

Biohajoavuusmittaukset

Hanna Prokkola
Tutkijatohtori
Oulun yliopisto
2024

Aineen tai yhdisteiden biohajoavuudella tarkoitetaan sen biologista hajoamista bakteerien tai pieneliöiden toimesta maaperässä ja/tai vesistössä. Maaperässä on monia eliöitä, kuten alkueläimiä, arkeoneja ja aktinobakteereita. Mikroelämään kuuluvat myös bakteerit, tietyt sienet ja levät. Jopa vesijohtovedessäkin on viruksia ja bakteereita. Biohajoamisen katsotaan yleensä olevan bakteeriperäistä toimintaa, vaikka muitakin hajottavia eliöitä on olemassa. Näiden eri ympäristöissä elävien eliöiden eroavaisuuden takia maaperämittauksissa saadaan erilainen biohajoavuustulos kuin vesiympäristössä. Pelkistetyimmillään biohajoavuus tarkoittaa yhdisteiden ravintokäyttöä ja siitä syntyviä tuotteita, kuten hiilidioksidi, metaani ja vesi.

Biologiseen hajoamiseen kuuluvat kaksi pääaluetta eli aerobinen ja anaerobinen. Aerobisessa reaktiossa bakteerit käyttävät biohajoavia yhdisteitä ravinnokseen ja lopputuotteena syntyy hiilidioksidia ja vettä. Nämä bakteerit vaativat happea, jotta ne voisivat elää ja lisääntyä. Anaerobisessa reaktiossa bakteerit käyttävät ravinnokseen useamman eri reaktion kautta orgaanisia yhdisteitä muuttaen ne täydellisessä hajoamisessa metaaniksi ja hiilidioksidiksi. Anaerobisia bakteereita on kahdenlaisia. Toiset myrkyttyvät hapestä ja ovat ehdottomia anaerobeja ja toiset pystyvät elämään myös hapellisissa oloissa. Biohajoavuusreaktio voi myös jäädä kesken, jos joku sivutuote ei olekaan enää biohajoavaa. Tällöin saadaan pienempi biohajoavuustulos.

Aerobisten bakteerien hajotustoimintaa kutsutaan nimellä respirometrinen, mikä tarkoittaa suomennettuna hengitystoimintaa. Nimityksen perustana on bakteerien vaatiman hapen muuttaminen hiilidioksidiksi, kuten kehittyneemmillä hengittävillä eliöillä tapahtuu. Biohajoavuus voidaan käsittää vastakkaisena reaktiona yhteyttämiselle, koska siinä sitoutunut auringonenergia vapautetaan eliöiden käyttöön. Hajoamisessa syntyvä biomassa on lähinnä kuollutta bakteerisolukkoa, jota bakteerit tai pieneliöt edelleen hajottavat. Tämän biomassan muodostuminen vaatii myös hiiltä. Sen takia respirometrisessä mittauksessa saadaan hieman alempi biohajoavuustulos kuin olisi ilman bakteerien kuluttamaa hiiltä. Tämän takia nopeasti biohajoavan raja-arvo on manometrisessä respirometrisessä mittauksessa pieni, 60 %, koska tässä otetaan huomioon bakteerien kuluttama hiili eikä pelkkää hiilidioksidin tuottoa. Joillain muilla menetelmillä tutkittuna raja-arvo on 70 %. Manometrinen mittaus tarkoittaa paineen mittaukseen perustuvaa mittaussysteemiä.

BOD OxiTop-menetelmä perustuu paineen mittaukseen, jossa bakteerit käyttävät hiilenyhdisteitä ravintona ja kuluttavat happea ja tuottavat hiilidioksidia. Syntynyt hiilidioksidi imeytetään NaOH- tai KOH-pellettiin, joka sijoitetaan pullon yläosassa olevaan tuttiin siten, että se ei koske liuokseen. (kuva 1) Tästä saadaan paineen alenema, josta laite laskee modifioidun kaasujen tilan yhtälön kautta kuinka paljon happea on kulunut ja ilmoittaa lukeman milligrammoina per litra happea. Tätä saatua lukua kutsutaan BOD-luvuksi.

Liuos BOD mittauksissa laite laskee BOD arvon modifioidulla ideaalikaasujen tilanyhtälöllä

$$\text{BOD [mg/l]} = \frac{M(\text{O}_2)}{RT_m} \cdot \left[(V_{\text{tot}} - V_l) / V_l + \alpha T_m / T_0 \right] \cdot \Delta p(\text{O}_2) \quad (3)$$

$M(\text{O}_2)$ on hapen moolimassa (32.00 g/mol), R on kaasuvakio (83.144 l

hPa mol⁻¹ K⁻¹), T_m on mittauslämpötila (K), T_0 is 273.15 K, V pullon tilavuus (ml), V_l on liuoksen tilavuus (ml), α on Bunsen absorptiokerroin (0.03103) and $\Delta p(\text{O}_2)$ on mitattu paineen muutos (hPa).



Kuva 1. Mittalaitteisto liuosmittauksiin

Biohajoavuutta voidaan mitata myös pelkän liuoksen biologisena hapenkulutuksena, kuten metsäteollisuuden, yhdyskuntien sekä muun teollisuuden jätevesille tehdään tarkkailtaessa vesistöön laskettavien vesien aiheuttamaa kuormitusta. Tähän käytetään saatua arvoa milligrammoina per litra eli BOD-lukua. Jos mitataan tietyn yhdisteen biohajoavuutta, täytyy laskea sille biohajoavuusaste saadusta BOD-luvusta, jolloin saadaan selville, montako prosenttia yhdiste on biohajonnut. Tätä laskentaa varten pitää olla tiedossa näytteen hiili-, vety ja happipitoisuudet. Näillä arvoilla lasketaan teoreettinen arvo, jota verrataan mitattuun tulokseen. ja näin saadaan selville biohajoavuusaste.

Mitattu BOD/teoreettinen arvo $\cdot 100\%$ = biohajoavuusaste %

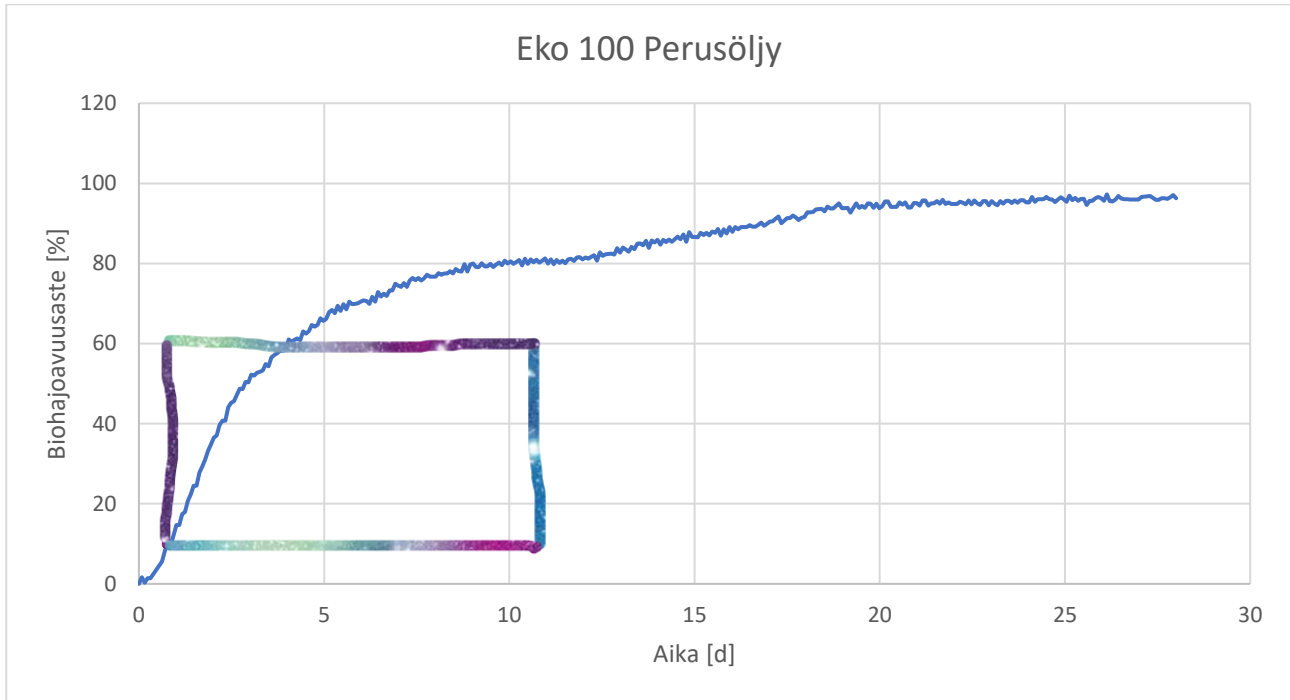
Laskenta on sitä tarkempi mitä enemmän on esitietoja näytteestä. Monta kertaa törmää tilanteeseen, missä ei ole otettu huomioon vety- tai happipitoisuutta, ja biohajoavuusaste on tällöin enemmän sinnepäin kuin oikea.

Tarvittava hajottava bakteerisiirros saadaan yleensä jäteveden puhdistamolle tulevasta jätevedestä, jossa on sekä määrällisesti että laadullisesti hyvä ja monipuolinen bakteerikanta. Yleensä bakteerilähteenä mittauksissa käytetään tätä, koska se sisältää kaiken laajimman kirjon bakteereita, mikä takaa optimaaliset olosuhteet biohajoamiselle. Sitä lisätään suodatettuna noin 10 – 20 ml/l.

Inhibitiota on näytteessä havaittavissa, kun saadaan laimennoskertoimen kasvaessa isompi BOD-arvo. Tämä perustuu siihen, että inhiboivien tai myrkyllisten yhdisteiden laimetessa niiden vaikutus bakteereihin ja niiden elinolosuhteisiin vähenee, joten biohajoavuustulos kasvaa laimennoksen kasvaessa. Tämän takia oikea näytemäärä on tärkeää. Pitoisuudessa 0,1 mg/l saadaan jo öljyille tulos, missä ei ole inhibitiota matkassa.

Kuvassa 2 on EkoSata Perusöljyn biohajoavuusasteen kuvaaja, josta nähdään, että aine on nopeasti biohajoavaa. Kuvaajaan on piirretty 10 päivän aikaikkuna, minkä sisälle pitää käyrän mennä, jotta se olisi nopeasti biohajoava ja kyseinen öljy on nopeasti biohajoavaa jo alle 5 päivän mittauksessa. Tulos

on niin lähellä 100 %, että sen voidaan tulkita olevan 100 %, koska pitää ottaa huomioon, että tällä käytetyllä menetelmällä saadaan ”liian pieniä” tuloksia, kuten aiemmin todettiin. Näin ollen EkoSata öljyjen biohajoavuudet ovat todellisuudessa isompia kuin niille annetut arvot biohajoavuusmittaustodistuksissa, koska on vaikea määrittää, kuinka paljon tämä vaikuttaa tulokseen.



Kuva 2. Eko 100 Perusöljyn biohajoavuusasteen kuvaaja.