säästää luonnonvaroja, vähentää ilmansaasteita ja tehdä taloudellista voittoa, liittyy se aiheena vahvasti ympäristöopetukseen ja kestäväan kehitykseen. Ympäristöopetuksella pyritään antamaan oppilaille tietoja ja taitoja, joilla he voivat itse määritellä omien toimiansa vaikutuksen ympäristölle. Jokaisen oppiaineen tulisikin opettaa kestävää kehitystä ja ympäristöystävällisyyttä. (Gutierrez-Perez & Pirrami, 2011; Uitto, Juuti, Lavonen, Byman & Meisalo, 2011)

Kestävän kehityksen monipuolisella opetuksella pystytään kasvattamaan oppilaita, jotka ottavat vastuuta kestäväan tulevaisuuden rakentamisesta. Opettajat ovat havainneet ympäristöopetuksen kehittävän oppilaiden mielenkiintoa ympäristöasioihin, yhteistyötaitoja, ympäristöasioiden ja luonnontieteiden hallintaa. (Vasconcelos, 2012; Yanniris, 2015)

Kestävän kehityksen omaksuminen edellyttää ihmisten hyvinvoinnin, talouden ja ympäristösuojelun välisten yhteyksien hahmottamista. Kriittinen ajattelu, kokonaisuuksien hahmottaminen, monialainen työskentely ja muutoksien käsittely ovat myös tärkeitä taitoja kestävää kehitystä käsiteltäessä. (Laininen, Manninen & Tenhunen, 2006)

Käyttämällä ympäristöopetuksessa tiedon prosessointiin ja tutkimiseen perustuvia opetusmenetelmiä, pystyvät oppilaat hahmottamaan asioiden, käsitteiden ja kontekstien yhteyksiä paremmin. Opetus tapahtuu kuitenkin yleensä perinteisesti luennoimalla, mikä ei kannusta oppilaita syvälliseen oppimiseen. (Gutierrez-Perez & Pirrami, 2011; Roy, Kihoza, Suhonen, Vesisenaho & Tukiaianen, 2014; Vasconcelos, 2012)

Opettajalla on suuri merkitys ympäristöopetuksen toteutuksessa. Opettajat saattavat olla asenteiltaan ympäristöystävällisiä ja hallita ympäristötietoa, mutta eivät toteuta ympäristöopetusta omassa opetuksessaan. He kuitenkin pitävät ympäristöopetusta tärkeänä ja he haluavat lisää tietoa sen toteutusmahdollisuuksista. Opettajat pitävät koulujen tiukkoja aikatauluja suurimpaan esteenä ympäristöopetuksen toteutukselle. Onkin tärkeää, että opettajia koulutettaisiin toteuttamaan toimivaa ympäristöopetusta. (Markaki, 2014; Liu, Yeh, Liang, Fang & Tsai, 2015; Yanniris, 2015)

Ympäristöopetuksessa on käytetty perinteisesti puhtaan luonnon konteksteja, mutta nykymaailma on vahvasti urbanisoitunut. Ympäristöopetuksen konteksteja suunniteltaessa tulisikin huomioida oppilaiden tausta. Jos konteksti ei liity oppilaiden arkeen, voi sen käyttö pahimmassa tapauksessa tehdä ympäristöopetuksesta haitallista oppilaiden ympäristöasenteille. (Carleton-Hug & Hug, 2010; Crosley, 2014)

Suomessa oppilaat eivät pidä ympäristöasioita erityisen mielenkiintoisina, mutta he ovat asenteiltaan ympäristöystävällisiä. Tämä on ristiriidassa sen kanssa, että muualla oppilaat, jotka pitivät ympäristöasioita mielenkiintoisina, ovat myös asenteiltansa ympäristöystävällisempiä. Oppilaat, jotka hallitsevat luonnontieteitä pitävät ympäristöasioita ja kestäväää kehitystä tärkeinä. Oppilaiden kokemuksiin, asenteisiin ja arvoihin tulisi kiinnittää huomioita ympäristöasioita käsiteltäessä. Myös vaihtelevat opetusmenetelmät ja kontekstien käyttö on tärkeää huomioida ympäristöasioita opettaessa. (Uitto *et al.*, 2011)

Ongelmalähtöisen oppimisen avulla on mahdollista saavuttaa ympäristöopetuksen tavoitteita, koska se asettaa oppilaan aktiiviseen asemaan oppijana, käyttää aitoja moniulotteisia ongelmia oppimisen tukena ja kehittää monialaista tiedonhallintaa, ryhmätyötaitoja, kriittisen ajatteluntaitoja ja ongelmanratkaisukykyä. (Kwan & So, 2008)

5.4 Oppilaiden kiinnostus luonnontieteiden opiskeluun

Vuoden 2006 PISA-tutkimuksen mukaan Suomessa oppilaat ovat keskimääräistä vähemmän kiinnostuneita luonnontieteiden opiskelusta verrattuna muiden OECD (Organisation for Economic Co-operation and Development) maiden oppilaisiin (Lavonen & Laaksonen, 2009). Kiinnostuksen lisääminen luonnontieteiden opiskelua kohtaan onkin yksi tärkeimmistä opetuksen haasteista (Juuti, Lavonen, Byman & Meisalo, 2009). Tutkimuksellisilla opetusmenetelmillä voisi olla mahdollista lisätä oppilaiden mielenkiintoa luonnontieteiden opiskelua kohtaan, kehittää oppilaiden sosiaalisia taitoja ja luovuutta sekä lisätä oppilaiden tietoa luonnontieteistä. Suomessa käytetään kuitenkin paljon perinteisiä opetusmenetelmiä ja oppilaat eivät toivo suuria muutoksia opetukseen. Suomalaiset oppilaat toivoivat ainoastaan lisää ryhmätyöskentelyä. (Juuti *et al.*, 2009; Lavonen & Laaksonen, 2009)

Hidin ja Rennigerin (2006) mukaan kiinnostusta on mahdollista lisätä ryhmätyöskentelyllä, ongelmilla tai tietotekniikan avulla. Ongelmalähtöisessä oppimisessä on mahdollista hyödyntää näitä kaikkia ja tämän perusteella ongelmalähtöisen oppimisen avulla voisi olla mahdollista lisätä oppilaiden kiinnostusta luonnontieteiden opiskelua kohtaan. Myös tiedonhaulla on myönteinen vaikutus oppilaiden kiinnostukseen, koska se lisää oppilaiden itsenäisyyden tunnetta (Juuti *et al.*, 2009).

Opettajien tulisi näyttää oppilaille mitä mahdollisuuksia luonnontieteiden parissa työskentelyllä on. Oppilaita saattaa kiinnostaa miten luonnontieteiden avulla voidaan suojella ympäristöä, kehittää yhteiskuntaa ja parantaa ihmisten elinolosuhteita. (Lavonen & Laaksonen, 2009).

5.5 Yhteenveto

Muovit, niiden kierrätys ja kestävä kehitys kuuluvat lukionopetussuunnitelmien perusteiden sisältöihin. Ympäristöopetus tulisi toteuttaa monipuolisesti tiedon aktiivista prosessointia, ryhmätyöskentelyä ja kokonaisuuksien hahmottamista painottaen. Perinteisellä opetuksella ei pystytä vastaamaan ympäristöopetuksen tarpeisiin ja opetuksessa tulisikin käyttää monipuolisia opetusmenetelmiä. Ympäristöopetuksella on mahdollista parantaa oppilaiden oppimista ja ympäristöasenteita.

Suomessa käytetään paljon perinteisiä opetusmenetelmiä, jotka eivät tue ympäristöopetusta. Suomessa oppilaat ovat keskivertoa vähemmän kiinnostuneita luonnontieteiden opiskelusta. Opetusmenetelmillä on yhteys kiinnostukseen ja konteksteilla on yhteys oppilaiden kiinnostukseen.

Ongelmalähtöinen oppimisen avulla on mahdollista käsitellä ympäristöasioita yhteisöllisesti, moniulotteisesti ja aitojen kontekstien avulla. Ongelmalähtöinen oppimisen avulla oppilaat käsittelevät tietoa aktiivisesti ja hahmottavat kokonaisuuksia paremmin, minkä takia ongelmalähtöinen oppimisen pitäisi sopia ympäristöopetukseen. Näistä syistä ongelmalähtöisen oppimisen pitäisi myös parantaa oppilaiden kiinnostusta luonnontieteiden opiskeluun. Kehitettävä muovien kierrätystä käsittelevä oppimateriaali kehitetäänkin näistä syistä ongelmalähtöisen oppimisen mukaiseksi.

Muovien kierrätyksen opettaminen kattaa polymeerien ominaisuudet, käytön ja elinkaaren. Kierrätysprosessit antavat esimerkin kemian teknologisesta hyödyntämisestä ja hyödyistä yhteiskunnalle. Muovien kierrätyksen avulla on mahdollista näyttää miten materiaalit ja teknologia liittyvät heidän elämään, ympäristöönsä ja yhteiskuntaan. Muovit ja niiden kierrätys soveltuvat konteksteina myös muiden käsitteiden ja aiheiden, kuten tiheyden, opettamiseen.

Ongelmalähtöisen oppimisen avulla on mahdollista toteuttaa osa lukion kemian kurssin Materiaalit ja teknologia (KE4) keskeisistä sisällöistä ja tavoitteista, kuten materiaalien kokeellinen tutkiminen, harjaannuttaa kemialle ominaista ilmaisutapoja ja tietolähteiden käyttöä. Ongelmalähtöisessä oppimisessa harjoitetaan ongelmanratkaisutaitoja ratkaisemalla lähtökohtana käytettävä ongelma. Ongelmalähtöinen oppiminen on myös yhteisöllinen opiskelumenetelmä, missä yhteistyön merkitys korostuu. Kehitettävä materiaali suunnataankin pääasiassa tälle lukion kemian kurssille, mutta opettajat voivat halutessaan soveltaa sitä myös muiden kontekstien opettamiseen tai yleiseen ympäristöopetukseen.

6. Empiirinen ongelma-analyysi

6.1 Tarveanalyysin toteutus

Empiirinen ongelma-analyysin tarveanalyysi suoritettiin oppikirja-analyysinä lukion oppikirjoista ja sen avulla pyrittiin selvittämään miten ja missä laajuudessa muovien kierrätystä opetetaan lukio-opetuksessa. Oppikirjat analysointiin aineistolähtöisellä sisällönanalyysillä, jossa tutkittava aineisto pelkistetään, ryhmitellään ja lopuksi löytyneistä ryhmistä muodostetaan alaluokkia (Tuomi & Sarajärvi, 2009).

Tarveanalyysi suoritettiin lukion oppikirjoille, koska Suomessa opettajat käyttävät niitä opetuksessa eniten kaikista oppimateriaaleista (Uusikylä & Atjonen, 2005). Tämän takia oppikirja-analyysi antaa laajan kuvan muovien kierrätyksen opettamisesta lukioissa. Analysoitavaksi valittiin 3 eri lukion oppikirjasarjaa niiden suosion ja saatavuuden perusteella. Kaikkien kurssien oppikirjat analysoitiin, koska muovien kierrätykseen liittyy monia eri teemoja ja olisi mahdollista, että myös muidenkin kuin neljännen kurssin (KE4) oppikirjoissa olisi mainintoja tai viitteitä aiheeseen. KE4-kurssi sisältää polymeerien ja muovien opetuksen ja voidaan olettaa, että suurin osa aiheen käsittelystä keskittyy tähän kurssiin. Analyysiin otettiin mukaan myös yksi yläkoulun kemian oppikirja vertailun vuoksi antamaan viitteitä oppilaiden pohjatiedoista.

Analyysissä etsittiin oppikirjoista maininnat muovien kierrätyksestä tai muovien käsittelystä kestäväen kehityksen näkökulmasta. Pelkkiä mainintoja muoveista ei otettu mukaan analyysiin. Mainintojen keräämisen jälkeen ne ryhmiteltiin ja luokiteltiin sijainnin perusteella leipätekstiksi, kuvatekstiksi, lisätiedoksi, tehtäväksi ja kokeellisiksi töiksi. Sijainnin perusteella pystyttiin hahmottamaan missä muodossa muovien kierrätystä käsitellään oppikirjoissa, kuinka tärkeänä sitä pidetään ja minkälaista materiaalia niiden opettamiseen jo löytyy. Tämän perusteella on mahdollista kehittää tarvittavaa oppimateriaalia aiheen opettamiseen. Maininnat jaoteltiin myös sen perusteella minkä kurssin oppikirjassa ne esiintyivät. Tällä jaottelulla pyrittiin selvittämään käytetäänkö muovien kierrätystä kontekstina muissa kuin lukion neljännessä kurssissa (KE4).

Maininnat ryhmiteltiin ja luokiteltiin myös sisällöllisten aihealueiden perusteella. Aihealueet jaoteltiin sisällön perusteella, minkä avulla pyrittiin näkemään mitä muovien kierrätyksellä halutaan opettaa. Tarveanalyysissä käytetyt kirjat löytyvät liitteestä 1 ja niistä löydetty maininnat liitteestä 2.

6.2 Tulokset

Analysoiduista 16 oppikirjasta (15 lukion ja 1 yläkoulun) löytyi yhteensä 42 mainintaa liittyen muovien kierrätykseen tai muoveista kestäväen kehityksen konteksteissa. Näistä maininnoista 34 oli lukion oppikirjoissa ja 8 yläkoulun oppikirjassa. Suurin osa maininnoista keskittyi KE4-kurssin oppikirjoihin, joista löytyi yhteensä 30 mainintaa. KE2- ja KE5-kurssien oppikirjoista ei löytynyt yhtään mainintaa, mikä ei ole yllättävää, koska KE2-kurssi keskittyy kemian mikromaailmaan ja KE5-kurssi laskennalliseen kemiaan. KE3-kurssin kirjoista löytyi 3 mainintaa ja KE1-kurssin kirjoista yksi maininta.

Taulukossa 1 on esitetty muovien kierrätykseen liittyvät maininnat tekstin muodon perusteella. Lukion kirjasarjojen väliltä löytyi pieniä eroja. Kirjasarjassa C oli omat kappaleet muovien polttamisesta ja niiden käyttäytymisestä luonnossa, minkä johdosta sarjassa oli enemmän mainintoja leipätekstissä kuin muissa lukion kirjasarjojen (A & B) kirjoissa. Leipäteksti olikin 17 maininnalla yleisin mainintojen esiintymismuoto. Kirjasarja B:ssä oli vähiten mainintoja leipätekstissä ja aiheeseen liittyviä tehtäviä, minkä johdosta sarjassa oli myös vähiten mainintoja tutkituista lukion kirjasarjoista. Tutkitussa yläkoulun kirjassa D ei ollut yhtään lisätieto-osiota, mutta leipätekstissä oli 5 mainintaa, mikä oli toiseksi eniten kaikista tutkituista kirjasarjoista. Lisätiedon puuttuminen voi johtua kirjan rakenteesta tai aiheen syvällisemmän kemian haastavuudesta, jota käsitellään tarkemmin lukion oppimäärässä. Lisätietoon on luettu erilaiset lisätietolaatikat, taulukot ja kuvat ilman asiaan liittyvää kuvatekstiä.

Aiheeseen liittyviä tehtäviä löytyi kirjoista 10 mikä on odotettua enemmän. Kirjasarjassa A oli jopa 4 tehtävää, mutta kahdesta näistä aihe toimi vain johdantona tehtävään, joka käsitteli polymeerien kemiallista rakennetta. Aiheesta löytyi myös tehtäviä, joissa piti pohtia ja arvioida omaa toimintaa, muovien kierrätystä yleisesti tai selvittää tuotteen elinkaari. Kokeellisia töitä aiheesta ei odotetusti löytynyt.

Taulukko 1: Muovien kierrättämiseen liittyvät termit lajiteltuna esiintymismuodon perusteella.

Kirjasarja	Leipäteksti	Kuvateksti	Lisätieto	Tehtävä	Yht.
A	3	3	3	4	13
B	2	3	2	1	8
C	7	2	1	3	13
D	5	1	0	2	8
Yht.	17	9	6	10	42

Taulukossa 2 on esitetty löydettyjen mainintojen tärkeimmät sisällöt. Ylivoimaisesti eniten mainintoja oli odotetusti puhtaasti muovien kierrätykseen liittyen. Huomionarvioista oli kuitenkin se, että termiä mekaaninen kierrätys ei mainittu muovien kierrätyksen yhteydessä yhdessäkään kirjassa, vaikka sen toimintaa kuvailtiin useammassa kohdassa. Kemiallinen kierrätys tuli terminä esille vain yhdessä maininnassa, vaikka sitäkin kuivailtiin jokaisessa lukion kirjasarjassa. Myös energiantuotanto tuli terminä esille vain kerran, vaikka muovien polttamisesta oli useita mainintoja. Muovien aiheuttamat haitat esiteltiin kestävän kehityksen tai energiantuotannon yhteydessä. Suurin osa esitellyistä haitoista liittyi muovien hitaaseen hajoamiseen tai polttamisen yhteydessä vapautuvien kaasujen vaarallisuuteen. Kaikki lukion oppikirjat nostivat muovien uudelleenkäsittelyn esille kerta- ja kestonmuovien yhteydessä. Yllättäen myös biohajoavista muoveista oli jokaisessa kirjasarjassa vähintäänkin maininta.

Monesta tekstinosasta on mahdollista löytää useampaan kategoriaan liittyviä sisältöjä, minkä takia taulukossa on esitetty vain pääkategoriat ja maininnat on lajiteltu niiden keskeisimmän sisällön perusteella, vaikka niiden sisältö olisi mahdollista lajitella useampaan kategoriaan. Löydetty maininnat ja niiden sisällönanalyysi löytyvät liitteessä 2.

Taulukko 2 Muovien kierrätykseen liittyvien mainintojen keskeisimmät sisällöt kirjasarjoittain.

	Kirjasarja A	Kirjasarja B	Kirjasarja C	Kirjasarja D	Yht.
Muovien kierrätys	4	4	5	3	16
Kestävä kehitys	1	1	3	3	8
Energiantuotanto	3	1	1	2	7
Biohajoavat muovit	3	1	1	1	6
Kerta- ja kestromuovit	1	1	1	0	3
Kemia yhteiskunnassa	1	0	0	0	1
Muovien hajoaminen	0	0	1	0	1

6.3 Yhteenveto

Tarveanalyysin perusteella voidaan todeta, että muovien kierrätystä käsitellään jokaisessa tutkitussa kirjasarjaa polymeerien yhteydessä. Aiheen käsittely keskittyy hyvin vahvasti KE4-kurssille, vaikka aiheeseen olisi mahdollista liittää useisiin muissa kursseissa esiintyviin konteksteihin, kuten tiheys, orgaaniset yhdisteet, kestävä kehitys, kemianteollisuus ja kemia yhteiskunnassa. Usein aihetta käsitellään hyvin pintapuoleisesti esimerkiksi mainitsemalla, että muoveja voi kierrättää ja niistä voi valmistaa käyttökelpoisia tuotteita. Kierrätykseen käytettyjä menetelmiä tai sen sisältämää kemialla ei käydä leipätekstissä juuri ollenkaan läpi. Muovien eri kierrätysmenetelmät oli esitetty yleensä kuvateksteissä tai lisätietona, mikä antaa viitteitä siitä, että niitä ei pidetä oleellisena oppisisältönä.

Kirjoista löytyi tehtäviä, jotka on mahdollista liittää oppilaiden arkeen. Niissä vaadittiin oppilaita vertailemaan eri materiaaleja ja pohtimaan omia valintojaan materiaaleihin liittyen. Lukion kirjoissa ei ollut yhtään tehtävää mikä olisi vaatinut vain suoraa vastauksen antoa, vaan kaikissa tehtävissä vaadittiin selittämistä tai perustelemista. Tehtävät eivät yleisesti ottaen olleet kovin laajoja ja ne keskittyivät yleensä yhteen pieneen osa-alueeseen kerralla.

Tämän analyysin perusteella kehitettävä oppimateriaali tulee kattamaan eri kierrätysmenetelmät, koska ne antavat oppilaille kuvan miten kemiaa voidaan hyödyntää kestäväen kehityksen tukemisessa ja kemianteollisuuden eri mahdollisuuksista. Analyysin perusteella oppimateriaalin sisältämien tehtävien tulisi liittyä oppilaiden arkeen ja vaatia pohdintaa ja perustelua. On myös tarvetta tehtäville, jotka kattavat laajempia kokonaisuuksia, koska kirjojen tehtävät oli rikottu pieniin osiin, minkä takia oppilaat eivät välttämättä hahmota kokonaiskuvaa muovien kierrättämisestä ja sen kytköksestä muihin kemian aiheisiin ja käsitteisiin tai sen sisältämien käsitteiden keskinäisiä yhteyksiä. Myös kokeellisuudelle löytyi tarvetta.

7. Kehittämisprosessi: Oppimateriaalin kehittäminen

Kehittämistuotoksena tullaan kehittämään teoreettisen ja empiirisen ongelma-analyysin perusteella oppimateriaali muovien kierrätyksen opettamiseen lukio-opetuksessa. Oppimateriaalin kehittämisessä huomioidaan teoreettisessa ongelma-analyysissä esille noussut tutkimustieto ongelmalähtöisestä oppimisesta, muovien kierrätyksestä, muovien opetuksesta ja ympäristöopetuksesta. Empiirisen ongelma-analyysin perusteella oli tarvetta kehittää muovien kierrätystä kokonaisuutena käsitteleviä tehtäviä ja sen perusteella sisällöllisesti kehitettävä materiaali sopisi parhaiten lukion KE4-kurssille.

7.1 Tavoitteet oppimateriaalille

7.1.1 Ongelmalähtöisen oppimisen hyödyntäminen

Konstruktivistisen oppimiskäsityksen mukaan oppilas oppii yhteisöllisesti käsittelemällä tietoa aktiivisesti vanhan tiedon pohjalta, oppiminen on liitetty oppilaan arkeen ja oppilaalla on mahdollisuus vaikuttaa omaan oppimiseen (Pecore, 2012). Tällaiseen oppimiseen pyritään käyttämällä ongelmalähtöisen oppimisen mukaisia tehtäviä. Ongelmalähtöisen oppimisen periaatteiden mukaan kehitettävät tehtävät pyritään kehittämään niin, että ne on mahdollista ratkaista monella eri tavalla, oppilaat hahmottavat niiden yhteyden heidän omaan elämäänsä ja ne aktivoivat oppilaita yhteisölliseen oppimiseen.

Ongelmalähtöisessä oppimisessä pyritään tiedon oppimisen lisäksi opettamaan erilaisia taitoja, kuten ongelmanratkaisua, tiedon soveltamista eri konteksteihin ja yhteistyötaitoja. Koska ongelmalähtöinen oppiminen on opiskelijalähtöinen opetusmenetelmä, pyritään sen avulla myös rohkaisemaan oppilaita ottamaan enemmän vastuuta omasta opiskelustaan.

Opettajan rooli tuutorina on keskeistä toimivalle ongelmalähtöiselle oppimiselle, minkä takia tehtäviin kehitetään opettajan oppaat, joiden avulla pitäisi pystyä toteuttamaan ongelmalähtöistä oppimista, vaikka sen käytöstä ei olisi aikaisempaa kokemusta. Opettajien oppailla pyritään siis rohkaisemaan opettajia käyttämään ongelmalähtöistä opettamista omassa opetuksessaan ja kouluttamaan heistä osaavia tuutoreita.

7.1.2 Kemian oppisisältö

Muovien kierrätys on hyvin laaja aihealue ja sen täydellinen opettaminen ei ole mahdollista lukiokurssien puitteissa. Luvussa 4. onkin esitetty muovien eri kierrätysmenetelmiä ja vaihtoehtoja niiden käsittelyyn käytön jälkeen siinä mittakaavassa, mitä kehitettävällä oppimateriaalilla pyritään opettamaan. Oppimateriaalilla pyritäänkin antamaan oppilaille yleiskuva siitä miten muoveja voidaan kierrättää, mitä haasteita kierrättämisen toteutuksessa on, mitä vaihtoehtoja perinteisille muoveille on ja mitä oppilas voi itse tehdä edistääkseen muovien kierrätystä.

Oppimateriaalin sisältö on pääasiassa suunniteltu vastaamaan lukion KE4-kurssin sisältöjä, mutta se pyritään kehittämään niin, että sitä on mahdollista ainakin osittain hyödyntää myös ammatillisissa oppilaitoksissa ja peruskoulussa muovien ja kestävä kehityksen yhteydessä. Ammatillisissa oppilaitoksissa tehtäviä pitäisi pystyä soveltamaan myös eri menetelmien syvempään opiskeluun, jos opettajat ja oppilaat niin haluavat. Käyttämällä ongelmalähtöistä oppimista tehtävien pohjana, määräävät oppilaat itse omat oppimistavoitteensa, mutta tehtävien laadinnassa on pyritty siihen, että niiden muotoilu ohjaa haluttujen kemian oppisisältöjen oppimiseen.

7.1.3 Ympäristöopetuksen tukeminen

Kestävän tulevaisuuden edistäminen on osa lukion opetussuunnitelmien perusteita ja osana siihen kuuluu ympäristöstä huolehtiminen. Kehitettävä materiaali pyrkiikin edistämään kestävä kehityksen mukaista toimintaa ja ympäristöystävällistä ajattelumaailmaa. Perinteiset opetusmenetelmät eivät tue ympäristöopetusta, minkä takia kehitettävissä tehtävissä käytetään ongelmalähtöistä oppimista. Kestävän kehityksen omaksumisen kannalta on tärkeää, että kehitettävä materiaali tukee kokonaisuuksien ja asiayhteyksien hahmottamista, se on monialaista ja vaatii kriittistä ajattelua.

PISA-tutkimuksen mukaan Suomessa oppilaat eivät ole kovin kiinnostuneita luonnontieteiden tai ympäristöasioiden opiskelusta. Toisaalta oppilaat pitävät ongelmalähtöistä oppimista mielekkäänä oppimismenetelmänä (katso luku 3.4), minkä takia sen avulla voisi olla mahdollista lisätä oppilaiden kiinnostusta näiden aiheiden opiskeluun. Oppimisen liittämisellä oppilaiden arkeen ja näyttäämällä heille miten kemian avulla voidaan

vaikuttaa kestäväen kehityksen edistämiseen, voidaan myös kehittää oppilaiden kiinnostusta ympäristöopetukseen. Yleisesti ottaen ympäristöasioista tietoiset oppilaat ovat myös asenteiltaan ympäristöystävällisiä. Tämän takia oppimateriaalin avulla pyritään antamaan tietoa siitä miten muovien kierrätyksen avulla voidaan säästää ympäristöä ja miten kemianteollisuudessa hyödynnetään oppilaiden arkielämässä käyttämiä tuotteita kierrätyksen raaka-aineena.

7.1.4 Yhteenveto oppimateriaalin tavoitteista

Kehitettävälle oppimateriaalille onkin asetettu seuraavat päätavoitteet:

1. Oppimateriaalin tehtävät ovat ongelmalähtöisen oppimisen mukaisia ja ne kehittävät siinä tarvittavia taitoja
 - Tehtävät kehittävät yhteistyötaitoja, kriittistä ajattelua, kokonaisuuksien hahmottamista ja tiedon soveltamista eri konteksteihin
 - Oppilas ottaa itse vastuuta omasta oppimisesta ja toimii aktiivisena oppijana
2. Oppimateriaalin avulla oppilas pystyy hahmottamaan kokonais kuvan muovien kierrätyksestä ja niiden vaikutuksesta ympäristölle
3. Oppimateriaali liittyy oppilaan arkeen ja se auttaa oppilasta näkemään miten hän voi vaikuttaa muovien kierrätyksen avulla kestäväen kehityksen edistämiseen
4. Oppimateriaali edistää ympäristöopetusta lisäämällä oppilaiden tietoisuutta ympäristöasioista ja tukemalla ympäristöystävällisten asenteiden kehittymistä

7.2 Oppimateriaalin kehittäminen

Empiirisen ja teoreettisen ongelma-analyysin perusteella oppimateriaalin opetusmenetelmäksi valikoitui ongelmalähtöinen oppiminen. Kehittämistuotoksen laatiminen alkoikin ongelmalähtöisen oppimisen mukaisten tehtävien suunnittelulla. Tehtävien pohjana päätettiin käyttää Schmidt (1983) ja Wood (2005) esittämää 7 askeleista mallia, koska se on hyvin selkeärakenteinen ja se ei vaadi aikaisempaa kokemusta opetusmenetelmästä. Mallia muotoiltiin hieman sopimaan tehtävien sisältöön paremmin. Teoreettisen ongelma-analyysin perusteella tehtäviin tuli laatia kunnon ohjeet tehtävien vetäjille, tässä tapauksessa opettajille. Ensimmäisen tehtävän aiheeksi valikoitui muovien

kierrätyksen toteutus Suomessa. Muiden tehtävien aiheiksi valikoituivat muovit meressä ja muovien hajoaminen luonnossa. Kierrätyksen toteuttaminen Suomessa valittiin, koska se antaa kuvan, että oppilailla on itse mahdollisuus vaikuttaa kierrätykseen lajittelemalla muoveja ja viemällä niitä kierrätyspisteille. Muovit meressä puolestaan valittiin siksi, että Tyynellä valtamerellä on muodostunut jättepyörre muoveista ja muusta roskasta ja sen aiheuttamien haittojen pitäisi liikuttaa kaikkia, jotka välittävät ympäristöstään. Viimeisen työn aiheeksi valikoitui muovien hajoaminen luonnossa ja siihen päätettiin liittää myös käytännön tutkimuksellinen osio, koska näin tehtäviin saatiin vaihtelua ja harjoitettua myös käytännön tutkimuksen taitoja. Myös tehtävien laajuutta vaihdeltiin siksi, että opettajat saisivat valita heidän aikatauluunsa sopivan tehtävän ja tehtävistä tulisi erilaisia.

Tehtävien laadinnan yhteydessä päätettiin yhdessä tutkielman ohjaajan kanssa luoda tehtävien tueksi internetsivusto muovien kierrätyksestä. Sivusto haluttiin tehdä ilmaiselle alustalle, mikä oli yksi syy valita Wordpress-alusta. Wordpressissä on myös suomenkielinen käyttöliittymä, sen ulkoasua on mahdollisuus muokata hyvin kattavasti myös ilmaisversiossa, siinä on useita erilaisia ilmaisia ulkoasuteemoja ja sen käyttämiseen oli mahdollista tarvittaessa saada apua Helsingin yliopiston Kemian opettajankoulutusyksikön henkilökunnalta, joilla osalla on kokemusta sivujen käytöstä. Sivuilla on myös mahdollista kirjoittaa niin kotisivuja kuin blogejakin, joiden näkymät lopullisilla sivuilla ovat hieman erilaiset. Sivusto päätettiin tehdä kotisivu-tyylisenä, koska sivut saatiin näkyviin jatkuvasti sellaisena kuin haluaa, kun taas blogien artikkelit tulevat näkyviin julkaisemisjärjestyksessä. Ihmiset voivat myös käydä kommentoimassa sivuja ja artikkeleita ja kommenttikentissä on näin mahdollisuus saada aikaan keskustelua aiheesta.

Verkkomateriaalin tarkoitus oli tukea tehtäviä niin, että ne antavat pohjaa tehtäville, mutta niiden avulla ei ole suoraan mahdollisuus ratkaista tehtäviä. Tämän takia sivustolle on koottu keskeistä tietoa muovien kierrätyksestä, mikä antaisi kokonaiskuvan kierrätyksen toteuttamisesta. Sivuille päätettiin myös kirjoittaa lyhyt osio ongelmalähtöisestä oppimisesta, jotta oppilaat ja opettajat ymmärtävät paremmin opetusmenetelmää ja sen miksi se on valittu tehtävien muodoksi. Sivuille on myös lisätty apua tiedonhakuun, koska kokemattomat tiedonhakijat tarvitsevat teoreettisen ongelma-analyysin perusteella apua tiedonhaussa. Kokeneille tiedonhakijoille ei sivuja tarvitse välttämättä edes näyttää, koska he löytävät ne todennäköisesti myös itse tai löytävät tarvitsemansa tiedon muualta. Opettaja voi siis valita opetusryhmän tason mukaan ottaako hän vain tehtävän sivuilta vai käyttääkö hän myös niitä oppimateriaalina. Sivuille luotiin myös oma osio opettajille, josta löytyy

vinkkejä tehtävien ja sivujen käytöstä ja opettajien oppaat töihin. Sisällöltään verkkomateriaali suunnattiin pääasiassa lukion KE4-kurssille. Opettajat voivat sivujen avulla tutustua aiheeseen halutessaan, mutta sisältö on suunniteltu pääasiassa oppilaita varten.

Verkkomateriaalin ulkoasusta haluttiin mahdollisimman selkeä, minkä takia materiaali jaettiin eri osiin teemojen mukaan. Eri osiot löytyvät tarkemmin seuraavasta luvusta (luku 7.3). Osioihin jaolla pyrittiin tekemään halutun tiedon löytämisestä mahdollisimman yksinkertaista ja nopeaa. Nopean tiedon löytämisen helpottamiseksi eri osioihin luotiin linkkejä, joiden avulla pääsee suoraan viitattuun materiaaliin.

Sivuston, tehtävien ja opettajien oppaiden ensimmäisten versioiden valmistuttua, ne testattiin kollegoilla ja ohjaajilla, joiden palautteen perusteella tekstin kielioppia ja muotoilua tarkennettiin ja sivujen ulkoasua kehitettiin. Pilottitestauksen jälkeen ne julkaistiin ja lähetettiin arvioitavaksi (katso luku 7.4).

7.3 Kehitetty oppimateriaali

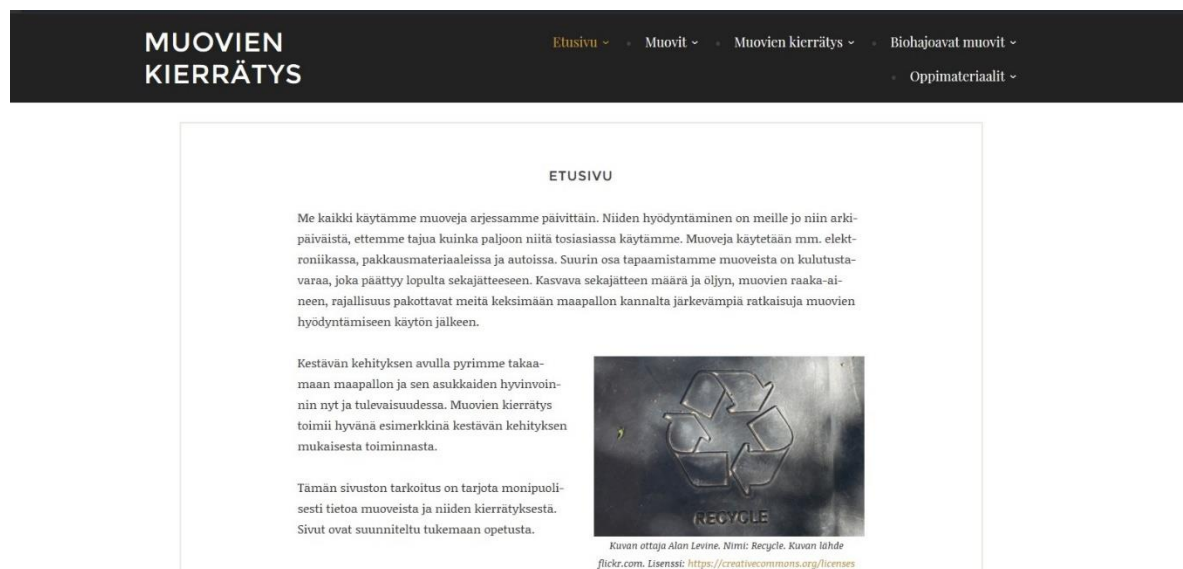
7.3.1 Verkkomateriaali muovien kierrätyksestä

Kehittämisprosessissa luotu verkkosivusto muovien kierrätyksen opettamiseen löytyy osoitteesta <https://muovienkierratys.wordpress.com/>. Sivusto koostuu 5 pääosioista, joiden alle on koottu pienempiä alaosioita, jotka liittyvät kyseiseen pääosioon. Pääosiot ovat etusivu, muovit, muovien kierrätys, biohajaavat muovit ja oppimateriaalit. Verkkosivuston perusrakenne on esitetty kuvassa 9.



Kuva 9 Verkkosivuston perusrakenne

Etusivulla kerrotaan miksi muovien kierrätystä tarvitaan, mitä varten sivusto on luotu ja esitellään sen perusrakenne helpompaa liikkumista varten. Etusivun alle luotiin lyhyt esittelyosio kestävästä kehityksestä, koska se liittyy käsitteenä tiiviisti muovien kierrätykseen. Etusivun alla on myös osio, jossa esitellään muovien kierrätyksen ja kestävä kehityksen yhteydet opetussuunnitelmien perusteisiin. Osiossa esitellään siis miksi ja missä aihetta voi hyödyntää opetuksessa. Viimeisessä alaosiossa on tekijän yhteystiedot ja sivuston yhteys tähän Pro gradu –tutkielmaan. Kuvassa 10 on osa sivuston etusivusta.



Kuva 10 Kuvakaappaus muovien kierrätys-sivuston etusivusta

Kolme seuraavaa osiota liittyvät muoveihin, niiden kierrättämiseen ja biohajoaviin muoveihin. Näiden sisällöt on johdettu teoreettisessa ongelma-analyysissä (katso luku 4) löydetystä tutkimustiedosta. Muoveja käsittelevässä osiossa esitellään lyhyesti mitä muovit ovat ja millaisia erilaisia muoveja on olemassa. Sen alla ovat Polymeerit-, Muovien

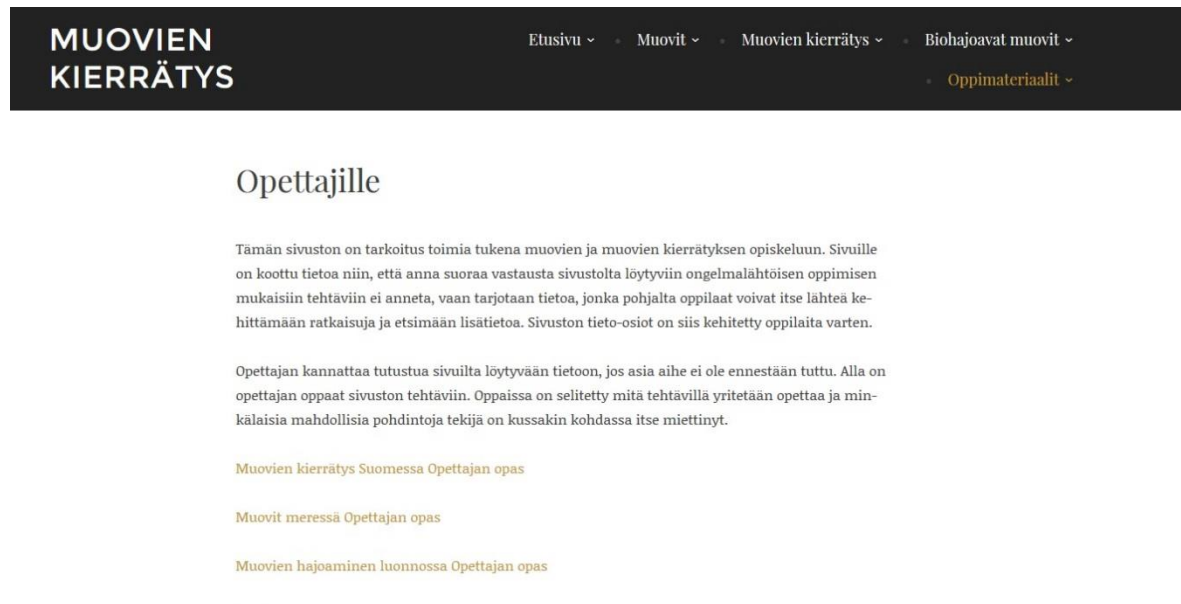
valmistus- ja Muovien haitat-alaosiot. Ensimmäisessä alaosiossa on kerrottu mitä polymeerit ovat ja miten niitä valmistetaan. Toisessa alaosiossa kerrotaan, että muovit valmistetaan polymeereistä ja niihin lisättävistä lisäaineista ja esitetty niiden eri valmistusmenetelmiä. Viimeisessä alaosiossa on kerrottu mitä haittoja muoveista on ihmisille ja ympäristöllemme. Haitat on lajiteltu lisäaineista johtuviin, valmistuksen yhteydessä syntyvien yhdisteiden ja päästöjen aiheuttamiin ja muovijätteestä johtuviin.

Seuraava pääosio käsittelee muovien kierrätystä. Siinä kerrotaan millä eri tavoin muovijätteen määrää voidaan vähentää, lajittelun tärkeydestä tehokkaan kierrättämisen toteuttamisessa ja miksi kierrätysmuovi ei sovi aina samoihin käyttötarkoituksiin kuin alkuperäinen muovi. Tämän osion ensimmäisessä alaosiossa esitellään lyhyesti kaatopaikat muovien lopullisena sijoituskohteena ja miksi niitä tulisi välttää. Toisessa alaosiossa on käyty läpi miten muoveja voidaan hyödyntää energiantuotannossa ja mitä hyötyjä ja haittoja siitä on. Kolmannessa osiossa käydään läpi mitä mekaaninen kierrätys on, millainen muovijäte sopii siihen ja miten sen perusprosessit toimivat. Viimeisessä osiossa käydään läpi mitä kemiallisella kierrätyksellä tarkoitetaan, sen hyödyt ja haitat ja millaisia eri menetelmiä se sisältää.

Biohajoavia polymeerejä käsittelevä osio esittelee mitä biohajoavilla polymeereillä tarkoitetaan, millaisista raaka-aineista niitä voidaan valmistaa, mitä eroa niillä on perinteisiin muoveihin ja millaisia erilaisia biohajoavia muoveja on nykyään käytössä. Tämän osion ainoassa alaosiossa käsitellään miten biohajoavia muoveja voidaan käsitellä käytön jälkeen ja miten käsittely eroaa perinteisten muovien käsittelymahdollisuuksista.

Viimeinen Oppimateriaalit-pääosio sisältää vain sen alaosioiden esittelyn. Näistä ensimmäisessä on lyhyt esittely siitä mitä ongelmalähtöinen oppiminen on. Tämä osio on tiivistetty teoreettisesta ongelma-analyysistä (katso luku 3) antamaan opettajille ja oppilaille yleiskäsitys opetusmenetelmästä. Seuraavassa alaosiossa on kolme ongelmalähtöistä tehtävää opetuksessa toteutettavaksi. Tehtävät on esitelty tarkemmin seuraavassa luvussa (katso luku 7.3.2). Kolmannessa alaosiossa on apua tehtävissä toteutettavaan tiedonhakuun, mikä sisältää linkkejä aihetta käsitteleviin internetsivuille, muita mahdollisia tiedonlähteitä ja sivuston tekemissä käytettyjä tieteellisiä artikkeleja, joista voisi olla apua tarkempaan tiedonhakuun. Viimeinen alaosio on tarkoitettu opettajille (kuva 11). Siinä kerrotaan miten sivustoa on suunniteltu käytettävän ja siihen on lisätty pdf-tiedostoina tehtävien opettajien oppaat, joissa on laajat malliohjeet tehtävien ohjaamisesta ja hahmotelmia oppilaiden

mahdollisista pohdinnoista. Opettajien materiaalin arvioinnin helpottamiseksi tämä osio oli arvioinnin aikana kaikille avoinna, mutta sen sisältö tullaan salaamaan salasanalla tai siirtämään muualle jatkokehitysvaiheessa, koska sivusto on tarkoitettu myös oppilaiden käyttöön ja opettajan oppaat eivät sisälly heille tarjottavaan materiaaliin.



Kuva 11 Kuvakaappaus opettajille tarkoitettusta sivusta

7.3.2 Ongelmalähtöisen oppimisen mukaiset tehtävät

7.3.2.1 Muovien kierrätys Suomessa

Ensimmäinen kehitetty ongelmalähtöinen tehtävä käsittelee muovien kierrätyksen toteuttamista Suomessa. Tehtävän johdantona toimii The Guardianin artikkeli muoviteollisuudesta ja sen aiheuttamista haitoista. Tehtävässä oppilaiden tulee kehittää ongelmalähtöisen oppimisen prosessin avulla malli, jolla voidaan edistää muovien kierrätyksen toteuttamista Suomessa. Tehtävän toteuttamiseen on suunniteltu menevän kaksi 75 minuutin oppituntia. Oppilaille tarkoitettu tehtävänanto ja tehtävässä käytettävä ongelmalähtöisen oppimisen askeleet löytyvät liitteistä (liite 3).

Ennen itse työskentely aloittamista muodostetaan opetusryhmästä 3-5 hengen ryhmiä ja ryhmät valitsevat joukostaan puheenjohtajan ja kirjurin. Puheenjohtajan tehtävä on pitää työskentely aiheessa ja varmistaa aikataulussa pysyminen kun taas kirjuri tekee ryhmän keskusteluista huolelliset muistiinpanot ja osallistuu keskusteluun parhaansa mukaan

kirjoittamisen ohessa. Itse työskentelyn ensimmäisessä vaiheessa ryhmät käyvät läpi tehtävänannon ja siinä olevan artikkelin ja selvittävät tuntemattomien termien ja käsitteiden merkityksen. Seuraavaksi ryhmät määrittelevät tapaukseen liittyviä ongelmia. Kun tärkeimmät ongelmat on määriteltä, pohtivat ryhmät vanhan tiedon ja loogisen ajattelun perusteella syitä näille ongelmille. Näiden pohdintojen perusteella ryhmät miettivät mahdollisia ratkaisuja ongelmaan. Keksityt ratkaisumahdollisuudet lajitellaan tärkeysjärjestykseen sen mukaan miten ryhmä uskoo niiden olevan toteutettavissa. Kun ratkaisut on saatu lajiteltua, pohtivat ryhmät mitä heidän tulee oppia aiheeseen liittyen, että he pystyvät kehittämään parhaan mahdollisen ratkaisun. Nämä opittavat asiat toimivat oppilaiden asettamina oppimistavoitteina. Opittavat asiat jaetaan ryhmän jäsenten kesken niin, että jokaiselle tulee henkilökohtainen vastuualue.

Seuraavassa vaiheessa oppilaat lähtevät opiskelemaan itsenäisesti päätettyjä aihealueita. Opiskelun lähteinä voidaan käyttää esimerkiksi internetsivustoja, oppikirjoja, tieteisartikkeleja tai asiantuntijoita. Tähän itseopiskeluun on syytä varata riittävästi aikaa ja tuleekin sopia tunti, johon mennessä itseopiskelu tulee olla suoritettuna. Sovitun tunnin alussa oppilaat kokoontuvat takaisin ryhmiin ja ryhmien jäsenet opettavat toisilleen sen mitä he oppivat itseopiskelun aikana. Kun kaikkien keräämä tieto on koottu, lähtevät ryhmät rakentamaan lopullista ratkaisumalliaan. He tekevät ratkaisustaan haluamansa esityksen, jossa voi käyttää hyväksi myös tietotekniikkaa ja se esitellään muille ryhmille. Lopuksi jokainen kirjoittaa työskentelystä henkilökohtaisen raportin, joka toimii opiskelun reflektiona.

Muovien kierrätys-verkkosivustolta löytyy opettajan ohjeet kaikista töistä ja niissä annetaan vinkkejä eri vaiheiden toteuttamiseen ja mihin eri seikkoihin työn vetäjän kannattaa kiinnittää huomiota.

7.3.2.2 Muovit meressä

Työn tarkoituksena on kehittää ratkaisumahdollisuuksia meressä olevan muovijätteen vähentämiseksi. Tehtävänannon yhteydessä on Ylen artikkeli meressä olevasta muovista ja nuoresta parikymppisestä miehestä, joka on kehittänyt laitteistoa muovin keräämiseksi. Artikkelilla ja tehtävänannolla pyritään antamaan kuva, että nuoretkin pystyvät

vaikuttamaan ja heillä on toimivia ideoita. Tarkka tehtävänanto ja artikkeli löytyvät liitteistä (liite 3).

Tehtävän rakenne on muuten samanlainen kuin edellä esitetyn muovien kierrätystä Suomessa tehtävän, mutta se on tarkoitus toteuttaa hieman laajempaan. Tehtävän toteuttamiseen voi käyttää kolme tai neljä 75 minuutin oppituntia tarvittaessa. Tehtävä toteutetaan useampi syklistenä, eli kun itseopiskelu on saatu päätökseen ja tieto koottu ryhmissä, pohditaan jäikö vielä puuttumaan jotain tarvittavaa tietoa tai heräsikö itseopiskelun aikana uusia kysymyksiä, jotka vaativat vastausta. Näiden pohjalta toteutetaan uusi itsenäisen opiskelun sykli, jonka jälkeen rakennetaan vasta lopullinen ratkaisuehdotus.

7.3.2.3 Muovien hajoaminen luonnossa

Tämä ongelmalähtöinen tehtävä sisältää myös tutkimuksellisen osuuden. Tehtävänannossa johdatellaan oppilaat hyvin lyhyesti tutkimaan muovien hajoamista. Oppilaiden tehtävänä on kehittää ja toteuttaa koejärjestelyt, joissa voidaan testata muovien hajoamista luonnossa. Tehtävänanto ohjeineen löytyy liitteistä (liite 3).

Aluksi oppilaat käyvät tehtävänannon läpi ja pohtivat mitä ongelmia muovien hajoamiseen liittyy. Tämän jälkeen oppilaat miettivät minkälaisia koejärjestelyitä he tietävät, minkälaisia välineitä niissä käytetään, miten tuloksia voidaan mitata ja miten niitä voidaan vertailla keskenään tai verrata aikaisempaan tietoon. Näiden pohdintojen jälkeen oppilaat miettivät yhdessä mitä heidän tulee tietää aiheesta ja tutkimuksien toteuttamista, että he voivat itse toteuttaa käytännön tutkimuksen. Tämän jälkeen toteutetaan itseopiskelun vaihe, jossa jokainen hakee tietoa itsenäisesti sovitusta aiheista.

Itseopiskeluvaiheen jälkeen ryhmät kokoavat opitun tiedon ja lähtevät suunnittelemaan eri vaihtoehtoja toteuttavalle tutkimukselle. Ryhmä valitsee yhdessä heistä parhaan vaihtoehdon ja lähtevät toteuttamaan sitä. Tutkimuksen toteuttaminen vie aikaa, koska edes biohajaavat muovit eivät hajoa nopeasti kotioiloissa. Tehtävä kannattaakin aloittaa heti kurssin alussa ja odottaa hajoamista kurssin lopulle, jolloin ryhmät keräävät tuloksia valitsemillaan mittareilla. Ryhmät tekevät tulosten ja tutkimuksen toteutuksen pohjalta johtopäätöksiä toteutuksen onnistumisesta ja kerätyn tiedon hyödyntämismahdollisuuksista. Pohdintojen jälkeen ryhmät esittelevät tulokset ja johtopäätökset muille ryhmille. Lopuksi

ryhmät tekevät yhteisen raportin tutkimuksen ja tehtävän toteuttamisesta. Raportti toimii reflektiona oppilaille.

Muovien kierrätys-sivustolta löytyvässä opettajan oppaassa on annettu esimerkkejä eri muovilaaduista, joita voi käyttää tutkimuksissa. Oppaissa on annettu myös vinkkejä työn eri vaiheiden toteutukseen.

7.4 Oppimateriaalin arvioiminen

7.4.1 Kyselylomakkeen laatiminen

Oppimateriaalin arviointi päätettiin toteuttaa kyselytutkimuksena opettajilla, koska töiden testaaminen luokkatilanteessa ei ollut mahdollista aikataulullisista syistä. Kysely päätettiin toteuttaa verkkokyselynä, koska se mahdollistaa laajaan ja nopean jakamisen monille eri opettajille ja näiden olisi helpompi vastata omalta tietokoneelta kuin lähettää paperivastaus postissa. Näin yritettiin nostaa saatavien vastausten määrää. Kysely toteutettiin e-lomake palvelulla, koska se oli tutkijalle entuudestaan tuttu.

Kyselylomake yritettiin pitää lyhyenä ja sen kysymykset ja rakenne selkeinä, jotta vastauksia saataisiin mahdollisimman paljon. Tämän takia pääosa kysymyksistä laadittiin suljetuiksi, joista osassa oli tarkentavia avoimia kysymyksiä. Vain yksi avoin kysymys oli pakollinen ja muihin avoimiin kysymyksiin vastaaminen oli vapaaehtoista.

Kyselylomake jaettiin arvioitavien osien perusteella 3 eri osaan. Ensimmäisessä osassa kartoitettiin vastaajien taustatietoja. Taustatietoina kysyttiin sukupuolta, missä opettaa, kokemusta ongelmalähtöisen oppimisen hyödyntämisestä ja minkä aiheiden opettamiseen sitä on käyttänyt. Toisessa osiossa arvioitiin kehitettyjä ongelmalähtöisen oppimisen mukaisia tehtäviä. Suljetut kysymykset toteutettiin 5-asteisella Likert-asteikolla. Tehtävien käyttöä tuli myös arvioida avoimesti ja osion lopussa oli mahdollisuus antaa vapaasti yleistä palautetta tehtävistä. Kolmannessa osiossa arvioitiin verkkomateriaalin sisältöä ja ulkoasua. Tässäkin käytettiin suljetuissa kysymyksissä 5-asteista Likert-asteikkoa ja tarkentavia avoimia kysymyksiä. Kyselylomake löytyy kokonaisuudessaan liitteestä 4.

Ennen kyselylomakkeen julkaisua se testattiin kollegalla ja sen kysymyksiä tarkennettiin palautteen perusteella. Lopullinen kyselylomake lähetettiin maaliskuun alussa Helsingin

yliopiston kemian opettajien sähköpostitiedotuslistalle ja se julkaistiin myös LUMA-sanomien uutiskirjeessä. Kyselylomakkeen mukana lähetettiin osallistumispyyntö, jossa kerrottiin mitä kyselyllä tutkitaan, mitä varten tutkimus toteutetaan ja sen mukana oli linkki verkkomateriaaliin ja e-lomakkeeseen. Vastausaikaa oli alun perin 2 viikkoa, mutta sitä pidennettiin viikolla vastausten vähäisyyden takia. Pidennyksen yhteydessä lähetettiin uusi osallistumispyyntö kemian opettajien tiedotuslistalle. Molempien osallistumispyyntöjen yhteydessä verkkosivujen kävijämäärät nousivat huomattavasti, ollen parhaimmillaan yli 40 kävijää päivässä. Vastauksia tulikin molempina kertoina heti osallistumispyyntöjen lähetyksen jälkeen, mutta muutaman päivän jälkeen kävijämäärät vähenivät ja uusia vastauksia ei enää tullut.

7.4.2 Kyselytutkimuksen tulokset

Vastauksia kyselylomakkeeseen saatiin yhteensä 9, joista kaksi oli täysin identtisiä ja siksi toinen näistä vastauksista hylättiin. Lopullisia analysoitavia vastauksia oli siis 8. Vastaajista 4 oli naisia ja 4 miehiä. Heistä 3 opetti peruskoulussa, 3 ammatillisessa oppilaitoksessa ja 2 sekä lukiossa että peruskoulussa. Vastaajista 4 ilmoitti käyttäneensä ongelmalähtöistä oppimista omassa opetuksessaan yli 10 kertaa, 3 ei ollut käyttänyt koskaan ja yksi vastaajista ei ilmoittanut kokemustaan oppimismenetelmän käyttämisestä. Taulukossa 3 on koottu aiheita, joiden opettamiseen vastaajat olivat käyttäneet ongelmalähtöistä oppimista.

Taulukko 3 Vastaajien ongelmalähtöisellä oppimisella opettamia aiheita

Vastaaja	Sovelluskohde
1	Lähes kaikkia fysiikan ja kemian aiheita, myös matematiikkaa.
4	Muovien käyttö, kierrätys ja kehittymismahdollisuudet
6	Hyvin monenlaisia kemian ongelmia
7	fysiikan puolella useita: esim. linssit, peilit, ääni, valaistus, heiluri jne
7	kemian puolella: aineiden tunnistaminen

Ongelmalähtöistä oppimateriaalia ja verkkomateriaalia arvioitiin suljetuilla kysymyksillä, joita oli mahdollisuus kommentoida myös avoimilla kysymyksillä. Suljettuja kysymyksiä 1.–12. ja 16.–23. arviointiin 5-asteisella Likert-asteikoilla, jossa 1=täysin eri mieltä, 2=jokseenkin eri mieltä, 3=en osaa sanoa, 4=jokseenkin samaa mieltä ja 5=täysin samaa

mieltä. Näistä kysymyksistä laskettiin keskiarvot ja vastauksien suhteelliset osuudet. Avoimille kysymyksille suoritettiin sisällönanalyysi (Tuomi, & Sarajarvi, 2009). Avointen kysymysten vastaukset ja luokittelut löytyvät kokonaisuudessaan liitteestä 5.

Kysymykset 1.-4. käsittelivät yleisesti ongelmalähtöistä oppimateriaalia ja sen soveltuvuutta oppimateriaalille asetettujen sisällöllisten tavoitteiden (katso luku 7.1) opetukseen. Taulukossa 4 on koottu näiden kysymysten vastauksien keskiarvot ja suhteelliset osuudet. Kehitettyä ongelmalähtöistä oppimateriaalia pidettiin soveltuvana ainakin muovien kemian ja niiden kierrättämisen opettamiseen. 75 % vastaajista piti oppimateriaalia jokseenkin ongelmalähtöisenä. 62,5 % vastaajista piti oppimateriaalia täysin tai jokseenkin soveltuvana muovien kemian ja 75 % muovien kierrätyksen opettamiseen. Molemmissa tapauksissa vain 1 vastaaja ei pitänyt oppimateriaalia soveltuvana aiheiden opetukseen. Kestävän kehityksen osalta mielipiteet jakautuivat kun 37,5 % piti oppimateriaalia täysin soveltuvana ja 37,5 % ei soveltuvana aiheen opettamiseen.

Taulukko 4 Ongelmalähtöisen oppimateriaalin ongelmalähtöisyyden ja soveltuvuuden arviointi oppimateriaalille asetettuiden sisällöllisten tavoitteiden opettamiseen asteikoilla 1=täysin eri mieltä, 2=jokseenkin eri mieltä, 3=en osaa sanoa, 4=jokseenkin samaa mieltä ja 5=täysin samaa mieltä.

Kysymys	ka	1 (%)	2 (%)	3 (%)	4 (%)	5 (%)
1. Oppimateriaali on ongelmalähtöisen oppimisen mukainen	3,75	0	0	25	75	0
2. Oppimateriaali soveltuu muovien kemian opettamiseen	3,63	12,5	0	25	37,5	25
3. Oppimateriaali soveltuu muovien kierrätyksen opettamiseen	3,88	12,5	0	12,5	37,5	37,5
4. Oppimateriaali soveltuu kestävän kehityksen opettamiseen	3,25	12,5	25	25	0	37,5

Ongelmalähtöisen oppimisen mukaisia tehtäviä pidettiin yhtenä oppimateriaalin parhaista puolista. 75 % vastaajista piti tehtävänantoja selkeinä, tarpeeksi avoimina ja mahdollisina ratkaista usealla eri tavalla. Mahdollisuudesta liittää tehtävänannot oppilaiden arkeen mielipiteet jakautuivat. 50 % piti niitä mahdollisena liittää oppilaiden arkeen ja 37,5 % ei pitänyt. Vastauksien keskiarvot ja suhteelliset osuudet on kerätty taulukkoon 5.

Taulukko 5 Ongelmalähtöisen oppimisen mukaisten tehtävien yleinen arviointi asteikoilla 1=täysin eri mieltä, 2=jokseenkin eri mieltä, 3=en osaa sanoa, 4=jokseenkin samaa mieltä ja 5=täysin samaa mieltä.

Kysymys	ka	1 (%)	2 (%)	3 (%)	4 (%)	5 (%)
5. Tehtävänannot olivat selkeitä	3,75	12,5	0	12,5	50	25
6. Tehtävänannot olivat tarpeeksi avoimia	3,88	0	0	25	62,5	12,5
7. Tehtävänannot on mahdollista liittää oppilaiden arkeen	3,38	12,5	25	12,5	12,5	37,5
8. Tehtävien ongelmat on mahdollista ratkaista usealla eri tavalla	4,13	0	0	25	37,5	37,5

Myös opettajien oppaita pidettiin onnistuneina. 75 % vastaajista piti niitä selkeinä ja niiden avulla mahdollisena käyttää tehtäviä, vaikka ongelmalähtöinen oppiminen ei olisi opetusmenetelmänä tuttu. Vain yksi vastaaja ei pitänyt niitä molemmissa tapauksissa toimivina. Taulukossa 6 on koottu opettajien oppaita koskevat kysymykset ja niiden vastauksien keskiarvot ja suhteelliset osuudet.

Taulukko 6 Opettajien oppaita koskevien kysymysten arviointi asteikoilla 1=täysin eri mieltä, 2=jokseenkin eri mieltä, 3=en osaa sanoa, 4=jokseenkin samaa mieltä ja 5=täysin samaa mieltä

Kysymys	ka	1 (%)	2 (%)	3 (%)	4 (%)	5 (%)
9. Opettajan oppaat olivat selkeät	3,63	12,5	0	12,5	62,5	12,5
10. Opettajien oppaiden avulla on mahdollista käyttää tehtäviä opetuksessa, vaikka ongelmalähtöinen oppiminen ei olisi tuttua	4,0	12,5	0	12,5	25	50

Taulukkoon 7 on koottu vastaukset ja niiden suhteelliset osuudet ongelmalähtöisen oppimisen soveltuvuudesta aiheiden opettamiseen ja materiaalin soveltuvuudesta vastaajien omaan opetuksen. Kaikki vastaajat pitivät ongelmalähtöistä oppimista vähintäänkin jokseenkin sopivana opetusmenetelmänä muovien ja niiden kierrätyksen opettamiseen. 50 % oli jokseenkin samaa mieltä siitä, että he voisivat itse käyttää kehitettyjä tehtäviä omassa opetuksessaan ja 25 % vastaajista ei pitänyt tehtäviä sellaisenaan soveltuvana heidän

opetukseensa. Kysymyksessä 12. pyydettiin myös avoimella kysymyksellä perusteluja tehtävien käytön soveltuvuuteen vastaajien omaan opetukseen. Suurin osa vastauksista käsitteli oppimateriaali yleisesti, eikä tehtäviä ja näin niitä ei otettu mukaan tämän kysymysten vastauksien analyysiin, vaan ne otettiin mukaan oppimateriaalin yleistä arviointia koskevaan avoimeen kysymykseen. Kaikki avointen kysymysten vastaukset ja analyysit löytyvät liitteestä 5.

Tehtävien käytön soveltuvuutta kommentoitiin seuraavasti:

- ”Koulutan muovialan näyttötutkintoja ja osana muovimateriaalitietoutta tätä voisi hyvin käyttää hyödyksi”
- ”Voisin hyvin kokeilla materiaalin käyttöä, sillä materiaali vaikutti selkeältä ja toimivalta.”
- ”Peruskoululaisille hieman haastavaa, mutta käyttää voisi soveltavin osin.”
- ”Mikäli aikataulu sallii kyseisen työskentelyn heterogeenisissä ryhmissä.”

Taulukko 7 Arviointi ongelmalähtöisen oppimisen soveltuvuudesta muovien ja niiden kierrätyksen opettamiseen ja materiaalin soveltuvuudesta vastaajien opetukseen asteikoilla 1=täysin eri mieltä, 2=jokseenkin eri mieltä, 3=en osaa sanoa, 4=jokseenkin samaa mieltä ja 5=täysin samaa mieltä.

- Kysymys	ka	1 (%)	2 (%)	3 (%)	4 (%)	5 (%)
11. Ongelmalähtöinen oppiminen soveltuu muovien ja muovien kierrätyksen opettamiseen	4,75	0	0	0	25	75
12. Voisin käyttää tehtäviä omassa opetuksessani	3,13	12,5	12,5	25	50	0

Kysymyksessä 13. kysyttiin avoimella kysymyksellä miten vastaajat kehittäisivät tehtäviä. Kaksi vastaajaa toivoi lisää selkeyttä ja rajausta, yksi lisää arkielämän läheisyyttä ja yksi Muoviteollisuuden kehittämää Muovi-ilmiö mallin käyttöä. Yksi vastaajista huomautti, että materiaalin tieto-osa vaatii tarkastusta, jotta tehtäviä voisi käyttää opetuksessa ja yksi piti töitä liian monimutkaisina ja laajoina, koska aiheen opettamiseen ei ole varattua tarpeeksi aikaa tehtävien toteuttamiseksi.

Opettajien oppaisiin ei suurimmalla osalla ollut kehitysehdotuksia, mutta opettajille toivottiin lisää ajantasaista tietoa muoveista ja niiden käytöstä, kierrätyksestä ja

ympäristöystävällisyydestä. Yksi vastaaja toivoi myös yleisesti lisää materiaalia. Yksi vastaaja piti opettajien oppaita liian oppilaiden ohjeiden kaltaisina.

Osion viimeisessä kysymyksessä sai antaa vapaata palautetta tehtävistä ja ongelmalähtöisestä oppimisesta. Palautteen mukaan ongelmien tulisi olla helpommin määriteltävissä, jotta niitä voisi soveltaa peruskoulussa ja ne saattavat olla myös liian haastavia lukioon. Yhden vastaajan mielestä tehtävät vaikuttivat näppäriltä. Yksi kommentista koski enemmän materiaali yleisesti ja verkkosivun ulkoasia ja sisältöä, eikä niinkään tehtäviä, minkä takia vastaus analysoidaan verkkosivua koskevissa kysymyksissä.

Verkkomateriaalia koskevassa osiossa kysyttiin ensin ulkoasusta ja käyttöliittymän toimivuudesta. 75 % vastaajista piti ulkoasua selkeänä ja 87,5 % piti materiaalia helppokäyttöisenä. Yksi vastaajista piti verkkomateriaalia erittäin sekavana ja vaikeakäyttöisenä. Aihetta käsittelevien kysymysten vastauksien keskiarvot ja suhteelliset osuudet on koottu taulukkoon 8.

Taulukko 8 Verkkomateriaalin ulkoasun ja sen käyttöliittymän toimivuuden arviointi asteikoilla 1=täysin eri mieltä, 2=jokseenkin eri mieltä, 3=en osaa sanoa, 4=jokseenkin samaa mieltä ja 5=täysin samaa mieltä.

Kysymys	ka	1 (%)	2 (%)	3 (%)	4 (%)	5 (%)
16. Verkkomateriaalin ulkoasu on selkeä	3,5	12,5	12,5	0	62,5	12,5
17. Verkkomateriaali on helppo käyttää	3,75	12,5	0	0	75	12,5

Taulukkoon 9 on koottu loput verkkomateriaali koskevat kysymykset, vastauksien keskiarvot ja suhteelliset osuudet. Verkkomateriaalin katsottiin tukevan ongelmalähtöisen oppimisen mukaisia tehtäviä. Myös verkkosivuilla oleva osio tiedonhaun apuun katsottiin olevan hyödyllinen. Vastaajien mielipiteet jakautuivat verkkomateriaalin soveltuvuudesta muovien ja niiden kierrätyksen opetukseen. Vain 50 % piti verkkosivuja soveltuvana muovien kierrätyksen ja 37,5 % muovien opetukseen. Puolet vastaajista oli kuitenkin jokseenkin samaa mieltä, että he voisivat käyttää verkkomateriaalia opetuksessaan ja 25 % ei käyttäisi.

Taulukko 9 Arviointi verkkomateriaalin sopivuudesta opetuskäyttöön asteikoilla 1=täysin eri mieltä, 2=jokseenkin eri mieltä, 3=en osaa sanoa, 4=jokseenkin samaa mieltä ja 5=täysin samaa mieltä.

Kysymys	ka	1 (%)	2 (%)	3 (%)	4 (%)	5 (%)
18. Verkkomateriaali tukee sivuilta löytyviä ongelmalähtöisen oppimisen mukaisia tehtäviä	4,0	0	0	37,5	25	37,5
19. Verkkomateriaali ei anna suoria vastauksia tehtäviin	3,5	0	12,5	37,5	37,5	12,5
20. Verkkomateriaali soveltuu muovien opetukseen	2,75	12,5	50	0	25	12,5
21. Verkkomateriaali soveltuu muovien kierrätyksen opetukseen	3,25	12,5	25	12,5	25	25
22. Lähteitä ja lisälukemista osio auttaa oppilaita tiedonhaussa	3,86	12,5	0	12,5	37,5	37,5
23. Voisin käyttää verkkomateriaalia opetuksessani	3,0	25	0	25	50	0

Kysymyksessä 24. pyydettiin antamaan kehitysehdotuksia verkkomateriaalin parantamiseksi. Tässä kohdassa huomioitiin aiemmissa avoimissa kysymyksissä hylätyt vastaukset, jotka käsittelivät verkkomateriaalia. Suurimpina verkkomateriaalin kehityskohteina pidettiin sen sisältöä ja ulkoasua. Sisällössä katsottiin olevan jonkin verran vääriä termejä ja sitä suositeltiin oikoluettavaksi asiantuntijalla. Sivuille toivottiin enemmän kuvia ja mahdollisesti videoita ja linkkejä. Tekstiä toivottiin lajiteltavan myös pienempiin ja helpompilukuisiin osiin. Kehityskohteeksi ilmeni myös materiaalin kohderyhmän selkeyttäminen, koska vastaajat eivät olleet varmoja mihin oppiasteelle materiaali oli suunnattu. Myös tehtävien ja materiaalin johdonmukaisuutta kommentoitiin, koska materiaalia pidettiin enemmän puhtaasti kemiaan liittyvänä ja tehtäviä ympäristökemiaan. Sivuille toivottiin myös viitteitä sivun yläreunassa oleviin valikkoihin. Esille nostetut kehityskohteet ja niiden mainontojen määrät on esitetty taulukossa 10.

Taulukko 10 Vastaajien kehityskohteet verkkomateriaalille

Kehityskohde	Mainintojen lukumäärä (n)
Sisältö vaatii tarkistusta	4
Ulkoasu vaatii kohennusta (mm. lisää kuvia ja tekstin lajittelua)	4
Materiaali vaatii tarkempaa kohdistusta joko peruskouluun tai lukioon	2
Materiaali johdonmukaisemmaksi	1
Sivuilla liikkumisen selkeyttäminen	1

Viimeisessä kysymyksessä sai antaa vapaata palautetta koko materiaalista. Esille nousi samoja asioita kuin edellisissä kysymyksissä. Materiaalia pidettiin toimivana, kunhan se viimeistellään huolella. Termistöä pidettiin liian vaikeana peruskouluun ja huomautettiin muovien tärkeydestä sekajätteen poltossa.

Vastauksia analysoitaessa huomasi selvästi, että ammatillisella puolella työskentelevät opettajat keskittyivät avoimissa kysymyksissä antamaan palautetta materiaalin sisällöstä ja peruskoulussa opettavien opettajien kommentit liittyivät vahvemmin materiaalin ulkoasuun ja rakenteeseen. Vastaajaryhmien välillä ei huomattu merkittäviä eroja suljettuja kysymyksiä analysoitaessa.

7.4.3 Sähköpostipalautteen arviointi

Kyselylomakepalautteen lisäksi verkkomateriaalista tuli palautetta kahdelta eri henkilöltä sähköpostitse. Toinen palautteen antaja työskentelee Helsingin yliopiston kemian laitoksen polymeeri kemian laboratoriossa ja toinen henkilö Muoviteollisuus ry:ssä. Nämä viestit huomioitiin palautteeksi, koska niiden sisällöstä ainakin osa liittyi verkkosivuston kehittämiseen. Näiden viestien verkkomateriaalia koskevalle palautteelle suoritettiin sisällönanalyysi. Viestien verkkomateriaalia koskeva palaute löytyy kokonaisuudessaan liitteestä 6.

Ensimmäinen viesti koski pääasiassa verkkomateriaalin sisältöä. Siinä esitettiin asioita, joita olisi hyvä lisätä materiaaliin tai päivittää viimeisimpien muutoksien mukaisiksi. Ehdotettuja

muutoksia olivat lisätä sivuille tietoa vuoden 2016 alusta voimaan tulleesta kiellosta viedä orgaanista ja biohajoavaa jätettä kaatopaikoille, muovien kierrätyspisteiden lisäämisestä Uusiomuovi Oy:n toimesta ja kierrätyskelpoisten muovien merkkien lisääminen sivustolle. Tehtäviin liittyen viestissä pohdittiin oliko otsikko Muovien kierrätys Suomessa sopiva tehtävälle, koska Suomessa ollaan jo edelläkävijöitä kierrätyksen osalta. Tehtävissä käsiteltäviä aiheita kuitenkin pidettiin tärkeinä. Kaikkiaan viestissä pidettiin muovien kierrätystä ja niihin liittyviä ilmiöitä tärkeinä ja asian viemistä kouluihin toivottavana. Lopuksi huomautettiin vielä, että kierrättäminen on kiinni kuluttajasta itsestään.

Toinen sähköpostipalaute tuli asiantuntijalta Muoviteollisuus ry:stä, josta pyydettiin apua verkkomateriaalin tekstin sisällön tarkastamiseen. Sisällön tarkastusta koskevan palautteen lisäksi viestissä oleva palaute koski ongelmalähtöisen oppimisen hyödyntämistä aiheen opettamisessa. Palautteessa pidettiin ongelmalähtöistä oppimista lähestymistapana mielenkiintoisena ja siinä tärkeänä, että taustatiedot ovat oikein, ongelma on toimiva kokonaisuus ja siihen on konkreettinen ratkaisu. Tällöin voisi olla mahdollista motivoida oppilaita ongelman ratkaisuun. Ongelmista voi ilmetä myös uusia ilmiöitä muualla.

Sähköpostien palaute koski kyselylomakkeiden palautetta tarkemmin verkkomateriaalin sisältöä ja niiden perusteella materiaalin sisältöä tullaankin jatkokehittämään. Molemmissa tapauksissa aiheen opettamista ongelmalähtöisen oppimisen avulla pidettiin toimivana lähestymistapana.

7.5 Oppimateriaalin jatkokehittäminen

Kehittämistutkimuksen prosessin mukaisesti oppimateriaalia jatkokehitettiin saadun palautteen perusteella. Ensiksi verkkosivun sisältöä lähdettiin tarkistamaan pyytämällä Muoviteollisuus Oy:stä asiantuntijaa lukemaan sivut läpi. Saadun palautteen ja korjausehdotuksien perusteella sisältöä tarkennettiin mahdollisimman täsmälliseksi. Tietoja päivitettiin myös lisäämällä kaatopaikkaosioon ehdotettu vuoden 2016 alusta tullut määräys, jolla kielletään orgaanisen ja biohajoavan jätteen vienti kaatopaikoille. Lisäksi materiaaliin lisättiin ehdotuksen mukaisesti taulukko, jossa on lueteltu yleisimpien muovien nimet, merkit, käyttökohteita ja kierrätysmahdollisuuksia.

Sivuston ulkoasua parannettiin lisäämällä sivuille kuvia. Lisätyillä kuvilla on Creative Commons-lisenssit, mikä mahdollistaa niiden julkisen käytön, kun kuvien omistaja ja

lisenssi ilmoitetaan käytön yhteydessä. Tekijänoikeudet rajoittavat saatavilla olevien kuvien määrää ja näin sivustolle sopivien kuvien löytäminen hankaloitui. Ulkoasua selkeytettiin myös lisäämällä tekstiin väliotsikoita ja lihavoittamalla tekstistä pääkohtia helpottamaan tarvittavan tiedon löytämistä.

Sivuilla liikkumista helpottamaan etusivulle lisättiin linkit jokaiseen osioon ja alaosioon. Eri sivuille lisättiin myös linkkejä osioihin, joihin niihin viitataan. Kaikki vastaajat eivät olleet varmoja kenelle sivut on suunnattu, joten etusivulle kirjoitettiin osio, jossa sivuston ja tehtävien pääasialliseksi kohderyhmäksi määriteltiin lukion kemian opetus ja KE4-kurssi. Sivustoa on tarkoitus myös pystyä soveltamaan peruskoulussa ja ammatillisissa oppilaitoksissa muovien opettamisen yhteydessä. Sivusto on tarkoitus olla oppilaiden käytössä ja siksi opettajien materiaali erotettiin vapaasti saatavilla olevasta materiaalista. Opettajille-sivu salattiin tämän takia salasanalla. Sivun salasanaksi valittiin Mk2016, joka löytyy myös liitteestä 7. Opettajille-sivulle lisättiin myös linkit Muoviteollisuus Oy:n Muovi-ilmiö materiaaliin ja kemianluokka Gadolinin työohjeisiin, joista löytyy muoveihin liittyviä kokeellisia töitä.

Opettajien oppaita ei lähdetty muuttamaan yhden palautteen perusteella, koska niitä pidettiin muuten hyvin onnistuneina ja palautteessa ei kerrottu mitä vastaaja olisi halunnut niiden sisältävän. Tehtäviä tai muuta materiaalia ei myöskään lähdetty enää lisäämään tämän tutkielman puitteissa. Materiaalia voidaan lisätä jatkossa, jos vastaan tulee hyviä ideoita tai valmista materiaalia. Jatkossa voidaan myös tarkastella miten tehtävistä saisi mahdollisimman käytännönläheisiä oppilaille.

Jatkokehitettyä materiaalia ei ole enää arvioitu, joten sen korjauksien soveltuvuudesta ei voida olla täysin varmoja, mutta laadun varmistamiseksi korjauksissa on pyritty soveltamaan palautetta mahdollisimman tarkasti.

8. Johtopäätökset ja pohdinta

Ensimmäisessä tutkimuskysymyksessä kartoitettiin muovien kierrätyksen nykytilannetta lukio-opetuksessa empiirisellä ongelma-analyysillä. Analyysi toteutettiin tarveanalyysinä, jossa lukion oppikirjoille suoritettiin aineistolähtöinen sisällönanalyysi. Vertailun vuoksi analyysiin otettiin mukaan myös yksi peruskoulun oppikirja.

Tarveanalyysin perusteella muovien kierrätys käsitellään lukion neljännellä kemian kurssilla materiaalien ja polymeerien yhteydessä ja mainintoja muovien kierrätyksestä ei löytynyt juuri ollenkaan muiden kurssien kirjoista.

Lukion opetussuunnitelmien perusteiden mukaan kemian opetuksen pitäisi antaa oppilaalle kuva kemianteollisuudesta, kemian hyödyntämisestä yhteiskunnassa ja kemian merkityksestä kestävän tulevaisuuden rakentamisessa (Opetushallitus, 2015). Oppikirjoissa näiden esille tuominen ei ollut keskiössä, vaan keskityttiin enemmän polymeerien kemiaan ja esittelemään muovien ominaisuuksia lyhyesti. Missään analysoidussa oppikirjassa ei mainittu terminä mekaanista kierrätystä ja vain yhdessä oppikirjassa löytyi maininta kemiallisesta kierrätyksestä. Myöskään energiantuotanto-termiä ei mainittu kuin kerran yhdessä oppikirjassa. Näiden muovien käsittelytapojen prosesseja kuitenkin kuvailtiin löydetyissä maininnoissa. Mekaanista ja kemiallista kierrätystä koskevat maininnat olivat pääsääntöisesti kuvatekstejä tai lisäinfo-osioita, mikä viittaisi siihen, että näitä ei pidetä keskeisinä oppisisältöinä. Energiantuotannon yhteydessä puhuttiin yleensä pelkästä muovien polttamisesta, ei siitä mitä polttamisesta hyödytään. Kaikissa kirjasarjoissa biohajaavat muovit nostettiin yllättäen esille vähintäänkin mainintana kuvatekstissä.

Muoveihin liittyviä tehtäviä lukion oppikirjoista löytyi yhteensä seitsemän kappaletta. Nämä tehtävät sisälsivät eri muovien kierrätykseen liittyviä aiheita. Tehtävien laatu ja laajuus vaihteli hyvin paljon. Osassa tehtäviä aihe toimi vain johdantona polymeerien kemiaa käsittelevään tehtävään, mutta parhaimmillaan oppilaita pyydettiin pohtimaan omaa toimintaansa kestävän kehityksen näkökulmasta tai selvittämään jonkun tuotteen elinkaari. Tehtävät oli kuitenkin pilkottu pieniksi osiksi ja mikään niistä ei käsitellyt muovien kierrätystä kokonaisuutena. Yhtään kokeellista työtä aiheeseen liittyen ei löytynyt.

Tarveanalyysin perusteella löytyikin siis tarvetta kehittää muovien kierrätystä käsitteleviä tehtäviä, jotka antavat aiheesta kokonaiskuvan oppilaille. Tehtäviin olisi myös hyvä ottaa mukaan kokeellisuutta. Analyysissä löytyi myös tarve esitellä muovien eri

kierrätysmenetelmiä tarkemmin, jotta oppilaat saavat kuvan miten kemiaa voidaan oikeasti hyödyntää yhteiskunnassa ja kestävän tulevaisuuden rakentamisessa.

Tutkitut oppikirjat olivat vielä vuoden 2003 opetussuunnitelmien perusteiden mukaisia, koska vuoden 2015 lopussa julkaistun opetussuunnitelman mukaisia oppikirjoja ei ollut vielä saatavilla. Näin ollen tulevaisuudessa käytettävä materiaali voi muuttua ja voisi olla syytä tarkastella tilannetta uusien oppikirjojen ilmestyttyä. Tutkittu yläkoulun oppikirja oli linjassa lukion oppikirjojen kanssa ja siitä ei löytynyt mitään poikkeavaa.

Teoreettisella ongelma-analyysillä haettiin vastausta toiseen tutkimuskysymykseen siihen, minkälainen oppimisympäristö tukee muovien kierrätyksen mielekästä opetusta. Tämä toteutettiin tutustumalla muovien kierrätystä, ongelmalähtöistä oppimista, ympäristöopetusta ja muovien ja muovien kierrätyksen opettamista käsittelevään tutkimuskirjallisuuteen. Samalla tutustuttiin myös tarkemmin vuonna 2015 julkistettuun uuteen lukion opetussuunnitelmien perusteisiin.

Lukion opetussuunnitelmien perusteiden oppimiskäsitys ja ongelmalähtöisen oppimisen teoria vastaavat hyvin pitkälle toisiaan. Molemmissa painotetaan oppilaan aktiivista roolia tiedon prosessoijana, yhteisöllistä oppimista ja oikean maailman kontekstien käyttöä, jolla pyritään kehittämään oppilaiden kykyä siirtää tietoa eri kontekstien välillä (Dolmans, De Grave, Wolfhagen & Van Der Vleuten, 2005; Opetushallitus, 2015; Perennet *et al.*, 2000). Lavosen ja Laaksosen (2009) mukaan Suomessa oppilaat ovat keskimääräistä vähemmän kiinnostuneita luonnontieteiden opiskelusta ja ongelmalähtöisellä oppimisella on mahdollista lisätä oppilaiden kiinnostusta opetettavaan aiheeseen. Näiden syiden takia kehitetyn oppimateriaalin opetusmenetelmäksi valittiin ongelmalähtöinen oppiminen.

Oppimateriaaliin kehitettiin kolme ongelmalähtöistä tehtävää soveltaen Schmidtin (1983) ja Woodin (2003) esittämää seitsemän askelista mallia. Tämä malli valittiin, koska se on hyvin selkeä ja sitä on helppo muokata soveltumaan eri aiheiden opettamiseen. Tehtävien aiheiksi valittiin muovien kierrätyksen toteuttaminen Suomessa, muovit meressä ja muovien hajoaminen luonnossa. Nämä kokonaisuudet valittiin, koska ne nousivat tutkimuskirjallisuudessa vahvasti esille (ks. esim. Derraik, 2002; Hopewell, *et al.*, 2009; PlasticsEurope, 2015; Thompson *et al.*, 2009). Nämä aiheet liittyvät myös vahvasti ympäristöopetukseen, jonka on tutkittu kehittävän oppilaiden kokonaisuuksien ja asioiden ja käsitteiden yhteyksiä hahmottamista (Vasconcelos, 2012). Ympäristöopetuksella pyritään antamaan oppilaille tietoa siitä, miten he pystyvät vaikuttamaan omaan ympäristöönsä ja

taitoja ympäristöystävälliseen toimintaan (Gutierrez-Perez & Pirrami, 2011; Uitto *et al.*, 2011). Tehtävien merkitystä oppilaiden omaan elämään yritettiin lisätä valitsemalla tehtävien johdantoon artikkeleita, jotka korostavat kaikkiin ihmisiin vaikuttavia ympäristövaikutuksia ja sitä miten jokainen ihminen voi vaikuttaa omalla panoksellaan. Yhteen tehtävään sisällytettiin myös kokeellinen osio, koska tarveanalyysissä löytyi tarve kokeellisuudelle.

Tehtävien ohjaajalla, tuutorilla, on hyvin merkittävä rooli onnistuneen oppimisprosessin takaamisessa. Koulussa opettaja toimii yleensä tuutorina ja kaikilla opettajille ei ole kokemusta opetusmenetelmän toteuttamisesta, minkä takia he tarvitsevat kattavat ohjeet tehtävien toteutuksesta. (Dolmans *et al.*, 2005; Poikela & Poikela, 2005; Wood, 2003) Tästä syystä tehtäviin kehitettiin opettajan oppaat, joissa ohjeistettiin opettajia tehtävien eri vaiheiden ohjaamisesta ja annettiin vinkkejä mihin kohtiin ja asioihin kannattaa erityisesti kiinnittää huomiota.

Ongelmalähtöiset tehtävät sisältävät itsenäistä tiedonhakua ja kaikki oppilaat eivät ole vielä välttämättä ongelmalähtöisen oppimisen alkuvaiheissa kokeneita tiedonhakijoita ja saattavat tarvita apua siinä (Kelly & Finlayson, 2009; Poikela & Poikela, 2005). Tämän takia päätettiin tehtävien tueksi kehittää verkkosivut, joista löytyy oleellista tietoa muoveista ja niiden kierrätyksestä. Sivuston materiaali kirjoitettiin teoreettisessa ongelma-analyysissä löydetyn hyödyllisen tutkimustiedon pohjalta ja sinne lisättiin osio, josta löytyy apua tiedonhakuun. Sieltä löytyy linkkejä aiheeseen liittyville verkkosivuille, viitteitä hyödyllisiin tieteellisiin artikkeleita ja ei-sähköisiä materiaaleja, joista tietoa voi hakea. Sivusto on rakennettu niin, että se ei antaisi suoria vastauksia ongelmalähtöisiin tehtäviin, vaan se toimii sen tukena.

Viimeisessä tutkimuskysymyksessä selvitettiin miten kehitetty oppimisympäristö soveltuu muovien kierrätyksen opettamiseen. Kehitettyjä ongelmalähtöisen oppimisen mukaisia tehtäviä ja verkkomateriaalia arvioitiin opettajille suunnatulla verkkokyselyllä. Kyselyn tulosten perusteella etsittiin kehityskohteita oppimateriaaliin ja kartoitettiin opettajien mielipiteitä materiaalin soveltuvuudesta opetukseen. Sen tulosten perusteella ongelmalähtöinen oppiminen soveltuu hyvin muovien kierrätyksen opettamiseen. Myös aikaisemman tutkimuksen mukaan ongelmalähtöinen oppiminen soveltuu kemian opetukseen ja ympäristöopetukseen (Gutierrez-Perez & Pirrami, 2011; Jansson, Söderström, Andersson & Nording, 2015; Kwan & So, 2008; Vasconcelos, 2012). Kehitettyjä tehtäviä

pidettiin yleisesti onnistuneina ja vastaajat pitivät korjausten jälkeen niiden käyttämistä mahdollisena omassa opetuksessaan sellaisenaan tai soveltavin osin. Tehtäviä pidettiin avoimina, selkeinä ja ne katsottiin voivan ratkaista usealla eri tavalla. Nämä ominaisuudet ovat tärkeitä toimiville ongelmalähtöisille tehtäville (Poikela & Poikela, 2005; Wood, 2005). Tehtävien isoimmaksi haasteeksi nostettiin niiden haastavuus peruskoulu-opetukseen ja mahdollinen haastavuus myös lukio-opetuksessa. Materiaali vaatisi arviointia oikeassa opetustilanteessa, jotta nähtäisiin onko materiaali oikeasti liian haastavaa myös lukio-opetukseen. Tehtäviä onkin tarkoitus soveltaa perusopetuksessa vain osittain, minkä takia niiden haastavuutta ei pidetty ongelmallisena tutkijan mielestä. Myös aikaisempien tutkimuksien mukaan ongelmalähtöisessä oppimisessa oppilaslähtöisyyttä pitää lisätä rauhassa oppilaiden kokemuksen karttuessa, koska oppilaat eivät ole heti valmiita täysin oppilaslähtöiseen opiskeluun (Dolmans *et al.*, 2005).

Poikela & Poikela (2005) mukaan ohjaajille pitää aina tehdä oppaat tehtävien ohjaamiseen ja näiden laatimiseen keskityttiinkin kehittämisprosessissa, mikä näkyi myös arvioinnin tuloksissa. Opettajan oppaita pidettiin onnistuneina ja niiden avulla mahdollisena ohjata tehtävät, vaikka ongelmalähtöinen oppiminen ei olisikaan tuttua. Hyvillä tehtävillä, joissa on selkeät ja kattavat oppaat, voisi mahdollisesti saada lisää opettajia kokeilemaan ongelmalähtöistä oppimista. Tähän voisi olla tarvetta, koska Suomessa suositaan opetuksessa yleensä perinteisiä opettajajohtoisia opetusmenetelmiä (Juuti *et al.*, 2009; Lavonen & Laaksonen, 2009).

Kehitetyn verkkomateriaalin ulkoasua pidettiin selkeänä ja sivustoa helppokäyttöisenä. Sen katsottiin myös tukevan tehtäviä hyvin ja tiedonhaku-osiota pidettiin hyvänä apuna oppilaille tehtävien toteuttamiseen. Tällainen tukimateriaali tiedonhakuun ja tehtävien toteuttamiseen voi olla tarpeen oppilaille, joilla ei ole kokemusta ongelmalähtöisestä oppimisesta (Kelly & Finlayson, 2009; Poikela & Poikela, 2005).

Materiaalissa ilmeni arvioinnissa myös kehityskohteita. Kehityskohteita kartoitettiin suljettujen kysymysten kielteisten vastausten perusteella ja tarkentavien avointen kysymysten avulla. Kaikki tarkat kehityskohteet on johdettu avointen kysymysten vastausten perusteella. Muovien opetuksen parissa työskennelleet vastaajat löysivät verkkomateriaalin tieto-osuuksista termejä ja kohtia, jotka vaativat korjauksia. Verkkomateriaalia korjattiinkin asiantuntijapalautteen perusteella. Osa vastaajista toivoi sivustolle myös enemmän kuvia ja tekstin jaottelua pienempiin osiin. Palautteen perusteella

kuvia lisättiin ja tekstin rakennetta muokattiin niin, että siitä löytäisi helpommin haluamansa tiedon. Tehtävien mahdollisimman vahva liittyminen oppilaiden arkeen nostettiin myös esille, mutta yksikään vastaajista ei tarkentanut miten tätä olisi mahdollista kehittää oppimateriaalin osalta. Tutkijalla itsellään ei ollut näkemystä myöskään miten tehtävistä saisi vielä lähemmäksi oppilaiden arkea, minkä takia tätä ei lähdetty jatkokehittämään. Myös aikaisempien tutkimusten mukaan toimivien ongelmalähtöisten tehtävien tulisi liittyä oppilaiden arkeen (Wood, 2005). Kehitetyn materiaalin osalta tämä voisi olla myös mahdollinen jatkotutkimuskohde.

Aikaisempien tutkimuksien mukaan ongelmalähtöisen oppimisen yhtenä haasteena on se, että se vie enemmän aikaa kuin perinteinen opetus (Dolmans *et al.*, 2005; Kelly & Finlayson, 2009). Vain yksi vastaaja nosti tämän esille arvioinnissa, mutta vastaajien joukossa ei ollut juurikaan lukioissa tai peruskouluissa työskenteleviä opettajia, joille ongelmalähtöinen oppiminen ei olisi tuttua. Ajankäytöllä voi kuitenkin olla merkitystä siihen, että opettajat eivät käytä opetusmenetelmää omassa opetuksessaan ja sen merkitystä olisi hyvä tutkia tarkemmin niiden opettajien osalta, jotka eivät opetusmenetelmää käytä. Ajankäytön merkitys opetusmenetelmän valintaan voisi olla hyvä tutkimuskohde jatkossa.

Tutkimuksen kyselyyn osallistui niin vähän vastaajia, että siitä ei voi tehdä tilastollisesti merkittäviä yleistysii. Vastaajat työskentelivät kuitenkin aktiivisesti joko muovien opettamisen parissa tai olivat omasta mielestään kokeneita ongelmalähtöisen oppimisen käyttäjiä. Tästä syystä tutkimus antaa suuntaa antavaa kuvaa ongelmalähtöisen oppimisen soveltuvuudesta muovien kierrätyksen opettamiseen ja siitä millaisia kehityskohteita kehitetyssä oppimateriaalissa oli.

Materiaalin soveltuvuudesta lukio-opetukseen olisi saanut tarkemman kuvan, jos vastaajiksi olisi saatu enemmän lukiossa opettavia opettajia, jotka oikeasti opettavat aihetta lukion kursseilla. Nyt vastaajat olivat selkeästi ihmisiä, joilla on vahva side joko muovien opettamiseen tai ongelmalähtöisen oppimisen käyttämiseen. Juuti *et al.* (2009) ja Lavonen & Laaksonen (2009) löydöksiensä mukaan Suomessa opettajat käyttävät paljon perinteisiä opetusmenetelmiä, minkä takia ongelmalähtöinen oppiminen ei ole välttämättä suurimmalle osalle opettajista tuttu opetusmenetelmä. Voikin olla, että opettajilla pitäisi olla vahvempi kytkös aiheeseen tai opetusmenetelmään, jotta he vastaisivat verkkokyselyyn.

Kehitettyä oppimateriaalia ei ehditty testaamaan kouluissa oppilailla aikataulullisista syistä ja käytännön testaaminen aidossa opetustilanteessa olisikin seuraavaa askel materiaalin

kehittämisessä. Käytännön testaamisen perusteella olisi mahdollista kartoittaa paremmin oppilaiden kiinnostuksen kehittymistä, tarvitsevatko tehtävien jotkut osat korjausta ja millaista oppimista materiaalilla on mahdollista saada aikaan.

Tarveanalyysin oppikirja-analyysi käytiin läpi vain kerran ja sisällönanalyysit on toteuttanut pelkästään tutkija itse. Luotettavuutta olisi voitu parantaa käymällä oppikirjat läpi useampaan kertaan ja löytämällä joku ulkopuolinen henkilö toteuttamaan kerätylle aineistolle sisällönanalyysi. Analysoitu materiaali ja sisällönanalyysit on lisätty liitteisiin, jotta jokainen voi halutessaan tarkastella niitä.

Lähteet

- Acar, I., Bal, A., & Güçlü, G. (2013). The effect of xylene as aromatic solvent to aminoglycolysis of post consumer PET bottles. *Polymer Engineering & Science*, 53(11), 2429-2438.
- Acar, I., & Orbay, M. (2011). Aminoglycolysis of waste poly(ethylene terephthalate) with diethanolamine and evaluation of the products as polyurethane surface coating materials. *Polymer Engineering & Science*, 51(4), 746-754.
- Achilias, D., Roupakias, C., Megalokonomos, P., Lappas, A., & Antonakou, E. (2007). Chemical recycling of plastic wastes made from polyethylene (LDPE and HDPE) and polypropylene (PP). *Journal of Hazardous Materials*, 149(3), 536-542.
- Al-Salem, S. M., Lettieri, P., & Baeyens, J. (2009). Recycling and recovery routes of plastic solid waste (PSW): A review. *Waste Management*, 29(10), 2625-2643.
- Anderson, T., & Shattuck, J. (2012). Design-based research a decade of progress in education research? *Educational Researcher*, 41(1), 16-25.
- Aznar, M. P., Caballero, M. A., Sancho, J. A., & Francés, E. (2006). Plastic waste elimination by co-gasification with coal and biomass in fluidized bed with air in pilot plant. *Fuel Processing Technology*, 87(5), 409-420.
- Barab, S., & Squire, K. (2004). Design-based research: Putting a stake in the ground. *The Journal of the Learning Sciences*, 13(1), 1-14.
- Bastioli, C. (1998). Properties and applications of mater-bi starch-based materials. *Polymer Degradation and Stability*, 59(1), 263-272.

- Briassoulis, D., Hiskakis, M., & Babou, E. (2013). Technical specifications for mechanical recycling of agricultural plastic waste. *Waste Management*, 33(6), 1516-1530.
- Çam, Ç., Bal, A., & Güçlü, G. (2015). Synthesis and film properties of epoxy esters modified with amino resins from glycolysis products of postconsumer PET bottles. *Polymer Engineering & Science*, 55(11), 2519-2525. doi:10.1002/pen.24142
- Campbell, I. M. (2000). *Introduction to synthetic polymers* (Second edition ed.). New York: Oxford University Press Inc.
- Carleton-Hug, A., & Hug, J. W. (2010). Challenges and opportunities for evaluating environmental education programs. *Evaluation and Program Planning*, 33(2), 159-164.
- Chen, C., Chen, C., Lo, Y., Mao, C., & Liao, W. (2001). Studies of glycolysis of poly (ethylene terephthalate) recycled from postconsumer soft-drink bottles. I. influences of glycolysis conditions. *Journal of Applied Polymer Science*, 80(7), 943-948.
- Chen, J., Chen, L., & Cheng, W. (1999). Kinetics of glycolysis of polyethylene terephthalate with zinc catalyst. *Polymer International*, 48(9), 885-888.
- Collins, A., Joseph, D., & Bielaczyc, K. (2004). Design research: Theoretical and methodological issues. *Journal of the Learning Sciences*, 13(1), 15-42.
- Cook, D. H. (2014). Conflicts in chemistry: The case of plastics, A role-playing game for high school chemistry students. *Journal of Chemical Education*, 91(10), 1580-1586.
- Crosley, K. L. (2014). Advancing the boundaries of urban environmental education through the food justice movement. *Canadian Journal of Environmental Education (CJEE)*, 18, 46-58.

- Dalrymple, K. R., Wong, S., Rosenblum, A., Wuenschell, C., Paine, M., & Shuler, C. F. (2007). PBL core skills faculty development workshop 3: Understanding PBL process assessment and feedback via scenario-based discussions, observation, and role-play. *Journal of Dental Education*, 71(12), 1561-1573.
- Derraik, J. G. (2002). The pollution of the marine environment by plastic debris: A review. *Marine Pollution Bulletin*, 44(9), 842-852.
- Directive 2008/98/EC of the European parliament and the council of 19 November 2008 on waste and repealing certain directives.
- Dolmans, D. H. J. M., De Grave, W., Wolfhagen, I. H. A. P., & Van Der Vleuten, Cees P M. (2005). Problem-based learning: Future challenges for educational practice and research. *Medical Education*, 39(7), 732-741.
- Edelson, D. C. (2002). Design research: What we learn when we engage in design. *Journal of the Learning Sciences*, 11(1), 105-121.
- Elizondo-Montemayor, L. L. (2004). Formative and summative assessment of the problem-based learning tutorial session using a criterion-referenced system. *Journal of the International Association of Medical Science Educators*, 14(1), 8-14.
- Ferreira, M. M., & Trudel, A. R. (2012). The impact of problem-based learning (PBL) on student attitudes toward science, problem-solving skills, and sense of community in the classroom. *Journal of Classroom Interaction*, 47(1), 23-30.
- Glittenberg, D. (2012). 10.07 - starch-based biopolymers in paper, corrugating, and other industrial applications. In K. M. Möller (Ed.), *Polymer science: A comprehensive reference* (pp. 165-193). Amsterdam: Elsevier.

- Gutierrez-Perez, J., & Pirrami, F. (2011). Water as focus of problem-based learning: An integrated curricular program for environmental education in secondary school. *Online Submission*,
- Hagen, R. (2012). 10.12 - polylactic acid. In K. M. Möller (Ed.), *Polymer science: A comprehensive reference* (pp. 231-236). Amsterdam: Elsevier.
- Harris, M. E., & Walker, B. (2010). A novel, simplified scheme for plastics identification: JCE classroom activity 104. *Journal of Chemical Education*, 87(2), 147-149.
- Hidi, S., & Renninger, K. A. (2006). The four-phase model of interest development. *Educational Psychologist*, 41(2), 111-127.
- Hopewell, J., Dvorak, R., & Kosior, E. (2009). Plastics recycling: Challenges and opportunities. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London B: Biological Sciences*, 364(1526), 2115-2126.
- Hopwood, B., Mellor, M., & O'Brien, G. (2005). Sustainable development: Mapping different approaches. *Sustainable Development*, 13(1), 38-52.
- Hudson, R., Glaisher, S., Bishop, A., & Katz, J. L. (2015). From lobster shells to plastic objects: A bioplastics activity. *Journal of Chemical Education*, 92(11), 1882-1885.
- Jansson, S., Söderström, H., Andersson, P. L., & Nording, M., L. (2015) Implementation of Problem-Based Learning in Environmental Chemistry. *Journal of Chemistry Education*, 92(12), 2080-2086.

- Juuti, K., Lavonen, J., Uitto, A., Byman, R., & Meisalo, V. (2010). Science teaching methods preferred by grade 9 students in Finland. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 8(4), 611-632.
- Juuti, K., & Lavonen, J. (2006). Design-based research in science education one step towards methodology. *NorDiNa : Nordic Studies in Science Education*., (4), 54-68.
- Jäteläki 2011/646. Annettu Helsingissä 17.6.2011.
- Kao, C., Cheng, W., & Wan, B. (1998). Investigation of alkaline hydrolysis of polyethylene terephthalate by differential scanning calorimetry and thermogravimetric analysis. *Journal of Applied Polymer Science*, 70(10), 1939-1945.
- Karayannidis, G. P., Chatziavgioustis, A. P., & Achilias, D. S. (2002). Poly(ethylene terephthalate) recycling and recovery of pure terephthalic acid by alkaline hydrolysis. *Advances in Polymer Technology*, 21(4), 250-259.
- Kelly, O., & Finlayson, O. (2009). A hurdle too high? students' experience of a PBL laboratory module. *Chemistry Education Research and Practice*, 10(1), 42-52.
- Keshavarz, T., & Roy, I. (2010). Polyhydroxyalkanoates: Bioplastics with a green agenda. *Current Opinion in Microbiology*, 13(3), 321-326.
- Krähling, H., & Sartorius, I. (2012). 10.31 - sustainable management of material and energy resources. In K. M. Müller (Ed.), *Polymer science: A comprehensive reference* (pp. 581-595). Amsterdam: Elsevier.
- Kuntzleman, T. S. (2015). The dynamic density bottle: A make-and-take, guided inquiry activity on density. *Journal of Chemical Education*, 92(9), 1503-1506.

- Kwan, T., & So, M. (2008). Environmental learning using a problem-based approach in the field: A case study of a Hong Kong school. *International Research in Geographical and Environmental Education*, 17(2), 93-113.
- Laininen, E., Manninen, L., & Tenhunen, R. (2006). Näkökulmia kestävään kehitykseen oppilaitoksissa. *Helsinki: OKKA-Säätiö*,
- Lavonen, J., & Laaksonen, S. (2009). Context of teaching and learning school science in finland: Reflections on PISA 2006 results. *Journal of Research in Science Teaching*, 46(8), 922-944.
- Liu, S., Yeh, S., Liang, S., Fang, W., & Tsai, H. (2015). A national investigation of teachers' environmental literacy as a reference for promoting environmental education in taiwan. *The Journal of Environmental Education*, 46(2), 114-132.
- Markaki, V. (2014). Environmental education through inquiry and technology. *Science Education International*, 25(1), 86-92.
- Mc Ilrath, S. P., Robertson, N. J., & Kuchta, R. J. (2012). Bustin'Bunnies: An adaptable inquiry-based approach introducing molecular weight and polymer properties. *Journal of Chemical Education*, 89(7), 928-932.
- McDonald, S., & Ball, R. (1998). Public participation in plastics recycling schemes. *Resources, Conservation and Recycling*, 22(3), 123-141.
- Mohanty, A. K., Misra, M., & Drzal, L. T. (2002). Sustainable bio-composites from renewable resources: Opportunities and challenges in the green materials world. *Journal of Polymers and the Environment*, 10(1-2), 19-26.

- Mooney, B. P. (2009). The second green revolution? production of plant-based biodegradable plastics. *The Biochemical Journal*, 418(2), 219-232. doi:10.1042/BJ20081769 [doi]
- Mulder, K. F. (1998). Sustainable consumption and production of plastics? *Technological Forecasting and Social Change*, 58(1), 105-124.
- Opetushallitus. (2015). *Lukion opetussuunnitelmien perusteet 2015: Nuorille tarkoitettun lukiokoulutuksen opetussuunnitelman perusteet*. Helsinki. Opetushallitus
- Panda, A. K., Singh, R., & Mishra, D. (2010). Thermolysis of waste plastics to liquid fuel: A suitable method for plastic waste management and manufacture of value added products—A world prospective. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14(1), 233-248.
- Pecore, J. L. (2012). Beyond beliefs: Teachers adapting problem-based learning to preexisting systems of practice. *Interdisciplinary Journal of Problem-Based Learning*, 7(2), based.
- Pernaa, J. (2013). Kehittämistutkimus tutkimusmenetelmänä. *Teoksessa Kehittämistutkimus*,
- Perrenet, J. C., Bouhuijs, P. A. J., & Smits, J. G. M. M. (2000). The suitability of problem-based learning for engineering education: Theory and practice. *Teaching in Higher Education*, 5(3), 345-358.
- PlasticsEurope. (2015). plastics - the facts 2015: An analysis of european plastics production, demand and waste data.

- Poikela, E., & Poikela, S. (2005). Ongelmaperustainen opetussuunnitelma. *Ongelmista Oppimisen Iloa*, , 27.
- Redclift, M. (2005). Sustainable development (1987–2005): An oxymoron comes of age. *Sustainable Development*, 13(4), 212-227.
- Roman, H. T. (2013). PLASTIC drill bits. *Technology & Engineering Teacher*, 73(3), 31-32.
- Roy, A., Kihoza, P., Suhonen, J., Vesisenaho, M., & Tukiainen, M. (2014). Promoting proper education for sustainability: An exploratory study of ICT enhanced problem based learning in a developing country. *International Journal of Education and Development using Information and Communication Technology*, 10(1), 70.
- Sánchez-Soto, M., Rossa, A., Sánchez, A., & Gámez-Pérez, J. (2008). Blends of HDPE wastes: Study of the properties. *Waste Management*, 28(12), 2565-2573.
- Schmidt, H. G. (1983). Problem-based learning: Rationale and description. *Medical Education*, 17(1), 11-16
- Siracusa, V., Rocculi, P., Romani, S., & Dalla Rosa, M. (2008). Biodegradable polymers for food packaging: A review. *Trends in Food Science & Technology*, 19(12), 634-643.
- Song, J. H., Murphy, R. J., Narayan, R., & Davies, G. B. (2009). Biodegradable and compostable alternatives to conventional plastics. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological Sciences*, 364(1526), 2127-2139.

- Strobel, J., & Van Barneveld, A. (2009). When is PBL more effective? A meta-synthesis of meta-analyses comparing PBL to conventional classrooms. *Interdisciplinary Journal of Problem-Based Learning*, 3(1), 4.
- Subramanian, P. M. (2000). Plastics recycling and waste management in the US. *Resources, Conservation and Recycling*, 28(3–4), 253-263.
- Tamburini, F., Kelly, T., Weerapana, E., & Byers, J. A. (2014). Paper to plastics: An interdisciplinary summer outreach project in sustainability. *Journal of Chemical Education*, 91(10), 1574-1579.
- Thompson, R. C., Moore, C. J., vom Saal, F. S., & Swan, S. H. (2009). Plastics, the environment and human health: Current consensus and future trends. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London B: Biological Sciences*, 364(1526), 2153-2166.
- Tuomi, J. & Sarajärvi, A (2009). *Laadullinen tutkimus ja sisällönanalyysi*. Helsinki: Tammi.
- Uitto, A., Juuti, K., Lavonen, J., Byman, R., & Meisalo, V. (2011). Secondary school students' interests, attitudes and values concerning school science related to environmental issues in finland. *Environmental Education Research*, 17(2), 167-186.
- Uusikylä, K. & Atjonen, P. (2005). *Didaktiikan perusteet*. Helsinki: WSOY.
- Valtioneuvosto (2014). Valtioneuvoston asetus pakkauksista ja pakkausjätteistä. Helsinki 3.7.2014.
- Vasconcelos, C. (2012). Teaching environmental education through PBL: Evaluation of a teaching intervention program. *Research in Science Education*, 42(2), 219-232.

- Wang, F., & Hannafin, M. (2005). Design-based research and technology-enhanced learning environments. *Educational Technology Research and Development*, 53(4), 5-23.
- Waters, R., & McCracken, M. (1997). Assessment and evaluation in problem-based learning. Paper presented at the *Frontiers in Education Conference, 1997. 27th Annual Conference. Teaching and Learning in an Era of Change. Proceedings.* , 2 689-693.
- Wood, D. F. (2003). Problem based learning. *Bmj*, 326(7384), 328-330.
- Ympäristövaliokunta. (2010). Ympäristövaliokunnan mietintö. Hallituksen esitys jätelaiksi ja eräiksi siihen liittyviksi laeiksi. Helsinki.
- Yanniris, C. (2015). 20 years of environmental education centers in greece: Teachers' perceptions and future challenges. *Applied Environmental Education & Communication*, 14(3), 149-166.
- Zhang, M., June, S. M., & Long, T. E. (2012). 5.02 - principles of step-growth polymerization (polycondensation and polyaddition). In K. M. Möller (Ed.), *Polymer science: A comprehensive reference* (pp. 7-47). Amsterdam: Elsevier.

Liitteet

Liite 1: Tarveanalyysissä tutkitut oppikirjat

LUKIO:

A1: Kaila L., Meriläinen P., Ojala P., Pihko P., Salo K. 2005. Lukion kemia - Reaktio 1, Ihmisen ja elinympäristön kemia. Helsinki: Tammi

A2: Kaila L., Meriläinen P., Ojala P., Pihko P. 2012. Lukion kemia - Reaktio 2, Kemian mikromaailma. Helsinki: Sanoma Pro Oy

A3: Kaila L., Meriläinen P., Ojala P., Pihko P. 2012. Lukion kemia - Reaktio 3, Reaktiot ja energia. Helsinki: Sanoma Pro Oy

A4: Kaila L., Meriläinen P., Ojala P., Pihko P. 2012. Lukion kemia - Reaktio 4, Metallit ja materiaalit. Helsinki: Sanoma Pro Oy

B1: Lehtiniemi K., Turpeenoja L. 2009. MOOLI 1 – Ihmisen ja elinympäristön kemia. Helsinki: Otava

B2: Lehtiniemi K., Turpeenoja L. 2005. MOOLI 2 – Kemian mikromaailma. Helsinki: Otava

B3: Lehtiniemi K., Turpeenoja L. 2005. MOOLI 3 – Reaktiot ja energia. Helsinki: Otava

B4: Lehtiniemi K., Turpeenoja L. 2006. MOOLI 4 – Metallit ja materiaalit. Helsinki: Otava

B5: Lehtiniemi K., Turpeenoja L. 2006. MOOLI 5 – Reaktiot ja tasapaino. Helsinki: Otava

C1: Lampiselkä J., Sorjonen T., Vakkilainen K-M., Aroluoma I., Kanerva K., Karkela L., Mäkelä R. 2004. Kemisti 1 – Ihmisen ja elinympäristön kemia, KE1. Helsinki: WSOY.

C2: Lampiselkä J., Sorjonen T., Vakkilainen K-M., Aroluoma I., Kanerva K., Karkela L., Mäkelä R. 2004. Kemisti 2 – Kemian mikromaailma. Helsinki: WSOY.

C3: Aroluoma I., Kanerva K., Karkela L., Lampiselkä J., Mäkelä R., Sorjonen T., Vakkilainen K-M., 2005. Kemisti 3 – Reaktiot ja energia. Helsinki: WSOY.

C4: Aroluoma I., Kanerva K., Karkela L., Lampiselkä J., Mäkelä R., Sorjonen T., Vakkilainen K-M., 2006. Kemisti 4 – Metallit ja materiaalit. Helsinki: WSOY.

C5: Aroluoma I., Kanerva K., Karkela L., Lampiselkä J., Mäkelä R., Sorjonen T., Vakkilainen K-M., 2007. Kemisti 5 – Reaktio ja tasapaino. Helsinki: WSOY.

YLÄKOULU:

D1:Aspholm S., Hirvonen H., Hongisto J., Lavonen J., Penttilä A., Saari H., Viiri J. 2008.
Aine ja energia – Kemian tietokirja. Helsinki: WSOY.

Liite 2: Tarveanalyysissä löydetty maininnat

Taulukko 1: Lukion oppikirjoista löydetty maininnat

Lähde	Mitä sanotaan	Sijainti	Asian yhteys
A1	Miten ratkaistaan muovien kierrätys ja jätteiden sijoitus?	Lisätieto	Muovien kierrätys
A2	-		
A3	muoviteollisuus – muoviraaka-aineiden valmistus ja kierrätys	Lisätieto	Kemia yhteiskunnassa
A4	Polymaitohappo on biohajoava polymeeri, joka hajoaa luonnossa mikro-organismien vaikutuksesta maitohapoksi	Kuvateksti	Biohajoavat muovit, polyamidit
	Muovien haurastuminen ajan myötä johtuu usein pehmittimien ja stabilaattorien häviämisestä	Lisätieto	Kestävä kehitys
	Kertamuovia ei voida muovata uudelleen ilman rakenteen hajoamista. Kestomuovia voidaan sulattaa ja muovata useita kertoja ilman rakenteen hajoamista. Kestomuoveja voidaan kierrättää.	Leipäteksti	Kerta- ja kestopuuvit
	Kierrätyskelvokseen muovipakkaukseen on merkitty muovilaatu näkyviin kierrätyksen ja hävittämisen helpottamiseksi	Kuvateksti	Muovien kierrätys
	Muovipakkauksissa on kierrätysmerkki. Siitä ilmenee muovilaadun numero ja lyhenne. PET on kestopuuvia, jota voidaan kierrättää myös kemiallisesti eli hydrolysoida monomeereiksi ja polymeroida uudelleen.	Kuvateksti	Muovien kierrätys, kemiallinen kierrätys

	Suomessa syntyy eri muoveja ja muovituotteita jätteeksi yhteensä yli 160 000 tonnia vuodessa. Noin puolet tästä jätteestä koostuu pakkausmuoveista. Muovijätteet ovat ympäristön kannalta ongelmallisia, koska niitä syntyy paljon ja ne hajoavat hitaasti. Lähes kaikkia kestopuoveja voidaan periaatteessa kierrättää, mutta kierrätettävyyttä haittaavat muovilaatujen runsaudesta johtuva lajittelun vaikeus ja muovijätteen likaisuus. Tavalliset pakkausmuovit LDPE, HDPE ja PP voidaan polttaa energijätteenä ilman, että muovista syntyy haitallisia aineita. Polton on tapahduttava riittävän korkeassa lämpötilassa (yli 300 C), jolloin ne palavat hiilidioksidiksi ja vedeksi. PVC on polttoon sopimaton, koska sen palaessa vapautuu vetykloridihappoa. Tämän takia PVC:tä ei juurikaan käytetä pakkausmuovina. O-Merkitty muovi on yleensä muoviseosta, joka on parasta jättää polttamatta. Myöskään aromaattisia PS- ja PET-muoveja ei suositella kotitalouksissa poltettavaksi, koska bentseeni renkaan täydellinen palaminen vaatii hyvin korkean lämpötilan. Epätäydellinen palaminen tuottaa haitallisia nokihiukkasia ja myrkyllisiä polyaromaattisia hiilivetyjä. Miksi polyeteeni (PE) ja polypropeeni (PP) voidaan hävittää polttamalla, mutta polyvinyylikloridia (PVC) ei? 1980-luvulta lähtien on tutkittu, miten biohajoavia polymeerejä voidaan valmistaa bakteerien avulla. Luonnosta on löydetty bakteeri, joka hajottaa glukoosia 3-hydroksibutaanihakoksi ja polymeroi sen edelleen energiavarastokseen. Polymeeri soveltuu mm. maatuviin pakkausten ja kertakäyttöastioiden valmistamiseen, mutta sen hinta ei ole vielä kilpailukykyinen perinteisiin pakkausmateriaaleihin verrattuna. (T. 103.)	Leipäteksti Leipäteksti Kertaustehtävä Tehtävä	Muovien kierrätys, muovijäte, muovien haitat Energiantuotanto, muovien haitat Energiantuotanto Biohajoavat muovit
--	---	--	---

	Biohajoavan muovikassin materiaali on yleensä tärkkelyksen ja biohajoavan polyesterin, kuten polymaitohapon (PLA) tai polyglykolihapon (PGA), seos. Selitä polymeeriketjun rakenteen avulla, miksi b) molemmat polyeteenilaadut voidaan hävittää kotitaluksissa polttamalla kuumassa hiilloksessa, mutta polystyreeniä (PS) ei suositella poltettavaksi. (T. 123.)	Tehtävä	Biohajoavat muovit
		Tehtävä	Energiantuotanto
A5	-	-	-
B1	-	-	-
B2	-	-	-
B3	Polystyreenistä valmistetut tuotteet palavat hyvin nokeavalla liekillä, jolloin vapautuu PAH-yhdisteitä, joten niitä ei saa polttaa kotitalousjätteiden kanssa.	Kuvateksti	Energiantuotanto, muovien haitat
B4	Auton kierrätysmateriaaleista valmistetaan nykyisin monia tuotteita Koska kestopuoveja voidaan työstää uudelleen, ne sopivat myös kierrätykseen ja niiden käyttö tukee siten kestävä kehitystä. Kertamuoveja ei sen sijaan voida muokata uudelleen, sillä niiden kemiallinen rakenne hajoaa kuumennettaessa. Tällaiset muovit joudutaankin hävittämään usein polttamalla. Tuotteissa on usein merkinnät, joiden avulla kuluttaja ohjataan kierrättämään, lajittelemaan tai hävittämään polymeerit oikein. Muovituotteiden merkinnöistä selviää, mistä muovista tuotteet on valmistettu. Merkinnät ohjaavat muovituotteen hävityksessä tai kierrätyksessä. Tutki yhden päivän aikana, mitä muovituotteita käytät. Mitä muovilaatua käytit eniten? Miten tämä muovi voidaan hävittää? (T. 133.)	Kuvateksti, kuvassa muoviosien kierrätystä Leipäteksti Leipäteksti Kuvateksti Tehtävä	Muovien kierrätys Kerta- ja kestopuovit Muovien kierrätys Muovien kierrätys Muovien kierrätys, muovit

	Kemian tutkijoiden ja tuotekehittelijöiden on otettava huomioon yhä useammin kestävän kehityksen periaatteet. Synteettisiä muoveja ja muita polymeerikemian sovelluksia pidetään yhtenä suurimmista luonnon kuormittajista, sillä muovituotteet eivät hajoa luonnossa tai niiden hävittäminen esimerkiksi polttamalla tuottaa ilmakehän koostumusta haitallisesti muuttavia aineita. Materiaalitekniikan kehityksen avulla on kuitenkin pystytty tuottamaan uusia, synteettisiä, luonnossa hajoavia eli ns. biohajoavia polymeerejä. Näiden mekaaniset ja työstöominaisuudet vastaavat markkinoilla olevien muovien ominaisuuksia, ja ne on saatu hajoamaan luonnossa yleensä noin kahden vuoden sisällä. Yksi edistysaskel tässä kehitystyössä on kontrolloida muovin hajoamisnopeutta muuttamalla polymeerin rakennetta molekyylitasolla.	Lisätieto Lisätieto	Kestävä kehitys, muovien haitat Biohajoavat muovit
B5	-	-	-
C1	-	-	-
C2	-	-	-
C3	Virvoitusjuomapullojen materiaali, PET, on polyeteenitereftalaattia, etyleeniglykolin ja tereftalaattihapon esterä. Pullot voidaan kierrättää pestynä sellaisenaan, mutta muutaman käyttökerran jälkeen ne hajotetaan takaisin hapoksi ja alkoholiksi ja polymeroidaan uudestaan.	Kuvateksti	Muovien kierrätys, kemiallinen kierrätys, esterit
C4	Muoveja voidaan lujittaa myös luonnonkuiduilla, jolloin niiden lujuus ja jäykkyys paranevat ja tuotanto ja käyttö ovat ympäristöystävällisempiä. Kertamuoveja ei voida muokata uudelleen kemiallisen rakenteen hajoamatta, mutta kestopuoveja voidaan sulattaa moneen kertaan ja muokata uudelleen.	Lisätieto Leipäteksti	Kestävä kehitys Kerta- ja kestopuovut

	Muovien monikäyttöisyys tuottaa paljon jätettä, jota aiemmin pidettiin ympäristö ongelmana, mutta tulevaisuudessa yhä enenevästi raaka-ainevarastona. Muovijäte ei ole sellaisenaan ympäristölle haitallista, sillä se ei yleensä hajoa eikä siitä liukene haitallisia aineita. Kaatopaikkojen täyttyminen hitaasti hajoavasta jätteestä ja käyttökelpoisen raaka-aineen poistuminen kierrosta on epätaloudellista. Vuonna 2001 Euroopassa valmistettiin 36 miljoonaa tonnia muovia, josta kierrätykseen päätyi 1,6 miljoonaa tonnia ja energian tuotantoon tai muuhun käyttöön 12 miljoonaa tonnia. Muovijätteen osuus on alle 10% Suomen kokonaisjättemäärästä.	Leipäteksti	Kestävä kehitys, muovijäte
	Syntyvän jätteen uusiokäyttö on hankalaa, sillä lajitelmaton jäte ei sovellu vaativimpiin käyttökohteisiin, ja keräily- ja kuljetuskustannukset lisäävät uusiomateriaalin hintaa. Muovien kierrätyksen järjestämisessä on ongelmana myös eri laatujen tunnistaminen lukemattomista tuotemerkeistä. Uusiomuovit tehdään suurimmalta on PE-jätteestä, mutta myös PA, PP ja PS sekä muut kestumuovit soveltuvat kierrätykseen.	Leipäteksti	Muovien kierrätys
	Jätemuovirouheesta tehdään mm. lapsille hiekkalaatikoita	Kuvateksti	Muovien kierrätys
	Sekamuoveista voidaan tehdä uusia tuotteita vain lämpöpuristamalla. Jonkin verran on kokeiltu myös muovien hajottamista kokonaan monomeereiksi, jotka voidaan polymeroida uudelleen tai käyttää muuten teollisuuden raaka-aineena. Muovien tuotannossa syntyvä jäte sen sijaan on puhdasta, ja se kierrätetään useimmissa tapauksissa takaisin prosessiin. Myös muovituotteita valmistavat yritykset kierrättävät muoviraaka-aineensa tehokkaasti.	Leipäteksti	Muovien kierrätys, mekaaninen kierrätys, kemiallinen kierrätys
	Muovien hajoaminen kaatopaikoilla ja luonnossa on hidasta. Mikrobit ja muut hajottajat eivät pysty pilkkomaan synteettisiä polymeerejä läheskään yhtä hyvin kuin luonnon omia polymeerejä.	Leipäteksti	Muovien hajoaminen, muovien haitat

	Kokonaan biohajoavia muoveja valmistetaan maitohappomonomeereista ja maissitärkkelyksestä. Ensimmäinen biohajoava muovi oli soijan proteiineista eristetyistä glutamiinihaposta valmistettu polyglutaminihappo PGA. Uusimpia biohajoavia tuotteita ovat tärkkelysasetaatit, jotka hajoavat varsin nopeasti luonnossa hiilidioksidiksi ja vedeksi.	Leipäteksti	Biohajoavat muovit
	Muovijätteen hajottaminen polttamalla on yleistymässä, mutta mitä tahansa muovia ei pidä polttaa kotioiloissa. Suurissa polttolaitoksissa palamisoloja voidaan valvoa ja säädellä siten, että palaminen tapahtuu täydellisesti ja mahdolliset haitalliset palamistuotteet voidaan poistaa savukaasuista.	Leipäteksti	Energiantuotanto
	Mieti, miksi muovin kierrätys ei ole vielä yhtä hyvin järjestetty, kuin esimerkiksi paperin ja lasin keräys. Etsi jätemuoville erilaisia käyttötapoja. Mieti eri vaihtoehtojen hyviä ja huonoja puolia. (T. 84)	Tehtävä	Muovin kierrätys
	Pohdi, miten ulkoiset olot vaikuttavat muovien hajoamiseen. Missä muovi hajoaa parhaiten, valossa, vedessä, maan pinnalla, maahan haudattuna ja jne.? Onko eri muovilaaduilla eroja? Mitä reaktioita hajoamisessa voi tapahtua? (T. 85.)	Tehtävä	Muovien hajoaminen
	Elinkaarianalyysi Työn tarkoituksena on selvittää jonkin tuotteen aiheuttamia ympäristövaikutuksia	Tehtävä	Kestävä kehitys
C5	-	-	-

Taulukko2 : Yläkoulun oppikirjasta löydetty maininnat

D1	Erään tutkimuksen mukaan muoviastia aiheuttaa vähemmän ilmansaasteita kuin lasiastian valmistuksessa ja takaisinkuljetuksessa syntyy. Muoviastia kilpailee kuitenkin lasiastian kanssa tasavertaisesti myös ympäristöasioissa.	Leipäteksti	Kestävä kehitys
	Mainitse ainakin kolme syytä siihen, että lasipakkaus on korvattu muovipakkauksilla. (T. 2.)	Tehtävä	Kestävä kehitys
	Muovien erottaminen toisistaan on vaikeaa. Muovituotteet pyritään merkitsemään, jotta niiden uudelleenkäyttö, korjaaminen, liimaaminen ja hävittäminen olisi helpompaa. Muovituotteet paras hävittämistapa käytön jälkeen olisi kierrätys. Tämä tarkoittaa sitä, että muovin raaka-aine käytettäisiin uudelleen. Uusiomuovia ei voi kuitenkaan loputtomiin kierrättää, koska sen ominaisuudet heikkenevät. Uusiomuovi voidaan vielä sekoittaa uuden raaka-aineen joukkoon ja jatkaa sen käyttöä. Lopulta, kun ominaisuudet heikkenevät edelleen, muovi voidaan polttaa jätteidenpolttolaitoksessa. Muovit sisältävät runsaasti energiaa: yhden muovikilon energiasisältö on sama kuin kilon lämmitysöljyä.	Leipäteksti	Muovien kierrätys, mekaaninen kierrätys, energiantuotanto
	Suomessa ei kotitalouksien muovijätteitä kerätä eikä kierrätetä, mutta teollisuus hyödyntää omassa tuotannossaan syntyviä muovijätteitä.	Leipäteksti	Muovien kierrätys
	Monia muovilatuja, kuten polyeteeniä ja –propeenaa, voi turvallisesti polttaa kotona takassa tai saunan tulipesässä, niiden palamistuotteina syntyy hiilidioksidia ja vettä. Muoveja ei kuitenkaan saa polttaa yksinään, vaan on huolehdittava, että mukana on runsaasti puuta. Polyvinyylidikloridia ei saa polttaa, koska sen palamisessa vapautuu mm. suolahappoa.	Leipäteksti	Energiantuotanto, muovien haitat

	Kompostikäyttöön on kehitetty maatuivia muoveja, jotka hajoavat luonnossa itsestään hiilidioksidiksi ja vedeksi. Jätemuovista voidaan jalostaa uusiomuovia, joka muistuttaa ulkonäöltään puuta. Sitä voidaan käyttää kuten puuta, esimerkiksi laitureiden rakentamiseen. Uusiomuovi ei lahoa vaan kestää hyvin kosteutta ja kemikaaleja eikä sitä tarvitse maalata. Valitsetko kaupan kassa paperikassin vai muovikassin? Perustele valintasi. (T. 6.)	Leipäteksti Kuvateksti Tehtävä	Biohajoavat muovit Muovien kierrätys Kestävä kehitys
--	---	---	---

Liite 3: Kehitetyt ongelmalähtöiset tehtävät

Muovien kierrätys Suomessa

Aloittakaa lukemalla alla oleva artikkeli. Artikkelista käy ilmi, että muoveja valmistetaan suuria määriä vuosittain. Suurinta osaa tästä muovista ei saada hyödynnettyä käytön jälkeen. Suomessa haluamme olla edelläkävijöitä ympäristöasioissa ja teistä kemisteistä on valittu työryhmiä kehittämään ratkaisuja Suomen muovien kierrätykseen. Laatikaa ja esittäkää kehittämänne ratkaisut muille työryhmille.

<http://www.theguardian.com/sustainable-business/2016/jan/20/from-oil-use-to-ocean-pollution-five-facts-about-the-plastics-industry>

1. Valitkaa ryhmänne sisältä puheenjohtaja ja kirjuri. Puheenjohtajan vastuulla on pitää huoli, että keskusteluissa kaikki pääsevät puhumaan ja kaikkien mielipiteet otetaan huomioon. Hän varmistaa myös aikataulussa pysymisen. Kirjuri kirjaa käydyt pohdinnat ylös. Muiden tehtävänä on osallistua aktiivisesti keskusteluihin ja esittää avoimesti omia ajatuksia. Voitte käyttää apuna suunnittelussa oheista taulukkoa tai tehdä muistiinpanot vapaassa muodossa.
2. Käykää tapaus yhdessä läpi ja katsokaa ovatko kaikki termit ja käsitteet tuttuja.
3. Määritelkää saamanne tapauksen ratkaisua vaativat ongelmat.
4. Miettikää syitä ongelmalle. Kaikki ehdotukset tulee kirjata ylös ja pohtia ryhmässä. Pohdinnan perusteella ehdotuksia voidaan hyväksyä jatkoa varten, muokata tai hylätä. Kaikkien tulee rohkeasti esittää omia ehdotuksia.
5. Kehittäkää mahdollisia ratkaisuja edellisen pohdinnan perusteella ja lajitelkaa ne sen mukaan miten uskotte niiden olevan toteutettavissa
6. Miettikää yhdessä mitä teidän tulee tietää ongelmasta, jotta pystytte kehittämään parhaan mahdollisen ratkaisun. Käyttäkää apuna edellisien kohtien pohdintoja.
7. Jakakaa edellisen kohdan yhdessä päätetyt oppimistavoitteet ryhmän kesken. Tämän jälkeen jokainen voi itse lähteä etsimään tietoa sovitusta asiasta. Tiedot tulee olla kerättynä sovittuun oppituntiin mennessä. Lähteinä voi käyttää kirjoja, internetiä tai esimerkiksi asiantuntijoita (henkilöitä jotka työskentelee alalla tai muuten tietävät asiasta).
8. Seuraavan tunnin alussa kokoontukaa takaisin ryhmiin ja käykää yhdessä läpi mitä opitte itseopiskelun aikana. Opitun perusteella miettikää ryhmässä ratkaisu alkuperäiseen ongelmaan. Tehkää ratkaisusta ja sen toteutuksesta esitys.
9. Lopuksi jokainen kirjoittaa lyhyen raportin omasta oppimisprosessistaan ja palauttaa sen opettajalle seuraavaan tuntiin mennessä. Raportissa tulee kuvailla työskentelyn eri vaiheita ja mitä olet oppinut.

Muovit meressä

Aloittakaa lukemalla alla oleva artikkeli, jossa kuvataan muovien aiheuttamia ongelmia merissä. Artikkelissa esitetty ratkaisumahdollisuus on nuoren miehen keksimä. Tämä osoittaa, että nuoret osaavat keksiä luovia tapoja ratkaista ongelmia. Tästä syystä lähemmekin nyt ryhmittäin kehittämään omia ratkaisujamme meressä olevan muovijätteen vähentämiseen. Ratkaisu voi olla minkälaisia tahansa, kunhan mietitte niiden toimivuutta ja toteutustapoja.

http://yle.fi/uutise/maailman_merissa_pyorii_miljoonia_tonneja_muovijatetta_keksijat_talistelevat_jattilaisongelmaa_vastan/8610827

1. Valitkaa ryhmänne sisältä puheenjohtaja ja kirjuri. Puheenjohtajan vastuulla on pitää huoli, että keskusteluissa kaikki pääsevät puhumaan ja kaikkien mielipiteet otetaan huomioon. Hän varmistaa myös aikataulussa pysymisen. Kirjuri kirjaa käydyt pohdinnat ylös. Muiden tehtävänä on osallistua aktiivisesti keskusteluihin ja esittää avoimesti omia ajatuksia.
2. Käykää tapaus yhdessä läpi ja katsokaa ovatko kaikki termit ja käsitteet tuttuja.
3. Määriteltäkää mikä on se ongelma mitä pyritään ratkaisemaan.
4. Miettikää syitä ongelmalle. Kaikki ehdotukset tulee kirjata ylös ja pohtia ryhmässä. Pohdinnan perusteella ehdotuksia voidaan hyväksyä jatkoa varten, muokata tai hylätä. Kaikkien tulee rohkeasti esittää omia ehdotuksia.
5. Kehittäkää mahdollisia ratkaisuja edellisen pohdinnan perusteella ja lajitelkaa ne. Miettikää myös miten ratkaisuja olisi mahdollista toteuttaa.
6. Miettikää yhdessä mitä teidän tulee oppia ongelmaan liittyen, jotta pystytte kehittämään parhaan mahdollisen ratkaisun. Käyttäkää apuna edellisten kohtien pohdintoja.
7. Jakakaa edellisen kohdan yhdessä päätetyt oppimistavoitteet ryhmän kesken. Tämän jälkeen jokainen voi itse lähteä etsimään tietoa sovituista asioista. Tiedot tulee olla kerättynä sovittuun oppituntiin mennessä. Lähteinä voi käyttää kirjoja, internetiä tai esimerkiksi asiantuntijoita (henkilöitä jotka työskentelee alalla tai muuten tietävät asiasta).
8. Kun itseopiskelu on saatu valmiiksi sovittuna ajankohtana, kokoontukaa takaisin ryhmiin ja kertokaa muille ryhmäläisille mitä opitte. Pohtikaa yhdessä heräsikö itseopiskelun aikana lisää kysymyksiä mihin tarvitaan vastauksia, jotta ongelma saadaan ratkaistua. Käykää yhdessä läpi onki vielä jotain mitä pitää opiskella.
9. Kun tarvittava tieto on kasattu, kootkaa kaikki tieto yhteen ja lähtekää rakentamaan lopullista ratkaisuanne. Kun ratkaisu on saatu suunniteltua, laatikaa siitä ja sen toteutuksesta esitys. Olkaa valmiina perustelemaan miten päädyitte kyseiseen ratkaisuun. Kun kaikki ryhmät ovat valmiita, esitellään tuotokset seuraavalla työkerralla.
10. Lopuksi kirjoittakaa lyhyen raportin työskentelystä. Raportissa tulee kuvailla työskentelyn eri vaiheita ja mitä olet oppinut.

Muovien hajoaminen luonnossa

Muovien haitaksi on luettu niiden säilyminen luonnossa. Nykyään on kehitetty biohajoavia muoveja, joiden on tarkoitus hajota muun biomassan mukana vaarattomiksi yhdisteiksi. Teidän tehtävänänne on tutkia erilaisten muovilaatujen hajoamista luonnossa. Suunnitelkaa koejärjestelyt ja toteuttakaa ne.

1. Käykää tehtävänanto huolella läpi ja miettikää mitä käsitteitä siihen liittyy.
2. Pohtikaa mitä ongelmia hajoavuuteen ja hajoamattomuuteen liittyy ja mistä nämä ongelmat voivat johtua.
3. Pohtikaa yhdessä millaisia koejärjestelyitä tiedätte. Pohtikaa ainakin minkälaisia laitteistoja voidaan käyttää, miten tuloksia voi mitata ja verrata keskenään sekä mittakaavaa.
4. Miettikää mitä teidän tulee oppia lisää aiheesta, jotta voitte kehittää toimivan koejärjestelyn.
5. Jakakaa tarvittavat opittavat asiat ryhmän kesken ja kukin lähtee itse etsimään tietoa omasta aiheestaan.
6. Itseopiskelun jälkeen kokoonnutaan ryhmiin ja kukin selittää oppimansa asiat muille ryhmän jäsenille.
7. Kun olette saanut koottua kaiken tarvittavan tiedon, lähtekää kehittämään koejärjestelyitä, joilla on mahdollista testata muovien hajoavuutta luonnossa. Miettikää eri vaihtoehtoja toteutustavoille ja valitkaa mielestänne paras.
8. Kun ryhmä on yhdessä päättänyt ja suunnitellut koejärjestelyt, toteuttakaa ne.
9. Kun koe on suoritettu, kerätkää siitä saadut tulokset ja tehkää johtopäätökset. Mitä kokeesta opittiin? Mihin tätä tietoa voi käyttää? Mitä olisi voinut tehdä toisin?
10. Esitellään koejärjestelyt, tulokset ja johtopäätökset muille ryhmille.
11. Ryhmät tekevät lopuksi yhdessä raportin kokeestaan. Raportissa pitää kuvailla mitä tietoa etsittiin ennen suunnittelua, mitä eri vaihtoehtoja koejärjestelyihin pohdittiin, miten koejärjestelyt toteutettiin, arvio työskentelystä, tulokset ja miten johtopäätöksiin päädyttiin.

Liite 4: Kyselylomakkeen tekstiversio

Kysely: verkkomateriaali muovien kierrättämisestä ongelmalähtöisen oppimisen avulla

Hyvä opettaja,

Tutkin Pro gradussani muovien kierrätystä ongelmalähtöisen oppimisen avulla. Olen kehittänyt verkkomateriaalin ja ongelmalähtöisen oppimisen mukaisia tehtäviä aiheesta. Sivut ja tehtävät opettajien oppaineen löytyvät osoitteesta <https://muovienkierratys.wordpress.com/>. Sivuilta löytyy myös ongelmalähtöisen oppimisen määritelmä.

Olisin kiitollinen, jos kävisitte materiaalin läpi ja vastaisitte kyselyyn. Kysely on avoinna 13.3. asti. Vastaukset käsitellään luottamuksellisesti ja niiden avulla jatkokehitetään oppimateriaalia osana tutkielman kehittämistutkimusta.

Kiitos!

Taustatiedot

Sukupuoli

- ☐ Mies
- ☐ Nainen

Toimin

- ☐ opettajana lukiossa
- ☐ opettajana peruskoulussa
- ☐ opettajana jossain muualla

Olen käyttänyt ongelmalähtöistä oppimista opetuksessani

- ☐ yli 10 kertaa
- ☐ 5-9 kertaa
- ☐ 1-4 kertaa
- ☐ en koskaan

Mitä aiheita olet opettanut ongelmalähtöisen oppimisen avulla?

Ongelmalähtöinen oppimateriaali

Arvioi materiaalit osiosta löytävää ongelmalähtöisen oppimisen mukaista oppimateriaalia ja opettajien oppaita asteikolla 1=täysin eri mieltä, 2= jokseenkin eri mieltä, 3=en osaa sanoa, 4=jokseenkin samaa mieltä, 5=täysin samaa mieltä

	1	2	3	4	5
1. Oppimateriaali on ongelmalähtöisen oppimisen mukainen	☐	☐	☐	☐	☐
2. Oppimateriaali soveltuu muovien kemian opettamiseen	☐	☐	☐	☐	☐
3. Oppimateriaali soveltuu muovien kierrätyksen opettamiseen	☐	☐	☐	☐	☐
4. Oppimateriaali soveltuu kestävän kehityksen opettamiseen	☐	☐	☐	☐	☐
5. Tehtävänannot olivat selkeitä	☐	☐	☐	☐	☐
6. Tehtävänannot olivat tarpeeksi avoimia	☐	☐	☐	☐	☐
7. Tehtävänannot on mahdollista liittää oppilaiden arkeen	☐	☐	☐	☐	☐
8. Tehtävien ongelmat on mahdollista ratkaista usealla eri tavalla	☐	☐	☐	☐	☐
9. Opettajan oppaat olivat selkeät	☐	☐	☐	☐	☐
10. Opettajien oppaiden avulla on mahdollista käyttää tehtäviä opetuksessa, vaikka ongelmalähtöinen oppiminen ei olisi tuttua	☐	☐	☐	☐	☐
11. Ongelmalähtöinen oppiminen soveltuu muovien ja muovien kierrätyksen opettamiseen	☐	☐	☐	☐	☐
12. Voisin käyttää tehtäviä omassa opetuksessani	☐	☐	☐	☐	☐

Perustelut kohdalle 12

13. Miten kehittäisit ongelmalähtöisen oppimisen mukaisia tehtäviä?

14. Miten kehittäisit opettajan oppaita?

15. Vapaita kommentteja tehtävistä ja ongelmalähtöisestä?

Verkkomateriaali

Arvioi verkkomateriaalia asteikolla 1=täysin eri mieltä, 2= jokseenkin eri mieltä, 3=en osaa sanoa, 4=jokseenkin samaa mieltä, 5=täysin samaa mieltä

	1	2	3	4	5
16. Verkkomateriaalin ulkoasu on selkeä	☐	☐	☐	☐	☐
17. Verkkomateriaali on helppo käyttää	☐	☐	☐	☐	☐
18. Verkkomateriaali tukee sivuilta löytyviä ongelmalähtöisen oppimisen mukaisia tehtäviä	☐	☐	☐	☐	☐
19. Verkkomateriaali ei anna suoria vastauksia tehtäviin	☐	☐	☐	☐	☐
20. Verkkomateriaali soveltuu muovien opetukseen	☐	☐	☐	☐	☐
21. Verkkomateriaali soveltuu muovien kierrätyksen opetukseen	☐	☐	☐	☐	☐
22. Lähteitä ja lisälukemista osio auttaa oppilaita tiedonhaussa	☐	☐	☐	☐	☐
23. Voisin käyttää verkkomateriaalia opetuksessani	☐	☐	☐	☐	☐
24. Miten kehittäisit verkkomateriaalia?					

25. Muita kommentteja?

Tietojen lähetys

Kiitos vastauksestasi!

Liite 5: Kyselylomakkeen avointen kysymysten vastaukset ja sisällönanalyysi

12. Perustelut tehtävien soveltuvuudesta vastaajien omaan opetukseen.

Vastaaja	Vastaus	Alaluokka
1	Voisin poimia sivuilta jotain tai näyttää kalvoina mutta tekstiä on aivan liikaa ja sivut ovat liian tylsän näköisiä. Muoveja on hauskeempaa opettaa valmistamalla itse biohajoavia muovinäytteitä oppilastyönä.	Soveltaen, mutta opettaa mieluummin aiheen kokeellisesti. Ulkoasua vaatii kohennusta.
2	Koulutan muovialan näyttötutkintoja ja osana muovimateriaalitietoutta tätä voisi hyvin käyttää hyödyksi	Mahdollista käyttää muovimateriaaliteollisuuden opettamiseen
3	Johdannot ja nettiosuus pitää ehdottomasti tarkistaa faktojen ja termien osalta. Se ei ole vielä käyttövalmis.	Materiaali vaatii tarkistusta ennen käyttöä
4	Ks. edellä.	-
6	En oikein saanut selvää, mikä materiaali oli oppilaalle ja mikä opettajalle. Tästä ei käy ilmi, onko tarkoitettu peruskouluun vai lukioon. Ei sovellu sellaisenaan kumpaankaan. Tekstit ovat joko liian vaikeita tai liian helppoja. Joka tapauksessa ne ovat liian laajoja.	Kohderyhmän tarkistus
7	Voisin hyvin kokeilla materiaalin käyttöä, sillä materiaali vaikutti selkeältä ja toimivalta.	Voisi kokeilla
8	Peruskoululaisille hieman haastavaa, mutta käyttää voisi soveltavin osin.	Soveltaen
9	Mikäli aikataulu sallii kyseisen työskentelyn heterogeenisissä ryhmissä.	Aikataulun salliessa

13. Miten kehittäisit ongelmalähtöisen oppimisen mukaisia tehtäviä?

Vastaaja	Vastaus	Alaluokka
1	-	-
2	Tehtävät tulee liittää mahdollisimman lähelle omaa arkea.	Lähemmäs arkielämää
3	Muoviteollisuuden Muovi-ilmiö -mallin mukaan	Muoviteollisuuden Muovi-ilmiö-mallin mukaiseksi
4	Asioiden pitää perustua niin hyvin tosiasioihin kuin vain on mahdollista. Nyt oppimismateriaalissa on minusta hieman puutteita.	Materiaalin tieto-osa tulee tarkastaa
6	Selkeyttäisin ja rajaisin	Selkeyttä ja rajausta

7	Vielä yksinkertaisemmat ja lyhyemmät ohjeet. Kuvia lisää.	Selkeyttä, rajausta ja lisää kuvia
8	-	-
9	-	-

14. Miten kehittäisit opettajan oppaita?

Vastaaja	Vastaus	Alaluokka
1	-	-
2	-	-
3	-	-
4	Opettajat pitää myös "ajantasaistaa! muovien käytön/kierrätyksen/ympäristöystävällisyyden suhteen.	Opettajille lisää ajantasaista tietoa asiasta
6	Niiden pitää olla opettajan oppaita eikä vain oppilaiden toimintaohjeiden toisinto. Nyt en jaksanut edes lukea kaikkia vaiheita. Aivan liian monimutkaista ja vaatii liikaa aikaa. Huom! Käytössä on max 75 min tai 90 minuuttia tällaiselle asialle.	Oppaat olivat liian lähellä oppilaiden toimintaohjeita. Työt näyttivät vievän liikaa aikaa ja olevan liian monimutkaisia käytössä olevaan aikaan nähden.
7	Lisää materiaalia ja tehtäviä. Myös kuvia ja videoita olisi hyvä olla.	Lisää materiaalia
8	-	-
9	-	-

15. Vapaita kommentteja tehtävistä ja ongelmalähtöisestä oppimisesta

Vastaaja	Vastaus	Alaluokka
1	Sivu on niin tylsän näköinen ja täynnä tekstiä että en jaksakaan millään lukea materiaalia. Materiaali vaikuttaa asialliselta ja hyvältä mutta kun olen tänä vuonna jo ehtinyt opettaa aiheen muovit niin en jaksakaan enää lukea loputtomalta tuntuvaa sivustoa. Vähemmän tekstiä ja enemmän kuvia tai vaikka videoleikkeitä toimisi paljon paremmin.	Ulkoasu vaatii parannusta, mutta sisältö vaikuttaa sopivalta
2	-	-
3	-	-
4	-	-

6	Ongelma tulee olla perusopetuksessa helpommin määriteltävissä. Lukiolaisetkaan eivät välttämättä osaa kaivaa oleellista näin laajasta materiaalista.	Ongelmat liian haastavia peruskouluun ja mahdollisesti myös lukioon
7	-	-
8	Ihan näppärältä vaikutti.	Materiaali vähintään kelvollista
9	-	-

24. Miten kehittäisit verkkomateriaalia?

Vastaaja	Vastaus	Alaluokka
1	Lisäisin kuvia, suurentaisin fonttia, laittaisin osan tekstistä tekstiruutuihin tai lisä-linkkien taakse.	Lisää kuvia, isompi fontti ja tekstin lajittelu
2	Verkkomateriaalissa on väärä nimityksiä asioille esim. mekaanisen kierrätyksen kaaviossa " liimaaminen" ja "karaistus" sanat eivät ole oikeita termejä tässä yhteydessä	Sisällön tarkistusta
3	Oikoluku jollain muovialan asiantuntijalla, välttämätön. Sitten tuota voi ottaa käyttöön,	Sisällön tarkistusta
4	Verkkomateriaali on pääosin oikein hyvää, mutta hieman korjattavaa/parannettavaa mielestäni vielä olisi. Tarkentaisin muutamia kohtia ja toisin muutaman asian lisää esille - ne ovat yl. niitä näkökohtia, joita ei muoveista kirjoittaessa tuoda juuri koskaan esille.*	Sisällön tarkistusta
6	Tämä on sekava ja epätasainen sivusto. Välillä liikaa "tieteellisesti " esitettyä, välillä hyvin arkitietoa. Taustamateriaali kertoo polymerointireaktioista, mutta tehtävät ovat ympäristökemiala?	Materiaali johdonmukaisemmaksi
7	-	-
8	Sivun loppuun voisi laittaa viittauksen ylhäällä olevista valikoista.	Sivuilla liikkumisen selkeyttäminen
9	Kuvitusta ja tekstin jakoa alasivuille, koska yhdellä sivulla valtavasti tekstiä.	Lisää kuvia ja tekstin lajittelu

* Yhteystiedot ja tunnistuksen mahdollistavat kohdat poistettu vastauksesta

25. Muita kommentteja

Vastaaja	Vastaus	Alaluokka
1	-	-
2	Jos materiaalia on tarkoitus käyttää peruskoulussa niin asioiden nimitykset ovat liian vaikeita samoin kemialliset kuvat yhdisteistä.	Materiaalin termit liian vaikeita peruskouluun
3	Hyvä idea ja ihailtavan ahkeraa työtä, joka ansaitsee tulla hiotuksi myös sisällöllisesti virheettömäksi.	Materiaali toimivaa, jos se viimeistellään kunnolla
4	Ovatko kohteen nuoret oppilaita, opiskelijoita vai oppijoita?	Kohderyhmän tarkennus
6	Hyvä ajatus, mutta eu sovellu kouluopetukseen tässä muodossa. Paljon korjattavaa.	Materiaali vaatii korjausta
7	-	-
8	-	-
9	Energiantuotannossa sekajätteen poltossa muovit tärkeitä seassa.	Muovien tärkeys sekajätteen poltossa

Liite 6: Sähköpostiviestien palaute

Sähköpostiviesti 1

Ensiksi haluan kiittää tärkeän asian eteenpäinviemisestä kouluihin.

Liittyen sivustolla kohtaan 'Muovien kierrätys ja kaatopaikat' olisi hyvä huomioida nykytilanne Suomessa. Meillä on tapahtunut viimevuosina hyvin paljon muutoksia ja kehitystä ihan laki- ja asetuspohjaisesti. Esimerkiksi tämän vuoden alusta tuli voimaan kielto, että biohajoavaa ja orgaanista jätettä ei saa sijoittaa kaatopaikoille. Sen seurauksena myös muovijätteen kierrätysmahdollisuudet ovat lisääntyneet. Yrityksien muovijätteille on järjestetty 60 terminaalia eri puolella maata Uusiomuovi Oy:n toimesta. Suomeen on tulossa myös 500 ekopistettä kuluttajien muovijätteiden keräystä varten (Näiden piti olla käytössä jo vuoden alusta, mutta toteutus on hieman viivästynyt.) Näin jokainen, joka haluaa muovia kierrättää, voi sen myös tehdä!

Ehdottaisin myös, kun olet näin hyvän sivuston kehittänyt, että sieltä löytyisi tieto kierrätyskelpoisten muovien merkeistä ja merkkien selitykset.

Liittyen Tehtävä-sivustoon ja Muovien kierrätys Suomessa-tehtävään jäin miettimään siinä olevaa linkkiä ja sen konkreettista liittymistä muovien kierrätykseen Suomessa. Mielestäni Suomessa ollaan jo edelläkävijöitä muovien kierrätyksessä. Toki esille nostettu asia, merien roskaaminen, on estettävä ja asia siten äärimmäisen tärkeä. Eli tällä tehtävällä voisi olla toinen otsikko, joka ohjaisi miettimään, miten saastuneet merialueet voitaisiin puhdistaa.

Loppujen lopuksi se on kiinni kuluttajasta itsestä, onko jätemuovi käytön jälkeen hyötykäytössä vai kuormittamassa luontoa!

Me täällä Suomessa olemme menossa hyvään suuntaan muovien kierrätyksen suhteen. Haasteeksi jää, miten asia etenisi myös muualla!

Sähköpostiviesti 2

Tuo ongelmalähtöinen oppimismalli on kiinnostava lähestyminen. Keskeistä siinä minusta on, että ongelman pohjatiedot ovat oikein ja että näkymä on holistinen. Yhden ongelman ratkaisu usein saattaa aiheuttaa uuden ilmiön jossain muualla. Lisäksi se, että realistisia ratkaisuja on ylipäättään olemassa, varmasti motivoi opiskelijoita niitä hakemaan.

Liite 7: Lopullinen oppimateriaali

<https://muovienkierratys.wordpress.com/>

Opettajille-sivun salasana: Mk2016