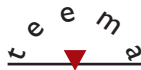


Sirpa Piirainen

Päätehakuun ja maanmuokkauksen vaikutus metsän vesi- ja ravinnevirtoihin



Metsän vesi- ja ravinnevirrat

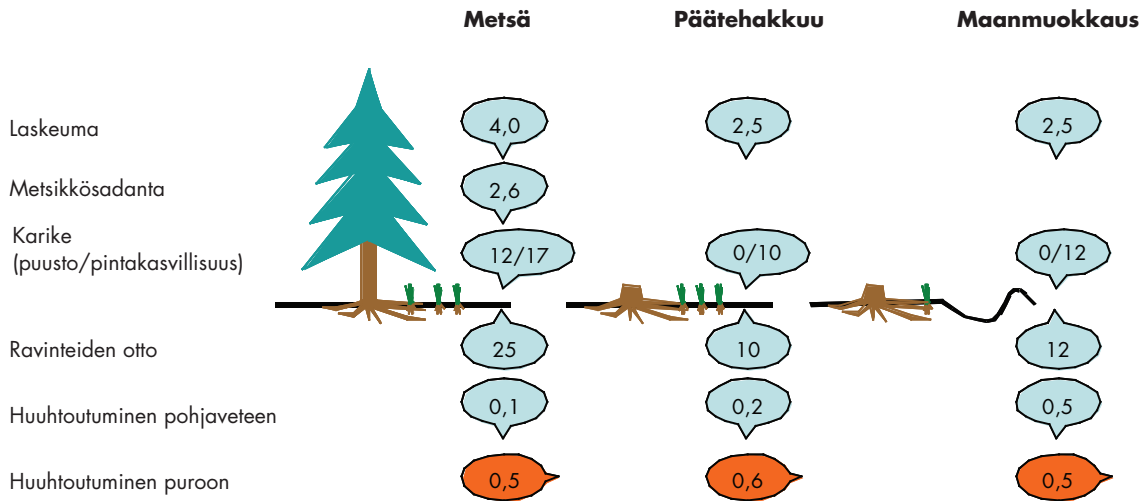
Metsä pidättää tehokkaasti siihen laskeuman mukana tulevia ravinteita. Ravinteiden kierto metsässä on yleensä niin suljettua, että niiden huuhtoutuminen laskeumaan verrattuna on vähäistä. Latvusto pidättää osan sadannasta, minkä vuoksi latvuston alla metsikkösadanta on avoimen paikan sadantaa pienempi. Latvustoon pidättynyt vesi haihtuu takaisin ilmakehään. Puusto vaikuttaa metsikkösadannan määrään ja laatuun sitä enemmän mitä enemmän sillä on latvusmassaa. Puulajeistamme kuusen vaikutus on suurin. Itä-Suomessa sademäärä on keskimäärin 500–600 mm vuodessa. Metsikkösadanta voi olla 10–40 % sademäärää pienempi, puuston koosta ja puulajista riippuen (Päivänen 1966, Hyvärinen 1990, Piirainen ym. 1998). Metsikkösadannassa pienen, mutta paikallisesti merkittävän osan, muodostaa runkovalunta puun tyvelle. Kuusivaltaisessa metsässä runkovalunnan määrä on pieni, sillä kuusen oksat suojaavat runkoa sadevedeltä. Männiköissä ja koivikoissa runkovalunnan osuus metsikkösadannasta ja varsinkin metsikkölaskeumasta on huomattavasti suurempi. Metsän pintakasvillisuus voi myös pidättää sadetta lehvästönsä, josta vesi voi haihtua. Tutkimustuloksia pensas- ja kenttäkerroksen vaikutuksesta metsikkösadannan laatuun ja määrään on kuitenkin hyvin vähän.

Sadeveteen on liuenneena erilaisia epäpuhtauksia. Yleensä taajamien tai teollisuuslaitosten läheisyydessä sadevedessä on paljon mm. rikki- ja typpiyh-

disteitä sekä raskasmetalleja, joiden määrä vähenee siirryttäessä kauemmaksi päästölähteestä. Osa epäpuhtauksista voi kuitenkin kulkeutua ylemmässä ilmakehässä ympäri maapalloa. Latvus sitoo itseensä kaasu- ja hiukkasmuodossa olevia aineita, joista osa liikenee latvuston läpi kulkevaan sadeveteen. Lisäksi puuston oma ravinnekierto voi vapauttaa ravinteita sadeveteen tai pidättää niitä muuttaen sadeveden koostumusta. Latvustoon pidättyneen sadeveden haihtuessa sen sisältämät epäpuhtaudet jäävät latvustoon. Metsikkölaskeuma on siis laadultaan hyvin erilaista kuin aukean paikan laskeuma.

Typpilaskeumalla on suuri merkitys metsän ravinnekierrossa. Typen niukkuus rajoittaa usein metsän kasvua havumetsävyöhykkeellä ja siksi laskeuman mukana tuleva typpi toimii lannoitteena. Epäorgaanisia typpiyhdisteitä pidättyy jo latvustoon ja typen metsikkölaskeuma on avoimen paikan laskeumaa pienempi (kuva 1). Kangasvaaran tutkimusalueella tämä typen pidättyminen vastaa noin 14 % puuston vuotuisesta typen tarpeesta (Piirainen ym. 1998).

Metsään satanut vesi ja lumen sulamisvesi imeytyvät maahan maavedeksi, josta se painovoiman vaikutuksesta edelleen liikkuu kohti pohjavettä tai pintakerrosvaluntana kohti uomaa tai muuta vesistöä. Runsaiden sateiden tai lumen sulamisen aikoihin voi esiintyä myös pintavaluntaa, jolloin vesi virtaa maanpinnalla. Metsäisillä alueilla noin puolet vuotuisesta sademäärästä päätyy uomiin valunnaksi. Metsikkösadannan laatu vaikuttaa maaveden laatuun. Kasvien vedenotto vähentää maaveden määrää maan



Kuva 1. Typen virrat ($\text{kg ha}^{-1} \text{a}^{-1}$) metsässä (vuosina 1993–1996), avohakattulla alalla (1997–1999) ja muokatulla alalla (1999–2003) Kangasvaaran tutkimusalueella.

pintakerroksissa, missä suurin osa kasvien juurista sijaitsee. Myös haihdunta maan pinnalta kuivattaa maata. Maavesi on laadultaan hyvin erilaista kuin sadevesi. Kasvillisuuden ja mikrobien ravinteidenotto vähentää ravinnepitoisuuksia ja muuttaa aineiden suhteita. Orgaanisen aineen hajotustoiminta ja rapautuminen lisäävät maaveden ravinnepitoisuuksia. Maassa tapahtuu myös kemiallisia reaktioita, jotka vapauttavat ja sitovat alkuaineita hetkellisesti tai pysyvästi.

Maan orgaaniseen aineeseen varastoituneen typen määrä on suuri, mutta se on pääasiassa sitoutunut kasveille käyttökeltomaan muotoon. Niukoista tyyppivaroista kilpailevat puuston lisäksi myös pintakasvillisuus ja maan mikrobit. Karikkeen hajotuksesta vapautuva ja laskeuman mukana maahan satava tyyppi otetaan heti käyttöön, joten maaveden mukana liikkuvat tyyppimäärät ovat hyvin pieniä ja pääasiassa orgaanisessa muodossa (kuva 1).

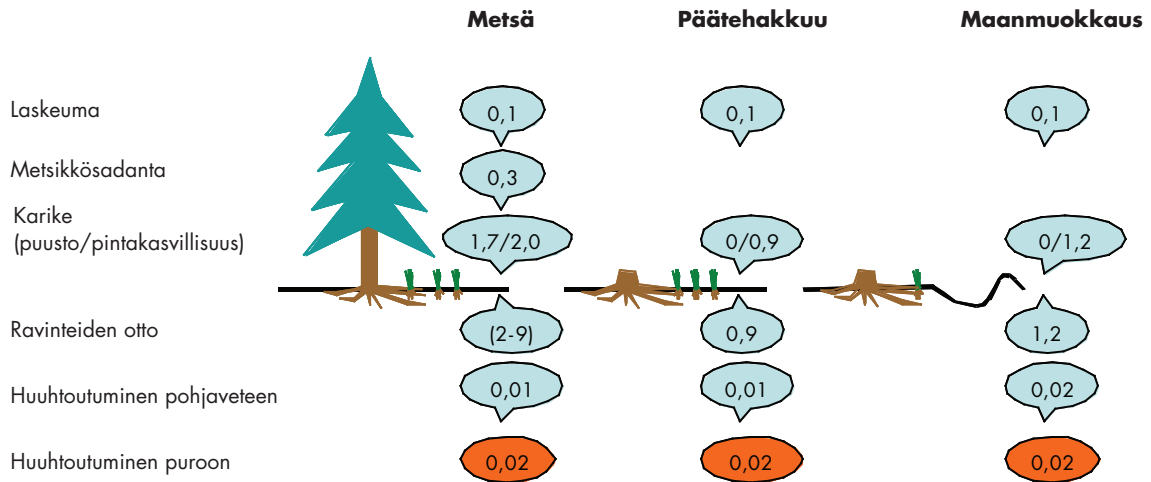
Myös fosforin varasto maassa on suuri, mutta pääosa siitäkin on kasveille käyttökeltomassa muodossa. Fosforia vapautuu maaveden mineraalien rapautuessa sekä orgaanisen aineen hajotessa. Fosforilaskeuma on hyvin pieni (kuva 2). Fosfori pidättyy tehokkaasti maan rauta- ja alumiiniyhdisteisiin eikä sitä juuri huuhtoudu kivennäismaakerroksista. Fosforin niukkuus ei yleensä rajoita puuston kasvua

kangasmailla, sillä puiden sienijuuret voivat hyödyntää kivennäismaan fosforivarastoja. Turvemaalla, jossa fosforivarasto on huomattavasti pienempi, puuston kasvua voi rajoittaa fosforin niukkuus.

Päätehakkuu muuttaa vesi- ja ravinnevirtoja

Päätehakkuu muuttaa metsän ravinnevirtoja, mikä seurauksena typen sekä fosforin huuhtoutuminen voi lisääntyä (Mattsson ym. 2006a,b). Kun puusto hakataan, metsikkösadanta ja -laskeuma muuttuvat avoimen paikan sadannan ja laskeuman kaltaiseksi. Esimerkiksi typen laskeuma kasvaa (kuva 1). Taimikon varttuessa metsikkösadanta ja -laskeuma edelleen muuttuvat, kunnes latvus on taas sulkeutunut. Pintakasvillisuuden vaikutus metsikkölaskeuman määrään ja laatuun on heti hakkuun jälkeen vähäinen, sillä myös pintakasvillisuutta tuhoutuu uudistamistoimien yhteydessä. Ajan kuluessa pintakasvillisuus kuitenkin rehevöityy ja sen lehvästö pystyy pidättämään sadevettä ja muuttamaan sen ravinnekoostumusta.

Puuston poisto ja pintakasvillisuuden osittainen häviäminen muuttavat myös maaveden määrää ja laatua, sillä kasvillisuuden veden- ja ravinteidenotto



Kuva 2. Fosforin virrat ($\text{kg ha}^{-1} \text{a}^{-1}$) metsässä (vuosina 1993–1996), avohakutulla alalla (1997–1999) ja muokatulla alalla (1999–2003) Kangasvaaran tutkimusalueella.

vähenee merkittävästi. Vaikka kokonaishaihdunta pienenee, niin haihdunta maanpinnasta todennäköisesti kasvaa, kun varjostava kasvillisuus on poissa ja maata haihdunnalta suojaavaa humuskerrosta tuhoutuu maanmuokkauksessa. Toisaalta humuskerroksen poistaminen maanmuokkauksessa voi heikentää sadveden imeytymistä maahan ja lisätä pintavaluntaa. Ajourat ja muokkauksessa syntyvä uraverkosto voivat toimia uomien tavoin valunnan virtausreitteinä. Hakkuu yleensä lisää valuntaa (Seuna 1990).

Hakkuu lisää myös kuolleen orgaanisen aineen määrää maassa. Hakkuutähteet (oksat, lehdet, neulas, juuret, kannot), kuollut pintakasvillisuus ja vanha karike hajoavat vapauttaen ravinteita. Koska kasvillisuuden määrä päätehakkuualalla on alussa vähäinen, myös ravinteidenotto on pientä. Vapautuvat ravinteet voivat sitoutua mikrobistoon tai kemiallisesti maahan tai ne voivat myös huuhtoutua.

Typen huuhtouma humuskerroksesta kivennäismaahan kasvaa hakkuun jälkeen (Rosén ja Lundmark-Thelin 1987, Piirainen ym. 2002). Typpi on todennäköisesti peräisin karikkeesta ja kuolleesta pintakasvillisuudesta, sillä hakkuutähteistä ei ensimmäisten vuosien aikana vapaudu typpeä (Palviainen ym. 2004). Kangasvaaran tutkimusalueella typen huuhtouma kivennäismaahan kasvoi kolmanneksella ja suurin osa siitä oli edelleen orgaanisessa

muodossa, vaikkakin myös ammoniumtypen osuus kasvoi (Piirainen ym. 2002). Nitraattityppeä, joka huuhtoutuu herkimmin, muodostui vain vähän ensimmäisten vuosien aikana. Kangasvaaran tutkimusalueella typen huuhtouma pohjaveteen kasvoi hakkuun jälkeen, mutta määrä oli vähäinen verrattuna esimerkiksi laskeumaan (kuva 1).

Fosforin huuhtouma humuskerroksesta kivennäismaahan kasvaa hakkuun jälkeen (Qualls ym. 2000, Piirainen ym. 2004), koska sitä vapautuu mm. hakkuutähteistä (Palviainen ym. 2004). Kivennäismaan fosforinpidätyskyky on kuitenkin suuri, eikä hakkuun aiheuttamia muutoksia nähdä enää pohjavedessä (Mannerkoski ym. 2005). Fosforin vapautuminen lisää kuormitusta (Mattsson 2006a,b), jos hakkuualueelta lähtevä vesi ei ole kosketuksissa kivennäismaan kanssa tai fosfori ei pidäty suoja-vyöhykkeelle.

Päätehakkuun jälkeen tehtävä maanmuokkaus muuttaa edelleen metsämaan kosteus- ja lämpöoloja, paljastaa kivennäismaata sekä kasaa orgaanista ainetta palteisiin tai mättäisiin. Muutoksilla voi olla vaikutusta hajotukseen ja ravinteiden vapautumiseen. Jos hakkuun ja maanmuokkauksen välillä on viivettä, varsinkin typen huuhtoutuminen voi kasvaa. Maanmuokkaus vähentää pintakasvillisuuden määrää, jolloin hakkuutähteistä vapautuva

typpi ei pidäty kasvillisuuteen. Kangasvaaran tutkimusalueella äestys lisäsi typen huuhtoutumista kivennäismaahan (Piirainen ym. 2007) ja edelleen pohjaveteen saakka (kuva 1). Tyypeä huuhtoutuu eniten palteiden ja mättäiden alta. Päätehakkuun ja maanmuokkauksen jälkeen ammoniumtypen muuttuminen nitraatiksi lisääntyy ja kasvillisuuden ravinteidenoton puuttuessa yhdisteet huuhtoutuvat syvemmälle maahan. Kangasvaaran tutkimusalueella nitraatti- ja ammoniumtypen huuhtoumat palteista kasvoivat muokkaamattomaan pintaan verrattuna (Piirainen ym. 2007). Määrät olivat kuitenkin pieniä verrattuna esimerkiksi laskeumaan (kuva 1). Päätehakkuun ja maanmuokkauksen jälkeen kohonneita nitraattityppipitoisuuksia on havaittu myös pohjavesissä (Kubin 1998, Mannerkoski ym. 2005). Mitä nopeammin kasvillisuus palaa muokkausalueelle, sitä lyhytaikaisemmaksi typen huuhtouma jää.

Maanmuokkaus lisää myös fosforin huuhtoutumista kivennäismaahan (Piirainen ym. 2007), sillä tuhoutuneesta pintakasvillisuudesta vapautuu fosforia. Määrät ovat kuitenkin huomattavasti pienempiä kuin mitä hakkuutähteistä vapautuu. Kivennäismaa pidättää maanmuokkauksen jälkeenkin fosforia eikä pohjavedessä ole havaittu fosforipitoisuuden nousua (Mannerkoski ym. 2005).

Ravinnevirroissa havaittujen muutosten merkitys kuormituksen kannalta

Käsitys ravinnekuormituksen synnystä päätehakkuun ja maanmuokkauksen jälkeen on tarkentunut Kangasvaaran tutkimusalueella vuodesta 1991 alkaen tehtyjen kenttäkokeiden perusteella. Päätehakkuu alueella tehtiin vuonna 1996 ja äestys vuonna 1998. Heti hakkuun jälkeen kuolleesta orgaanisesta aineesta vapautuu maaveteen fosforia. Fosforia voi huuhtoutua valumaveteen saakka, jos maavesi kulkee maan pintakerroksissa puroon ilman kontaktia fosforia pidättävän kivennäismaan kanssa ja ilman pidättymistä suojavyöhykkeelle. Kangasvaarassa fosforin huuhtoutumista ei tapahtunut (kuva 2). Typpi vapautuu hakkuutähteistä viiveellä, koska hakkuutähteet pidättävät ensimmäisinä vuosina tyypeä. Muun orgaanisen aineen (vanha karike ja kuollut pintakasvillisuus) hajotus jatkuu, mutta sen aiheuttama typpihuuhtouma on pientä. Jos typen

vapautuminen hakkuutähteistä osuu maanmuokkauksen kanssa samaan aikaan, huuhtouma voimistuu, koska kuollutta orgaanista ainetta tulee lisää ja kasvillisuuden typenotto vähenee. Hakkuutähdemasat ja maanmuokkauksessa syntyvät palteet ja mättäät voivat lisätä huuhtoutumista. Pintakasvillisuuden nopea elpyminen ja myöhemmin taimettuminen vähentävät ravinnehuuhtoumia. Kangasvaarassa typen huuhtoutuminen päätehakkuun ja maanmuokkauksen jälkeen ei ollut merkittävää (kuva 1). Kangasvaaralla suojavyöhykkeiden ja kevyen maanmuokkausmenetelmän käyttö ehkäisivät ravinnekuormituksen syntyä. Alueilla, joilla suojavyöhykkeitä ei ole käytetty ja maanmuokkausmenetelmät ovat olleet raskaampia, päätehakkuun ja maanmuokkauksen vaikutus näkyy ravinnekuormassa (Mattsson 2006b).

Kangasvaarassa huuhtoumamäärät jäävät pieniksi verrattuna esimerkiksi laskeuman mukana tulevaan lisääntymiseen tai hakkuutähteisiin sitoutuneisiin määriin. Kivennäismailla typen ja fosforin huuhtoumat ovat niin vähäisiä, etteivät ne vaikuta kasvupaikan ravinneisuuteen. Turvemailta, joiden fosforinpidätyskyky on huono, fosforia voi huuhtoutua enemmän.

Kirjallisuus

- Hyvärinen, A. 1990. Deposition on forest soils – effect of tree canopy on throughfall. Julkaisussa: Kauppi, P., Anttila, P. & Kenttämies, K. (toim.). Acidification in Finland, Springer-Verlag, Heidelberg. s. 199–213.
- Kubin, E. 1998. Leaching of nitrate nitrogen into the groundwater after clearfelling and site preparation. *Boreal Environmental Research* 3: 1–8.
- Mannerkoski, H., Finér, L., Piirainen, S. & Starr, M. 2005. Effects of clear-cutting and site preparation on the level and quality of groundwater in some headwater catchments in eastern Finland. *Forest Ecology and Management* 220: 107–117.
- Mattsson, T., Finér, L., Kenttämies, K., Ahtiainen, M., Haapanen, M. & Lepistö, A. 2006a. Avohakkuun vaikutus fosforin, typen ja kiintoaineen huuhtoutumisiin; raportti VALU-tutkimushankkeen ja Siuntion Rudbäckin alueiden tutkimuksista. *Suomen ympäristö* 816: 63–70.
- , Ahtiainen, M., Kenttämies, K. & Haapanen, M. 2006b. Avohakkuun ja ojituksen pitkäaikaisvaikutukset valuma-alueen ravinne- ja kiintoainehuuhtoutumisiin.

- Suomen ympäristö 816: 73–81.
- Palviainen, M., Finér, L., Kurka, A.-M., Mannerkoski, H., 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.
- Piirainen, S., Finér, L. & Starr, M. 1998. Canopy and soil retention of nitrogen deposition in a mixed boreal forest in eastern Finland. *Water Air and Soil Pollution* 105: 165–174.
- , Finér, L., Mannerkoski, H. & Starr, M. 2002. Effects of forest clear-cutting on the carbon and nitrogen fluxes through podzolic soil horizons. *Plant and Soil* 239: 301–311.
- , Finér, L., Mannerkoski, H. & Starr, M. 2004. Effects of forest clear-cutting on the sulphur; phosphorus and base cations fluxes through podzolic soil horizons. *Biogeochemistry* 69: 405–424.
- , Finér, L., Mannerkoski, H. & Starr, M. 2007. Carbon, nitrogen and phosphorus leaching after site preparation at a boreal forest clear-cut area. *Forest Ecology and Management* 243: 10–18.
- Qualls, R.G., Haines, B.L., Swank, W.T. & Tyler, S.W. 2000. Soluble organic and inorganic nutrient fluxes in clearcut and mature deciduous forest. *Soil Science Society of America Journal* 64: 1068–1077.
- Päivänen, J. 1966. Sateen jakautuminen erilaisissa metsiköissä. *Silva Fennica* 119(3).
- Rosén, K. & Lundmark-Thelin, A. 1987. Increased nitrogen leaching under piles of slash – a consequence of modern forest harvesting techniques. *Scandinavian Journal of Forest Research* 2: 21–29.
- Seuna, P. 1990. Metsätalouden toimenpiteet hydrologisina vaikuttajina. *Vesitalous* 31: 38–41.
- MMT Sirpa Piirainen, Metsäntutkimuslaitos, Joensuun toimintayksikkö. Sähköposti sirpa.piirainen@metla.fi