

# **Terveysteknologian materiaalien käsittelyn ja kierrätyksen haasteet sekä kehittäminen**

Ida Grönroos  
Kandidaatintutkielma  
Materiaalitekniikka  
Kone- ja materiaalitekniikanlaitos  
Teknillinen tiedekunta  
Turun yliopisto  
2024

Kandidaatintutkielma

**Oppiaine:** Materiaalitekniikka

**Tekijä:** Ida Grönroos

**Otsikko:** Terveysteknologian materiaalien käsittelyn ja kierrätyksen haasteet sekä kehittäminen

**Ohjaaja:** Valtteri Vinni

**Sivumäärä:** 23

**Päivämäärä:** 12.4.2024

Terveysteknologian materiaaleihin kuuluvat muun muassa polymeerit, erilaiset metallit, keraamiset metallit, epämetallit ja biomateriaalit, jotka ovat olennainen osa terveydenhuollossa käytettyjen välineiden ja laitteiden valmistuksessa. Kaikissa terveydenhuollon laitoksissa ja siellä suoritettavissa toimenpiteistä syntyy jätettä.

Terveydenhuollossa syntyvien lääketieteellisten jätteiden lajittelussa, käsittelyssä, keräämisessä ja hävittämisessä on monia haasteita ympäri maailmaa. Kuitenkin jätteiden käsittely- ja kierrätyskäytännöt vaihtelevat maittain. Lääketieteellistä jätettä tulee käsitellä asianmukaisesti sen mahdollisten vaaraominaisuuksien takia, kuten esimerkiksi tartuntavaarallisuuden, jotta siihen liittyvät riskit voidaan minimoida. Jätteen käsittelymenetelmiä on erilaisia, jossa jokaisella on omat haasteet. Yleinen tapa lääketieteellisen jätteen käsittelyssä on polttaminen, vaikka tapa aiheuttaa haitallisia vaikutuksia ihmiselle ja ympäristölle, esimerkiksi ilmansaasteilla.

Laajalti käytetty lineaarinen talousmalli tuottaa runsaasti kertakäyttöistä ja tarpeetonta jätettä. Terveydenhuollon laitoksissa tulisi siirtyä laajalti käytössä olevasta lineaarisesta talousmallista kohti kestävämpää kiertotaloutta. Käytettyjen materiaalien hyödyntäminen ja samalla niiden elinkaaren pidentäminen tarjoaa ratkaisuja kiertotalouden kasvuun. Lisäksi uusien innovaatioiden, kuten biohajoavien polymeerien uskotaan ratkaisevan kiertotalouden haasteita. Tämä auttaa kehittämään entistä kestävämpiä ja ympäristöystävällisempiä ratkaisuja lääketieteellisen jätteen käsittelyyn ja kierrätykseen. Lääketieteellisen jätteen hallinta on monimutkainen prosessi ja sille on tarve kehittää yhtenäisempiä käytäntöjä jätteen käsittelyyn ja kierrätykseen.

**Avainsanat:** lääketieteellinen jäte, käsittely, hallinta, ympäristö, kierrätys, kiertotalous

# Sisällysluettelo

<b>1</b>	<b>Johdanto</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Materiaalit terveysteknologiassa</b>	<b>3</b>
2.1	Materiaalit ja lääketieteellisen jätteen määritelmä	3
2.2	Materiaalivalinnat terveydenhuollossa	5
2.3	Ympäristövaikutukset	6
<b>3</b>	<b>Lääketieteellisen jätteen hallinta</b>	<b>8</b>
3.1	Lääketieteellisen jätteen luokittelu ja käsittely	8
3.1.1	Luokittelumenetelmät	8
3.1.2	Turvallinen käsittely	10
3.2	Kansainväliset erot lääketieteellisen jätteen hallinnassa	12
<b>4</b>	<b>Tulevaisuuden näkymät lääketieteellisen jätteen kierrätyksessä ja käsittelyssä</b>	<b>16</b>
4.1	Lääketieteellisen jätteen kierrättämisen kehittäminen	16
4.2	Innovaatioita kiertotalouteen	18
4.3	Tulevaisuuden haasteet ja mahdollisuudet kierrätykseen sekä jätteen käsittelyyn	20
<b>5</b>	<b>Yhteenveto ja johtopäätökset</b>	<b>22</b>
	<b>Lähteet</b>	<b>24</b>

# 1 Johdanto

Terveysteknologia käyttää monenlaisia materiaaleja, jotka on suunniteltu ja valmistettu käytettäväksi terveydenhuollossa. Terveydenhuollon laitoksissa syntyy vuosittain suuria määriä jätettä, joka luokitellaan lääketieteelliseksi jätteeksi. Lääketieteellinen jäte koostuu Maailman terveysjärjestön WHO:n mukaan 15 % vaarallisesta ja 85 % ei-vaarallisesta jätteestä [1]. Tämän tutkielman tarkoituksena on tarkastella terveydenhuollossa käytettävistä materiaaleista syntyvää jätettä ja niiden syntyvyyttä, ympäristövaikutuksia, luokittelua, kierrätystä ja hallintaa.

Ensimmäisessä osiossa tarkastellaan terveysteknologian käyttämiä materiaaleja, ympäristövaikutuksia ja määritellään siitä koostuva lääketieteellinen jäte. Tutkielmassa viitataan Maailman terveysjärjestön WHO:n yleiseen määritelmään lääketieteellisestä jätteestä minkä tarkoituksena on luoda selkeyttä ja yhtenäisyyttä. Yksittäisissä tapausesimerkeissä voidaan jäte määritellä eri tavalla, jotta voidaan käsitellä asemaa kyseisessä kontekstissa. Määritelmä eroaa kansainvälisesti, jonka vuoksi myös lääketieteellisen jätteen hallinnassa on eroja.

Seuraavaksi tarkastellaan lääketieteellisen jätteen kierrätyksen ja käsittelyn tulevaisuuden näkymiä, kuten innovaatioita, haasteita ja mahdollisuuksia. Puutteellinen jätehuoltojärjestelmä vaikeuttaa niin vaarallisten kuin ei-vaarallisten lääketieteellisten jätteiden asianmukaista kierrätystä [2]. Käsittely on tärkeä vaihe ennen lopullista hävittämistä, ja lisäksi asianmukainen käsittely vähentää ylimääräisiä riskejä. Jätteiden käsittely saattaa aiheuttaa epäsuoria terveysriskejä, kun haitallisia saasteita tai taudinaiheuttajia pääsee ympäristöön. [3] Monikäyttöiset muovimateriaalit ovat iso osa lääketieteellisestä jätteestä, koska niitä käytetään laajalti kertakäyttövälineiden, kuten käsineiden valmistukseen. Erityisesti kierrätettävien muovien osalta on mahdollisuuksia jätemäärän vähentämiseen. [4]

Panostaminen jätteiden lajitteluun ja kierrätykseen on tärkeää tehokkaan ja ympäristöystävällisen jätehuollon saavuttamiseksi. Kiertotalous kasvaa terveydenhuollon alalla, mutta haasteita on vielä ennen sen laaja-alaista käyttöönottoa. Terveydenhuollossa käytettävät laitteet ja välineet tulisi suunnitella siten, että huomioidaan materiaalin elinkaari ja pyritään toteuttamaan entistä paremmin kiertotalouden mallia.

Tutkielmaan lähteet kerättiin Web of Science, Scopus, MedPub ja Google Scholar -tietokannoista. Hakuprosessissa käytettiin sanoja, kuten ”healthcare waste”, ”medical waste”,

”sustainable management” ja ”medical waste managent”. Tutkielmaan valikoitui pääosin englanninkielisiä julkaisuja viimeisten kymmenen vuoden ajalta.

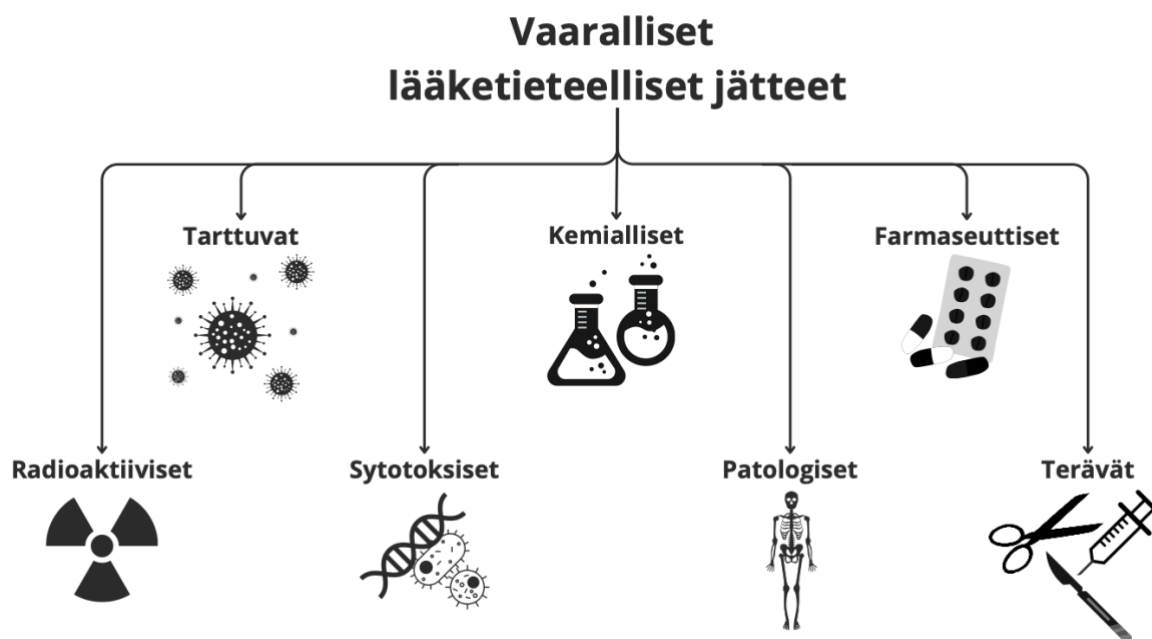
## 2 Materiaalit terveysteknologiassa

### 2.1 Materiaalit ja lääketieteellisen jätteen määritelmä

Terveysteknologian materiaalit ovat erilaisia materiaaleja, jotka on suunniteltu toimimaan ihmiskehon kanssa ja valmistettu terveydenhuollon tarpeisiin. Terveysteknologiassa paljon käytettyjä materiaaleja ovat muun muassa metallit, polymeerit, keraamiset metallit ja epämetallit sekä biomateriaalit. Näitä ovat esimerkiksi titaaniseokset, ruostumattomat teräkset ja silikonit, joita käytetään implanteissa, lääkinnällisissä laitteissa ja tarvikkeissa, kirurgisissa välineissä, diagnostisissa työkaluissa, kudoksen korvikkeina ja proteeseissa, sekä myös muita terveydenhuollon sovelluksien käyttöön kehitettyjä tuotteita. [5]

Terveydenhuollosta syntyvä jäte luokitellaan lääketieteelliseksi jätteeksi. Lääketieteellistä jätettä syntyy lääketieteellisestä hoidosta, kuten myös ennaltaehkäisevästä hoidosta ja siihen liittyvästä toiminnasta. Terveydenhuollon laitoksissa syntyy myös lääketieteellistä laitteistojätettä. Lääketieteelliseen laitteistojätteeseen sisältyy erilaisia vanhentuneita koneita, käyttämättömiä työkaluja ja rikkimenneitä laitteita. Maailman terveysjärjestö WHO määrittelee terveydenhuollon jätteet sairaaloiden ja ihmisten sekä eläinten terveydenhuollon laitosten jätteiksi tai niiden sivutuotteiksi, joita käytetään diagnosointiin, hoitoon tai ennaltaehkäisevään huoltoon. [3]

Maailman terveysjärjestö WHO:n mukaan 15 % lääketieteellisistä jätteistä luokitellaan vaaralliseksi esimerkiksi niiden tartuntariskin, kemiallisuuden tai radioaktiivisuuden takia. Vaarallinen lääketieteellinen jäte koostuu erilaisista jätteistä, kuten tarttuvista, terävistä, patologisista, farmaseuttisista, sytotoksisista, kemiallisista ja radioaktiivisista jätteistä. Kuvassa 1. on esitetty vaaralliseksi luokitellut jätteet kategorioittain. Lääketieteellisestä jätteestä 85 % luokitellaan ei-vaaralliseksi jätteeksi eli yhdyskuntajätteeksi. [1]



Kuva 1. Vaaralliseksi luokitellut lääketieteelliset jätteet kategorioittain

On otettava huomioon, että lääketieteellisten jätteiden käsittely- ja kierrätyskäytännöt vaihtelevat maakohtaisesti, koska luokittelu ei ole selkeää tai yhdenmukaista. WHO:n ja Unicefin yhteisessä arvioissa vuonna 2015 58 % otukseen valituista terveydenhuollon laitoksista olivat käytössä asianmukaiset ja riittävät resurssit terveydenhuollon jätteiden turvalliseen hävittämiseen [1].

Kansainväliset virastot antavat erilaisia määritelmiä lääketieteelliselle jätteelle, mutta niiden määritelmät painottuvat yleisesti terveydenhuollon laitoksissa syntyvään jätteeseen. Lääketieteellisen jätteen määritelmä vaihtelee laitosten välillä, mutta luokittelun ja sisällön peruseriaatteet ovat yhteneväisiä. [6]

Suomessa jätteiden luokittelu vaaralliseksi perustuu osittain EU:n kemikaalilainsäädäntöön ja EU:n jäteluetteloon, mutta Suomessa on omia kansallisia poikkeuksia ja ohjeistuksia muun muassa lääkejätteen luokittelussa vaaralliseksi jätteeksi. Suomessa vaarallisella jätteellä tarkoitetaan jätettä, jolla on jonkinlainen vaaraominaisuus, kuten tartuntavaarallisuus, muualla tavoin terveydelle vaarallisia, ympäristölle vaarallisia, muu vastaava ominaisuus tai palo- tai räjähdysvaarallisuus. [7], [8] Esimerkiksi Suomessa tartuntavaara jätehuollossa tulkitaan eri tavoin, joten WHO:n määritelmä ei niiltä osin päde.

## 2.2 Materiaalivalinnat terveydenhuollossa

Polymeereillä on ainutlaatuiset ominaisuudet, jonka avulla ne erottuvat metalleista ja keraameista. Polymeerien tärkeimmät ominaisuudet ovat helppo muokattavuus ja eristysominaisuus. Vaikka ne eivät ole kovin vahvoja mekaanisesti tai lämmönkestäviä, ne kestävät yleensä hyvin ympäristön vaikutuksia ja kemikaaleja.

Polymeerimateriaalien käyttö lääketieteessä on kehittynyt merkittävästi viime vuosina. Kun materiaalit ovat kosketuksissa ihmiskehon kanssa, niiden on täytettävä tietyt standardit, kuten esimerkiksi säilytettävä fyysiset ja kemialliset ominaisuudet altistuessaan korkealle lämpötilalle, röntgensäteilylle tai desinfiointiaineille. On tärkeää, että altistuessaan ja hajotessaan ne eivät aiheuta haitallisia reaktioita kehon kanssa.

Yleisimmät käytetyt polymeerimateriaalit ovat: polyeteeni (PE), polypropeeni (PP), polystyreeni (PS), polyesterit, polyvinyylikloridi (PVC) tai polykarbonaatit (PC). Näitä materiaaleja käytetään muun muassa käsineiden, kirurgisten ompeleiden, erilaisten säiliöiden, sekä tähystyksessä ja tiputuksessa käytettävien laitteiden valmistukseen. [9]

Ennen teräksestä tai lasista valmistetuista lääketieteellisistä välineistä osa valmistetaan nykyään muovista. Muovimateriaaleja pidetään välttämättöminä terveydenhuollon alalle, koska ne ovat hyvin monikäyttöisiä. Muovin helppo muokattavuus, läpinäkyvyys, kustannustehokkuus, sekä kestävyys ja muut ominaisuudet ovat tehnyt tästä mahdollista. Muovisten lääketieteellisten välineiden käytettävyyteen vaikuttaa muovimateriaalin valinta, jotta esimerkiksi kemialliset ominaisuudet sopivat sovellukseen. Muovit toimivat suurena osana lääketieteellisten kertakäyttötuotteiden valmistuksessa, koska niissä ei ole lääketieteellisen muovijätteen kierrätykseen liittyviä infektioriskiä. Kertakäyttöiset lääketieteelliset muovit tarjoavat merkittäviä terveyshyötyjä ylläpitämällä puhdasta ja steriiliä ympäristöä terveydenhuollon laitoksissa. [4]

Ortopedisissä toimenpiteissä käytetään useasti metalleja, kuten titaaniseoksia (Ti), ruostumatonta terästä (SS) ja koboltti-kromiseoksia (CoCr). Näillä metalleilla on hyvät mekaaniset ominaisuudet. Ne kestävät hyvin väsymystä ja korroosiota. Esimerkiksi kirurgisia välineitä, kuten skalpellit ja koukut on valmistettu teräksestä. [10] Luukirurgiassa voidaan käyttää myös polymeerimateriaaleja, kuten polyesteriä ja silikonikumia erilaisiin proteeseihin ja nivelimplantteihin [9].



## 2.3 Ympäristövaikutukset

Terveydenhuollon jätteiden käsittely voi aiheuttaa epäsuoria terveysriskejä, kun haitallisia saasteita tai taudinaiheuttajia pääsee jätteen mukana ympäristöön. Jos jätteitä ei käsitellä asianmukaisella tavalla, ne saattavat saastuttaa juoma-, pinta- ja pohjavedet. [1]

Kehitysmaissa yhtenä suurimpana ympäristön ongelmana pidetään puutteellista ja tehotonta jätehuoltojärjestelmää, joka vaikuttaa niin vaarallisen kuin ei-vaarallisen jätteen kierrätykseen [2].

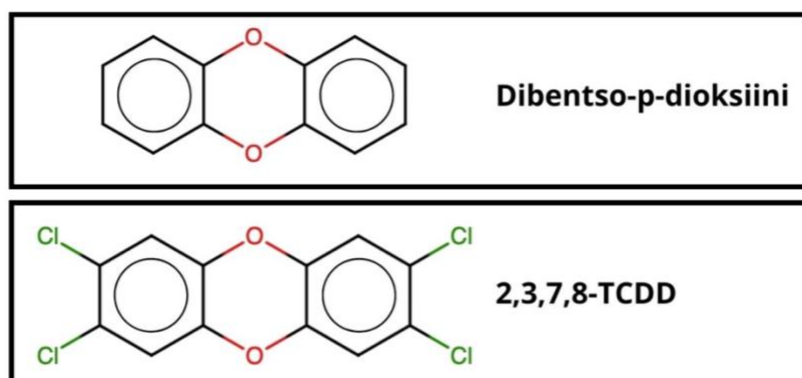
Terveydenhuollossa käytetään resursseja pääasiassa kertakäyttöisesti. Tämä aiheuttaa huomattavasti tarpeetonta jätettä ja ympäristön saastumista liiallisen uusien raaka-aineiden käytön ja tavaroiden liiallisen tuotannon vuoksi. Terveydenhuollon laitoksissa syntyy suuri määrä muovijätettä, josta iso osa luokitellaan yhdyskuntajätteeksi. Kuitenkin vain vähäinen osa niistä kierrätetään, ja suurin osa päättyy kaatopaikalle tai poltettavaksi. Erityisesti juuri muovin lisääntynyt käyttö terveydenhuollon alalla, esimerkiksi COVID-19 pandemian aikana, lisäsi siitä koostuvaa jätettä. Pandemian aikana suuri osa käytetyistä hoitovälineistä luokiteltiin muovimateriaaleiksi. Muovimateriaalit ovat noin 35 % lääketieteellisestä jätteestä [11]. Muovin kierrätykseen käytetään esimerkiksi Raman-spektroskopiaa, joka pystyy lajittelemaan muovijätettä tehokkaasti kierrätykseen sen kemiallisen koostumuksen mukaan [2]. Kuitenkin muovien huono hallinta on ongelma maailmanlaajuisesti. Moni suojaukseen käytettävistä materiaaleista sisältää polyuretaania, polypropeenaa ja polyakrylinitriiliä, jotka ovat ei-kudottuja kankaita. Tämän takia materiaalit eivät häviä niin nopeasti, vaan hajoavat sen sijaan pienempiin osiin, minkä takia ne voivat jäädä ympäristöön pidemmäksi aikaa mikromuoveina. [3]

Eräässä tutkimuksessa ennustettiin, että 193 maata tuotti COVID-19 pandemian seurauksena 8,4 miljoonaa tonnia muovijätettä enemmän, mikä on 10 % enemmän kuin perustaso. Suurin osa lisääntyneestä muovimäärästä pandemian aikana oli peräisin terveydenhuollon laitoksista, kuten sairaaloista. Lisääntyneeseen jätteeseen kuuluivat esimerkiksi henkilökohtaiset suojarusteet, pakkausmateriaalit ja viruksen testauspakkaukset. Pandemian seurauksena alueellisesti suurin jätteen tuotanto oli Aasiassa, joka oli 46,3 %. Seuraavaksi tulivat Eurooppa 23,8 %, Etelä-Amerikka 16,4 %, Afrikka 7,9 % ja viimeisenä Pohjois-Amerikka 5,6 %. Simulointitutkimuksen perusteella 3 800–25 900 tonnia muovijätettä päätyi mereen COVID-19 pandemian seurauksena. Arvion mukaan vuoden 2021 lopussa sairastapauksien seurauksena syntyi noin 11 miljoonaa tonnia jätettä, joista 34 000 tonnia päätyisi mereen. [6]

Joka vuosi valtameriin päätyy miljoonia tonneja muovia. Kierrättämällä mereen päätyvät muovit voitaisiin pelastaa erään tutkimuksen mukaan jopa miljoona merieläintä vuodessa. [4]

Polttaminen on yleinen käytäntö jätteen käsittelyssä ja hävittämisessä. Kuitenkin sopimattomien materiaalien ja hallitsemattomana polttaminen voi olla riski. Esimerkiksi kloorin kanssa käsiteltyjen materiaalien polttaminen tuottaa terveydelle haitallisia karsinogeneja, kuten dioksiineja. [1] Klooria käytetään terveydenhuollon laitoksissa laajalti laitteiden, välineiden ja pintojen desinfiointiin.

Haitallisiin dioksiineihin kuuluvat muun muassa polyklooratut dibentso-p-dioksiinit (PCDD) ja dibentsofuraanit (PCDF). Nämä ovat kolmirenkaisia yhdisteitä ja niiden bentseenirenkasiin on sitoutunut 1–8 klooriatomia. Näitä yhdisteitä ei tuoteta teollisesti, vaan ne syntyvät sivutuotteina. Kuvassa 2. esitettynä esimerkki dioksiinin rakenteesta. Suurimmat dioksiinipäästöt tulevat juuri jätteiden polttamisesta. Esimerkiksi yhdyskuntajätteessä, kuten vinyylimuoveissa on runsaasti klooria. Nämä katalysoivat dioksiinien muodostumista palaessa, jos polttolämpötila on liian matala. [12]



Kuva 2. Dibentso-p-dioksidin ja 2,3,7,8-tetraklooridibentso-p-dioksiinin (TCDD) tasomaiset rakenteet. TCDD-rakenteeseen on sitoutunut 4 klooriatomia.

Lääketieteellisen jätteen polttamisessa vapautuu ilmakehään päästöjä, kuten hiilimonoksidia (CO), rikkidioksidia (SO<sub>2</sub>) ja typen oksideja (NO<sub>x</sub>), sekä erilaisia orgaanisia yhdisteitä. Raskasmetallien ja suuria metallipitoisuuksia sisältävien yhdisteiden polttaminen vapauttaa myrkyllisiä metalleja ympäristöön. Lisäksi erään tutkimuksen mukaan lääketieteellisten jätteiden polton hiilijalanjälki voi olla jopa 50-kertainen verrattuna muihin jätteenkäsittelymenetelmiin, arvoltaan 1074 kg CO<sub>2</sub>/tonni. Esimerkiksi 1 kg klinistä jätettä polttaessa syntyy peräti 3 kg CO<sub>2</sub>:a. [1], [3]

### 3 Lääketieteellisen jätteen hallinta

#### 3.1 Lääketieteellisen jätteen luokittelu ja käsittely

##### 3.1.1 Luokittelumenetelmät

Lääketieteellistä jätettä syntyy eri terveydenhuollon palveluista. Merkittävä osa jätteestä on peräisin sairaaloista ja muista terveydenhuollon tiloista, kuten terveyskeskuksista.

Lääketieteellinen jäte syntyy erilaisista toiminnoista, kuten kirurgisista toimenpiteistä, potilaiden hoitamisesta ja laboratoriotutkimuksista. WHO:n mukaan korkeamman tulotason maissa, sairaalasänky eli vuodepaikka tuottaa päivässä keskimäärin 0,5 kg vaaralliseksi luokiteltavaa jätettä, kun taas alhaisemman tulotason maissa luku on noin 0,2 kg. COVID-19 pandemian aikana lukema oli noin 2,5 kg sairaalasänkyä kohti päivässä. Kuitenkin tulos ei kerro todellisuutta, koska alhaisemman tulotason maissa lääketieteellistä jätettä ei erotella oikein, mikä lisää vaaralliseksi luokiteltavan jätteen määrää huomattavasti suuremmaksi. [1] Taulukossa 1. on WHO:n määritelmän mukaan vaaralliseksi luokitellun lääketieteellisen jätteen kategoriat ja niiden esimerkit.

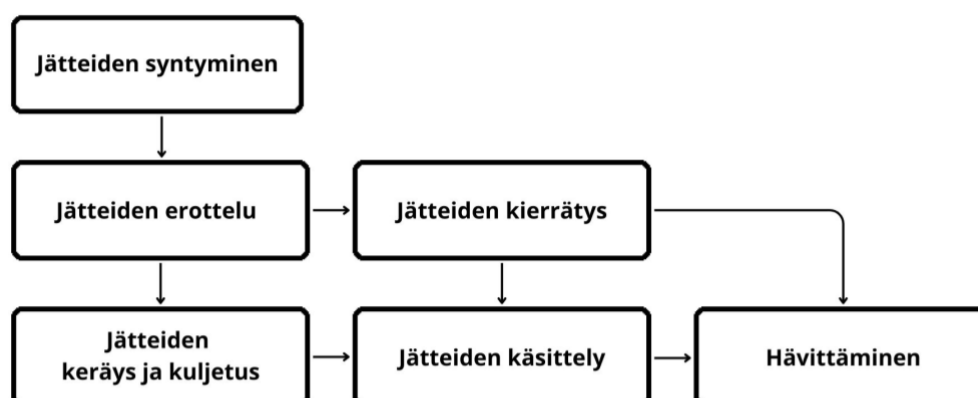
Taulukko 1. Vaarallisten lääketieteellisten jätteiden luokittelu esimerkein WHO:n mukaan [1], [13].

Tyyppi	Esimerkit
Terävät	Neulat, ruiskut, skalpellit, terät, lasinsirut
Kemialliset	Laboratorioreagenssit, desinfiointiaineet, liuottimet, paristot, rikkinäiset lämpömittarit tai verenpainemittarit.
Tarttuvat	Veri- ja muut ruumiinnesteet, tartuntaviljelmät ja -varastot, infektiopotilaiden jätteet
Sytotoksiset	Sytostaattia sisältävät pussit, pullot, neulat ja ruiskut
Patologiset	Ihmisen kudokset, elimet tai nesteet, ruumiinosat, sikiöt, käyttämättömät verituotteet
Farmaseuttiset	Lääkkeet, lääkkeiden saastuttamat tuotteet
Radioaktiiviset	Sädehoidossa tai laboratoriossa käytettävät nesteet, saastuneet lasitavarat, pakkaukset tai absorboiva paperi, virtsa ja eritteet radionuklideilla hoidetuilta potilailta

Lääketieteellisen jätteen määrä on suoraan verrannollinen terveydenhuollon palveluiden vuodekapasiteettiin. Potilasmäärät vaikuttavat jätteen määrään merkittävästi. Ekerin ja Bilgilin Turkissa tehdyn tutkimuksen mukaan julkiset sairaalat olivat suurimmat vaarallisten jätteiden tuottajat, vastaten lähes 58 % kaikesta sairaaloista kertyneestä vaarallisesta jätteestä. Tutkimuksessa huomioitiin 375 terveydenhuollon laitosta, joista yksityisiä oli 218. Kuitenkin yksityissairaalat tuottivat lähes puolet koko lääketieteellisestä jätteestä valtiossa, osuuden ollessa lähes 49 %. Tämä voi johtua suuremmasta kertakäyttötutteen käytöstä yksityisellä puolella. [14]

Suomessa monissa terveydenhuollon yksiköissä potilaiden tutkimus- ja hoitotoimissa syntynyt jäte luokitellaan yhdyskuntajätteeksi, vaikka jätelainsäädännön mukaan se ei ole yhdyskuntajätettä. Terveysministeriön mukaan kyseisestä luokittelusta tulisi luopua, joka mahdollistaisi yhdenmukaisuuden toimintatavan. [7]

Lääketieteellisen jätteen huollossa on monta vaihetta, jotta se voidaan viimeisenä hävittää turvallisesti. Kuvassa 3. on esitetty jätehuollon vaiheet. Jätteet syntyvät eri lähteistä yllä olevien luokitusten mukaan. Jätehuolto toimii saman kaavan mukaan, riippuen siitä miten jätteet on luokiteltu. Jätteen lajitteluvaiheessa eri lääketieteellisen jätteen ryhmät tunnistetaan ja erotetaan toisistaan. Lähtökohtaisesti erottelun kuuluisi tapahtua mahdollisesti jo jätteiden syntypaikassa. Keräys ja kuljetus tapahtuu suoraan terveydenhuollon laitoksista jätteen käsittelyyn ja kierrätykseen. Käsittelyssä tavoitteena on se, että mahdollisimman suuri osa materiaaleista hyödynnetään uudelleen ja haitalliset vaikutukset hävittämisestä minimoidaan. Jäljelle jäänyt jäte siirtyy lopulliseen hävittämiseen. [3]



Kuva 3. Jätehuollon vaihekaavio

Taulukon 1. mukaan vaaralliseksi luokitelluista jätteistä osa voidaan kierrättää, kun taas osa on hävitettävä suoraan jätehuollon vaihekaavion mukaan. Esimerkiksi farmaseuttiseksi luokiteltavat lääkejätteet, kuten vanhentuneet lääkkeet tarvitsevat hävittää asianmukaisesti. Kuitenkin lääkkeiden lasipurkit tai muovipakkaukset voidaan kierrättää. Ei-vaarallisten jätteiden osalta kuten esimerkiksi paperi-, sekä pahvijätteiden tai muut ei-vaarallisten materiaalien kierrättäminen on usein mahdollista ja suositeltavaa. Lääketieteellisen jätteen hallinnassa pyritään mahdollisimman tehokkaaseen jätehuoltoon, mikä minimoi muun muassa ympäristöriskejä.

Jotta asianmukaisia jätteiden hallintaan liittyviä strategioita voidaan kehittää, on pystyttävä keräämään tarkempia tietoja siitä, kuinka paljon lääketieteellistä jätettä syntyy. Jätteen määrään tulee aina vaikuttamaan monenlaiset tekijät, kuten terveydenhuollon laitoksen koko ja palvelun laatu, sairaalavuoteiden käyttöaste, jätteiden lajittelujärjestelmät ja laitoksen sijainti. Jättemäärien arvioinnissa parhaat vertailukelpoiset tulokset saadaan asiakasmäärän perusteella. [14]

### 3.1.2 Turvallinen käsittely

Lääketieteellisen jätteen käsittely on tärkeä vaihe ja se suoritetaan ennen lopullista hävittämistä. Tehokas ja turvallinen jätteiden käsittely on osa terveydenhuollon toimintaa ja asianmukainen käsittely pienentää lääketieteellisen jätteen käsittelyn riskejä [3]. Pelkkä vaarallisen jätteen luokittelu ei kerro sille oikeaa käsittelymenetelmää. Epäasianmukainen käsittely vaikuttaa kaikkiin ympäristössä oleviin henkilöihin, niin työntekijöihin kuin potilaisiin. Esimerkiksi saastuneiden materiaalien käyttö voi luoda riskin infektioiden leviämiseen, mikä voi johtaa sairauksiin, kuten hepatiitti B. [2] Erään tutkimuksen mukaan vuonna 2010 matalan ja keskitulon maissa neulojen tai ruiskujen uudelleenkäyttö aiheutti noin 25 400 uutta HIV-tartuntaa, 1,7 miljoonaa hepatiitti B- ja 240 000 hepatiitti C- tartuntaa [15].

Suomessa vaatimuksena jätteen käsittelyyn on se, että jätteen voi toimittaa ainoastaan sellaiseen laitokseen käsiteltäväksi, jolla on ympäristölain mukainen lupa käsitellä kyseistä vaarallista jätettä [7].

Terveydenhuollon jätteiden luokittelu ja erottaminen on keskeinen vaihe asianmukaisessa lääketieteellisen jätteen hallinnassa ja käsittelyssä. Jätehävitys- ja käsittelymenetelmiä voidaan määrittää tehokkaasti esimerkiksi jätekoostumusanalyysin avulla. Myös analyysista

saatava tieto siitä, kuinka paljon jätettä syntyy, edistää jätehuollon järjestelmien kehittämistä. Oikeanlainen käsittely vaatii tietoja jätteen määrästä ja koostumuksesta, sekä materiaalien ominaisuuksista. Lisäksi on hyvä varmistaa mikä on haluttu lopputulos jätteelle, jotta voidaan ottaa huomioon käsittelymenetelmän vaikutukset. [15] Laitteiden ja välineiden valmistuksessa tulee ottaa huomioon käytettävien materiaalien koko elinkaari ja asianmukainen käsittely. Kuitenkin erilaisilla käsittelymenetelmillä on pieni vaikutus esimerkiksi hiilidioksidipäästöihin. Yksi ruiskulla annettava injektion CO<sub>2</sub> päästöt ovat lopullisessa hävitysvaiheessa 0,05 kg. [3]

Lääketieteellisen jätteen eri käsittelymenetelmissä on etuja, mutta myös haasteita. Jo aikaisemmin mainittu polttaminen on yleinen tapa käsitellä jätettä korkeissa lämpötiloissa 800–1200 °C. Kaiken tyyppistä jätettä voidaan polttaa ja tällöin iso osa patogeeneistä, sekä orgaanisista aineista tuhoutuu. Samalla jätteen paino ja tilavuus pienenee. Vaikka polttaminen pienentää jätteen kokoa, se aiheuttaa silti vaikutuksia ympäristöön. Haasteita jätteen polttamisessa tuo esimerkiksi haitalliset päästöt ja korkeat kustannukset. [1], [12]

Autoklaavi- ja mikroaaltodesinfiointi sekä kemiallinen desinfiointi ovat käsittelymenetelmiä, jotka eivät sovellu kaikkiin jätetyyppeihin ja voivat osittain vapauttaa tuntemattomia päästöjä ilmakehään. Autoklaavinendesinfiointi perustuu höyryyn sekä paineeseen ja sitä käytetään 121–134 °C lämpötiloissa syklistesti. Käsittelyllä on alhaiset käyttökustannukset. Tämä menetelmä ei kuitenkaan muuta jätteen ominaisuuksia eikä poista patogeenejä, jolloin jätteelle on tehtävä esimerkiksi polttokäsittely ennen lopullista hävittämistä. Mikroaaltodesinfiointi perustuu matalan lämpötilan ja korkeiden mikroaaltosäteiden käyttöön. Mikroaallot aiheuttavat värähtelyä materiaalin molekyylien sidoksissa, säästäten energiaa ja vähentämällä päästöjä tehden siitä ympäristöystävällisemmän käsittelytavan. Desinfiointi tapahtuu 177–540 °C ja mikroaaltojen säteet ovat 1 mm –1 m aallonpituuksilla taajuuden ollessa 300–3000 MHz. Menetelmällä on korkeat kustannukset, mutta sitä voidaan käyttää yhdessä autoklaavidesinfioinnin ja polton kanssa. Mikro-organismien tuhoamiseen ja patogeenien torjumiseen käytetään kemiallista desinfiointia. Tätä menetelmää käytetään pääosin nestemäisten jätteiden käsittelyyn ja se on ajallisesti tehokas, sekä poistaa jätteiden hajuhaittoja. Yleisimmät desinfiointiaineet ovat klooriliuos ja valkaisuaine. Käsittelymenetelmän haittoja ovat korkeat kustannukset ja itse kemikaalien varastointi, sekä käsittely. Lisäksi kemiallisesta desinfioinnista saattaa jäädä jäännöksiä, jotka sijoitetaan lopuksi viemäriin tai kaatopaikalle. [3]

Aikaisemmat tutkimukset keskittyvät pitkälti vaarallisen jätteen käsittelyyn, mutta nykyään keskittyminen on siirtynyt kaikenlaisten lääketieteellisen jätteen asianmukaiseen hävittämiseen mahdollisten käsittelyiden jälkeen. Muutos johtuu siitä, että kaiken jätteen turvallinen käsittely ja hävittäminen ovat ratkaisevia tekijöitä mahdollisten vaarojen, sekä ympäristön saastuttamisen ehkäisemisessä. [6]

Mahdollisuuksia jätemäärän vähentämiseen ja kierrätykseen on erityisesti kierrätettävien muovien osalta. Tehokkaampia hävitystoimenpiteitä ja lisää tietoisuutta tarvitaan lääketieteellisen jätteen asianmukaiseen käsittelyyn [4]. Jotta lääketieteellisen jätteen hallinnassa ja käsittelyssä päästään mahdollisimman tehokkaaseen ja ympäristöystävälliseen jätehuoltoon, tarvitsee panostaa jätteiden ensisijaiseen lajittelemiseen, että kierrättämiseen.

### **3.2 Kansainväliset erot lääketieteellisen jätteen hallinnassa**

Lääketieteellisen jätteen määritelmä ei ole yhtenäinen, jonka takia erot jätteen hallinnassa on lähtökohtaisesti erilaiset eri alueilla.

Suurimmat jätemäärät syntyvät erään tutkimuksen mukaan Pohjois- ja Etelä-Amerikassa, vaikka pandemian seurauksena Pohjois-Amerikka tuotti kuitenkin vähiten lisääntyntä muovijätettä. Yhdysvalloissa vuotuinen jätteen määrä terveydenhuollon laitoksista on noin 5,9 miljoonaa tonnia, josta noin 1,7 miljoonaa tonnia on muovijätettä, joka on noin 28,8 %. Aasiassa arvio syntyvästä lääketieteellisestä jätteestä on 16 659,48 tonnia. [4], [15]

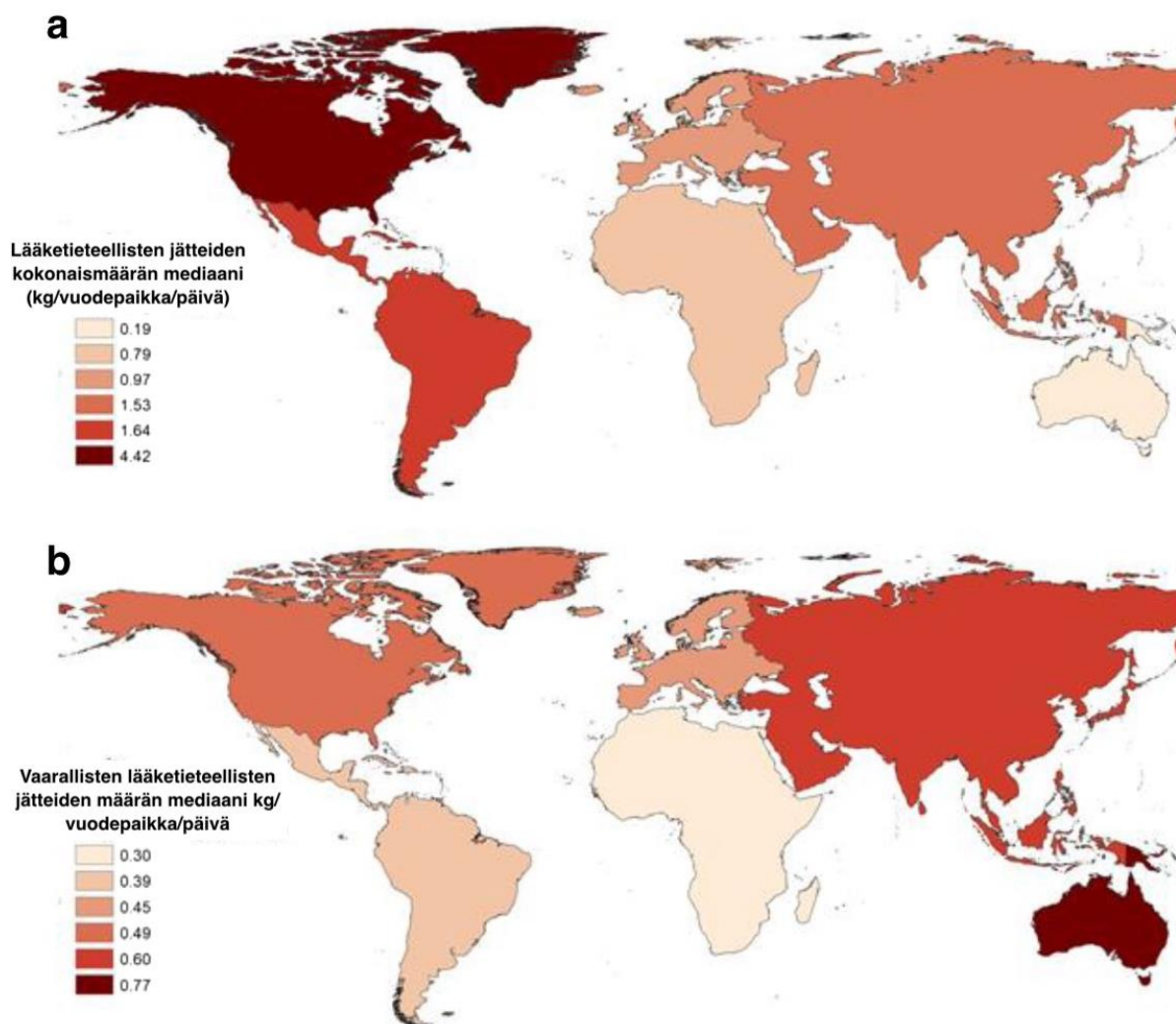
Pandemian aikana WHO:n mukaan tarvittiin valtavat määrät henkilökohtaisia suojausvarusteita (PPE). PPE:hin kuuluvat muovista valmistetut maskit, suojalasit, kasvojen suojakilvet ja käsineet. Näitä valmistetaan muun muassa PET:stä, polykarbonaatista ja polyeteenistä. Suuren kysynnän ja pandemian vuoksi WHO kertoo, että pandemian aikana tarvittiin 89 miljoonaa maskia, 30 miljoonaa takkia, 1,59 miljoonaa suojalasia ja 76 miljoonaa käsinettä kuukausittain. Erään sairaalan arvion mukaan jätettä syntyi keskimäärin kymmenkertainen määrä yhden päivän aikana. Tämä havainnollistaa selkeästi lääketieteellisen jätteen hallinnan haasteet, joka voi pandemian seurauksena kasvaa huomattavasti. [4]

Lääketieteellisen jätteiden hallinta on saanut huomiota viime vuosikymmenien aikana erilaisten alueellisten ja kansainvälisten aloitteiden myötä, erityisesti kehittyvissä maissa.

Tutkimuksissa yleisesti korostettiin, että tiedot jätteen määrästä ja koostumuksesta ovat välttämättömiä, jotta jätehuoltojärjestelmiä voidaan kehittää. Samalla korostuu tietämättömyys lääketieteellisten jätteiden syntymisnopeudesta.

Eräässä tutkimuksessa keskityttiin eri alueiden lääketieteellisten jätteiden syntyyn. Alueet olivat pääosin maanosien mukaan. Pohjois-Amerikassa tuotettiin kokonaismääräisesti eniten lääketieteellistä jätettä, joka oli 46 % verrattuna muihin maanosiin, kun taas Oseaniassa kokonaisjätteen määrä oli pienin 2 %. Kuitenkin vaaralliseksi luokiteltua jätettä tuotettiin vuodepaikkaa kohden eniten Oseaniassa ja vähiten Afrikassa. Vaikka tutkimuksessa oli rajoitetusti tietoa Oseaniassa tehtyjen tutkimusten määrästä, jätteen tuotantoa arvioitiin silti näiden tietojen perusteella. Koko maailmassa lääketieteellisen jätteen kokonaismääräinen tuotannon mediaani oli 1,2 kg/vuodepaikka/päivä ja vaaralliseksi luokitellun jätteen tuotannon mediaani oli 0,46 kg/vuodepaikka/päivä. Kuvassa 4. on kuvattu alueet maailmankartassa. Taulukossa 2. on esitetty lääketieteellisen jätteen syntyvyyden kokonaismäärä kuvan 4. alueiden mukaa, ja taulukossa 3. vaarallisten lääketieteellisten jätteiden syntyvyys. Latinalaisessa-Amerikassa ja Aasiassa jätteiden syntyvyyden määrä on kasvanut viime vuosina, kun taas Pohjois-Amerikassa jätteiden syntyvyys on vähentynyt. Myös yksityisten terveydenhuollon laitosten jätteen syntyvyysnopeus oli korkeampi kuin julkisen sektorin laitoksilla. [15]





Kuva 4. Lääketieteellisten jätteiden syntyvyksien mediaani alueiden mukaan. A Lääketieteellisten jätteiden kokonaismäärän mediaani kg/vuodepaikka/päivä. B Vaarallisten lääketieteellisten jätteiden määrän mediaani kg/vuodepaikka/päivä. [15]

Taulukko 2. Lääketieteellisen jätteen kokonaismäärä alueiden mukaan [15].

Alue	Terveydenhuollon laitosten luku	Keskiarvo kg/vuodepaikka /päivä	Mediaani
Afriikka	134	1,38	0,79
Aasia	252	2,15	1,53
Eurooppa	80	1,54	0,97
Latinalainen-Amerikka	37	2,48	1,64
Pohjois-Amerikka	5	3,77	4,42
Oseania	7	0,65	0,19

Taulukko 3. Vaarallisen lääketieteellisen jätteen määrä alueiden mukaan [15].

Alue	Terveydenhuollon laitosten luku	Keskiarvo kg/vuodepaikka /päivä	Mediaani
Afrikka	96	0,66	0,3
Aasia	151	0,92	0,6
Eurooppa	61	0,61	0,45
Latinalainen-Amerikka	29	0,72	0,39
Pohjois-Amerikka	5	0,41	0,49
Oseania	2	0,77	0,77

Maailman terveysjärjestön mukaan 15 % lääketieteellisestä jätteestä on vaarallista, kun jätteiden lajittelu on ollut asianmukaista. Näiden tuloksien mukaan todellisuudessa vaarallisen jätteen osuus lääketieteellisestä kokonaisjätteestä on suurempi. Ainoastaan Pohjois-Amerikka on WHO:n määritelmässä vaarallisen lääketieteellisen jätteen määrän ollessa noin 11 % lääketieteellisen jätteen kokonaismäärästä. Sen sijaan muilla aluilla vaarallisen jätteen osuus on suurempi. [15]

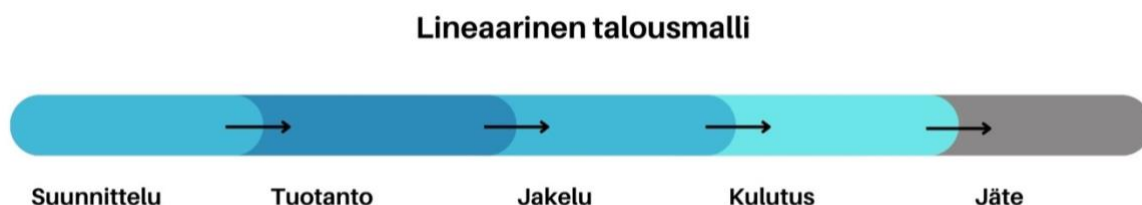
Vaikka viimeisten vuosikymmenen aikana on tehty edistystä lääketieteellisen jätteen hallinnassa, tarvitaan edelleen parannuksia ja enemmän tietoa jätteen syntyneudesta ja sen muutoksista alueittain. Parempi ymmärrys jätteen muodostumisesta edistäisi tehokkaampien käsittelymenetelmien löytämistä. Esimerkiksi poikkeustilanteessa korostuu jätehuollon haasteet, jolloin menetelmät eivät kykene vastaamaan nopeasti kasvavaan jätteen määrään ja monimuotoisuuteen normaalilla tavalla.

## 4 Tulevaisuuden näkymät lääketieteellisen jätteen kierrätyksessä ja käsittelyssä

### 4.1 Lääketieteellisen jätteen kierrättämisen kehittäminen

Kiertotalous kasvaa terveydenhuollon alalla, mikä kertoo ympäristöystävällisemmän talouden kasvusta. Siinä on silti vielä monia haasteita, ennen kuin se voidaan ottaa käyttöön laajalaisesti terveydenhuollon alalla.

Kiertotalous määritellään taloudelliseksi malliksi, joka keskittyy käyttämään tuotteita ja materiaaleja uudelleen, samalla säilyttäen nykyisiä luonnonvaroja. Tämä malli huomioi taloudellisen, sosiaaliset ja ympäristölliset arvot sen toiminnoissaan. Kiertotalous on edistynyt monessa maassa viime vuosina, mutta lääketieteellinen jätehuolto on toiminut perinteisesti lineaarisen talousmallin periaatteiden mukaan, koska se on haasteellista toteuttaa lääketieteellisen jätteen hallinnassa. Kuvassa 5. on lineaarinen malli eli perinteinen talousmalli, jossa tuotteet valmistetaan, käytetään ja sitten hävitetään lopullisesti. Tämä malli tuottaa suuria määriä jätettä ja kuluttaa luonnonvaroja kulutuskäyttämisen mukaan. Lineaariseen talousmalliin yhdistetään kertakäyttökulttuuri, jossa tuotteet on ensisijaisesti suunniteltu käytettäväksi kertakäyttöisinä.

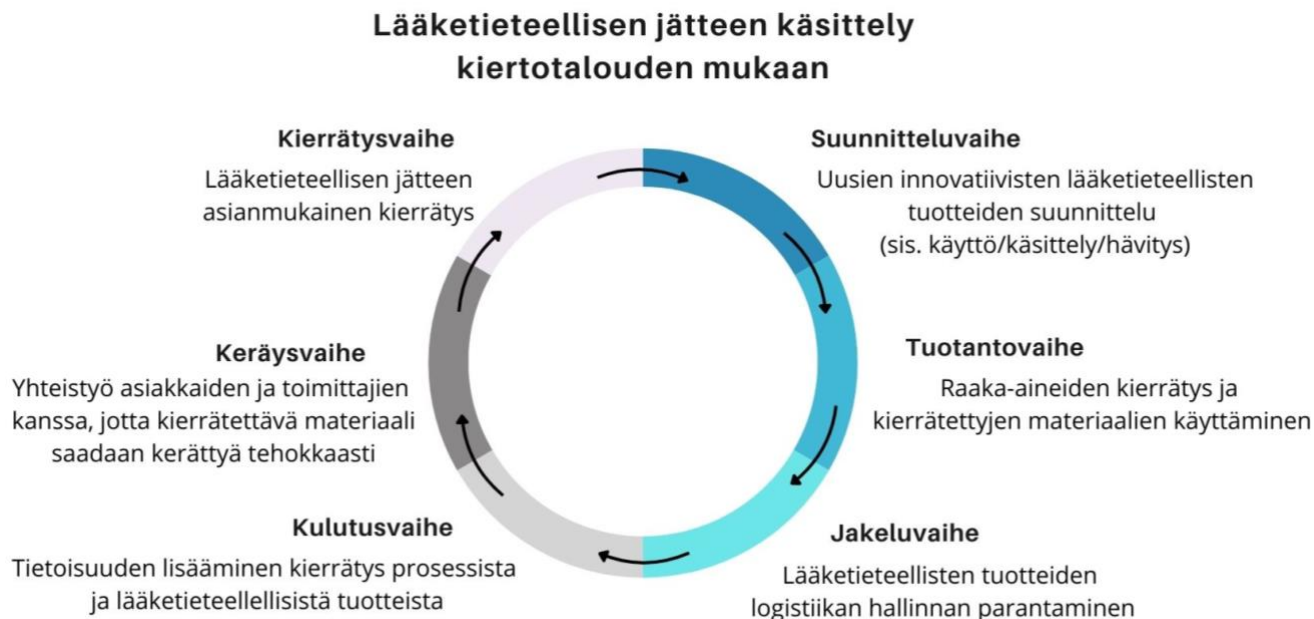


Kuva 5. Lineaarinen talousmalli

Linearisesta talousmallista on olennaista siirtyä kiertotalouteen, jotta lääketieteellisen jätteen kierrätys voi itsessään kehittyä. Samalla kiertotalous voi mahdollistaa paremman resurssitehokkuuden ja vähentää ympäristön kuormitusta, kun materiaalit kierrätetään ja uudelleen käytetään. Kiertotalouteen siirtymisessä lääketieteellisessä jätehuollossa suurimmat haasteet liittyvät kuljetuksen ja infrastruktuurin puutteeseen, sekä jälleenkäsittelyn vaikeuteen. [2]

Kiertotalouden tavoitteena on parantaa esimerkiksi tuotteen arvoa hidastamalla materiaalien ja energian kiertoa. Tähän tapaan kuuluu tuotteiden elinkaaren pidentäminen kestäväillä

suunnitteluilla ja pohtimalla uudelleen käyttömahdollisuuksia pois heitetyille materiaaleille. Tässä tilanteessa teollisuuden symbioosi voi edistää kestävästä kehitystä, kiertotaloutta ja resurssitehokkuutta, jolloin yhden alan sivuvirran tuotteet voivat olla toisen alan raaka-aine. Vaikka kiertotaloudessa on paljon etuja ja sovellusmahdollisuuksia, tarvitsee huomioida lääketieteellisen jätteenhallinnan haasteet ja kehittää tulevaisuudessa niihin uusia strategioita. Kuvassa 6. esitetään vaiheittain lääketieteellisen jätteen käsittelyn kiertotalouden kulku.



Kuva 6. Lääketieteellisen materiaalin kiertokulku kiertotalouden mukaan

Seuraavia toimenpiteitä on esitetty edistämään kiertotaloutta terveydenhuollossa: jätteiden syntymisen vähentäminen, jo syntyneiden jätteiden hyödyntäminen, kierrätykseen kannustaminen ja varmistus siitä, että jätteet käsitellään ja loppusijoitetaan asianmukaisesti. Näissä toimenpiteissä korostuu terveydenhuollon ammattilaisten merkitys lääketieteellisen jätteen vähentämiseksi. Ennen kuin kiertotaloutta voitaisiin hyödyntää näillä toimenpiteillä, on olennaista ymmärtää terveydenhuollon laitosten sisäiset prosessit, mitkä vaikuttavat jätteen määrään ja arvioida miten jätteitä käsitellään eri vaiheissa. [6]

Kiertotalouden toteutumisessa on moninaisia esteitä ja haasteita liittyen lääketieteellisten jätteiden vaarallisuuteen. Vaarallisuus tekee materiaalin palauttamisesta alkuperäiseen materiaaliin ja uudelleen käsittelystä haastavaa johtuen eri sidosryhmien vähäisestä osallistumisesta, sekä vastustuksesta muuttaa nykyisiä järjestelmiä. Erään tutkimuksen mukaan kiertotalouden tehokas toteuttaminen lääketieteellisen jätteen hallinnassa vaatii

vahvaa koordinointia ja tiedonsiirtoa koko toimitusketjussa, mikä on koettu monimutkaiseksi, erityisesti suuressa toimintaympäristössä. Periaatteiden soveltaminen vaatisi muutosta organisaation niin liiketoimintamalleihin, kuin teknologisiin ratkaisuihin, jotta organisaatio kokonaisuudessaan etenee kohti kestävämpiä ratkaisuja. Lisäksi tuotteiden ja materiaalien kuluttajat ovat iso osa kiertotalouteen siirtymisessä. Kuluttajien hintatietoisuus muodostaa haasteen kestävien tuotteiden hyväksymiselle markkinoilla. Laaja-alainen kiertotalouden käyttöönotto lääketieteellisen jätteen hallinnassa tulisi kasvattamaan myös kuljetuskustannuksia, jos esimerkiksi tuotteet tulisi palauttaa valmistajalle käsittelyyn. Taloudellisina haasteina suurimpana pidetään korkeita uudelleenvalmistuskustannuksia, haluttomuutta maksaa siitä enemmän ja rahoituksen puute. Muita merkittäviä haasteita ovat puuttuvat standardit. [2]

Eri laitosten toimintatavat ja prosessit poikkeavat toisistaan, jonka takia ne on tärkeää selvittää, jotta voidaan havaita mahdollisia parannuskohteita. Jokainen terveydenhuollossa työskentelevän on mahdollista edistää kiertotaloutta jätteen kierrätyksen osalta, esimerkiksi jätteen lajittelu eri materiaalivirtoihin ja kierrätettävän materiaalin erottelu. Hyvä tietämys ja kyky soveltaa kiertotalouden periaatteita jätteen syntypaikassa antavat sille vahvan pohjan.

Toimenpiteiden tärkeysjärjestykseen vaikuttaa aina laitoksen oma arvio ja asioiden priorisointi. Järjestyksessä on otettava huomioon eri toimintojen vaikutukset, sekä jätteen määrään että laatuun. Arviointiin liittyy vahvasti myös prosessien kustannustehokkuus ja ympäristöhyödyt. Näiden huomioiden avulla organisaatio voi keskittyä ensisijaisiin toimenpiteisiin ja saavuttaa nopeammin huomattavia tuloksia kiertotalouden edistämisessä.

Organisaation tasolta tarvitaan tukea näiden toimintojen toteuttamiseksi. Organisaation toiminta kestävämmän kehityksen suuntaan vaatii selkeää, sekä kannustavaa ympäristöpolitiikkaa organisaation sisällä. Tärkeää on myös henkilöstölle suuntautuva tiedotus ja koulutus, jotta kaikki työntekijät ymmärtävät ja sitoutuvat kiertotalouden periaatteisiin. Eri näkökulmien huomioiminen on tärkeää kiertotalouden kehittämisessä, jotta saavutetaan tehokas ja kestävä jätteenhallinta organisaation tasolla. [2]

## **4.2 Innovaatioita kiertotalouteen**

Tulevaisuudessa painotetaan yhä enemmän uusien innovaatioiden merkitystä, jotta lääketieteellisen jätteen kierrätys ja käsittely voi kehittyä kiertotalouden mallin mukaan. Innovaatioihin kuuluu materiaalit, joiden avulla valmistetaan terveysteknologian laitteita.

Nämä materiaalit, kuten biohajoavat polymeerit ja joustavat johtimet, ovat taipuisia ja mukautuvat kehon liikkeisiin. Vaikka teknologiat kehittyvät, niiden laaja-alainen käyttö vaatii lisää tutkimuksia. Ratkaisuja tarvitaan muun muassa kestävyys, luotettavuuteen ja yhteensopivuuteen, jotta materiaalit ovat sopivia ihmiskehoon ja lääketieteelliseen käyttöön. [16]

Antureille joustavuus on yksi tärkeimmistä tekijöistä. Ne asetetaan lähelle pehmeää kudosta, kuten hermoja, sydäntä tai aivoja. Jotta elimen normaali toiminta ei kärsi, tarvitsee antureiden olla joustavia. Antureiden pohjamateriaaleiksi valitaan siis erittäin ohuita nanokuitukerroksia, taipuisia polymeerikerroksia, pehmeitä ja huokoisia polymeerejä tai joustavia elastomeerejä, kuten esimerkiksi polyvinyylidifluorisista (PVDF) valmistettu nanokuitupohja. [17]

Älykkäillä materiaaleilla pyritään parantamaan jatkuvaa seuranta, jotta esimerkiksi sairauksien etenemistä kehossa voidaan seurata reaaliajassa. Jokaisessa tähän tarkoitukseen kehitetyssä laitteessa on vähintään yksi anturin tai toimilaitteen tyyppinen muunnin. Muunnin on vuorovaikutuksessa jonkin biologisen aineen kanssa, kuten hien, kyynelten tai veren. Tällaisten laitteiden valmistukseen voidaan käyttää niin joustavia, kuin jäykkiä materiaaleja. Valmistukseen käytettävät materiaalit sisältävät muun muassa puolijohteita, metalleja, seoksia, polymeerejä ja keraameja. Materiaalien ominaisuutena on reagoida mekaanisiin, kemiallisiin, sähköisiin tai magneettisiin signaaleihin, jotta niitä voidaan hyödyntää älykkäinä materiaaleina laitteissa. [17]

Ortopedisissä toimenpiteissä magnesium (Mg)-pohjaisten implanttien käyttö on viime aikoina noussut esille. Mg-pohjaisia implantteja pidetään hyvänä vaihtoehtona perinteisille metalli-implanteille sen biohajoavuuden ja biokompatibiliteetin takia. Nämä ominaisuudet vähentävät uuden leikkauksen tarvetta implantin poistamiseen. Mg-pohjaiset implantit ovat mekaanisesti vahvoja, ja niiden lujuus on verrattavissa luun omaan lujuuteen. Ne ovat osoittautuneet myös edistävän luun muodostumista, jonka takia kokonaisuudessaan Mg-pohjaiset implantit ovat lupaava vaihtoehto ortopedisiin toimenpiteisiin. Kehittämisessä haasteena on kuitenkin niiden korroosion kestävyys, jonka takia implanttien tutkimusta ja kehittämistä tarvitaan lisää. [10]

Kestävyden yhdistäminen lääketieteellisiin muovimateriaaleihin on ollut viime vuosina keskustelun aiheena. Tutkimukset ovat painottuneet biohajoaviin muoveihin ja niiden käyttöön terveydenhuollossa. Biomassasta tai mikro-organismeista valmistetut bioplastit voivat tulevaisuudessa olla tärkeä vaihtoehto perinteisille öljypohjaisille muoveille. Bioplasteja ovat esimerkiksi polylaktidi (PLA) ja polyhydroksialkanoaatit (PHA). Vaikka

nämä materiaalit hajoavat ajan myötä luonnossa, niitä voidaan myös kierrättää.

Tulevaisuudessa tarvitaan lisää tutkimuksia muun muassa kustannustehokkuutteen, jotta biopohjaisilla muoveilla voidaan korvata yleisesti käytetyt kertakäyttömuovit terveydenhuollossa. [4]

Uudet innovaatiot tulevat vaikuttamaan huomattavasti terveydenhuollon laitteiden ja välineiden suunnitteluun. Tulevaisuudessa pyritään entistä kestävämpiin ja ympäristöystävällisempiin ratkaisuihin, jolloin jo kiertotalouden suunnitteluvaiheessa pystytään määrittelemään tuotteen käyttö, käsittely ja kierrätys. Materiaalien valinnassa ja valmistusprosesseissa tullaan ottamaan huomioon enemmän kiertotalouden merkitystä, joka näkyy kierrätettävien ja uusiutuvien materiaalien käytössä.

### **4.3 Tulevaisuuden haasteet ja mahdollisuudet kierrätykseen sekä jätteen käsittelyyn**

Erään tutkimuksen mukaan vain noin 38,9 % lääketieteellisestä jätteestä lajiteltiin asianmukaisesti ja terveydenhuollon työntekijöistä 41 % oltiin koulutettu kyseisellä paikalla jätteen asianmukaiseen hävittämiseen [11]. Lääketieteellisen jätteen kierrätykseen liittyvät ongelmat voivat olla peräisin epätietoisuudesta tai epäselvistä ohjeistuksista jätteen hallintaan. Terveydenhuollon laitosten, sekä työntekijöiden käytännöllä on paljon merkitystä, miten jätteiden kierrätys ja hävitys toimii. Terveydenhuollon laitosten toimintasuunnitelman tarvitsee kouluttaa koko henkilöstö jätteen kierrätykseen, sekä käsittelyyn kuuluvat sidosryhmät, jotta menetelmät toimivat tehokkaasti [6]. Terveydenhuollon henkilökunnan oikeanlainen koulutus voi merkittävästi vähentää epäasianmukaista lääketieteellisen jätteen hallintaa [2]. Tämän kuuluisi vaikuttaa terveydenhuollon laitoksien strategioihin, miten jokainen osasto ottaa vastuuta jätteen hallinnasta ilman, että palveluiden laatu kärsii.

Alankomaissa toteutetun tutkimuksen mukaan kierrättämällä ja uudelleenkäyttämällä kunnostettuja välineitä ja materiaaleja sairaalat tuottivat 39 000 € ainoastaan puolessa vuodessa. Saksassa tehdyn tutkimuksen mukaan jätteiden kokonaismäärästä 1–3 % (60 000–80 000 tonnia) on tarttuvaa, jonka hävittämiskustannukset ovat 5–10 kertaiset kuin ei-vaarallisen jätteen. Esimerkiksi kirurgisien laitteiden korjaus ja kunnostus ovat tehokkaimmat tavat vähentää laitteiden kokonaiskustannuksia. Sen sijaan perinteinen jätehuolto pyrkii

alentamaan kustannuksia keräämällä ja hävittämällä jätteet useasti kaatopaikalle tai polttamalla ne. [3] Tulevaisuudessa tällainen asettaa terveydenhuollon laitoksille kannustimen panostaa kiertotalouden mukaiseen ja parempaan jätehallintaan, sekä kierrätykseen.

Monipuoliset muovimateriaalit ovat välttämättömiä terveydenhuollon alalla, ja sen takia se on suuri haaste vähentää tai poistaa kokonaan. Muovia, joita tullaan käyttämään lääketieteellisessä käytössä, tulisi suunnitella alusta asti kierrätettäväksi. Suunnittelussa tarvitsee ottaa huomioon muovien koostumus, valmistusprosessit ja käyttökohteet, jotta kierrätys voidaan mahdollistaa. Kuitenkin lääketieteellisen muovijätteen haasteihin kuuluvat lajittelun ja puhdistuksen tekniset vaikeudet. Pelkästään lääketieteellisen muovijätteen kierrätys tarjoaa selkeän ratkaisun muovisaasteihin.

Älykkäiden materiaalien avulla voidaan luoda tehokkaampia ja kestävämpiä terveydenhuollon järjestelmiä tulevaisuudessa, jotka toteuttavat kiertotalouden periaatteita. Samalla kun älykkäät materiaalit parantavat terveydenhuoltoa, ne edistävät ympäristöystävällisempien laitteiden käyttöä. Älykkäiden materiaalien kehitys voi edistää kierrätettävyyttä, jolloin käytettävät materiaalit voidaan suunnitella alusta asti kierrätettäväksi. Uusiutuvien materiaalien käyttö ja energiatehokkaampien laitteiden käyttö vähentää niin jätteiden määrää kuin ympäristövaikutuksia. [17]

Lääketieteellisten jätteiden kierrätykseen ja käsittelyyn liittyviä haasteita ja mahdollisuuksia on tarkasteltu jätteiden eri hallinnollisista näkökulmista, joihin kuuluvat esimerkiksi rahoituksen puute, liiallinen lääkkeiden ja välineiden hankinta, sekä epäasianmukainen logistiikka. Lääketieteellisen jätteen logistisia ongelmia on pyritty ratkaisemaan matemaattisen mallinnuksen, sekä ohjelmoinnin avulla. Tällöin jätteen hallintaan liittyvät kokonaiskustannukset voitaisiin minimoida. [2] Teknologian kehittyessä on odotettavissa uusia ratkaisuja lääketieteellisen jätteen käsittelyyn. Edistyneet lajittelujärjestelmät ja käsittelymenetelmät voivat tehostaa kierrätysprosesseja ja vähentää jätteen määrää. Kuitenkin tiukemmat säädökset ja määräykset, joita todennäköisesti tulee tulevaisuudessa, voivat asettaa paineita terveydenhuollon organisaatioille kehittää entistä parempia ja turvallisempia käytäntöjä jätehuollossa.



## 5 Yhteenveto ja johtopäätökset

Terveydenhuollon laitoksista syntyy vuosittain suuria määriä lääketieteellistä jätettä, joista WHO:n mukaan 15 % on vaarallista jätettä, vaikka todellisuudessa määrä on huomattavasti suurempi kuin 30 % usealla alueella. Kuitenkin luokittelulla ja määritelmällä on suuri vaikutus jätteiden määrässä ja hallinnassa. Suuren jätemäärän ja lineaarisen talousmallin vuoksi suuri osa jätteestä on kertakäyttöisiä ja tarpeetonta. Myös osa hävitetään lopullisesti väärin, joka aiheuttaa terveysriskejä ja ympäristön saastumista. Terveydenhuollossa käytettävät välineet ja laitteet tulisi suunnitella aina niissä käytetyn materiaalin mukaan siten, että huomioidaan materiaalin elinkaari ja pyritään noudattamaan kiertotalouden mallia.

Lääketieteellisten jätteiden hallinnassa on monia haasteita, mutta myös tulevaisuuden mahdollisuuksia, ja niihin liittyy monia tekijöitä. Jotta kokonaisuudessa ympäristövaikutuksia ja kustannuksia voidaan vähentää, täytyy tehostaa jätteiden hallintaa, käsittelyä ja kierrätystä. Tulevaisuudessa lääketieteellisten jätteiden hallintaa tulisi parantaa alueellisilla määräyksillä niin käsittelyn kuin kierrätyksenkin osalta. Erityisesti vaarallisten lääketieteellisten jätteiden osalta käsittelymenetelmät ja kierrätys aiheuttavat saasteita, etenkin kun jätteitä poltetaan. Jätteiden hallinnassa tarvitaan tarkempaa tutkimusta jätemääristä ja -koostumuksista, ja erityisesti muovien kierrätyksessä on potentiaalia jätemäärän vähentämiseen. Pelkästään jätteen määrään voidaan vaikuttaa vähentämällä kertakäyttömateriaaleja välineissä ja laitteissa. Lisäksi tarkemmat määritelmät lajitteluun voivat edistää tehokkaampaa hallintaa. Ympäristön kannalta olisi tärkeää vähentää polttamista käsittelymenetelmänä haitallisten päästöjen vuoksi. Investoimalla uusiin ympäristöystävällisempiin tekniikoihin jätteen desinfiointiksi ja käsittelyksi voidaan edistää kestävämpää lähestymistapaa lääketieteellisen jätteen hallintaan. Jätehuollossa ensisijainen lajittelu ja kierrätys ovat avainasemassa kohti tehokasta ja kiertotalouden mukaista jätehuoltoa.

Kiertotalouden kasvu terveydenhuollossa kohtaa haasteita, kuten kuljetuksen ja infrastruktuurin puutteet sekä materiaalien palauttamisen hankaluudet. Tavoitteena on hyödyntää materiaaleja uudelleen ja pidentää niiden elinkaarta kestävillä suunnitelluilla. Jokaisen terveydenhuollossa työskentelevän on kuitenkin nyt jo mahdollista edistää kiertotaloutta jätteen kierrätyksen avulla.

Tulevaisuudessa painotetaan innovaatioiden roolia lääketieteellisen jätteen kierrätyksessä ja käsittelyssä. Uusien materiaalien, kuten esimerkiksi biohajoavien polymeerien ja joustavien

johtimien kehitys mahdollistaa terveysteknologisten laitteiden valmistuksen. Tutkimusta tarvitaan lisää helpommin hajoavista materiaaleista, joilla voisi korvata kertakäyttötuotteisiin käytettäviä materiaaleja. Niiden avulla voidaan vähentää niin jätteen syntymistä kuin ympäristövaikutuksia. Tällaisten toimenpiteiden avulla voidaan parantaa lääketieteellisen jätteen hallintaa ja edistää kestävästä kehitystä terveydenhuollossa.

## Lähteet

- [1] WHO, "Health-care waste". Viitattu: 14. helmikuuta 2024. [Verkossa]. Saatavissa: <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/health-care-waste>
- [2] J. Kandasamy, Y. P. Kinare, M. T. Pawar, A. Majumdar, V. K. E. K., ja R. Agrawal, "Circular economy adoption challenges in medical waste management for sustainable development: An empirical study", *Sustain. Dev.*, vsk. 30, nro 5, ss. 958–975, loka 2022, doi: 10.1002/sd.2293.
- [3] M. Attrah, A. Elmanadely, D. Akter, ja E. R. Rene, "A Review on Medical Waste Management: Treatment, Recycling, and Disposal Options", *Environments*, vsk. 9, nro 11, s. 146, marras 2022, doi: 10.3390/environments9110146.
- [4] B. Joseph, J. James, N. Kalarikkal, ja S. Thomas, "Recycling of medical plastics", *Adv. Ind. Eng. Polym. Res.*, vsk. 4, nro 3, ss. 199–208, heinä 2021, doi: 10.1016/j.aiepr.2021.06.003.
- [5] W. R. Wagner, "The Materials Side of the Biomaterials Relationship", teoksessa *Biomaterials Science*, Elsevier, 2020, ss. 83–84. doi: 10.1016/B978-0-12-816137-1.00008-8.
- [6] S. M. Lee ja D. Lee, "Effective Medical Waste Management for Sustainable Green Healthcare", *Int. J. Environ. Res. Public Health*, vsk. 19, nro 22, s. 14820, marras 2022, doi: 10.3390/ijerph192214820.
- [7] Ympäristöministeriö, "Terveydenhuollon jäteopas", *Ymp. Julk. 202311*, maaliskuu 2023, Viitattu: 20. helmikuuta 2024. [Verkossa]. Saatavissa: <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-361-255-6>
- [8] Ympäristöministeriö, "Jätteen luokittelu vaaralliseksi jätteeksi - päivitetty opas", *Ymp. Julk. 20192*, tammi 2019, Viitattu: 22. helmikuuta 2024. [Verkossa]. Saatavissa: <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-361-001-9>
- [9] P. Turek, G. Budzik, M. Oleksy, ja K. Bulanda, "Polymer materials used in medicine processed by additive techniques", *Polimery*, vsk. 65, nro 07/08, ss. 510–515, heinä 2020, doi: 10.14314/polimery.2020.7.2.
- [10] D. Zhao, F. Witte, F. Lu, J. Wang, J. Li, ja L. Qin, "Current status on clinical applications of magnesium-based orthopaedic implants: A review from clinical translational perspective", *Biomaterials*, vsk. 112, ss. 287–302, tammi 2017, doi: 10.1016/j.biomaterials.2016.10.017.

- [11] N. Singh, O. A. Ogunseitan, ja Y. Tang, ”Medical waste: Current challenges and future opportunities for sustainable management”, *Crit. Rev. Environ. Sci. Technol.*, vsk. 52, nro 11, ss. 2000–2022, kesä 2022, doi: 10.1080/10643389.2021.1885325.
- [12] ”Dioksiinit ja terveys – molekyylibiologiasta ehkäisytoimiin”. Viitattu: 20. helmikuuta 2024. [Verkossa]. Saatavissa: <https://www.duodecimlehti.fi/xmedia/duo/duo94395.pdf>
- [13] H. Zhou *ym.*, ”A deep learning approach for medical waste classification”, *Sci. Rep.*, vsk. 12, nro 1, s. 2159, helmi 2022, doi: 10.1038/s41598-022-06146-2.
- [14] H. H. Eker ja M. S. Bilgili, ”Statistical analysis of waste generation in healthcare services: a case study”, *Waste Manag. Res. J. Sustain. Circ. Econ.*, vsk. 29, nro 8, ss. 791–796, elo 2011, doi: 10.1177/0734242X10396755.
- [15] M. P. G. Mol *ym.*, ”Healthcare waste generation in hospitals per continent: a systematic review”, *Environ. Sci. Pollut. Res.*, vsk. 29, nro 28, ss. 42466–42475, kesä 2022, doi: 10.1007/s11356-022-19995-1.
- [16] Q. Lyu, S. Gong, J. Yin, J. M. Dyson, ja W. Cheng, ”Soft Wearable Healthcare Materials and Devices”, *Adv. Healthc. Mater.*, vsk. 10, nro 17, s. 2100577, syys 2021, doi: 10.1002/adhm.202100577.
- [17] F. Arab Hassani *ym.*, ”Smart materials for smart healthcare– moving from sensors and actuators to self-sustained nanoenergy nanosystems”, *Smart Mater. Med.*, vsk. 1, ss. 92–124, 2020, doi: 10.1016/j.smaim.2020.07.005.