

MUOVIN KÄYTTÖ RAUDAN PELKISTYKSEEN

Tiivistelmä

Tekijä(t) Kallioniemi, Nadezda	Julkaisun laji Opinnäytetyö, AMK Sivumäärä 21	Valmistumisaika Kevät 2020
Työn nimi Muovin käyttö raudan pelkistykseen		
Tutkinto Insinööri AMK, Prosessi- ja materiaalitekniikka		
Tiivistelmä <p>Terästeollisuus on jatkuvasti kasvava teollisuudenala. Teräksen kysyntä maailmalla on kasvanut infrastruktuurien rakentamisen myötä. Terästeollisuus tuottaa tällä hetkellä suuria määriä hiilidioksidipäästöjä. Raudan valmistukseen on käytetty hiiltä, mutta kiristyvien lainsäädäntöjen myötä vedyn käyttöä pelkistykseen on otettu kokeiluun.</p> <p>Opinnäytetyössä selvitettiin mahdollisuutta raudan pelkistyksessä käytettävän koksen korvaamista muovilla. Työn tarkoitus oli kokeilla käytännössä, onnistuuko pelkistyminen muovilla ja samalla testata tekstiiliin soveltuvuutta pelkistäjämaterialiksi. Muovi- ja tekstiilimateriaalia on runsaasti tarjolla maailmalla. Opinnäytetyön toimeksiantaja on LAB- ammattikorkeakoulu.</p> <p>Teoriaosuudessa käytiin läpi yleisesti raudan valmistusvaiheita ja kierrätyksen kannalta ongelmallisten materiaalien ominaisuuksia. Selvitettiin myös niiden hyödyntäminen raaka-aineena raudan pelkistysprosessissa.</p> <p>Käytännön työn osuudessa testimateriaaleina olivat polyeteeni ja polyesteri sekoitekuidut. Näytteet laitettiin posliiniupokkaisiin rautaoksidin kanssa ja pelkistettiin muhveliuunissa korkeassa lämpötilassa. Tulokseksi tuli rautamuruja, jotka reagoivat magneettiin.</p>		
Asiasanat muovijäte, raudan pelkistys, tekstiilijäte		

Abstract

Author(s) Kallioniemi, Nadezda	Type of publication Bachelor's thesis	Published Spring 2020
	Number of pages 21	
Title of publication Use of plastic as a reducing agent for iron making		
Name of Degree Bachelor's thesis in polymer and fiber technology		
Abstract <p>The steel industry is a constantly growing industry. Global demand for steel has increased with the construction of infrastructure. The steel industry currently emits large amounts of carbon dioxide. Coal has been used to make iron, but with the tightening of legislation, the use of hydrogen for reduction has been experimented.</p> <p>The possibility of replacing coke used in iron reduction with plastic was investigated in this Bachelor's thesis. The purpose of the work was to test in practice whether the reduction with plastic is successful and at the same time to test the suitability of the textile as a reducing material. Plastic and textile materials are abundant in the world. The thesis is commissioned by LAB University of Applied Sciences.</p> <p>In the theoretical part are process of ironmaking and the properties of materials, that are problematic from the recycling point of view, were reviewed. Their utilization as a raw material in the iron reduction process was also investigated.</p> <p>In the practical part, the test materials were polyethylene and polyester blend fibers. The samples were placed in porcelain crucibles with iron oxide and reduced in a muffle furnace at high temperature. The results were iron crumbs that reacted to the magnet.</p>		
Keywords plastic waste, reduction agent, textile waste		

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	1
2	RAUDAN JA TERÄKSEN TUOTANTO.....	2
2.1	Tuotantomäärät maailmalla.....	2
2.2	Tuotanto Suomessa.....	2
2.3	Koksin valmistus.....	3
2.4	Valmistusprosessi.....	3
2.5	Vety pelkistäjänä.....	4
2.6	Muovit pelkistäjänä.....	5
3	MUOVIT.....	6
3.1	Kierrätys.....	6
3.2	PVC.....	6
3.3	Märät ja likaiset materiaalit.....	7
4	KOKEELLINEN OSUUS.....	8
4.1	Materiaalit.....	8
4.1.1	Rautaoksidi.....	8
4.1.2	Polyeteeni-pakkauskääre.....	8
4.1.3	Polyesteri-elastaani-kangas.....	8
4.2	Työn kulku.....	9
5	TULOKSET.....	12
5.1	Polyeteeni-näyte.....	12
5.2	Polyesteri-elastaani-näyte.....	12
5.3	Raudan magneettisyys.....	14
6	YHTEENVETO.....	15
	LÄHTEET.....	16

1 JOHDANTO

Teräksen kysyntä on kasvanut maailmalla vuosittain. Suomessa ollaan siirtymässä kohti fossiilitonta teräksen valmistusta, sillä hiilen ja koksen polttamisesta syntyy suuria hiilidioksidipäästöjä. Kun fossiilista pelkistintä korvataan vedyllä, masuunin lämmitys vaatii runsaasti lisäsähköä. Koska vedyn käytön tarkoitus on tuottaa mahdollisimman ekologisesti rautaa, lisäsähkön on oltava peräisin uusiutuvista lähteistä.

Opinnäytetyön aihe liittyi alun perin Co-creating Sustainable Cities -projektiin, joka toteutettiin 2017 - 2018. Projektin tavoitteina oli rakentaa saniteettitiloja, kouluttaa asukkaita kompostoimaan ja hyödyntämään kompostoituja jätteitä lannoitteina maanviljelyssä Honkunnassa (Ghana). Rustenburgiin ja Hon alueille etsittiin kiertotalousmallin mukaan toimivia ja kestäviä ratkaisuja kierrätykseen ja liiketoimintaan. Rustenburgissa parannetaan sosiaalista vastuullisuutta ja alueen kykyä sopeutumaan luonnon ilmiöihin. Afrikka on yksi alueista, joissa terästeollisuus on suurta ja muovijätteen määrä on korkea. Muovijäte päätyy vesistöihin ja ympäristöön hajoamatta vuosikymmeniä. Projektin aikana tutkin mahdollisia käyttökohteita muovijätteelle ja valitsin terästuotannon, sillä se on iso teollisuuden ala ja se kykenisi hyötykäyttämään muovijätteet.

Tämän työn tavoite on tutkia muovijätteen sopivuutta kivihiilen ja öljyn korvaajaksi raudan pelkistysprosessissa masuunissa. Jätteitä poltetaan energiaksi monessa maassa sähkön tuotantoon. Muovijäte soveltuisi hyvin terästeollisuuteen mahdollistaen näin uusien työpaikkojen syntyä ja sujuvampaa jätehuoltoa.

Tekstiilejä kierrätetään nykyään uusiksi tuotteiksi, mutta edelleen likaiset ja biologisesti pilaantuneet tekstiilit menevät kaatopaikalle, polttoon tai pahimmillaan suoraan luontoa roskaamaan. Myös materiaalisekoitekankaat aiheuttavat ongelmia kierrätyksessä, eikä niitä aina pystytä hyödyntämään muuten kuin energiana.

2 RAUDAN JA TERÄKSEN TUOTANTO

2.1 Tuotantomäärät maailmalla

Teräksen kysyntä on ollut nousussa vuodesta toiseen. Suurin teräksen kuluttajamaa on Kiina, jossa myös valmistetaan suurimmat määrät teräksestä. Koska Kiina valmistaa terästä yli tarpeensa, se vie teräksen hintoja alas markkinoilla muualla maailmassa. Terästä ei kuitenkaan ole kannattavaa kuljettaa pitkälle, sillä logistiikka vie osan tuotosta. (Gostowski 2018.) Kiinassa on kahdenlaisia terästehtaita. Ensimmäiset ovat uusia, päästölainsäädäntöjä noudattavia laitoksia, toiset ovat vanhentuneita ja erittäin paljon ilmaa saastuttavia tehtaita. Euroopassa käytössä olevien päästörajoitusten takia tuotantokustannukset Euroopassa nousevat ja on vaarana, että terästä ostetaan halvimmista maista, jolloin kokonaissaasteet maailmassa vaan lisääntyvät. (Heikkinen & Loukola-Ruskeeniemi 2015, 15.)

Terästä voidaan kierrättää lukemattomia kertoja huonontamatta sen ominaisuuksia. Eri metallit erotellaan magneetin avulla toisistaan ja sulatetaan uudeksi raaka-aineeksi. Maailmalla tuotetaan terästä rautamalmista noin puolet kokonaistuotantomäärästä. Teräksen kysyntä on niin suurta, ettei romumetallia riitä kattamaan sitä kokonaan.

Rakentamisessa käytettävä teräs on valmistettu neitseellisestä raudasta. Erilaisia teräslaatuja on tuhansia, mutta rakennusteollisuus käyttää vain muutamaa niistä. Kierrätysteräksen käytöstä rakennusmateriaaleihin ei ole saatavilla standardeja. Jos rakennuttaja haluaa itse hankkia standardin rakennuksissa käytettävään kierrätysteräkseen, hänen on tutkittava materiaali testauslaboratoriossa. Tutkimus on usein kallista. (Hradil, Talja, Wahlström, Huuhka, Lahdensivu & Pikkuvirta 2014.)

2.2 Tuotanto Suomessa

SSAB valmistaa terästuotteita Suomessa sijaitsevassa tuotantolaitoksessa. Tuotannossa tarvitaan jatkuvasti rautamalmipohjaista terästä, kierrätysteräs ei sovi joka tuotteen valmistukseen. Tulevaisuudessa rautamalmipohjaisen teräksen tarve säilyy. (SSAB 2020.)

Terästeollisuus työllistää monia ihmisiä. Tehtaisiin on sijoitettu paljon pääomaa, joten ne ovat hyvin vakaita työpaikkoja. Teräksen vienti on merkittävä osa Suomen taloudesta, 80% täällä valmistetusta teräksestä menee vientiin joko suoraan, tai esimerkiksi erilaisten koneiden ja laitteiden muodossa. (Heikkinen ym. 2015, 13.)

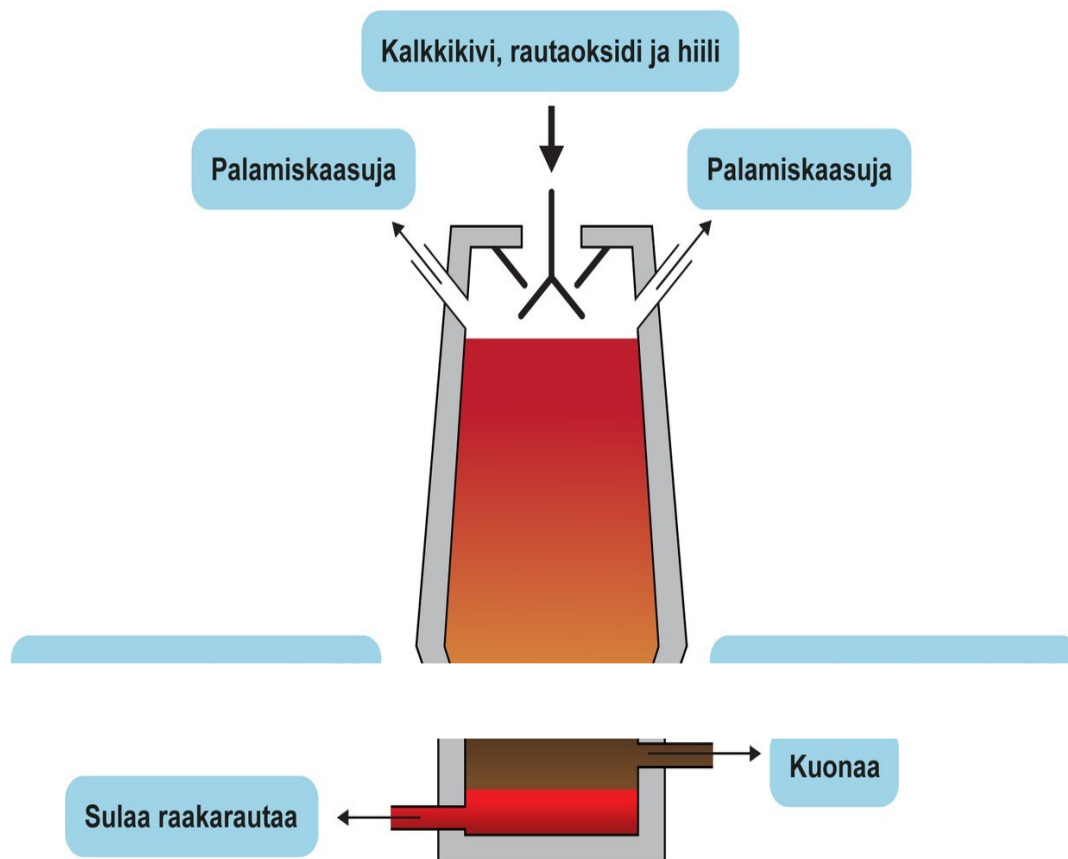
2.3 Koksen valmistus

Koksia valmistetaan kuivatislaamalla hiiltä korkeissa lämpötiloissa. Prosessissa syntyy hiilimonoksidi- ja vetypitoisia koksi- ja masuunikaasuja, joita käytetään hyväkseen teräsvalmistuksen muissa vaiheissa. Esimerkiksi tuotannossa tarvittavaa sähköä pystytään tuottamaan ison osan kaasulla. (Hiilitieto 2020.)

Suomessa masuuneissa käytettävä kivihiili tuodaan Yhdysvalloista, Kanadasta ja Australiasta. Energiavoimaloiden käyttöön tuleva hiili tuodaan pääosin Venäjältä. Useat voimalat ovat kuitenkin luopumassa kivihiilen poltosta energiaksi. Hiilen ominaisuudet, kuten lämpöarvo, vaihtelevat tuotantomaaan mukaan. (Alakangas, E., Hurskainen, M., Laatikainen-Luntama, J. & Korhonen, J. 2016, 171-172.)

2.4 Valmistusprosessi

Raakarautaa valmistetaan pelkistämällä, eli poistamalla hematitista (Fe_2O_3) ja magnetiitista (Fe_3O_4) happiatomit, sekä erottelemalla pois kuonaa muodostavat aineet (kuvio 1.).

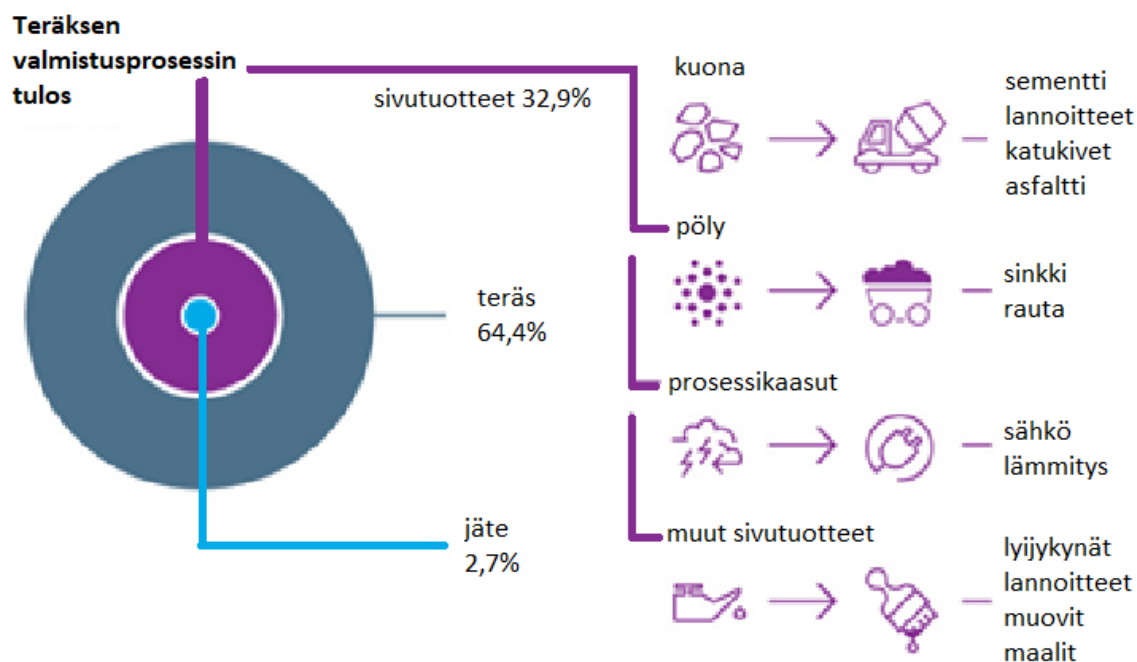


Kuvio 1. Raudan valmistus masuunissa (Männistö 2020).

Raakarautaa kuumennetaan hiilen kanssa, jolloin happiatomit irtoavat ja sitoutuvat hiileen. (Männistö 2020.) Prosessissa syntyy hiilidioksidia, hiilimonoksidia ja hiilivetykaasuja, joita käytetään hyväksi masuunin toiminnassa ja muissa kohteissa (Junna 2018).

Teräksen hiilipitoisuus on alle 2 % ja valuraudan alle 6 % (Kivivuori 2019, 20). Terästä valmistetaan myös kierrätysteräksestä, jolloin hiilidioksidipäästöt ovat alle 10 % rautamalmi-prosessiin verrattuna (SSAB 2020).

Terästuotannossa syntyvät sivutuotteet pystytään hyödyntämään tehokkaasti uusien tuotteiden valmistuksessa (kuvio 2.). Sivutuotteina syntyy kuonaa, pölyä, kaasuja ja muita aineita.



Kuvio 2. Sivutuotteet teräksen valmistuksessa (suomennettu lähteestä World Steel Association 2020).

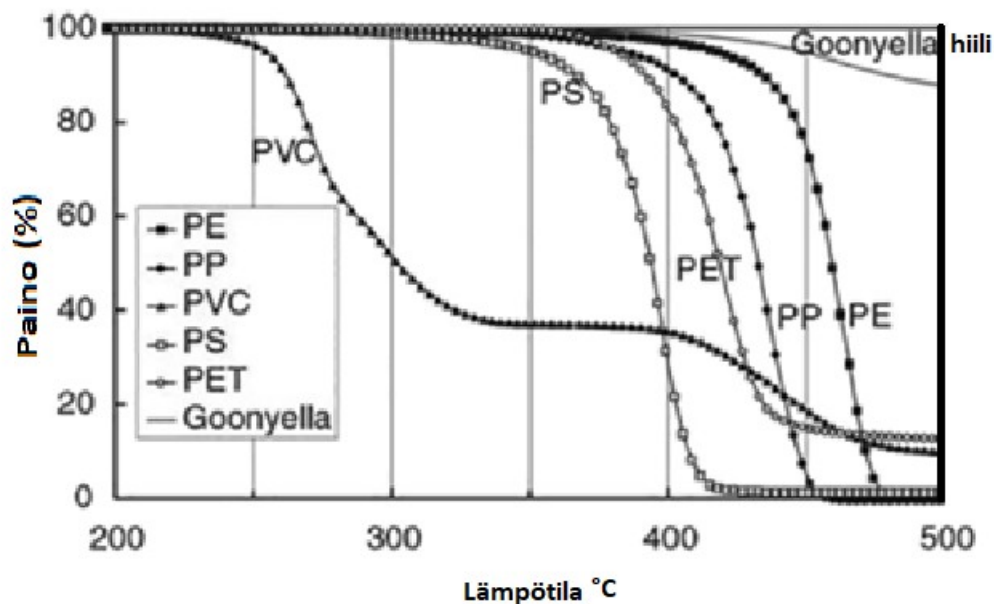
2.5 Vety pelkistäjänä

Jatkuvasti kiristynvä ympäristölainsäädäntö on motivoinut yrityksiä etsimään uusia keinoja vähentämään teollisuuspäästöjä.

Teräsvalmistaja SSAB on päättänyt investoida vedyllä rautaa pelkistävään valmistusprosessiin. Prosessista syntyisi yrityksen mukaan vain vettä ja vesihöyryä. Vetyä valmistetaan vedestä hydrolyysimenetelmällä. Menetelmällä valmistetun teräksen valmistushinta nousisi 20 - 30 % nykyisestä.

Vetypelkistyksellä toimiva masuuni kehittäisi jatkuvasti pelkistinainetta ja olisi riippumaton fossiilisen polttoaineen tuonnista. (Hybrit 2019.)

2.6 Muovit pelkistäjänä



Kuvio 3. Kuvaaja missä ainekset hajoavat lämmön vaikutuksesta. Polyeteeni, polypropeeni, PVC, polystyreeni, polyesteri ja hiili (suomennettu lähteestä Devashayam ym. 2019).

Japani, Itävalta ja Saksa käyttävät muovia biopolttoaineen tuotannossa. Japanilainen te-räsyriety JFE käyttää muovia prosesseissaan. Lämpömuovattavat muovit luovuttavat hel-

posti hiiltä kovissa lämpötiloissa (kuvio 3.). Muovijätettä tarvitaan 1kg jotta saadaan 0,75kg kaksin verran hiiltä. (Devasahayama, Rajub & Hussain 2019.)

3 MUOVIT

3.1 Kierrätys

Suomessa muovin kierrätysaste on korkea. Suomen Uusiomuovi Oy:n mukaan vuonna 2019 kerättyjen pantittomien pakkauksien määrä ylitti 20 000 tonnia. Kun otetaan mukaan myös pantilliset pakkaukset, muovipakkausten kierrätysaste Suomessa on yli 40 %. (Suomen Uusiomuovi 2020) Pantillisia pakkauksia tuotetaan markkinoille Suomessa 13300 tonnia ja kierrätykseen panttijärjestelmän kautta päätyy 12500 tonnia. Panttijärjestelmä on toimiva keino pitää kerättävät muovit tietyssä materiaalissa. Elintarvikekäytössä olevat muovit ovat harvoin likaisia palautuksen yhteydessä, joten ne soveltuvat uusiokäyttöön hyvin. (Stenmarck, Belleza, Fråne, Busch, Larsen & Wahlström 2017, 17 – 18.)

3.2 PVC

Polyvinyylikloridi (PVC) muistuttaa rakenteeltaan polyeteeniä, mutta sisältää reilusti klooria (kuvio 4.). Puhdas PVC kestää huonosti lämpöä ja UV-säteilyä, joten siihen lisätään lisäaineita, jotka lisäävät materiaalin kestävyyttä. Niitä ovat muun muassa lyijy-, barium-, kalsium- tai kadmiumsuolat. Koska puhdas polyvinyylikloridi on jäykkää ainetta, siihen lisätään myös pehmittimiä, jotta saadaan materiaalista pehmeä. Mm. ftalaatteja käytetään pehmittämään PVC:tä. PVC:tä käytetään eniten rakentamisessa ja kodinkoneissa. Materiaalina se on pitkäikäinen. Kun polyvinyylikloridia poltetaan, syntyy suolahappoa ja ras-

kasmetallit jäävät pohja- ja lentotuhkaan. (Euroopan yhteisöjen komissio 2000.)

Wt%	PE	PP	PS	PET	PVC	Waste plastics (packaging)	Pulverised coal	Fuel oil
C	85.6	85.75	92.16	64.71	41.4	77.81	79.6	85.9
H ₂	14.21	14.15	7.63	3.89	5.3	11.99	4.32	10.5
S	–	–	–	–	0.03	0.9	0.97	2.23
Ash	0.19	0.1	0.21	0.17	0.4	4.9	9.03	0.05
Cl	–	–	–	–	47.7	1.4	0.2	0.04
K	–	–	–	–	–	0.05	0.27	0.001
Na	–	–	–	–	–	0.09	0.08	0.001

Kuvio 4. Polttoaineiden kemialliset koostumukset (Devasahayam ym. 2019).

Suomessa PVC jäte menee poltettavaksi sellaisenaan, mutta esimerkiksi Tanskassa PVC jaetaan koviin ja pehmeisiin muovijakeisiin ja kerätään erikseen. (Stenmarck ym. 2017, 20.) Sijoittaessa PVC:tä kaatopaikalle syntyy ympäristömyrkyjä, esimerkiksi polykloorat-
tuja bifenyylejä (PCB -yhdisteet) ja polysyklisiä aromaattisia hiilivetyjä (PAH -yhdisteet)
(Devasahayam ym. 2019).

PVC:tä voidaan käyttää biopolttoaineiden valmistuksessa. Kun palamisreaktion aikana
syntyvä suolahappo neutralisoidaan emäksellä, voidaan hiiliyhdisteet käyttää muun muo-
vin tapaan. Polttamalla tarpeeksi korkeissa lämpötiloissa varmistetaan, ettei palamispro-
sessissa ehdi syntyä luonnolle haitallisia dioksiineja. (Devasahayam ym. 2019.)

3.3 Märät ja likaiset materiaalit

Erittäin likaisen muovimateriaalin hyödyntäminen uusissa tuotteissa ei onnistu nykymene-
telmillä. Fortum on kokeillut pilottihankkeessaan hyödyntää maatalousmuoveja, mutta ke-
räys lopetettiin 12.8.2019. (Fortum 2020.)

Jätemuovit voivat myös sisältää lukuisia vaarallisia aineita kuten antibakteerisia yhdisteitä,
palonsuoja-aineita ja raskasmetalleja. Antimikrobisilla aineilla tutkimuksessa tarkoitetaan

orgaanisia tinayhdisteitä, joita löytyy esimerkiksi suihkuverhoissa estämään homehtumista. (Stenmarck ym. 2017, 63 - 66.)

VTT tutkimuksessa on selvitetty likaisen tekstiilin soveltuvuutta kierrätykseen ja todettu, että teoriassa homeinenkin tekstiili soveltuu erilaisiin pyrolyysissä ja kaasutuksessa syntyvien tuotteiden valmistukseen. Tekstiilien lajittelu puhtaisiin materiaaleihin on kuitenkin vielä haastavaa, koska moni kangas on sekoitemateriaalia. (Kamppuri, Heikkilä, Pitkänen, Saarimäki, Cura, Zitting, Knuutila, Mäkiö, 2019, 34.)

4 KOKEELLINEN OSUUS

4.1 Materiaalit

Koemateriaaleiksi valitsin rautaosaan punaista rautaoksidijauhetta, pelkistäjiksi matalatiheyksinen polyeteeni (PE-LD) ja polyesteri-elastaani kuitusekoitus. Pelkistäjien koko on suuri tässä kokeessa, koska pelkistäjää ei pystytä puhaltamaan pneumaattisesti, niin kuin masuuneissa tapahtuu. Jos pelkistäjää käytettäisiin masuunissa, raekoon olisi hyvä olla parin millimetrin kokoinen tai pellettirakeina, jotta se liikkuu tasaisena virtana kohti sulaa rautaa (Devasahayam ym. 2019).

4.1.1 Rautaoksidi

Käyttämäni rautaoksidi on punaisen värin perusteella rauta(III)oksidia, eli ferrioksidia (Fe_2O_3), ja sillä on paramagneettisia ominaisuuksia, eli se ei reagoi magneettiin mitenkään. Tätä kokeilin vielä magneetilla laboratoriossa.

Tässä kokeessa halusin, että rautaoksidi pelkistyy raudaksi ja saa näin ferromagneettiset ominaisuudet. Rauta on normaalilämpötiloissa ferromagneettinen ja magneetin pitäisi tarttua siihen (Männistö 2020). Tätä ominaisuutta käyttäen voidaan todeta, että rautaoksidi pelkistyi reaktiossa raudaksi.

4.1.2 Polyeteeni-pakkauskääre

Polyeteeniä käytetään laajasti pakkauksissa, muovikasseissa, leluissa ja tavaroissa. Se on lämpömuovattavaa muovia, jota voidaan käyttää tuotteissa useamman kerran. Muovipakkauksissa voi olla lisäksi väriaineita, paperietikettejä, liimaa ja likaa.

Puhtaan polyeteenin kemiallinen rakenne on $(\text{C}_2\text{H}_4)_n$.

PE-LD ominaisuudet:

- sulamispiste: 105 - 115°C
- tiheys: 0,910 - 0,940g/cm³
- palaa hiilidioksidiksi ja vedeksi ilman myrkyllisiä yhdisteitä (Omnexus 2020.)

4.1.3 Polyesteri-elastaani-kangas

Näyte on otettu urheiluhousuista, jotka sisälsivät 96 % polyesteria ja 4 % elastaania. Polyesteria tuotetaan eniten kaikkiin muiden kuitujen nähden maailmalla (Kamppuri ym. 2019, 6). Tutkimuksessa tutkittujen materiaalien joukosta polyesteri sisälsi vähiten hiiltä

(Devasahayam ym. 2019), joten sen kyky pelkistää on heikompi verrattuna samaan määrään esimerkiksi polyeteeniä.

Polyesterin ominaisuuksia:

- käyttölämpötila jatkuva 155°C, lyhyt huippu 200°C
- jäykkä
- hyvä lämmönkesto
- hyvät sähköiset ominaisuudet (Muoviyhdistys 2016)

4.2 Työn kulku

Punnitsin 1g rautaoksidia kumpaankin upokkaaseen ja lisäsin yhteen polyeteenisilppua (kuva 1.), toiseen polyesteri-elastaanisekoitetta (kuva 2.). Pelkistintä oli reilusti, jotta mahdollisimman paljon rautaa pelkistyisi. Masuuneissa ylimääräinen hiili poistetaan mellottamalla (Rantapelkonen 2014), joten tässä kokeessa ei ylimäärästä ole haittaa.



Kuva 1. PE-LD muovi ja rautaoksidi upokkaassa ennen uunia.



Kuva 2. Polyesteri-elastaani sekoitekuitu ja rautaoksidi alla
Työssä käytin Lahden ammattikorkeakoulun laboratorion isompaa muhveliuunia (kuva 3.).
Uunin lämpötilaa sai säädettyä korkeintaan 1200°C asteiseksi. Uuni oli ohjelmoitu nostamaan lämmön ensin 1200°C asteiseksi, pysymään siinä lämpötilassa tunnin ja sitten jäähtymään hitaasti huoneenlämpöiseksi. Laitoin upokkaat näytteineen uunin pinottuina päällekkäin (kuva 4.). On tärkeää antaa näytteiden jäähtyä hitaasti, sillä pelkistysreaktio tapahtuu metallin jäähtyessä. Muhveliuuni jäähtyi 100°C tunnissa, joten ferriitti muuttui 1200°C asteessa austeniittimuotoon ja noin 8 tunnin jäähtymisen aikana muodostui sementtiitti-ferriitti jauheseos. Seuraavana aamuna otin upokkaat pois tarkasteluun.



Kuva 3. Muhveliuunit laboratoriossa.



Kuva 4. Upokkaat uunissa pinottuina

5 TULOKSET

5.1 Polyeteeni-näyte

Polyeteeni pelkisti rautaoksidin ja muodostui ohut levy pinnalle ja tummaa jauhetta pohjalle (kuva 5.). Rikoin levyn pinseteillä ja se mureni helposti rikki. Kaadoin paperiarkille jauheen ja kokeilin magneetilla. Jauheet olivat pelkistyneet magneettisiksi. Kaikki jauhe ei lähtenyt upokkaan pinnalta ja osa kiinnittyi upokkaan seinämille.



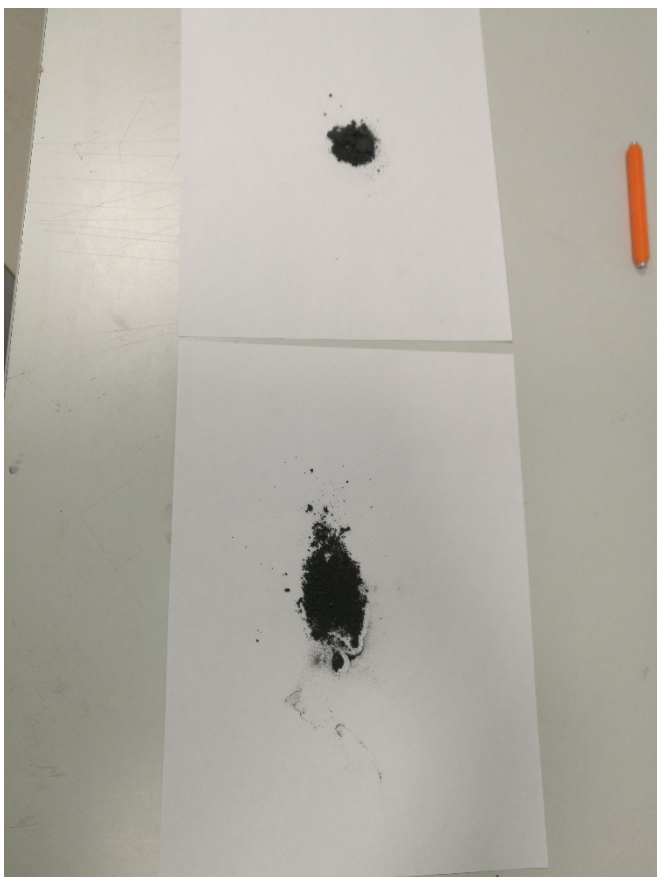
Kuva 5. Polyeteeni on pelkistänyt rautaoksidin (Roininen Timo 2020)

5.2 Polyesteri-elastaani-näyte

Näyte oli irtonainen, seassa vaaleita palamisjäännöksiä elastaanista. Puhdas rauta sulaa vasta 1538°C ylittävässä lämpötilassa, joten tässä ei ollut tarkoitus, että näyte sulaisi pohjalle. Rikoin palamisjäännökset tasaiseksi jauheeksi ja laitoin paperiarkille.



Kuva 6. Polyesterilla pelkistetty rautaoksidi (Roininen Timo 2020)

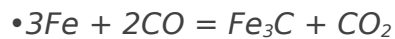
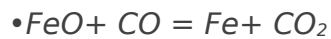
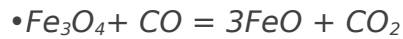
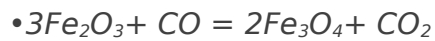


Kuva 7. Rautajauheet paperiarkeilla

5.3 Raudan magneettisyys

Kaadoin papereille upokkaiden sisällöt (kuva 7.) ja kokeilin magneetilla alhaalta liikuttamalla magneettia, voiko rauta tarttua magneettiin. Tarkkaa syntyneen raudan painoa on mahdotonta punnita, koska osa raudasta tarttui upokkaan pintaan, näytteet olivat kevyitä, eikä 500 grammaa painavaa upokasta pysty punnitsemaan laboratorion analyysiväällä. Kirjallisuudessa on kuitenkin maininta, paljonko muovimateriaalia vastaa koksia. 1 kilogramma muovia korvaa 0,75 kilogrammaa hiiltä (Devasahayam ym. 2019). Kaikki jauheet kuitenkin olivat magneettisia, joten tästä voi päätellä, että rautaoksidi pelkistyi raudaksi.

Prosessissa muovin hiili hapettui hiilidioksidiksi ja sitten pelkistyi hiilimonoksidiksi. Hiilimonoksidi pelkisti ferrioksidin ja muodostui ferro-oksidia ja hiilidioksidia. Jos lämpötila olisi ollut suurempi, ferro-oksidi olisi sulanut ja pelkistynyt puhtaaksi raudaksi ja sementiitiksi tämän reaktioyhtälön mukaisesti:



(Nykänen 2004)

6 YHTEENVETO

Työssäni tutkin muovin soveltuvuutta raudan pelkistykseen. Muovijätettä kierrätetään uusiokäyttöön, mutta kaikki materiaali ei siihen sovellu. Jäljelle jäävä muovijäte voisi siten sopia pelkistäjämaterialiksi pelkistysreaktioon masuuneissa. Kaikki muovi ei sovellu myöskään energiaksi polttamiseen, koska poltettaessa lämpötilat ovat pieniä. Korkeat polttolämpötilat estävät haitallisten dioksiinien muodostumisen, jotka normaalissa energiaksi polttamisen yhteydessä syntyisi.

Muoveissa on enemmän vetyä kuin koksissa ja se on eduksi pelkistysprosessissa. Prosessissa syntyvät kaasut nostavat lämpötilaa 100-200 asteella, jolloin lämmityksen tarve vähenee ja siten säästyy lisäsähkön tarve masuuniin.

Koksin ja hiilen korvaaminen muovijätteellä olisi mainio menetelmä toteuttaa varsinkin niissä maissa, joissa muovijätettä ja tekstiilejä on runsaasti, eikä sitä ole mahdollista kierrättää muulla tavalla kuin polttamalla. Hiilen maahantuonti vaatii pitkiä kuljetusmatkoja, joten samalla vähenisi logistiikan aiheuttamat päästöt. Menetelmän käyttäminen loisi todennäköisesti uusia työpaikkoja ja muovijätteen määrä vähenisi.

LÄHTEET

- Alakangas, E., Hurskainen, M., Laatikainen-Luntama, J., Korhonen, J. 2016. Suomessa käytettävien polttoaineiden ominaisuuksia [viitattu 19.5.2020]. Saatavissa: <https://www.vttresearch.com/sites/default/files/pdf/technology/2016/T258.pdf>
- Devasahayama S., Rajub G. B., Hussain C.M. 2019. Utilization and recycling of end of life plastics for sustainable and clean industrial processes including the iron and steel industry [viitattu 3.5.2020]. Saatavissa: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2589299119300618>
- Gostowski, Petri. 2018. Globaali terästuotanto voimakkaassa kasvussa 2000-luvulla [viitattu 4.5.2020]. Saatavissa: <https://www.inderes.fi/fi/uutiset/globaali-terastuotanto-voimakkaassa-kasvussa-2000-luvulla>
- Heikkinen V., Loukola-Ruskeeniemi Kirsti. 2015. Metallien jalostus Suomessa: nykytila ja tulevaisuuden haasteet [viitattu 19.5.2020]. Saatavissa: https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/80222/4_2015_JULKAISU_Metallien_jalostus_Suomessa_nykytila_ja_tulevaisuuden_haasteet.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Hiilitieto. 2020. Hiili terästeollisuudessa [viitattu 1.3.2020]. Saatavissa: <https://www.hiilitieto.fi/hiilitietoa/perustietoa-hiilesta/hiili-terasteollisuudessa/>
- Hradil, P., Talja, A., Wahlström, M., Huuhka, S., Lahdensivu J., Pikkuvirta, J. 2014. Re-use of structural elements. Environmentally efficient recovery of building components [viitattu 19.5.2020]. Saatavissa: <https://www.vttresearch.com/sites/default/files/pdf/technology/2014/T200.pdf>
- Hybrit. 2019. HYBRIT- Towards fossil-free steel [viitattu 1.5.2020]. Saatavissa: <http://www.hybritdevelopment.com/hybrit-toward-fossil-free-steel>
- Junna, D. 2018. Terästeollisuuden sivutuotekaasut ja niiden puhdistus [viitattu 12.2.2020]. Saatavissa: https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/152195/junna_disa.pdf?sequence=1
- Kamppuri, T., Heikkilä, P., Pitkänen, M., Saarimäki, E., Cura, K., Zitting, J., Knuutila, H., Mäkiö, I. 2019. Tekstiilimateriaalien soveltuvuus kierrätykseen [viitattu 19.5.2020]. Saatavissa: https://cris.vtt.fi/ws/portalfiles/portal/24225719/VTT_R_00091_19.pdf

- Karvonen, Jari-Pekka. 2020. Fortum lopettaa maatalousmuovien keräyspalvelun [viitattu 4.5.2020]. Saatavissa: <https://www.fortum.fi/media/2019/06/fortum-lopettaa-maatalousmuovien-kerayspalvelun>
- Kivivuori, Seppo. 2019. Lämpökäsittelyoppi 1. Helsinki: Teknologiainfo Teknova Oy.
- Muoviyhdistys. 2016. Osa 5 - tekniset muovit 2 [viitattu 1.5.2020]. Saatavissa: <https://www.muoviyhdistys.fi/2016/07/18/osa-5-tekniset-muovit-2/>
- Männistö, J. 2020. Raudan valmistus ja jalostus. Peda.net- kouluverkko [viitattu 12.2.2020]. Saatavissa: <https://peda.net/p/jussi.mannisto/kemia-79-v1/V/metallien-jalostus/raudan-valmistus>
- Nykänen, J. 2004. Luentokalvot [viitattu 19.5.2020]. Saatavissa: http://butler.cc.tut.fi/~juhan/2004s/metallit/L05_web4.pdf
- Omnexus. 2020. Selection guide – Polyethylene [viitattu 1.5.2020]. Saatavissa: <https://omnexus.specialchem.com/selection-guide/polyethylene-plastic>
- Rantapelkonen, Petri. 2014. Teräksen valmistaminen [viitattu 2.5.2020]. Saatavissa: <https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/92576/Teraksen+valmistaminen+.pdf.jsessionid=01856ECCE141D5C8D8BF13600A836827?sequence=1>
- Soini, V. Suomen Uusiomuovi Oy. 2020. Muovipakkauskierrätyksessä ennätysvuosi 2019 [viitattu 3.5.2020]. Saatavissa: http://www.uusiomuovi.fi/fin/suomen_uusiomuovi/ajankohtaista/2020/03/muovipakkauskierratyksessa-ennatysvuosi-2019/
- SSAB. 2020. Teräksen tuotanto [viitattu 1.3.2020]. Saatavissa: <https://www.ssab.fi/ssab-konserni/kestava-kehitys/kestavat-toiminnot/teraksen-tuotanto>
- World Steel Association. 2018. Steel- the permanent material in the circular economy [viitattu 5.4.2020]. Saatavissa: <https://circulareconomy.worldsteel.org/>
- World Steel Association. 2019. World steel in figures 2019 [viitattu 5.4.2020]. Saatavissa: <https://www.worldsteel.org/en/dam/jcr:96d7a585-e6b2-4d63-b943-4cd9ab621a91/World%2520Steel%2520in%2520Figures%25202019.pdf>