2. Synteettinen biologia ja materiaalit

Markus Linder, Aalto-yliopisto

Mistä on kyse?

Synteettinen biologia ja biopohjaiset materiaalit tarjoavat uusia mahdollisuuksia vihreämpään kemianteollisuuteen ja biopohjaisiin ja biohajoaviin materiaaleihin korvaamaan perinteisiä öljypohjaisia muoveja, joiden ympäristöhaitat ovat jo laajasti tunnetut.

Yhteiskunnan materiaaliteknologia määrää laajasti meidän jokapäiväistä elämäämme. Jopa niin, että eri ajanjaksot nimetään materiaalien mukaan, kuten pronssikausi, rautakausi, jne. Voimme ehkä sanoa, että nykyään eletään muovikaudessa. On vaikeaa ajatella, miten tulimme aiemmin toimeen ilman muoveja ja synteettisiä tekstiilejä. Joka tapauksessa, materiaalien massatuotanto ja kulutus vaikuttavat laajasti ympäristöömme. Muovit ja tekstiilit valmistetaan pääosin petrokemikaaleista, ja monet näistä materiaaleista hajoavat huonosti, jos ne päätyvät luontoon. Hälyttäviä esimerkkejä hajoamattomien jätteiden kertymästä luonnossa ovat esimerkiksi jättimäiset muovilautat valtamerissä. Jätteiden kierrättäminen on tietysti järjestettävä paremmin, mutta myös tahattomasti pelkästään kuluttamisen kautta vapautuu merkittäviä määriä materiaalia, esimerkkinä mikromuovit. Petrokemikaalien käytön ongelma on tietysti myös raaka-aineen uusiutumattomuus. Nämä ja vastaavat pohdinnat johtavat haasteeseen, miten materiaaleja voitaisiin tuottaa kestävän kehityksen mukaisesti. Biologiset molekyylit kuten hiilihydraatit ja proteiinit ovat periaatteessa erittäin sopivia myös teknisten ja kulutusmateriaalien valmistamiseen, esimerkkeinä vaikkapa silkki tai hämähäkin seitti. Nämä luonnonmateriaalit koostuvat lähes kokonaan proteiinista ja ovat mekaanisilta ominaisuuksiltaan erinomaisia materiaaleja. Ne ovat erittäin sitkeitä, eli niiden hajottamiseen vaadittava energia on hyvin korkea, jopa niin korkea että synteettisillä materiaaleilla on haastavaa saavuttaa samoja arvoja. Toinen erimerkki biologisesta materiaalista on helmiäinen, joka koostuu suurelta osin kalsiumkarbonaatista. Tämä on sama aines kuin marmori, mutta helmiäisen materiaaliominaisuudet ovat useita kertaluokkia parempia. Tämä johtuu siitä, miten kalsiumkarbonaatin kiteet ovat liimaantuneet silkkimäisen proteiinin avulla toisiinsa.

Tästä seuraa kysymys: Miten voisimme käyttää biologisia tuotantomekanismeja uusien materiaalien tuotantoon? Voisimmeko tuottaa silkkiproteiinia laboratorio-olosuhteissa ja tehdä siitä muovinkaltaisia materiaaleja? Voisiko helmiäistyyppisillä materiaaleilla korvata metalleja? Tai voisimmeko tehdä aivan uudenlaisia materiaaleja, joissa helmiäisen kaltaisella silkkiliimalla saadaan selluloosakuituja liimattua kiinni toisiinsa, tuloksena uudenlainen selluloosa-silkki -tekstiili? Tai miten puu- ja kasvipohjaisesta selluloosasta tehdään muovin korvike ja jopa huipputeknisiä materiaaleja? Tällaisia biosynteettisiä materiaaleja ollaan itse asiassa kehittämässä monessa tutkimuslaboratoriossa. Paitsi uudenlaiset biopohjaiset materiaalit, myös materiaalien prosessoiminen biologisesti on toinen kestävän materiaalitieteen perusongelma. Eli voidaanko perinteistä energiaintensiivistä kemianteollisuutta korvata biologisilla prosesseilla? Ongelmana on se, miten biologisia tuotanto-organismeja voidaan kehittää molekyylikomponenttien tuottamiseen. Tässä tulevat kyseeseen lähinnä mikrobit, eli haasteena on mikro-organismien kuten hiivojen tai bakteerien geneettinen muokkaus niin, että ne tuottavat oikeanlaisia komponentteja. Tässä haasteessa synteettinen biologia tarjoaa mahdollisuuksia tehokkaisiin ratkaisuihin. Mikrobien sisäisiä synteesi- ja aineenvaihduntareittejä voidaan muokata ja rakentaa sopiviksi materiaalien tuottamiseen. Tämä on kuitenkin käytännössä usein haastavaa, koska

tällaisten komponenttien tuottamiseen muokkauksen kohteena olevalta mikrobilta usein puuttuu aineenvaihduntaan tarvittavia osia, joita täytyy tuoda sen geneettiseen järjestelmään eli genomiin synteettisen biologian keinoin muilta organismeilta. Toisaalta materiaalituotannon ongelmana on, että biologiset materiaalikomponentit kuten silkki käyttäytyvät hyvin eri tavalla kuin nykyiset materiaalit, kuten muovit tai metallit, joita jo osataan tehokkaasti prosessoida teknisesti. Kun muovia useimmiten voidaan muokata lämmittämällä tai käyttämällä liuottimia, niin esimerkiksi silkkimateriaalille näitä prosesseja ei voida käyttää. Biologiset materiaalit muodostuvat vesiympäristössä, molekyylien itsejärjestäytymisen kautta tarkasti kontrolloiduissa olosuhteissa, ja usein solujen sisällä tietyssä järjestyksessä. Biologisten molekyylinen prosessointi materiaaleiksi on siis edelleen hyvin haastavaa, emmekä tarkasti tiedä, miten erilaiset materiaaliominaisuudet saavutetaan molekyylitason vuorovaikutuksista. Haasteena on siis kehittää uudenlainen materiaaliteknologia, joka yhdistää biologisen ymmärryksen molekulaarisen materiaalitieteen kanssa. Tässä yhteydessä myös nanoteknologialla on merkittävä rooli.

Teknologian edut ja riskit

Teknologian visiona on tuottaa korkeatasoisia materiaaleja laajamittaiseen käyttöön käyttäen teknologiaa, joka perustuu uusiutuviin ja biologisiin raaka-aineisiin. Materiaalit itse eivät kerääntyisi luontoon vaan olisivat biohajoavia. Vaikka joidenkin materiaalien hajoaminen olisi hidasta kuten helmiäiselläkin, niin niistä ei erottuisi luonnolle vieraita ja haitallisia yhdisteitä. On melko selvää, että yhteiskunta on menossa kohti tämän tyyppistä teknologiaa, koska edut ovat hyvin selkeitä. Itse teknologiassa on kuitenkin riski, että sen ymmärtäminen ja käyttö on haastavaa, kehitys vie kauan ja voi kestää vuosikymmeniä ennen kuin teknologia on sovellettavissa käytännössä. Tuotteiden on oltava vähintään yhtä hyviä ja kustannustehokkaita kuin mitä ne korvaavat, ja kilpailu tulee tässä mielessä olemaan erittäin haastavaa. Tällaisten biosynteettisten materiaalien tuotanto tulee myös edustamaan erittäin korkean teknologian osaamista. Tiettynä vaarana on, että osaaminen keskittyy vain tiettyihin yrityksiin tai maihin, kun taas kehittyvät alueet eivät pysty hyödyntämään uutta teknologiaa vaan jäävät vanhan teknologian varaan.

Kun materiaalituotantoon suunnataan orgaanista materiaalia, niin tämä materiaalivirta tietysti kilpailee muun käytön kanssa. Tässä on keskeistä, että ruoantuotantoon kelpaavaa raaka-ainetta ei käytetä materiaalituotantoon. Sen sijaan ruoantuotannossa syötäväksi kelpaamaton jäte voi olla raaka-ainetta biopohjaisille materiaaleille, jolloin kustannustehokkuus saavutetaan sillä että jätevirta, jonka hävittämisestä on jouduttu maksamaan muodostuukin raaka-aineeksi ja tulonlähteeksi. Tämä, samoin kuin muiden teollisuusjätteiden käyttö uusien biopohjaisten huippumateriaalien tuottamiseen on täysin mahdollista ja tarjoaa jännittävän mahdollisuuden kiertotalouteen.

Geeniteknologiaan liittyy tiettyjä riskejä. Materiaalituotannon yhteydessä ne eivät poikkea siitä riskistä, mitä mikrobien geenimuokkauksessa yleensäkin on. Näitä riskejä on kartoitettu kattavasti tutkimusyhteisöissä ja teollisuudessa, ja niiden perusteella on kehitetty lainsäädäntöä ja toimintamalleja, jotka ovat osoittautuneet riittäviksi eikä tästä teknologiasta ole koitunut haittaa ympäristölle tai ihmisille. Yleinen ymmärrys on, että tämänhetkinen toimintatapa on turvallinen.

Nykytila

Sekä yrityksissä että julkisessa tutkimuksessa biologinen materiaalituotanto on herättänyt paljon mielenkiintoa. Aihe tarjoaa tieteellisesti merkittäviä tutkimuksenasetteluja ja potentiaalinen yhteiskunnallinen hyöty on tutkimusyhteisölle erittäin motivoiva. Suomessa on muutama

tutkimusryhmä, jotka ovat suunnanneet tutkimuksensa tähän. Ymmärretään, että tutkimuksellisesti haasteet ovat erittäin suuria, ja ne tulevat vaatimaan paljon resursseja. On jo olemassa start-up -yrityksiä, jotka tähtäävät näille markkinoille. Näiden yritysten innovaatioissa ja toimintamalleissa nähdään erittäin paljon kasvupotentiaalia.

Tulevaisuus

Biosynteettisten materiaalien tuotanto voi vaikuttaa hyvinkin paljon yhteiskuntaan tulevaisuudessa. Lainsäädäntö vaikuttaa mahdollisesti nykyisten materiaalien käyttöön, jos esimerkiksi mikromuovien kertyminen luontoon jatkuu ja selviä ympäristöhaittoja ilmenee. Tällöin nykymateriaalin rajoituksia koskeva lainsäädäntö vauhdittaa vaihtoehtojen kehittämistä kuten on nähty esimerkiksi freonien ja monien muiden kemikaalien kohdalla. Kun uutta lainsäädäntöä suunnitellaan, tällöin vaaditaan tietysti myös ymmärrystä vaihtoehtoisista mahdollisuuksista.

On selvää, että teknologinen osaaminen tulevaisuudessa on taloudellinen ja yhteiskunnallinen kilpailuetu. Teknologian kehitys riippuu tietysti siihen suunnattavista resursseista. Koska tulevaisuuden teknologia tulee olemaan poikkitieteellistä, sen toimintaedellytykset ovat parempia suurissa tutkimuskeskittymissä, joissa tieteenalojen ylittävää tutkimusta syntyy luontevimmin. Esimerkkinä voidaan käyttää vaikkapa tekoälyn (artificial intelligence, AI) ja laskennallisen simulaation yhdistämistä biosynteettiseen materiaalitutkimukseen.

Suomessa on hyvät edellytykset biosynteettisten materiaalien kehitystyöhön ja tuotantoon, koska jo nyt olemme maailman kärkipäässä esimerkiksi lignoselluloosan monipuolisessa käytössä täysin uusiin materiaaleihin. Tähän teolliseen osaamiseen on luontevaa liittää myös muilla tavoilla tuotettuja biologisia komponentteja. Tällöin niin tutkimuksessa, materiaaleissa itsessään, materiaalivirroissa kuin kaupallisessa osaamisessakin voi syntyä useita synergiaetuja. Näiden visioiden toteutumiseksi tulisi varmistaa, että eri toimijoita tuotaisiin yhteen riittävän avarakatseisesti ja samalla luotaisiin mahdollisuuksia pitkäjänteiseen kehitykseen. Uudet teknologiat antavat myös uusia mahdollisuuksia kiertotaloudelle, jossa teollisuus- ja elintarvikejätteistä voidaan prosessoida jopa korkean teknologian tuotteita.