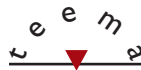


Ari Laurén ja Marjo Palviainen

Päätihakkuu ja orgaanisen aineksen hajotus



Mitä orgaaninen aines ja hajotus ovat?

Hajotus vapauttaa orgaaniseen ainekseen sitoutuneen energian ja palauttaa ravinteet kiertoon. Uusi orgaaninen aines koostuu kuolleista puuston ja pintakasvillisuuden lehdistä, neulasista, kuoresta, oksista, versoista ja rungoista, hieno- ja paksujuurista sekä kuolleesta mikrobi- ja eläinmassasta. Metsikön vuotuinen kariketuotanto vaihtelee noin tuhannesta kahdeksaan tuhanteen kg ha^{-1} . Puuston osuus karikkeen tuotannosta lisääntyy metsikön kehittyessä ja sulkeutuessa siten, että tiheässä kuusikossa karike on lähes yksinomaan puustosta peräisin. Varttuneessa männikössä pintakasvillisuuden osuus kariketuotannosta voi olla noin kolmannes. Mikrobin ja maaperäeläinten biomassassa voi olla sadasta kahdeksaan sataan kg ha^{-1} (Persson ym. 1980). Koska näiden eliöryhmien elinkierto on nopeaa, voi niiden vuotuinen kariketuotantokin ylittää hetkellisen kokonaisbiomassan tasolle.

Metsämaassa on jatkuvasti sekä vanhaa että uutta hajoavaa orgaanista ainesta. Hajotuksen alkuvaiheessa massa häviää nopeasti. Hajotuksen edetessä orgaanisesta aineksesta jää jäljelle yhä vaikeammin hajotettavaa materiaalia ja hajotus hidastuu, mikä johtuu ligniinistä ja hajotuksen yhteydessä muodostuneista humusyhdisteistä (Berg ja McClaugherty 2003). Vanhan orgaanisen aineksen määrä maassa – kivennäismaan kasvupaikoilla vajaan sadasta tuhannesta kahteensataan tuhanteen kg ha^{-1} (Tamminen 1991) – on merkittävästi suurempi kuin uuden

aineksen, mutta se ei hitaan hajoamisen takia ole ravinnelähteenä kovin tärkeä.

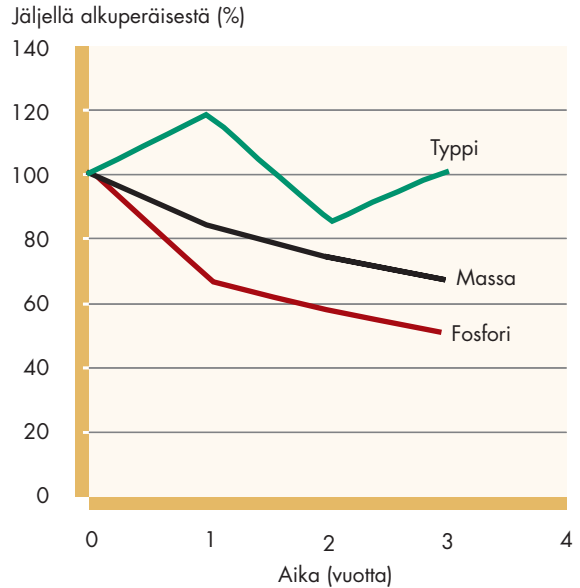
Hajotusta tapahtuu sekä fysikaalisesti että biologisesti. Veden mukana hajoavasta aineksesta poistuu mm. sokereita, aminohappoja ja ravinteista erityisesti kaliumia. Hajoavan aineksen pilkkoutuminen pienempiin osiin mm. jäätyminen ja sulamisen seurauksena lisää hajotukselle altista pinta-alaa. Myös maaperäeläimet kykenevät pilkkomaan pienempiä rakenteita. Orgaanisen aineksen ensisijaisia hajottajia ovat kuitenkin sienet ja bakteerit, jotka kykenevät pilkkomaan myös selluloosaa, hemiselluloosaa ja ligniinejä. Sienivaltaiset hajottajaeliöyhteisöt ovat tyypillisiä happamille ja kuiville kangasmailla, kun taas bakteerivaltaiset yhteisöt esiintyvät etupäässä vähemmän happamissa multamaissa. Maaperäeläimet, kuten änkyrimadot, käyttävät ravintonaan sieniä ja bakteereja ja siten säätelevät niiden biomassaa ja ravinnevarastoja (Setälä ja Huhta 1995). Kasvien ravinteiden saannin kannalta tämä on tärkeää, koska ilman eläinten tekemää laidunnusta mikrobimassa ja siihen sitoutuneet ravinnevarastot kasvavat ja kasveille käyttökelpoisten ravinteiden määrä maassa pienenee. Immobilisaatiolla – ravinteiden sitoutumisella mikrobeihin – on tärkeä rooli erityisesti typen kiertossa. Useissa laboratorio- ja kenttäkokeissa on osoitettu typen määrän lisääntyvän orgaanisessa aineksessa hajotuksen alkuvaiheessa, vaikka samanaikaisesti aineksen massa pieneneekin (Berg ja McClaugherty 2003). Kenttäkokeiden perusteella on arvioitu, että kangasmailla hajotuksessa vapautuu

typeä vuosittain muutamasta kilogrammasta noin sataan kilogrammaan hehtaarilta (Persson ym. 2000) ja fosforia noin kymmenes – kahdeskymmenesosa tästä määrästä.

Orgaanisen aineksen hajotusta säätelevät mm. hajoavan aineksen laatu, hajottajaeliöyhteisön rakenne sekä maan lämpötila ja kosteus. Lehdet ja hienojuuret hajoavat nopeasti, mutta kannot, paksujuuret, kuoret ja oksat hitaasti. Hajoamisnopeutta lisäävät aineksen pieni hiili-typpisuhde, pieni hiili-fosforisuhde ja pieni lingniinipitoisuus (Berg ja McClaugherty 2003). Hajotus, kuten muukin biologinen toiminta, vilkastuu kun lämpötila nousee ja kosteus lisääntyy – toisaalta kuumuus ja liiallinen kosteus vähentävät aktiivisuutta. Veden vaivaamalla mailla vallitsevat hapettomat olosuhteet häiritsevät fenolisten yhdisteiden hajotusta.

Miten päätehakkuu ja maanmuokkaus muuttavat hajotusta?

Päätehakkuu ja sitä seuraava maanmuokkaus lisäävät kuolleen orgaanisen aineksen määrää maassa. Hakkuualalle jää runsaasti kuolleita lehtiä, oksia, latvuksia, kantoja, paksujuuria ja hienojuuria. Lehdissä ravinnepitoisuudet ovat korkeammat kuin tavallisessa karikkeessa, josta puu on ehtinyt ottaa osan ravinteista sisäiseen ravinnekiertoonsa. Osa pintakasvillisuudesta kuolee päätehakkuun aiheuttamaan mekaaniseen rasitukseen ja kasvupaikan valoilmaston muutokseen. Maanmuokkauksessa pintakasvillisuutta kuolee lisää. Hajotuksessa vapautuvien ravinteiden määrä on suurin palteessa ja pienin vaossa. Päätehakkuu äärevöittää lämpöoloja ja voi nostaa pohjaveden pintaa, ja lisätä maan kokonaisvesipitoisuutta. Lisääntyvä kosteus voi tehostaa maaperän orgaanisen aineksen hajotusta pohjaveden pinnan yläpuolella. Maan pinnalla olevien karikkeiden ja hakkuutähteiden kosteutta säätelevät kuitenkin sadeveden pidättyminen ja haihdunta, joten niiden osalta päätehakkuun aiheuttama maan kosteusolojen muutos ei välttämättä lisää hajotusta. Kenttäkokeissa hakkuu on joko lisännyt tai vähentänyt hajotusta (Palviainen ym. 2004). Maanmuokkaus todennäköisesti nopeuttaa hakkuutähteiden hajoamista, sillä palteisiin hautautuneet hakkuutähteet hajoavat nopeammin kuin maan pinnalla olevat hakkuutähteet



Kuva 1. Massan väheneminen ja ravinteiden vapautuminen hajoavista hakkuutähteistä Kangasvaaran hajotuskokeiden perusteella (Palviainen ym. 2004). Typpi vapautuu hitaammin kuin massa ja sen konsentraatio nousee hajotuksen edetessä. Hajotuksen alkuvaiheessa tyypeä siirtyy ympäristöstä hajoavaan kappaleeseen siinä määrin, että kappaleen typpiainemäärä voi jopa lisääntyä. Fosfori vapautuu hajoavasta aineksesta nopeasti.

(Lundmark-Thelin ja Johansson 1997).

Eri ravinteiden vapautuminen hakkuutähteistä ajoittuu eri tavoin (kuva 1). Ravinteista typpi vapautuu hitaammin kuin massa vähenee; kalium puolestaan vapautuu reilusti massan hajoamista nopeammin (Berg ja McClaugherty 2003). Typen immobilisaatio hakkuutähteisiin voi olla niin voimakasta, että päätehakkuuta seuraavana kolmena vuotena hakkuutähteistä ei tapahdu typen vapautumista lainkaan (Palviainen ym. 2004). Kuitenkin lehtien ja hienojuurien osalta hajotus on niin nopeaa, että valtaosa ravinteista vapautuu 3–5 vuoden kuluessa hakkuusta. Kannot ja oksat vapauttavat ravinteensa kiertoon vasta yli kymmenen vuotta hakkuun jälkeen.

Kangasvaarassa Itä-Suomessa tutkittiin hakkuutähteiden hajotusta ja ravinnepitoisuuksia karikepus-

sikokein (Palviainen ym. 2004). Kuusen, männyn ja koivun lehtiä, juuria ja oksia sisältäviä karikepusseja sijoitettiin hakkuuaukolle ja metsän sisälle. Kolmen vuoden jälkeen lehdet olivat hajonneet eniten ja oksat vähiten. Kaikkiaan hakkuutähdemassasta oli hajonnut kolmannes. Kokeessa hakkuutähteet hajosivat jokseenkin samalla tavalla hakkuuaukolla kuin metsän sisällä. Kolmen vuoden jälkeen puolet hakkuutähteiden sisältämästä fosforista (10 kg ha^{-1}) oli vapautunut, sen sijaan typen vapautumista ei ollut tapahtunut lainkaan.

Hajotuksen merkitys ravinnekuormituksen synnyn kannalta

Hajotus tuottaa merkittävän ravinnevirran maahan, jonka kuitenkin kasvit ja mikrobit pian ottavat omiin elintoimintoihinsa. Metsäisiltä alueilta näistä suurista ravinnevirroista pääsee vain pieni osa huuhtoutumaan vesistöön. Päätehakkuu ja maanmuokkaus vähentävät ravinteiden ottoa ja horjuttavat hajotuksen ja ravinteiden otton välistä tasapainoa, jolloin suurempi osa ravinnevirroista huuhtoutuu vesistöön.

Päätehakkuu lisää erityisesti nitraattitypen huuhtoutumista vesistöön, sen sijaan liukoisen orgaanisen typen osalta vaikutus ei ole yhtä selvä (Ahtiainen ja Huttunen 1999). Ammonium ja liukoinen orgaaninen typpi ovat ensisijaisesti peräisin orgaanisen aineksen hajotuksesta, mutta nitraatti muodostuu vasta nitrifikaation tuotteena ammoniumista. Kun uudet orgaaniset ainekset hajoavat, tuloksena on enemmän ammoniumia kuin liukoista orgaanista typpeä, mutta maatumisen edetessä liukoisen orgaanisen typen osuus kasvaa. Tästä voisi päätellä, että vesistöön päätyvä typpikuormitus olisi peräisin nimenomaan uudemmassa orgaanisesta aineksestä. Mutta se ei kuitenkaan ole peräisin hakkuutähteistä, sillä voimakkaan immobilisaation seurauksena niistä ei ensimmäisinä vuosina vapaudu typpeä (Palviainen ym. 2004). Typpikuormitus lasku-uomassa tai pohjavedessä nousee tavallisesti viiveellä päätehakkuun jälkeen. Viive on pitempi karuilla kasvupaikoilla ja pienen laskeuman alueella. Se voi johtua immobilisaation vähenemisestä, jota samanaikaisesti tapahtuva maanmuokkaus voi nopeuttaa.

Päätehakkuu lisää myös fosforin huuhtoutumista vesistöön (Mattsson ym. 2006). Fosforihuu-

tomasta osa voi olla peräisin hakkuutähteiden hajotuksesta. Vaikka yleisesti karikkeen fosforipitoisuus nouseekin hajotuksen edetessä (Berg ja McClaugherty 2003), Palviaisen ym. (2004) kentäkokeissa hakkuutähteisiin sitoutuneesta fosforista noin puolet vapautui päätehakkuuta seuranneena kolmena vuotena (kuva 1). Hajotuksessa maahan vapautuu paljon ravinteita, jotka päätehakkuun jälkeen vähentyneen ravinteidenoton vuoksi lisäävät huuhtoutumisriskiä.

Kirjallisuus

- Ahtiainen, M. & Huttunen, P. 1999. Long-term effects of forestry managements on water quality and loading in brooks. *Boreal Environmental Research* 4: 101–114.
- Berg, B. & McClaugherty, C. 2003. Plant litter. Decomposition, humus formation, carbon sequestration. Springer Verlag, Berlin. 286 s.
- Lundmark-Thelin, A. & Johansson, M.-B. 1997. Influence of mechanical site preparation on decomposition and nutrient dynamics of Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) needle litter and slash needles. *Forest Ecology and Management* 96: 101–110.
- Mattsson, T., Ahtiainen, M., Kenttämies, K. & Haapanen, M. 2006. Avohakkuun ja ojituksen pitkäaikaisvaikutukset ravinne- ja kiintoainehuuhtoumiin. Julkaisussa: Kenttämies, K. & Mattsson, T. (toim.). Metsätalouden vesistökuormitus. MESUVE-projektin loppuraportti. Suomen ympäristö 816. s. 73–81.
- Palviainen, M., Finér, L., Kurka, A.-M., Mannerkoski, M., Piirainen, S. & Starr, M. 2004. Decomposition and nutrient release from logging residues after clear-cutting of mixed boreal forest. *Plant and Soil* 263: 53–67.
- Persson, T., Bååth, E., Carlholm, M., Lundquist, H., Söderström, B.E. & Sohlenius, B. 1980. Trophic structure, biomass dynamics and carbon metabolism of soil organisms in a Scots pine forest. Julkaisussa: Persson, T. (toim.). Structure and function of northern coniferous forest – an ecosystem study. *Ecology Bulletin* 32. s. 419–459.
- , Rudebeck, A., Jussy, J.H., Colin-Belgrand, M., Priemé, A., Dambrine, E., Karlsson, P.S. & Sjöberg, R.M. 2000. Nitrogen turnover – mineralization, nitrification and denitrification in European forest soils. Julkaisussa: Schulze, E.-D. (toim.). Carbon and nitrogen cycling in European forest ecosystems. Springer,

Berlin, Germany. s. 297–331.

Setälä, H., & Huhta, V. 1991. Soil fauna increase *Betula pendula* growth: Laboratory experiments with coniferous forest floor. *Ecology* 72: 665–671.

Tamminen, P. 1991. Kangasmaan ravinnetunnusten ilmaiseminen ja viljavuuden alueellinen vaihtelu Etelä-Suomessa. *Folia Forestalia* 777. 40 s.

■ MMT Ari Laurén, Metsäntutkimuslaitos, Joensuun toimintayksikkö; MMT Marjo Palviainen, Helsingin yliopisto, metsäekologian laitos. Sähköposti ari.lauren@metla.fi