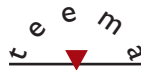


Hannu Mannerkoski

Päättehakkuun ja maanmuokkauksen vaikutus pohjaveteen



Pohjaveden muodostuminen ja laatu

Sadeveden imeytyessä maahan vesi pidättyy aluksi maan huokostilaan. Sateen jatkuessa ja huokostilan täyttyessä vesi alkaa virrata suurimmissa huokosissa painovoiman vaikutuksesta alaspäin. Matkalla vettä varastoituu maahan ja osa siitä päätyy lopulta pohjavedeksi maakerroksissa, jossa huokostila on veden kokonaan täyttämä eli maa on vedellä kyllästynyt. Eniten pohjavettä muodostuu keväisistä lumen sulamisvesistä ja runsaista syyssateista. Kesäsateista maahan asti tuleva vesi jää pääasiassa pintamaakerrokseen. Pohjaveden pinta seurailee yleensä maanpinnan muotoja ollen kuitenkin korkeilla alueilla syvemmillä maanpintaan verrattuna kuin alavilla paikoilla. Vettä tunkeutuu myös kallioperän halkeamiin ja rakoihin muodostaen kalliopohjavettä. Tässä artikkelissa tarkastellaan vain maaperän pohjavettä.

Maa- ja kallioperässä esiintyy pohjavettä lähes kaikkialla. Jos maakerros on ohut ja kallioperän pinnan kaltevuus suuri, niin vesi voi virrata kallion pintaa pitkin rinnettä alaspäin tai imeytyä kallioperään kalliopohjavedeksi niin nopeasti, ettei maaperään muodostu veden täysin kyllästämää pohjavesikerrosta. Varsinaiset hyödynnettävät pohjavesimuodostumat esiintyvät suhteellisen karkeilla lajittuneilla mailla, joiden vedenläpäisevyys on suuri. Pohjavettä voi muodostua myös ohuisiin maakerroksiin, jotka sisältävät hienojakoista maa-ainesta ja johtavat vettä heikommin, mutta näissä maakerroksissa pohjavesi on huonosti hyödynnettävissä.

Pohjavesi on erittäin tärkeä luonnonvara, sillä Suomessa kunnallisten vesilaitosten käyttämästä talousvedestä yli 50 % on pohjavettä ja sen lisäksi haja-asutusalueilla käytetään lähes yksinomaan pohjavettä. Pohjavesi on yleensä laadultaan hyvää käyttövetä, joka ei useinkaan tarvitse mitään käsittelyä ennen käyttöä. Pohjavesimuodostumat ovat yleensä metsän peitossa ja metsän katsotaan vaikuttavan suotuisasti pohjaveden laatuun.

Sadevedessä on liuenneena monia kemiallisia yhdisteitä, mutta sadeveden kemiallinen koostumus muuttuu veden kulkiessa puuston latvuserroksen läpi maan pinnalle (Piirainen ym. 2002a). Pintamaassa veteen liukenee hajotustoiminnan vapauttamia ravinteita, mutta toisaalta kasvit ja maaperän eliöt myös ottavat vedestä ravinteita. Ravinteet voivat sitoutua kemiallisesti vedestä maaperään, kun taas rapautumisessa vapautuu ravinteita veteen. Näin veden koostumus muuttuu koko ajan sen virratessa maaperässä kohti pohjavesikerrosta (Piirainen ym. 2002b). Yleensä vedestä pidättyy maahan enemmän aineita kuin siihen maasta liukenee, joten vesi puhdistuu ja näin pohjaveden laatu muodostuu paremmaksi kuin vesistöissä esiintyvien pintavesien (taulukko 1).

Kuinka päättehakkuu ja maanmuokkaus vaikuttavat pohjaveden laatuun?

Pohjaveden laatua on Suomessa selvitetty laajasti sekä moreenimaissa (Lahermo ym. 1990) että var-

Taulukko I. Veden ravinnepitoisuuksia veden kieron eri vaiheissa Kangasvaaran valuma-alueelta ennen hakkuuta mitattuina (Piirainen 2002a, 2002b, Ahtiainen ym. 2003, Mannerkoski ym. 2005).

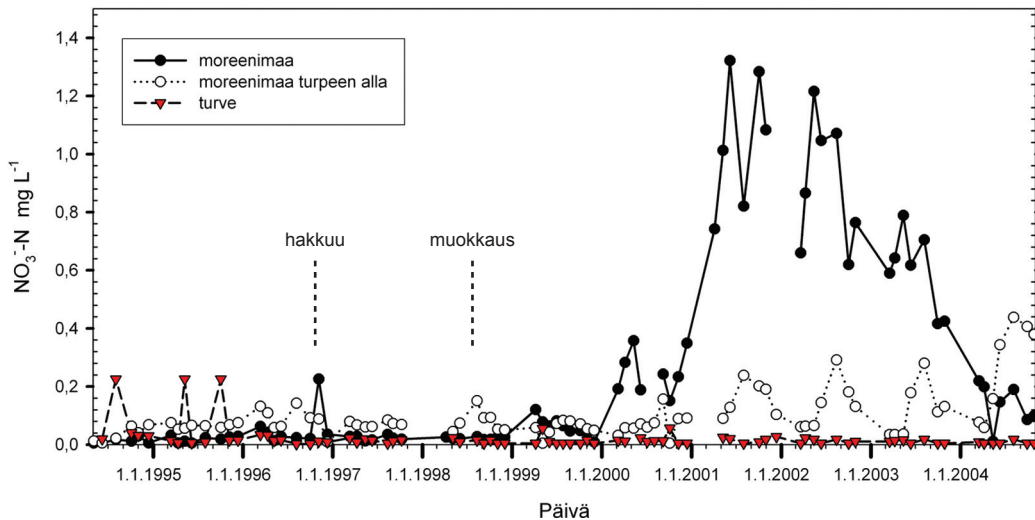
Vaihe	NH ₄ -N	NO ₃ -N	Ca	K
			mg L ⁻¹	
Vapaa sadanta	0,25	0,21	0,17	0,20
Läpissadanta	0,11	0,15	0,57	0,20
Pohjavesi	0,09	0,02	0,75	0,62
Purovesi	0,003	0,006	1,23	0,30

sinaisissa pohjavesimuodostumissa (Backman ym. 1999). Näissä tutkimuksissa pohjaveden luontaisen nitraattipitoisuuden on todettu olevan noin 0,2 mg L⁻¹ (Backman ym. 1999), kun juomaveden suurin sallittu nitraattipitoisuus on 25 mg L⁻¹ yksityisille kaivoille ja 50 mg L⁻¹ varsinaisten vesilaitosten jakamalle vedelle (Lahermo ym. 2002). Suomessa metsän uudistamiseen liittyvien päätehakkuun ja

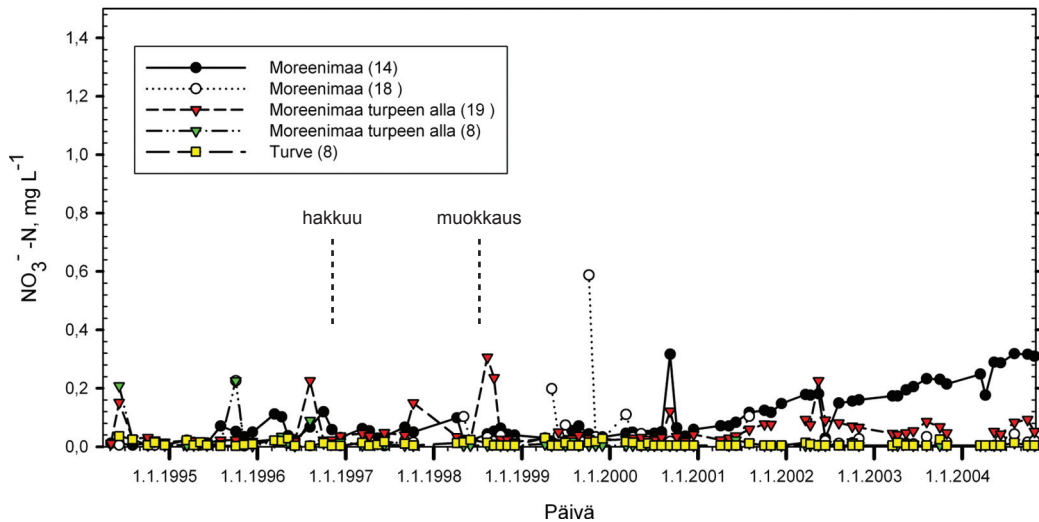
maanmuokkauksen vaikutuksia pohjaveden laatuun moreenimailla on tutkittu Kainuussa (Kubin 1998) ja VALU-hankkeessa Pohjois-Karjalan ja Kainuun raja-alueella (Mannerkoski ym. 2005) sekä muutamilla suurilla varsinaisilla pohjavesialueilla (Rusanen ym. 2004).

Pohjaveden laatua seurataan ottamalla vesinäytteitä pohjavesikerrokseen asti ulottuvista havaintoputkista (Kubin 1998, Backman ym. 1999, Rusanen ym. 2004, Mannerkoski ym. 2005). Näytteitä voidaan ottaa myös lähteistä ja kaivoista (Backman ym. 1999, Lahermo ym. 2002). Näytteenoton periaatteet ja pohjavesiputket ovat olleet eri tutkimuksissa hyvin samankaltaisia. Tutkimuksissa on seurattu yleensä useita alkuaineita, mutta tässä artikkelissa rajoitetaan tyypeen ja erityisesti nitraattiin.

Metsän uudistamiseen liittyvien päätehakkuun ja maanmuokkauksen on todettu lisäävän ravinteista vain typen pitoisuuksia ja yleensä vain veteen helposti liukenevan ja maahan heikosti pidättyvän nitraattitypen pitoisuuksia pohjavedessä (Kubin 1998, Rusanen ym. 2004, Mannerkoski ym. 2005). Hyvin samansuuntaisia ovat olleet myös Ruotsissa jo



Kuva I. Kangasvaaran valuma-alueen pohjavesikaivojen nitraattityppipitoisuudet ennen ja jälkeen päätehakkuun ja maanmuokkauksen. Pohjavesikaivot sijaitsevat päätehakatun ja muokatun rinteiden alapuolella. Moreenimaan kaivo on suota vasten jätetyllä käsittelemättömällä suojavyöhykkeellä ja turvemaalla olevat kaivopari, joista toiseen vesi tulee turpeesta ja toiseen suon alapuolella olevasta moreenimaasta, on siitä noin 60 metrin päässä.



Kuva 2. Iso-Kauhean valuma-alueen pohjavesikaivojen (numero suluissa) nitraattityypipitoisuudet ennen ja jälkeen päätehakkuun ja maanmuokkauksen. Moreenimaan kaivot ovat kahdella eri hakkuualueella, kaivo 18 selvässä rinnemaastossa ja kaivo 14 lähes tasaisella maalla. Kaivo 19 on rinnehakkuualueen alapuolisen suon reunaosassa ja kaivopari 8 on taas lähellä tasaisen maan hakkuu- ja muokkauslohkoa.

aiemmin saadut tulokset päätehakkuun vaikutuksesta pohjaveden nitraattipitoisuuksiin (Wiklander 1981).

Rusanen ym. (2004) tutki päätehakkuiden vedenlaatuvaikutuksia suurissa pohjavesimuodostumissa, jotka sijaitsevat lajittuneilla mailla. Päätehakkuilla havaittiin olevan selvä nitraattipitoisuuksia lisäävä vaikutus, joka vaihteli suuruudeltaan kuitenkin paljon johtuen hakkuualueiden peittämästä pohjavesimuodostuman osuudesta ja muodostuman laadusta. Vaikutuksia on yleensä havaittu 1–5 vuoden kuluttua hakkuista ja ne ovat voineet loppua jo 6–7 vuoden kuluttua (pienehkö alue) tai jatkua selvinä vielä 10 vuoden kuluttuakin. Nitraattipitoisuuden nousu oli näissä tapauksissa suurimmillaan 2 mg L^{-1} .

Pohjois-Karjalassa Kangasvaaran valuma-alueella mitattiin pohjaveden laatua kivennäismaahan asennetussa havaintoputkessa, joka sijaitsi avohakutun rinnealueen alareunaan suota vasten jätetyllä kaarella suojavyöhykkeellä aivan hakkuualueen reunan lähellä (Mannerkoski ym. 2005). Hakkuun vaikutukset näkyivät pohjavedessä selvästi kohonneina nitraattityypipitoisuuksina (kuva 1). Pohjavedenpinnan syvyyteen ja veden muiden aineiden pitoisuuksiin

siin hakkuulla tai sen jälkeen tehdyllä maanmuokkauksella ei ollut vaikutusta. Hakkuualueen alapuolisella suolla turvekerrokseen sijoitetussa havaintokaivossa ei pohjavedessä näkynyt mitään vaikutusta, vaikka etäisyys kivennäismaan kaivon oli vain noin 60 metriä. Sen sijaan turvekerroksen (70 cm paksu) alaisessa moreenimaassa veden nitraattityypipitoisuudet ovat nousussa vielä 8 vuoden kuluttua hakkuusta. Kivennäismaan kaivossa nitraattityypipitoisuus nousi suurimmilleen viidentenä vuotena hakkuun jälkeen (kolme vuotta maanmuokkauksesta). Nousu alkoi kolmantena vuotena hakkuun jälkeen, joten pitoisuuden nousu tapahtui kahdessa vuodessa tasolta $0,02 \text{ mg L}^{-1}$ tasolle $1,3 \text{ mg L}^{-1}$, josta se sitten on laskenut lähes tasaisesti kolmen vuoden aikana tasolle $0,1 \text{ mg L}^{-1}$. Esitetyt pitoisuudet vastaavat nitraattipitoisuuksina arvoja 0,09, 5,8 ja $0,44 \text{ mg L}^{-1}$, sillä nitraattipitoisuus on 4,43-kertainen nitraattityypipitoisuuteen verrattuna. Samansuuntaisia ovat olleet Kubinin (1998) saamat tulokset, mutta niissä nitraattityypin maksimiarvot jäivät keskimäärin tasolle $0,8 \text{ mg L}^{-1}$. Hakkuualueen alapuolisen suon alla kivennäismaassa nitraattityypin pitoisuus on vastavana aikana noussut tasaisesti hakkuuta edeltäneel-

tä tasolta 0,08 mg L⁻¹ tasolle 0,44 mg L⁻¹, joka on havaittu vuosittain loppukesän aikaan. Kevätarvot ovat edelleen pysyneet hakuuta edeltäneellä tasolla. Toisella valuma-alueella (Iso-Kauhea), jossa myös tehtiin hakkuita, nousu on ollut selvästi pienempää ja epäsäännöllisempää (kuva 2, Mannerkoski ym. 2005). Korkeimmat yksittäiset nitraattipitoisuushuiput esiintyivät muokkausta seuraavana vuonna kaivossa 18, joka oli hakkuualueen sisällä rinteessä. Myöhemmin tässä kaivossa esiintyi vain yksittäisiä lievästi kohonneita pitoisuuksia. Kaivo 19 oli tämän rinteiden alapuolella olevan suon reunaosassa noin 50 cm paksun turvekerroksen alaisessa moreeniassa ja siinä on esiintynyt lievää nitraattipitoisuuden nousua yksittäisinä piikkeinä hakkuun ja muokkauksen jälkeen ja jatkuvammin alkaen viidennestä vuodesta hakkuun jälkeen. Nousu näyttäisi kuitenkin jo kääntyneen lievään laskuun kuvassa 2 esitetyn ajanjakson lopussa. Toisessa moreeniassa kaivossa (numero 14), joka sijaitsee suhteellisen tasaaisella päätehakkuualueella, nitraattipitoisuuden nousu alkoi 4–5 vuoden kuluttua hakkuusta ja on edelleen nouseva, kun hakkuusta on kulunut kahdeksan vuotta, mutta nitraattityypin pitoisuus (0,32 mg L⁻¹) on selvästi pienempi kuin Kangasvaaran alueella. Toisessa turpeen alapuolelle yltävässä kaivossa sekä turvekerroksessa sijaitsevassa kaivossa ei ole esiintynyt nitraattipitoisuuden nousua, vaikka kaivot ovat suhteellisen lähellä pientä hakkuulohkoa, jolla kaivo 14 sijaitsee.

Päätelmät

Yhteenvedon edellä esitetyistä tuloksista voidaan todeta, että päätehakkuu ja sen yhteydessä tehtävä maanmuokkaus lisäävät pohjaveden nitraattipitoisuuksia vaihtelevasti riippuen pohjaveden virtausolosuhteista ja hakkuualueen sekä pohjavesimuodostuman ominaisuuksista. Pitoisuuden nousu voi ilmetä itse hakkuualueella jo 1–3 vuoden kuluessa, mutta alueen ulkopuolella muutokset havaitaan useimmiten muutamaa vuotta myöhemmin ja vaikutukset kestävät vastaavasti kauemmin. Nitraattipitoisuudet palaavat alkuperäiselle tasolleen tai lähelle sitä yleensä 8–10 vuoden kuluessa, mutta muutokset voivat näkyä pidempäänkin. Yleensä suurimmat vaikutukset ovat palautuneet nopeimmin. Missään

tutkituissa tapauksissa suurentuneet pitoisuudet eivät ole olleet lähelläkään käyttövedelle asetettuja nitraatin enimmäispitoisuuksia.

Viitteet

- Ahtiainen, M., Finér, L., Haapanen, M., Kenttämies, K., Mattsson, T. & Rämö, A. 2003. Näkyvätkö hakkuun ja maanmuokkauksen vaikutukset valumaveden laadussa – tehoavatko ympäristönsuojeluohjeet? Julkaisussa: Finér, L., Laurén, A. & Karvinen, L. (toim.). Ajankoh-taista metsätalouden ympäristökuormituksesta – tutkimustietoa ja työkaluja – seminaari Kolin Luontokeskus Ukko 23.9.2002. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonant-
toja 886: 25–33.
- Backman, B., Lahermo, P., Väisänen, U., Paukola, T., Juntunen, R., Karhu, J., Pullinen, A., Rainio, H. & Tanskanen, H. 1999. Geologian ja ihmisen toiminnan vaikutus pohjaveteen. Seurantatutkimuksen tulokset vuosilta 1969–1996. Geologian tutkimuskeskus, Tutkimusraportti 147. 261 s.
- Kubin, E. 1998. Leaching of NO₃-N into the groundwater after clear felling and site preparation. *Boreal Environment Research* 3: 3–8.
- Lahermo, P., Ilmasti, M., Juntunen, R. & Taka, M. 1990. The geochemical atlas of Finland: The hydrogeochemical mapping of Finnish groundwater. Geological Survey of Finland, Espoo. 66 s.
- , Tarvainen, T., Hatakka, T., Backman, B., Juntunen, R., Kortelainen, N., Lakomaa, T., Nikkarinen, M., Vesterbacka, P., Väisänen, U. & Suomela, P. 2002. Tuhat kaivoa – Suomen kaivovesien fysikaalis-kemiallinen laatu vuonna 1999. Geologian tutkimuskeskus, Tutkimusraportti 155. 92 s.
- Mannerkoski, H., Finér, L., Piirainen, S. & Starr, M. 2005. Effect 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.
- Piirainen, S., Finér, L. & Starr, M. 2002a. Deposition and leaching of sulphate and base cations in a mixed boreal forest in Eastern Finland. *Water, Air, and Soil Pollution* 131: 185–204.
- , Finér, L., Mannerkoski, H. & Starr, M. 2002b. Effects of forest clear-cutting on the carbon and nitrogen fluxes through podzolic soil horizons. *Plant and Soil* 239: 301–311.

Rusanen, K., Finér, L., Antikainen, M., Korkka-Niemi, K., Backman, B. & Britschgi, R. 2004. The effect of forest cutting on the quality of groundwater in large aquifers in Finland. *Boreal Environment Research* 9: 253–261.

Wiklander, G. 1981. Clear-cutting and the nitrogen cycle. Heterogeneous nitrogen leaching after clear-cutting. Julkaisussa: Clark, F.E. & Rosswall, T. (toim.). Terrestrial nitrogen cycles. Processes, ecosystem strategies and management impacts. *Ecological Bulletins (Stockholm)* 33: 642–647.

■ Prof. Hannu Mannerkoski, Joensuun yliopisto, metsätieteellinen tiedekunta. Sähköposti hannu.mannerkoski@joensuu.fi