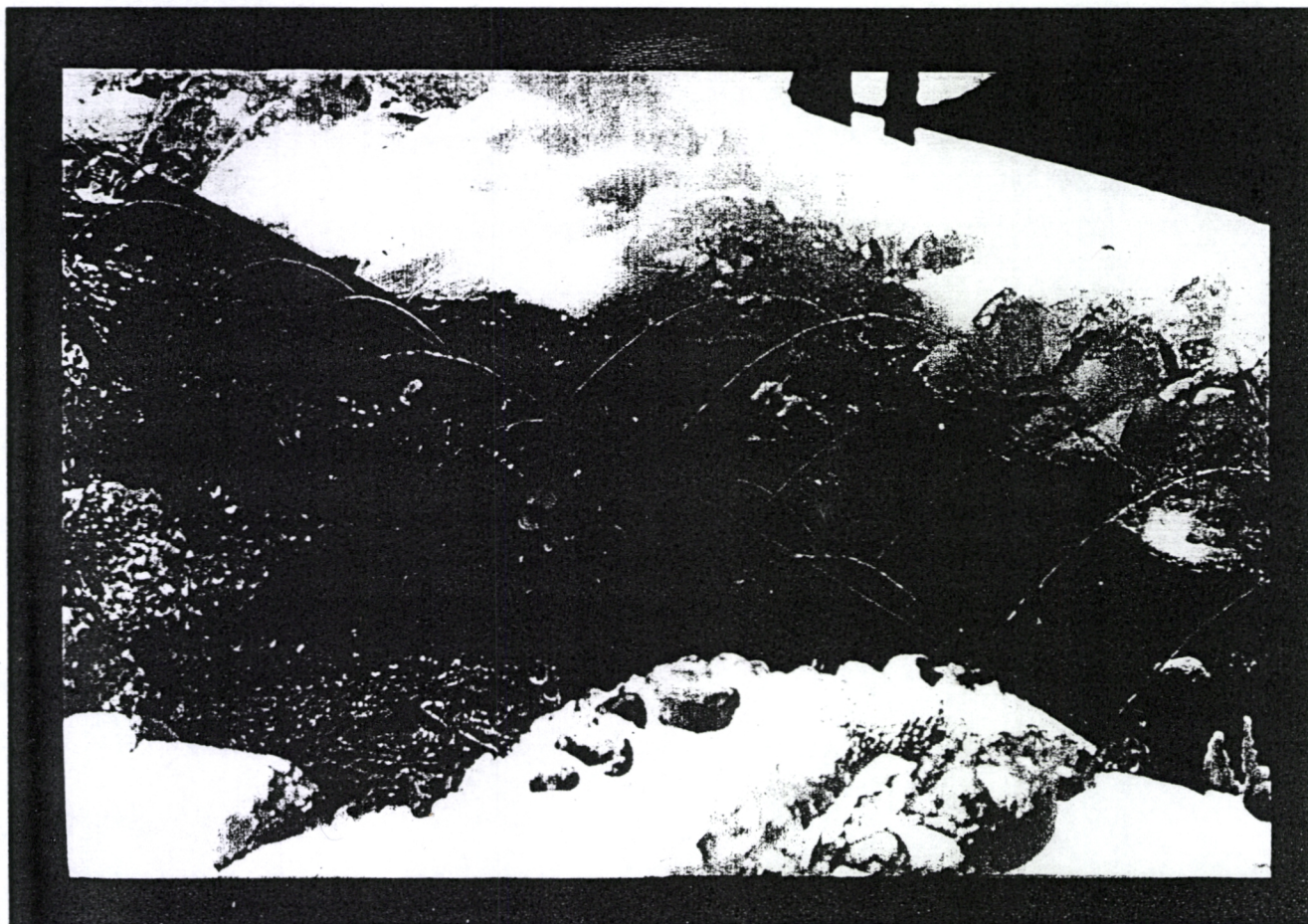


Veden imeytyksen vaikutukset metsämaahan ja kasvillisuuteen - VIVA

Tutkimushankkeen väliraportti 15.12.1996

Heljä-Sisko Helmisaari, John Derome, Veikko Kitunen,
Antti-Jussi Lindroos, Ilari Lumme, Satu Monni, Pekka Nöjd,
Laura Paavolainen, Erkki Pesonen, Maija Salemaa, Aino Smolander



Metsäntutkimuslaitos, Vantaan tutkimuskeskus
PL 18, 01301 Vantaa
Puh. 09-857 051, fax 09-857 2575

METSÄNTUTKIMUSLAITOS
Kirjasto

ALKUSANAT

Metsäntutkimuslaitoksen Vantaan tutkimuskeskus solmi keväällä 1996 tutkimussopimuksen Hämeenlinnan kaupungin teknisen viraston kanssa vuosiksi 1996-1998 aiheesta "Veden imeytyksen vaikutukset metsämaahan ja kasvillisuuteen". Tutkimus liittyy monissa Suomen kunnissa kokeiltavaan uuteen järviveden imeyttämistapaan tekopohjavedeksi sadettamalla metsämaata, ja tutkimuskohteina ovat imeytyksen maaperä-, puusto-, aluskasvillisuus- ja pohjavesivaikutukset. Tutkimushankkeen päärahoittajina ovat Hämeenlinnan kaupungin tekninen virasto, Jyväskylän kaupungin vesilaitos, Mikkelin kaupungin vesilaitos, Tampereen vaikutusalueen pohjavesien tutkimusryhmä (TAVASE), Turun seudun vesi Oy ja Tuusulan seudun vesilaitoskuntayhtymä. Lisäksi Hämeen ympäristökeskus osallistuu tutkimuskustannuksiin suorittamalla vesinäytteiden ammonium-, nitraatti- ja kokonaistyyppimääritykset.

Tutkimusta johtaa kuukausittain kokoontuva johtoryhmä, jonka kokoonpano on seuraava:

Jouko Kettunen (pj.)	Hämeenlinnan kaupunki
Heikki Heino	" vesilaitos
Timo Tuomola	" metsätoimisto
Leo Aspholm	" vesilaitos
Jukka Airola	Hämeen ympäristökeskus
Paavo Pääatalo	"
Markku Hantunen	Jyväskylän kaupungin vesilaitos
Jorma Määttä	Turun seudun vesi Oy
Unto Tanttu	Tuusulan seudun vesilaitos kuntayhtymä
Risto Reijonen	Suomen Pohjavesitekniikka
Tuomo Hatva	SYKE
Heljä-Sisko Helmisaari	METLA

Tutkimuksen käytännön työtä koordinoi kuukausittain kokoontuva työryhmä, jonka kokoonpano on seuraava:

Heikki Heino (pj.)	Hämeenlinnan kaupunki
Leo Aspholm	"
Paavo Pääatalo	Hämeen ympäristökeskus
Markku Järvenpää	Jyväskylän kaupungin vesilaitos
Risto Reijonen	Suomen Pohjavesitekniikka
Tuomo Hatva	SYKE
Heljä-Sisko Helmisaari	METLA

Tutkimuksessa pyritään selvittämään metsäekosysteemin eri toiminnoissa tapahtuvat muutokset, minkä vuoksi Metsäntutkimuslaitoksen tutkijat edustavat eri alojen asiantuntemusta: MMT Heljä-Sisko Helmisaari (koordinaattori, juuristo), MML John Derome ja FL Antti-Jussi Lindroos (maaperän happamuus ja ravinnetila), FT Veikko Kitunen (maaperän orgaaninen aine), FT Ilari Lumme (puuston ravinnetila), MMT Pekka Nöjd ja FL Erkki Pesonen (puuston sädekasvu), FL Maija Salemaa ja FK Satu Monni (aluskasvillisuus), MMT Aino Smolander ja MMyo Laura Paavolainen (typen mineralisaatio, nitrifikaatio ja denitrifikaatio). Dityppioksidin mittaukset suoritetaan Kansanterveyslaitoksessa Kuopiossa (Dos. Pertti Martikainen). Tähän raporttiin on koottu ensimmäisen tutkimusvuoden 1996 tulokset ja niiden johtopäätökset. Metsäntutkimuslaitoksen Vantaan tutkimuskeskus kiittää tutkimushankkeen rahoittajia ja johtoryhmän sekä työryhmän jäseniä hyvästä yhteistyöstä kuluneen vuoden aikana.

SISÄLLYSLUETTELO

ALKUSANAT	2
SISÄLLYSLUETTELO	3
JOHDANTO	4
TUTKIMUKSEN TAVOITTEET	5
TUTKIMUKSEN SUORITUS JA AIKATAULU	5
Tutkimusalue	5
Koejärjestely	6
Tutkimusmenetelmät	10
Maaperätutkimukset	10
Kasvillisuustutkimukset	12
TULOKSET JA NIIDEN TARKASTELU	14
Happamuus ja ravinnetila	14
Maaperän happamuus	14
Imeytysveden happamuuden muutokset maaperässä.....	14
Maaperän ja maaveden ravinnetila	15
Pohjaveden laadun kannalta tärkeiden aineiden pitoisuudet	17
Päätelmät	17
Typen mineralisaatio, nitrifikaatio ja typen häviöt	24
Paras imeytysmenetelmä typen häviöiden estämiseksi?	29
Orgaanisen aineen fraktiointi	29
Aluskasvillisuus	30
Fysikaaliset vaikutukset.....	30
Kemialliset vaikutukset	31
Biologiset vaikutukset	31
Päätelmät	33
Kuusen ja männyn sädekasvu	33
Kommentit.....	37
Kuusen ja männyn ravinnetila	37
Päätelmät	38
Kuusen ja männyn sekä aluskasvillisuuden hienojuuristo	39
LOPPUPÄÄTELMÄT	39
Imeytyksen aiheuttamat muutokset	39
Imeytyksen ajankohta ja kesto	41
Imeytyksen tekninen toteutus	41
Mittausaikataulu vuonna 1997	41
KIRJALLISUUS	42

JOHDANTO

Veden allasimeytystä pohjavedeksi on Suomessa tehty useilla paikkakunnilla jo kymmeniä vuosia. Suomessa järveden imeytyksen tavoitteena on lähinnä vesihuollon kustannusten alentaminen ja veden laadun parantaminen. Pintaimetyys voi olla osaratkaisu näihin ongelmiin ja menetelmän kehittämiseen on siten laajempaakin mielenkiintoa.

Kun järvivesi imeytetään harjualueeseen, veden oletetaan puhdistuvan samojen prosessien kautta kuin sadeveden. Vettä "muokkaavia" prosesseja voivat olla suotautuminen, maaperän biologinen kierto tai adsorptioon ja ioninvaihtoon perustuvat prosessit. Normaalissa tilanteessa nämä maaperän kiertoon kuuluvat prosessit riittäisivät puhdistamaan veden. Pintaimetyyksessä käytettävät vesimäärät ovat kuitenkin hyvin suuria.

Maaperätutkimuksessa keskeisimpänä kohteena on imeytysveden vaikutus maan epäorgaanisten ravinteiden ja orgaanisen aineen huuhtoutumiseen juuristokerroksesta ja niiden liike maaprofiilissa. Jos ravinteiden poistuma on suurempi kuin orgaanisesta aineesta vapautuva ja rapautumisen sekä imeytysveden mukana tuleva ravinnemäärä, maan pintakerros voi köyhtyä ravinteiden suhteen ja puut sekä aluskasvillisuus voivat kärsiä ravinnepuutoksista. Muutokset orgaanisen aineen ja nitraattitypen huuhtoutumassa vaikuttavat myös pohjaveden laatuun.

Veden imeytyksen vaikutuksista typen kiertoon liittyviin mikrobitoimintoihin ei ole aiempaa tutkimustietoa. Mahdolliset muutokset näissä toiminnoissa vaikuttavat myös kasvillisuuden typen saantiin ja pohjaveden laatuun. Mikäli veden imeytys kiihdyttää typen vapautumista orgaanisesta aineesta eli typen mineralisaatiota, nostaa pH:ta tai aiheuttaa muita muutoksia, nitrifikaation ja denitrifikaation voimistuminen voi olla mahdollista. Typen mineralisaatiossa typpi muuntuu orgaanisesta muodosta epäorgaaniseen eli ammoniumksi (NH_4^+). Nitrifikaatiossa ammoniumia hapettavat mikrobit muodostavat ammoniumista nitriitin kautta nitraattia. Nitrifikaatiota ei kuitenkaan yleensä tapahdu suomalaisessa metsämaassa ja yhdeksi syyksi on epäilty maan happamuutta (pH n. 5). Jokin häiriötekijä, kuten maan pH:ta kohottava kalkitus voi kuitenkin lisätä metsämaan nitraatin tuottoa. Nitraatti (NO_3^-) huuhtoutuu herkemmin kuin ammoniumtyppi (NH_4^+), sillä nitraatti ei pidäty negatiivisesti varautuneiden maahiukkasten pinnalle. Nitraatti on pohjaveden laadun kannalta terveysriski, se aiheuttaa mm. methemoglobinemiaa pienille lapsille. Raja-arvo nitraatille [$(\text{NO}_3^-)\text{-N}$] pohjavedessä on 6 mg/l (Sosiaali- ja Terveysministeriön päätös nro 74, 1994).

Nitraatti voi poistua maasta huuhtoutumisen lisäksi denitrifikaatiossa. Siinä nitraatti pelkistetään kaasumaiseen muotoon (NO , N_2O , N_2) joka haihtuu ilmakehään. Normaalisti N_2O -tuotto on metsämaassa vähäistä, koska nitraattia on vähän. Se voi kuitenkin olla huomattavaa silloin, jos maassa on nitraattia ja maa on tavallista kosteampaa, sillä denitrifikaatio tapahtuu hapettomissa oloissa. N_2O on voimakas kasvihuonekaasu ja lisäksi se on haitallinen stratosfäärin otsonikerrokselle. Veden pintaimetyyksessä denitrifikaation alkamista voi kuitenkin pitää pohjaveden laadun kannalta hyvänä asiana, koska se kuluttaa nitraattia ja estää siten sen huuhtoutumista. Toisaalta denitrifikaatio vähentää kasvillisuudelle käyttökelpoisen typen määrää maassa.

Metsäkasvillisuuden eri osat reagoivat todennäköisesti eri tavalla pintaimetyykseen. Aluskasvillisuus todennäköisesti kärsii tai muuttuu herkimmin sadetuksen takia. Veden pintavalunta voi aiheuttaa maaaineksen eroosiota ja paljastaa kasvien juuria häiriten kasvien elintoimintoja ja kiinnittymistä maahan. Kasvien juuret saattavat kärsiä hapen ja ravinteiden puutteesta märässä maassa. Ravinteikas järvivesi voi toisaalta rehevöittää kasvillisuutta niin,

että kuivien kankaiden lajit väistyvät ja kosteutta sietävät tai ravinteista hyötyvät lisääntyvät. Oletettavasti ainakin maajäkälät kärsivät, kun taas kosteiden kasvupaikkojen sammalet (esim. rahkasammalet) ja pintalevät voivat lisääntyä.

Puustoon kohdistuvat vaikutukset riippuvat siitä, kuinka suuri osa puiden juuristosta on imeytysalueella. Imeytyksen vaikutuspiirissä olevat juuret saattavat kärsiä hapenpuutteesta, mutta kasvukauden aikana imeytyksellä saattaa olla positiivisiakin vaikutuksia puiden vesitaloudelle ja kasvulle. Toisaalta ravinteiden puute voi rajoittaa kasvua mikäli ravinteita poistuu imeytyksen myötä maan pintakerroksesta. Lisäksi jatkuva vesivirtaus maassa saattaa muuttaa puiden ravinteiden ottoa. Kasteluveden sisältämät ravinteet voivat toisaalta korvata huuhtoutumaa. Veden imeytyksestä aiheutuva lisäys puiden vedensaannissa voi aiheuttaa useita muutoksia, joita voidaan seurata mittaamalla puiden sädekasvua. Erityisen merkittäviä voivat olla muutokset puun elintoimintojen käynnistymisessä keväällä ja niiden päättymisessä syksyllä. Talvella puiden elintoiminnot ovat hyvin vähäisiä; puut ovat lepotilassa, jossa lyhytaikaiset suotuisatkaan sääolot eivät mainittavasti vauhdita puun aineenvaihduntaa; yhteyttämistä ja ravinteiden ottoa maaperästä. Lepotila toisaalta suojaa puita epäedullisia sääoloja vastaan: puu kestää hyvin erittäin mataliakin lämpötiloja. Lepotilan purkauduttua keväällä puun kylmänkestävyys heikentyy huomattavasti. On mahdollista, että kastelu aikaistaa puun elintoimintojen käynnistymistä keväällä, mikä lisää pakkasvaurioiden riskiä.

Puilla on myös vedensaannin suhteen optimi, jonka voimakas kastelu voi ylittää. Seurauksena on häiriöitä puun elintoiminnoissa. Toisaalta tähänastisten Skandinavian oloissa tehtyjen kokeiden mukaan optimaalisesti suoritettu keinokastelu lisää voimakkaasti puiden kasvua. Sädekasvua seuraamalla voidaan havaita sekä mahdollinen kasvunlisäys että vakavat kasvua heikentävät toiminnalliset häiriöt.

Imeytyksellä saattaa olla monitahoisia vaikutuksia imeytysalueen metsäekosysteemiin. Vaikutusten määrä ja laatu riippuu imeytettävän raakaveden määrästä ja laadusta, imeytysalueen maaperästä ja kasvillisuudesta sekä imeytystavasta, ajankohdasta ja kestosta.

TUTKIMUKSEN TAVOITTEET

Tutkimuksen tavoitteena on selvittää maan läpi suotautuvan veden ja pintavalunnan vaikutuksia maaperän happamuuteen, ravinnetilaan ja orgaaniseen aineeseen, aineiden huuhtoutumiseen, maaperän mikrobiologisiin ominaisuuksiin sekä puuston ravinnetilaan, kasvuun ja terveydentilaan sekä aluskasvillisuuteen keskipitkällä aikavälillä (3 vuotta).

Tutkimuksessa selvitetään erikseen talvella tapahtuvan imeytyksen ja kasvukauden aikana tapahtuvan imeytyksen vaikutuksia. Lisäksi tutkitaan onko tarpeellista jaksottaa imeytys kasvukauden aikana lyhyempiin jaksoihin aluskasvillisuudelle mahdollisesti aiheutuvien haittojen vähentämiseksi.

TUTKIMUKSEN SUORITUS JA AIKATAULU

Tutkimusalue

Ahveniston harju on osa kaakkois-lounaissuuntaista pitkittäisharjujaksoa, jossa sora- ja moreenimuodostumat vaihtelevat. Harjujakso on tärkeää pohjaveden muodostumisaluetta. Veden imeytyksen tutkimusalue sijaitsee itään viettävällä kivisellä moreenirinteellä, jonka kasvillisuus edustaa tuoretta keskiravinteista lehtoa (käenkaali - oravanmarja -metsätyyppi, Oxalis- Maianthemum -tyyppi, OMaT). Kasvillisuutta luonnehtivat sekä tavalliset kangasmetsälajit kuten puolukka ja mustikka että ravinteikkaiden kasvupaikkojen

vaateliaammat ruohot, heinät ja sammalet. Kasvillisuuden rehevyys selittyy suurelta osin maaperän kalkkipitoisuudella. Maaperän orgaaninen kerros on lehtomultaa (paksuus 6 - 8 cm), joka muuttuu vähitellen kivennäismaaksi syvemmälle mentäessä. Koealojen ravinteisuus ja valoilmasto vaihtelevat jonkin verran, mikä näkyi myös kasvilajien runsassuhteissa. Esimerkiksi vertailualan 1 multakerros oli ohuempi ja siellä kasvoi enemmän seinäsammalta (kuva 12) ja vähemmän metsäkerrossammalta (kuva 13) kuin muilla koealoilla.

Rinteen jyrkkyys ja ilmansuunta vaikuttavat suuresti harjukasvillisuuden monimuotoisuuteen ja lajikoostumukseen. Koealat 1, 2, 3 ja 5 sijaitsevat itäisellä varjorinteellä, mutta vertailuala 4 on harjun laella. Pienilmasto on erilainen varjopaikoissa ja aukoissa, joissa tavattiin valoa vaativia kuivan lehdon lajeja. Tutkimusalueella ei havaittu harvinaisia tai uhanalaisia kasvilajeja, mutta esimerkiksi harvinaiset idänkeulankärki (*Oxytropis campestris*) ja tunturikurjenherne (*Astragalus alpinus*) kasvoivat imeytysaltaan toisella puolella etelään suuntautuvalla valorinteellä.

Tutkimusalueen kasviston lajimäärä oli suuri, yhteensä lajeja löydettiin 96, joista putkilokasveja oli 70, lehtisammalia 22 ja maksasammalia 4 (taulukko 1). Tyypillisiä pensaskerroksen lajeja olivat taikinamarja (*Ribes alpinum*), korpipaatsama (*Rhamnus frangula*), lehtokuusama (*Lonicera xylosteum*), pihlaja (*Sorbus aucuparia*) ja harmaaleppä (*Alnus incana*). Nykyisin kaikki lehdot luetaan ns. avainbiotoopeiksi, jotka ovat luonnon monimuotoisuuden kannalta erityisen tärkeitä. Metsänhoidollisia toimenpiteitä ja muita ihmistoimintoja tulee tällaisilla paikoilla tehdä erittäin varovaisesti tai jättää ne kokonaan käsittelemättä.

Koejärjestely

Tutkimusalueena käytettävällä Ahveniston harjulla on viisi koealaa, joilla imeytyksen vaikutuksia tutkitaan: talvikautinen imeytysala, kasvukautinen jatkuvasti imeytettävä ala, kasvukautinen jaksotettu imeytysala sekä kaksi vertailualaa (kuva 1).

Koealat 1,2 ja 3 ovat mäntyvaltaisia, aloilla 4 ja 5 valtapuuna on kuusi (taulukko 2.). Kaikkien koealojen puusto on vanhaa, metsätaloudellisten luokitusten mukaan jo yli-ikäistä. Tämä näkyy puuston keskiläpimitassa (ppa:lla painotettu), joka on kaikilla koealoilla samaa suuruusluokkaa: 35 - 39 cm. Myös puuston keskipituus vaihtelee varsin kapeissa rajoissa (27-28.5 m).

Mäntyvaltaisilla koealoilla puustoa on selvästi enemmän. Hehtaarikohtainen runkoluku vaihtelee noin 150:sta (ka 4) vajaan 400:an (ka 1). Tiheyserot näkyvät myös pohjapinta-alassa joka vaihtelee kuusialoilla välillä 15-20 m²/ha ja mäntyaloilla välillä 30 - 43 m²/ha.

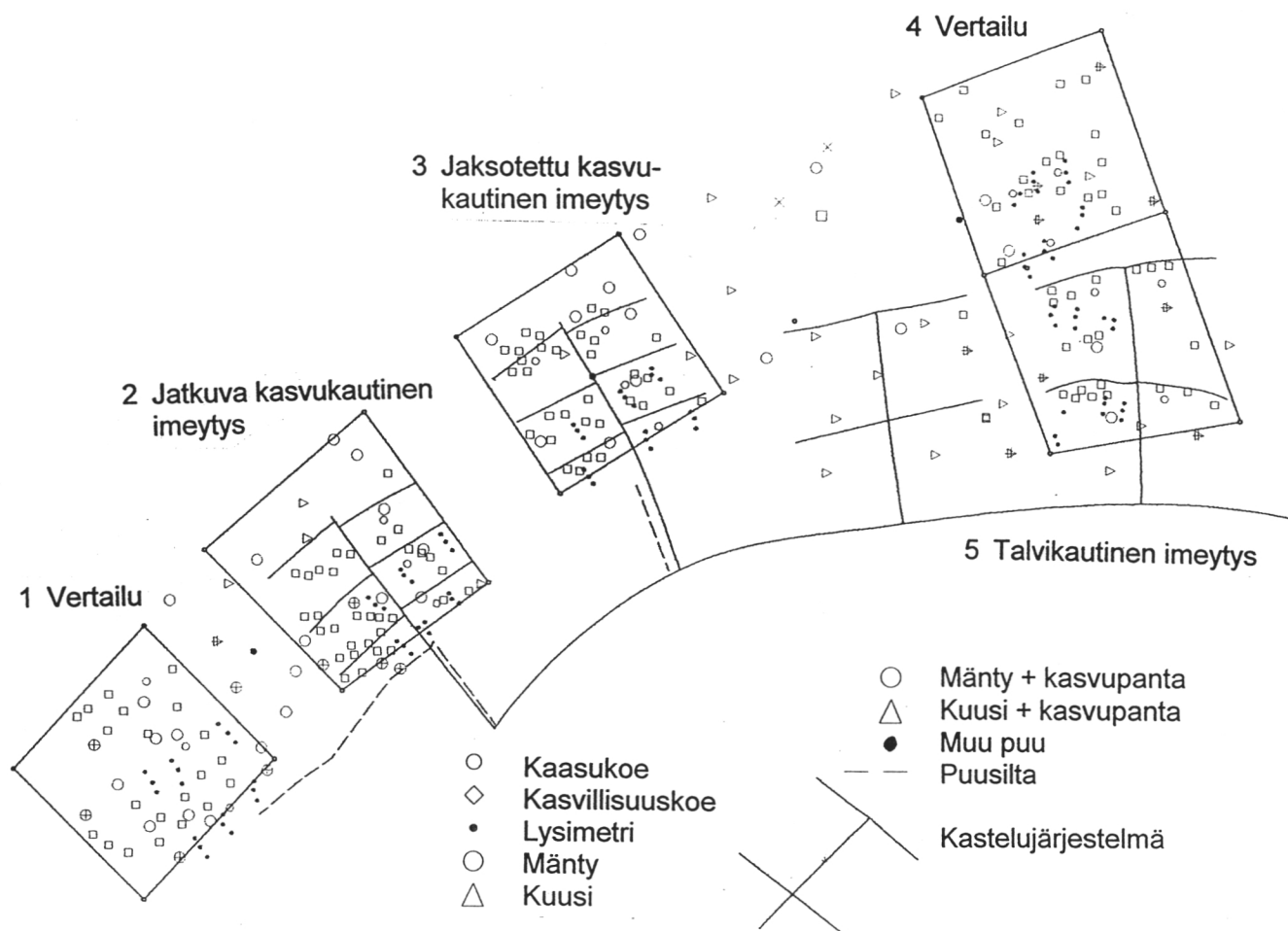
Talvikautista imeytysalaa sadetettiin 14.12.1995 - 3.6.1996. Jatkuvaa kasvukautista imeytysalaa sadetettiin 25.6. - 30.10. 1996, ja jaksotettua kasvukautista imeytysalaa 12.6. - 12.7. sekä 12.8. - 12.9.1996.

Sadetusputket kulkevat rinteessä kahdessa rivissä talvikautisella imeytysalalla. Kasvukauden aikana sadetettavilla aloilla putkirivejä on kolme (kuva 1). Sadetus tapahtuu putkissa olevista 4-5 mm läpimittaisista rei'istä n. 20 cm:n välein. Sadetukseen on käytetty vettä n. 1,1-1,3 m³ tunnissa putkimetriä kohti (taulukko 3). Veden imeytymisalue on n. 3 m² putkimetriä kohti. Kokonaissadetusmäärät ovat olleet 1778 m³/m² talvikautisella imeytysalalla, 1118 m³/m² kasvukautisella imeytysalalla ja 492 m³/m² jaksotetulla imeytysalalla. Määrät vastaavat millimetreiksi laskettuna n. 1000-3000 kertaa vuotuista sademäärää.

Taulukko 1. Ahvenistonharjun imeytyskoealojen kasvilajisto. Putkilokasvilajien, lehtisammalten ja maksasammalten keskimääräiset runsaudet neliömetrin näyteruuduilla ($n = 15$) arvioituna prosenttipeittävyysinä 5.-10.6. 1996. Pensaskerroksen lajiluettelo.

		Peittävyys %				
		Koealat				
		1	2	3	4	5
Kenttäkerroksen putkilokasvilajit:						
Achillea millefolium	Siankärsämö	0.00	0.01	0.00	0.03	0.00
Agrostis capillaris	Nurmirölli	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00
Alnus incana	Harmaaleppä	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00
Anemone nemorosa	Valkovuokko	3.14	0.86	4.66	5.56	5.60
Angelica sylvestris	Karhunputki	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00
Betula pendula	Rauduskoivu	0.01	0.00	0.01	0.00	0.00
Betula pubescens	Hieskoivu	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00
Brachypodium pinnatum	Mäkilehtoluste	0.00	0.30	0.00	0.00	6.60
Calamagrostis arundinacea	Metsäkastikka	2.19	0.77	5.20	4.63	16.7
Carex digitata	Sormisara	0.34	0.07	0.20	0.54	0.08
Carex vaginata	Tuppisara	0.00	0.00	0.08	0.01	0.08
Convallaria majalis	Kielo	0.96	0.00	1.58	0.86	0.34
Deschampsia cespitosa	Nurmilauha	0.06	0.00	0.07	0.00	0.00
Deschampsia flexuosa	Metsälauha	7.00	2.93	5.72	5.10	1.14
Dryopteris carthusiana	Metsälvejuuri	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00
Epilobium angustifolium	Maitohorsma	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03
Festuca ovina	Lampaannata	0.00	1.87	0.00	0.01	0.01
Filipendula ulmaria	Mesiangervo	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00
Fragaria vesca	Metsämansikka	0.24	0.14	0.59	1.04	0.20
Galium boreale	Ahomatara	0.10	0.00	0.73	0.37	3.53
Geranium sylvaticum	Metsäkurjenpolvi	0.00	0.00	0.00	0.03	0.04
Geum rivale	Ojakellukka	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00
Gymnocarpium dryopteris	Metsäimarre	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03
Hieracium sp.	Keltano-ryhmä	0.01	0.00	0.00	0.07	0.03
Hierochloa australis	Metsämaarianheinä	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01
Hepatica nobilis	Sinivuokko	1.52	0.33	2.70	6.06	4.13
Hypericum maculatum	Särmäkuisma	0.00	0.00	0.03	0.00	0.00
Lathyrus vernalis	Kevätlinnunherne	0.00	0.00	0.00	0.03	0.38
Linnea borealis	Vanamo	0.18	0.80	0.51	0.08	1.16
Lonicera xylosteum	Lehtokuusama	0.00	0.00	0.01	0.43	0.00
Luzula pilosa	Kevätpiippo	0.42	0.62	0.91	0.61	0.16
Lycopodium annotinum	Riidenlieko	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00
Maianthemum bifolium	Oravanmarja	8.83	2.77	3.50	2.02	1.02
Melampyrum sylvaticum	Metsämaitikka	0.01	0.01	0.10	0.14	0.01
Matteuccia struthiopteris	Kotkansiipi	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00
Melica nutans	Nuokkuhelmikkä	0.03	0.03	0.04	0.53	0.15
Monotropa hypoptryx	Mäntykukka	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00
Orthilia secunda	Nuokkotalvikki	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00
Oxalis acetosella	Käenkaali	0.80	0.28	2.18	2.27	0.35
Paris quadrifolia	Sudenmarja	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01
Picea abies	Kuusi	0.18	0.14	0.01	0.78	2.10
Pimpinella saxifraga	Ahopukinjuuri	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03
Polypodium odoratum	Kalliokielo	0.03	0.00	0.10	1.37	0.01
Potentilla erecta	Rätvänä	0.01	0.00	0.00	0.07	0.01
Pteridium aquilinum	Sananjalka	0.00	0.00	0.14	0.97	0.17
Pyrola media	Kellotalvikki	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00
Pyrola rotundifolia	Isotalvikki	0.00	0.00	0.04	0.00	0.00
Quercus robur	Metsätammi	0.00	0.00	0.06	0.20	0.00
Ribes alpinum	Taikinamarja	0.00	0.00	0.13	0.30	0.08
Rubus idaeus	Vadelma	0.53	0.06	0.00	0.00	0.00
Rubus saxatilis	Lillukka	0.61	0.00	0.46	0.00	0.06
Salix starkeana	Ahopaju	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00

		Peittävyys %				
		Koealat				
		1	2	3	4	5
Kenttäkerroksen putkilokasvilajit: jatkuu						
Solidago virgaurea	Kultapiisku	0.10	0.03	0.00	0.30	0.42
Sorbus aucuparia	Pihlaja	1.32	1.14	1.56	1.47	0.26
Trientalis europea	Metsätähti	1.48	0.62	1.00	0.74	0.64
Vaccinium myrtillus	Mustikka	31.9	13.4	22.0	28.8	4.77
Vaccinium vitis-idaea	Puolukka	2.38	15.6	0.83	1.20	1.04
Veronica chamaedrys	Nurmitädyke	0.02	0.03	0.12	0.10	0.00
Veronica officinalis	Rohtotädyke	0.05	0.01	0.14	0.05	0.17
Viburnum opulus	Koiranheisi	0.00	0.00	0.00	0.03	0.00
Vicia cracca	Hiirenvirna	0.01	0.00	0.03	0.01	0.03
Vicia sativa	Rehuvirna	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03
Viola canina	Aho-orvokki	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01
Viola mirabilis	Lehto-orvokki	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00
Viola riviniana	Metsäorvokki	0.00	0.00	0.17	0.22	0.11
Lehtisammalet:						
Aulacomnium palustre	Suonihuopasammal	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00
Brachythecium oedipodium	Metsäsuikerosammal	0.28	0.86	1.90	2.54	0.76
Brachythecium salebrosum	Kiiltosuikerosammal	0.01	0.00	0.01	0.00	0.06
Brachythecium starkei	Kantosuikerosammal	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00
Brachythecium velutinum	Sirosuikerosammal	10.2	0.00	0.00	0.13	0.00
Campylium sommerfeltii	Kantoväkäsammal	0.01	0.00	0.00	0.07	0.01
Cirriphyllum piliferum	Lehtohaivensammal	0.33	0.00	0.00	0.80	0.01
Dicranum majus	Isokynsisammal	0.66	0.00	0.00	0.20	0.00
Dicranum polysetum	Kangaskynsisammal	5.26	5.40	12.2	0.51	7.29
Dicranum scoparium	Kivikynsisammal	0.14	0.00	0.01	0.00	0.30
Hylocomium splendens	Metsäkerrosammal	1.48	10.5	8.54	15.4	22.5
Plagiomnium affine	Lehtolehväsammal	0.28	0.64	0.64	0.44	2.44
Plagiothecium denticulatum	Kivilaakasammal	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01
Plagiothecium laetum	Kantolaakasammal	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01
Pleurozium schreberi	Seinäsammal	51.2	21.4	10.3	13.5	10.8
Pohlia nutans	Nuokkuvarstasammal	0.00	0.00	0.00	0.54	0.00
Ptilium crista-castrensis	Sulkasammal	0.14	0.20	0.00	0.00	0.01
Rhizomnium punctatum	Kilpilehväsammal	0.02	0.01	0.01	0.00	0.00
Rhizomnium pseudopunctatum	Lettolehväsammal	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01
Rhodobryum roseum	Ruusukesammal	0.01	0.00	0.01	0.01	0.00
Rhytidiadelphus triquetrus	Metsäliekosammal	0.01	0.00	0.06	0.00	0.00
Sanionia uncinata	Metsäkamppisammal	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00
Maksasammalet:						
Barbilophozia barbata	Metsäpykäsammal	0.00	0.00	0.01	0.02	0.00
Chiloscyphus profundus	Lahoalvesammal	0.07	0.00	0.01	0.02	0.01
Plagiochila asplenioides	Isokastesammal	2.80	0.00	0.47	3.60	0.68
Ptilidium ciliare	Isokorallisammal	0.13	0.06	0.01	0.00	0.00
Pensaat (50 - 150 cm):						
Alnus glutinosa	Tervaleppä					
Alnus incana	Harmaaleppä					
Betula pendula	Rauduskoivu					
Betula pubescens	Hieskoivu					
Lonicera xylosteum	Lehtokuusama					
Juniperus communis	Kataja					
Picea abies	Kuusi					
Pinus sylvestris	Mänty					
Populus tremula	Haapa					
Quercus robur	Tammi					
Rhamnus frangula	Korpipaatsama					
Ribes alpinum	Taikinamarja					
Salix sp.	Pajut					
Sorbus aucuparia	Pihlaja					



Kuva 1. Kartake koealojen sijainnista.

Taulukko 2. Koealojen puustoa kuvaavat metsikkötunnukset

Koeala		1	2	3	4	5
Runkoluku kpl/ha	Kokonaispuusto	395	327	264	143	179
	Männyt	369	257	211	48	0
	Kuuset	26	70	53	95	179
Pohjapinta-ala kuorellinen m ² /ha	Kokonaispuusto	43.4	33.5	31.4	15.3	21.8
	Männyt	41.3	24.7	23.2	4.1	0
	Kuuset	2.1	8.8	8.2	11.2	21.8
Runkotilavuus m ³ /ha	Kokonaispuusto	530	412	373	195	270
	Männyt	503	301	284	51	0
	Kuuset	27	111	89	144	270
Keskiläpimitta ppa:lla painotettu cm	Kokonaispuusto	37.9	37.4	40.1	38.4	40.7
	Männyt	38.2	36.3	37.8	36.4	0
	Kuuset	32.1	40.3	46.7	39.1	40.7
Keskipituus aritmeettinen m	Kokonaispuusto	27.1	26.8	26.9	28.4	28.6
	Männyt	27.1	26.4	26.9	26.3	0
	Kuuset	27.4	28.3	26.7	29.5	28.6

Taulukko 3. Sadetusmäärät. Vesimäärien laskentaperusteena on yhdestä reiästä purkautuva vesimäärä. Veden imeytymisalue n. 3 m²/jm. Reiät 20 cm välein molemmilla puolilla putkea.

Sadetus			Koeala 2 Kasvukautinen 144 m ²		Koeala 3 Kasvukautinen, jaksotettu 144 m ²		Koeala 5 Talvikautinen 108 m ²	
alkoi	loppui	d	m ³	m ³ /m ²	m ³	m ³ /m ²	m ³	m ³ /m ²
14.12.1995	3.6.1996	171					192 067	1778
12.6.1996	12.7.1996	28			35 482	246		
12.8.1996	12.9.1996	28			35 482	246		
25.6.1996	30.10.1996	127	160 934	1 118				
Yhteensä			160 934	1 118	70 963	492	192 067	1778
Koealat 2 ja 3 1,1 m ³ /h/putkimetri n. 60 cm kaarella reiät 4 mm					Koeala 5 1,3 m ³ /h/putkimetri n. 60 cm kaarella reiät 5 mm			

Koealojen ulkopuolella olevat sadetusputket

Sadetus			Koealan 5 vasen puoli 108 m ²		Koealan 5 oikea puoli 54 m ²	
alkoi	loppui	d	m ³	m ³ /m ²	m ³	m ³ /m ²
14.12.1995	30.10.1996	311	349 315	3 234	174 658	3 234

Koealan 5 vasen ja oikea puoli
1,3 m³/h/putkimetri n. 60 cm kaarella, reiät 5 mm

Tutkimusmenetelmät

Maaperätutkimukset

Happamuus ja ravinnetila

Imeytysveden koostumuksen muutoksia maaperässä ja sen vaikutuksia maaperän kemialliseen tilaan tarkasteltiin vesi- ja maanäyteanalysein. Vesianalyysyjä tehtiin raaka-, vajo-, maa- ja pohjavedestä. Vajovesi on maaperässä painovoiman vaikutuksesta alaspäin valuvaa vettä. Maavesi koostuu vajovedestä sekä maan rakenteisiin osittain sitoutuneesta vedestä. Vajovettä kerättiin jokaiselta koealalta humuskerroksen alle asennetuilla levylysimitreillä (kivennäismaan syvyys 0 cm, 6 lysimetriä/koeala). Maavettä kerättiin 40 ja 100 cm:n syvyyksiltä kivennäismaasta imulyksimitreillä. Imulyksimetrejä oli 6 kpl/syvyys/koeala.

Levyllysimitrit asennettiin toukokuun lopussa. Levyllysimitrien keräämän veden näytteenotto tehtiin asennuksen jälkeen päivittäin ja kustakin lysimetricistä erikseen heinäkuun alkuun saakka. Sen jälkeen näytteet otettiin kolme kertaa viikossa ja osanäytteistä muodostettiin koealakohtaiset kokoomanäytteet. Tulosten analyysiä varten tutkimuksen alussa kerätyistä lysimetrikohtaisista näytteistä laskettiin koealakohtaiset keskiarvot kullekin näytteenotokerralle.

Imulyksimetrit asennettiin 40 ja 100 cm syvyydelle kesäkuun lopussa ja heinäkuun alussa. Näytteet kerättiin kerran viikossa, ja osanäytteistä muodostettiin koealakohtainen kokoomanäyte.

Imeytysveden ja pohjaveden laatu määritettiin säännöllisesti koko tutkimusjakson ajan. Pohjavettä kerättiin neljästä alueen pohjavesiputkesta (9601, 9406, 9407, 9502). Erityishuomio kiinnitettiin pohjavesiputkeen nro 9601, jonka oletettiin edustavan kasvukautisessa imeytyksessä muodostuvaa pohjavettä.

Vesinäytteistä määritettiin pH sekä metallit (atomiemissiospektrofotometri, ICP/AES). Orgaaninen hiili määritettiin TOC-analysaattorilla. Nämä analyysit tehtiin METLAssa. Hämeen ympäristökeskuksessa määritettiin ammoniumtyppi (SFS 3032), nitriitti- ja nitraattitypen summa sekä kokonaistyyppi (Lachat QuicChem 8000, FIA).

Kesäkuun alussa otettiin humuskerroksesta ja kivennäismaakerroksesta näytteet ravinneanalyyseja varten metrin päästä alaspäin imeytysputkesta ja vertailualoilta vastaavalta korkeudelta (koealat 1, 2, 4, 5). Koealalta 2 otettiin 8 kairallista joka putkiriviltä, ja nämä osanäytteet yhdistettiin (3 kokoomanäytettä humus- ja kivennäismaakerroksesta/koeala). Vertailualalta 1 otettiin vastaavat näytteet. Koealalta 5 otettiin ylimmältä putkiriviltä 8 x 2 kairallista ja alemmalta riviltä 8 kairallista, ja nämä yhdistettiin kuten edellä. Vertailualalta 4 otettiin vastaavat näytteet.

Koealoilta kerätyistä humus- ja kivennäismaanäytteistä mitattiin pH vesilietoksesta. Vaihtuvat ravinteet määritettiin ammoniumasettiinutuksella (pH 4,65) ja metallien pitoisuudet mitattiin uuttoliuksesta ICP/AES:llä. Maanäyteanalyysit tehtiin Metsäntutkimuslaitoksen keskuslaboratoriossa.

Typen mineralisaatio, nitrifikaatio ja typen häviöt

Maanäytteet typen kiertoa liittyviä analyyseja varten otettiin humuskerroksesta (n. 5-10 cm) kairalla (halkaisija 2,5 cm) imeytysaloilta metrin päästä alaspäin imeytysputkesta ja vertailualoilta vastaavalta korkeudelta. Imeytysaloilta 2 ja 3 maanäytteitä otettiin joka putkiriviltä 20 ja nämä osanäytteet yhdistettiin. Vertailualalta 1 otettiin vastaavat näytteet. Imeytysalalta 5 otettiin ylimmän putken luota 20 x 2 maanäytettä ja alemman putken luota 20 maanäytettä, ja nämä osanäytteet yhdistettiin kuten edellä. Vertailualalta 4 otettiin vastaavat näytteet. Yhteensä näytteitä yhdeltä koealalta tuli siis 3. Maanäytteitä otettiin kaikilta koealoilta 22.7. ja 3.10. Kesäkuussa otetuista humusnäytteistä (5.6., kts edellä) tehtiin myös alla mainitut typen kiertoa liittyvät analyysit ja lisäksi kivennäismaanäytteistä ammonium- ja nitraattitypen uutto. Näytteenottoajankohdat on valittu niin, että jaksotetulla kasvukautisella imeytysalalla (koeala 3) ei ollut imeytystä käynnissä. Laboratoriossa vihreät kasvinosat poistettiin ja näytteet seulottiin 2,8 mm seulalla. Näytteitä säilytettiin kylmahuoneessa (2-4 °C) korkeintaan viikko ennen analyysien alkua.

Maan kuiva-ainepitoisuuden (k.a.) määrittämistä varten tuoreita maita kuivattiin pitämällä niitä yön yli 105 °C:ssa. Hehkutushäviö, joka kuvastaa maan orgaanisen aineen määrää, määritettiin pitämällä samoja kuivattuja maanäytteitä 550 °C:ssa 5h. Hehkutushäviö laskettiin %:na kuiva-aineesta.

Vedenpidätyskyvyn (WHC) määrittämistä varten tuoretta maata mitattiin 20 cm³ alapäästään suljettuun suppiloon, jossa oli kostutettu imupaperi. Suppiloon kaadettiin 50 ml vettä ja annettiin seistä 2 h. Tämän jälkeen suppilon alaosassa ollut letku avattiin ja veden annettiin valua mittalasiin. Vedenpidätyskyky laskettiin lisäämällä näytteen pidättämään vesimäärään näytteessä ennestään ollut vesimäärä.

Nettoammonifikaatio- ja -nitrifikaatioinkubaatiokokeessa neljä rinnakkaista maanäytettä (4 g k.a.) punnittiin 125 ml lasipulloihin ja kosteus säädettiin 60 %:iin vedenpidätyskyvystä. Kahdesta rinnakkaisesta näytteestä (nollanäytteet) uutettiin NH₄⁺-N ja (NO₂⁻ + NO₃⁻)-N

lisäämällä 40 ml 1 M KCl-liuosta ja ravistelemalla tasoravistelijassa (2h 200 rpm). Uutto-liuokset suodatettiin suodatinpaperin (S&S 589³) läpi ja pakastettiin. Loput pulloet punnittiin, peitettiin foliopaperilla ja inkuboitiin +14 °C:ssa 42 vrk. Näytteiden haihduttama vesimäärä huomioitiin punnitsemalla näytteet viikottain ja lisäämällä tarvittaessa vettä. Kokeen lopussa inkuboituneet näytteet uutettiin kuten nollanäytteet ja pakastettiin. Uuttoliuoksista mitattiin NH_4^+ -N ja $(\text{NO}_2^- + \text{NO}_3^-)$ -N virtausinjektorianalysaattorilla (Tecator FIA 5012). Nettonitrifikaation ja -ammonifikaation laskemisessa nollanäytteiden NH_4^+ -N ja $(\text{NO}_2^- + \text{NO}_3^-)$ -N pitoisuudet vähennettiin inkuboitujen näytteiden pitoisuuksista. Mineraalityyppien nettomuodostuminen laskettiin nettonitrifikaation ja -ammonifikaation summana.

Denitrifikaatiossa ja nitrifikaation sivutuotteena syntyvän dityppioksidin (N_2O) tuottoa maasta mitattiin maastossa maahan asennettavien kaasunkeräyskammioiden avulla (3 kpl/koeala, kartta) samoina ajankohtina kuin maanäytteet otettiin nitrifikaatioinkubaatiota varten. Kaasuja kerättiin kammioista 50 ml B-D Plastipak ruiskuihin tietyin väliajoin (3, 15 ja 30 min). Ruiskut suljettiin Connecta 3-tiehanoilla ja lähetettiin pikapostina Kansanterveyslaitokselle Kuopioon, jossa ne mitattiin seuraavana päivänä kahdella toisiinsa kytketyillä HP 5890 Series II kaasukromatografilla (EC-detektori). Emissiot laskettiin kammioipitoisuuden lineaarisesta muutoksesta ajan suhteen, kun kammion koko ja sen lämpötila otettiin huomioon.

Orgaanisen aineen fraktiointi

Liuenneen orgaanisen aineen ja liuenneen tyyppien käyttäytymistä tutkittiin IR-spektroskooppisin sekä ultrasuodatukseen (Smolander ym., 1996) ja adsorptio- ja ioninvaihtokromatografiaan (Leenheer, 1981, Qualls ja Haines, 1991) perustuvien menetelmien tavoitteena raakaveden ja suotautuvien vesien profiloiminen. Profiloinnin tarkoituksena on edesauttaa ymmärtämään merkittävästi normaalia sadantaa suurempien vesimäärien aiheuttamia muutoksia maaperässä tapahtuvissa prosesseissa ja niiden vaikutusta itse maaperään sekä luonnollisesti myös pohjaveteen.

Kasvillisuustutkimukset

Aluskasvillisuuden kartoitus

Aluskasvillisuuden kartoitus suoritettiin kevätspektin aikana 5.-10.6. sekä maksimibiomassan aikana 22.8. - 1.9. 1996. Kaikilta koealoilta valittiin 15 yhden m^2 suuruista näyteruutua. Imeytysaloilla ruudut valittiin subjektiivisesti kasteluputkien läheisyydestä ja vertailualoilla ositetun satunnaisotannan mukaan. Kasvilajien vertikaaliset prosenttipeittävyydet arvioitiin silmävaraisesti asteikolla 0,1, 0,2, 0,5, 1, 2, ...99, 100 %. Pohja-, kenttä ja pensaskerroksen kartoituksen lisäksi arvioitiin karikkeen ja veden virtauksessa paljastuneen (erodoituneen) maan prosenttiosuudet näyteruudun pinta-alasta. Lisäksi kasvilajien yleiskunnosta, sienitaudeista ja muista vaurioista tehtiin havaintoja.

Kuusen ja männyn sädekasvu

Rungon ympärysmittaan muutoksia seurattiin automaattisilla kasvupannoilla tunnin mittausvälein. Pannan mittaustarkkuus on 0,1 mm; puun läpimitan muutos voidaan siis teoriassa approksimoida 0,02 mm:n tarkkuudella. Pannat ovat ruostumatonta terästä ja kotelo alumiinia. Laite on lämpötilakalibroitu ja mittaustuloksissa on otettu huomioon laitteen

lämpötilakäyttäytyminen. Kaikkiaan tutkimuksessa asennettiin 9 kasvupantaa kuusivaltaisille koealoille ja 10 pantaa mäntykoealoille.

Tutkimuksen suunnitteluvaiheen viivästyksistä johtuen kasvupannat asennettiin paikalleen vasta kesäkuun lopulla, mikä esti havaintojen teon kasvukauden alkamisvaiheessa.

Koepuiden pituudet mitattiin keväällä ja syksyllä elektro-optisella menetelmällä sekä läpimitat rinnankorkeudelta keväällä ja syksyllä mittasaksilla. Jotta kasvupantatuloksia voitaisiin vertailla muiden tutkimusten kanssa, kaikkien koepuiden, laitteistojen ja koealojen paikat kartoitettiin. Lisäksi mitattiin kaikkien koealoilla ja välialueilla kasvavien kuusten, mäntyjen ja suurimpien lehtipuiden paikat.

Tutkimuksen päättyessä loppuvuonna 1998 otetaan lisäksi lustonäyte jokaisesta koepuusta. Sen avulla voidaan muodostaa aikasarja puiden sädekasvusta puiden koko elinajalta. Vuosien 1996-1998 tuloksia voidaan tällöin vertailla huomattavasti pidemmän jakson keskiarvoihin.

Kuusen ja männyn ravinnetila

Veden imeytyksen vaikutuksia kuusen ja männyn ravinnetalouteen tutkitaan neulasnäytteiden avulla. Vuonna 1996 neulastutkimuksessa toteutettiin tausta-analysointi, jonka avulla selvittiin havupuiden ravinnetila ennen imeytyskäsittelyjen aloittamista. Toistamalla näytteenotto vuonna 1998 voidaan arvioida ovatko imeytyskäsittelyt aiheuttaneet merkittäviä muutoksia kuusen ja männyn ravinteiden saannissa ja otossa.

Neulasnäytteet kerättiin koealoilta 1, 2, 4 ja 5 kesäkuun alussa vuonna 1996. Koealoilla, joissa puiden lukumäärä oli suurempi kuin 10, näyteoksat otettiin kymmenestä valtapuusta. Neulasnäytepuiksi valittiin yksilöt, joista mitataan myös puun kasvua kasvupantojen avulla. Koealoilla, joissa puita oli alle kymmenen/koeala näytteet otettiin koealan kaikista puista.

Näytteet otettiin leikkaamalla oksaleikkurilla kaksi oksaa/puu puiden elävän latvuksen alaosaan. Näytteet varastoitettiin pakastimessa (-18 °C) 1 kk ajan. Näytteiden esikäsittelyssä eri neulasvuosikerrat eroteltiin toisistaan ja neulasista määritettiin kuiva-ainepitoisuus. Ravinneanalyysiä varten näytteet kuivattiin (+50 °C, 48 h) ja jauhettiin. Näytteistä analysoitiin N, P, K, Ca, Mg, S, Mn, Zn, Fe, Cu ja Al Metsäntutkimuslaitoksen Vantaan keskuslaboratorion LECO CHN- ja ICP-laitteilla. ICP-analyysiä varten näytteet märkäpoltettiin typpihappo-perkloorihappoliuoksessa. Kukin näytepuu ja neulasvuosikerta/puu käsiteltiin erillisenä näytteenä. Lisäksi neulasnäytteistä määritettiin kokonaismassa, neulasten keskipituus ja tuhannen neulasen massa.

Kuusen ja männyn sekä aluskasvillisuuden hienojuuristo

Kasvukauden aikana jatkuvasti imeytettävällä alalla ja sen vertailualalla tutkittiin myös puiden hienojuuriston (alle 2 mm läpimittaiset juuret) elinvoimaisuutta, kasvua ja kuolleisuutta kesän 1996 aikana kolme kertaa kasvukaudessa suoritettavilla näytteenotoilla (6.-10.6., 30.8. ja 3.10.). Lisäksi talvikautiselta imeytysalalta ja sen vertailualalta otettiin hienojuurinäytteet 6.6.1996. Hienojuurinäytteitä otettiin 15 kappaletta kullakin alalla, näytteet otettiin systemaattisesti n. kaksi metriä kunkin imeytysputkirivin alapuolelta. Näytteet otettiin 5,8 mm läpimittaisella maakairalla orgaanisesta kerroksesta sekä kivennäismaan pintakerroksesta. Näytteet pakastettiin ja eroteltiin laboratoriossa. Ensin eroteltiin hienojuuret maasta vesipesun avulla, ja tämän jälkeen juuret eroteltiin eläviin ja kuolleisiin männyn, kuusen, varpujen ja heinien juuriin ja eri läpimittaluokkiin (< 1mm, 1-2 mm).

TULOKSET JA NIIDEN TARKASTELU

Happamuus ja ravinnetila

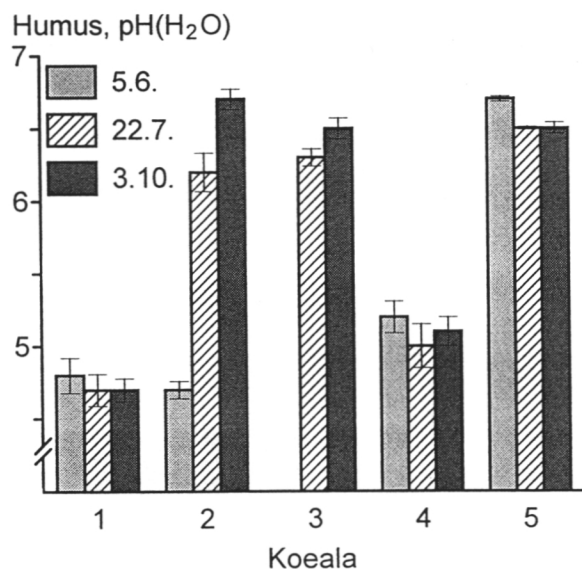
Maaperän happamuus

Maan pH on keskeinen tunnus metsän ekologisen tilan kannalta. Se kuvaa maaperän happamuustilaa ja puskurikykyä, millä puolestaan on tärkeä merkitys kasvillisuuden ravinteiden saatavuudelle. Humuskerroksen pH on myös yleisesti käytetty metsämaan viljavuuden indikaattori. Korkeimmat pH-arvot määritetään yleensä viljavilla alueilla (Starr & Tamminen 1992).

Maanäyteanalyysien perusteella tutkimusalueen humuskerros oli vähemmän hapanta kuin keskimäärin Suomen metsämailla. Kahdella imeytyksen vertailualalla humuskerroksen pH-arvo vaihteli näytteenottokerroittain 4,7-4,8 (koeala 1) ja 5,0-5,2 (koeala 4) (kuva 2). Humuskerroksen keskimääräinen pH on Suomessa 4,0 (Starr & Tamminen 1992).

Imeytyksen vaikutus tuli selvästi esille humuskerroksen happamuustilan muutoksena. Jatkuva kasvukautinen imeytys (koeala 2) alkoi 25.6., minkä jälkeen humuskerroksen pH kohosi voimakkaasti. Ennen imeytyksen alkua pH oli vertailukoealojen tasolla, mutta pH-arvo kohosi imeytyksen edetessä jopa korkeammaksi kuin 6,5 (kuva 2). Vaikka korkea pH on yleensä hyvän viljavuuden osoitin, näin korkeita pH-arvoja ei Suomen metsämailla luontaisesti esiinny.

Myös jaksotettu kasvukautinen (koeala 3) sekä talvikautinen imeytys (koeala 5) nostivat humuskerroksen pH:n poikkeuksellisen korkeaksi (n. 6,5). Talvikautisen imeytyksen päätyttyä humuskerroksen pH:ssa oli havaittavissa lievää laskua, mutta pH-taso jäi hyvin korkeaksi (kuva 2).



Kuva 2. Humuskerroksen pH eri näytteenottokerroilla.

Imeytysveden happamuuden muutokset maaperässä

METLAN männiköihin keskittyneissä tutkimuksissa vajoveden keskimääräinen pH on ollut humuskerroksen alla 4,7. Ahveniston harjulla alkuperäinen vajoveden pH vaihteli 4,5-4,8 (kivennäismaan syvyys 0 cm). Vajoveden alkuperäinen happamuustaso määritettiin vertailukohteilla sekä jatkuvan kasvukautisen imeytyksen koealalla ennen imeytyksen alkua (taulukko 4).

Imeytysveden pH (> 7) on korkea verrattuna metsämaahan tulevaan sadantaan, jonka pH on tavallisimmin 4,0-5,0. Imeytysveden korkea pH nosti myös vajoveden (0 cm) ja maaveden (40 ja 100 cm) pH-arvot poikkeuksellisen korkeiksi imeytyksen aikana. Imeytyksen taukoaminen kasvukauden aikana (koeala 3) tai päättyminen (koeala 5) ei muuttanut pH-arvoja oleellisesti (taulukko 4).

Pohjaveden pH oli 7,2 (pohjavesiputki 9601, taulukko 4), mikä on selvästi korkeampi kuin esimerkiksi Soverin ja Ahlbergin (1990) mitaamat keskimääräiset pH-arvot pohjavedessä. Mittauspisteen 9601 oletettiin edustavan kasvukautisessa imeytyksessä muodostuvaa pohjavettä. Vesi- ja ympäristöhallituksen pohjaveden mittausasemilta mitattu pH-keskiarvo oli 6,3 vuosina 1975-88.

Pohjavesiputkista 9406, 9407 ja 9502 otettiin näytteet vain neljä kertaa. Pohjaveden keskimääräinen pH oli keräyspisteittäin 6,5, 7,1 ja 6,9.

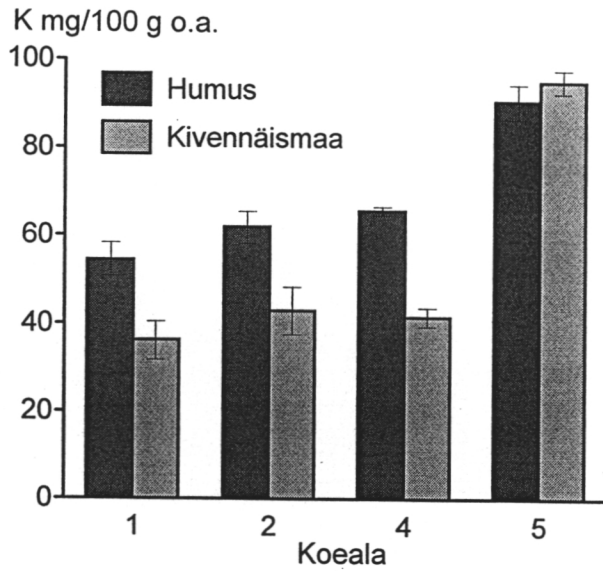
Maaperän ja maaveden ravinnetila

Emäskationit ovat tärkeitä maaperän happamuuden vastustuskyvyn ja kasvillisuuden kannalta. Kasveille käyttökelpoisten emäsravinteiden eli vaihtuvan kalsiumin (Ca), kaliumin (K) ja magnesiumin (Mg) määrät kohosivat humuskerroksessa ja kivennäismaassa imeytyksen vaikutuksesta. Tämä havaittiin vertaamalla talvikautisen imeytysalan (5) tuloksia muihin koealoihin, joilla ei imeytetty ollenkaan tai imeytystä ei vielä oltu aloitettu (kuvat 3, 4 ja 5).

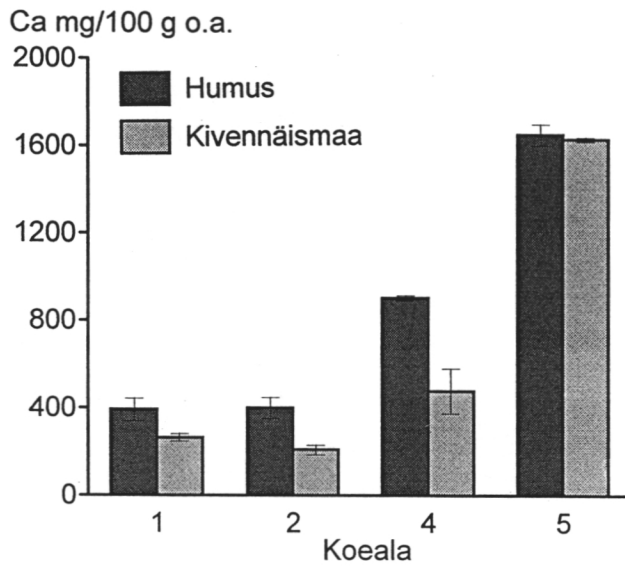
Taulukoissa 5, 6 ja 7 on esitetty vesinäytteiden kalsium-, magnesium- ja kaliumpitoisuudet. Kalsiumin ja magnesiumin pitoisuudet vajovedessä (0 cm) ja maavedessä (40 ja 100 cm) kohosivat imeytyksen aikana lähelle raakaveden tasoa, mikä oli luontaista tasoa korkeampi. Koska imeytyksen aikana vajo- ja maaveden pitoisuudet olivat kuitenkin hieman matalampia kuin imeytysvedessä ja maassa alaspäin valuva vesimäärä on haihdunnan ansiosta todennäköisesti hieman imeytysvesimäärää pienempi, maahan näyttäisi myös vesianalyysien perusteella sitoutuvan imeytyksessä kalsiumia ja magnesiumia. Maaperässä olevan veden kaliumpitoisuudet laskivat hieman imeytyksen takia luontaiseen tasoon nähden ja olivat lähellä raakaveden pitoisuuksia. Kuitenkin määrällisesti myös kaliumia pidättyy jonkin verran maahan imeytyksen aikana.

Emäskationien sitoutumista imeytyksen ansiosta pintamaahan tarkasteltiin karkeiden ainetaselaskelmien avulla. Imeytettävän vesimassan oletettiin näissä laskelmissa kulkevan kokonaisuudessaan maaperän läpi, minkä vuoksi huuhtouma-arvot ovat jonkin verran yliarvioita. Imeytys- ja vajoveden pitoisuutena käytettiin keskiarvopitoisuutta. Jatkuvan kasvukautisen imeytyksen aikana (koeala 2, 25.6. - 30.10.) maahan imeytettiin kalsiumia n. 10 kg/m². Pintamaasta puolestaan poistui 100 cm syvyydellä veden mukana n. 8 kg/m². Vastaavat arvot magnesiumille olivat 1,7 (imeytys) ja 1,5 (huuhtouma 100 cm syvyydellä), sekä kaliumille 1,6 (imeytys) ja 1,4 (huuhtouma 100 cm syvyydellä). Jaksotetun kasvukautisen imeytyksen koealalla (3) havaittiin samanlainen emäskationien nettositoutuminen pintamaahan imeytyksen aikana. Laskelmissa ei huomioitu emäskationilaskeumaa tai tavanomaista huuhtoumaa pintamaasta. Ainemäärät näissä prosesseissa ovat kuitenkin merkityksettömiä imeytyksen suuriin ainemääriin verrattuna.

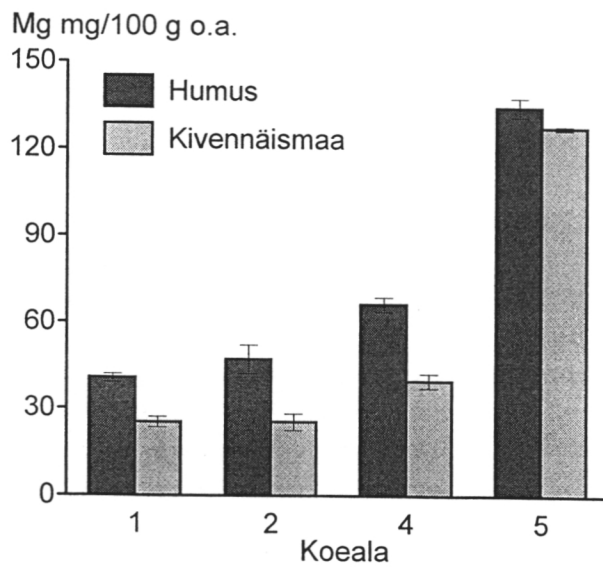
Emäskationien pidättyminen maaperään raakavedestä nostaa maan pH:ta, mikä havaittiin edellä esitetyissä maaperän ja maaveden tuloksissa. Tämä perustuu happamien vetyionien korvaantumiseen maahiukkasten pinnalla vaihtokykyisillä emäskationeilla. Imeytyksen päättymisen jälkeen tai imeytystauon aikana sadeveden sisältämät vetyionit vaihtavat imeytyksen aikana sitoutuneita emäskationeja maasta takaisin veteen, mistä saatiin



Kuva 3. Vaihtuvan kaliumin määrä humuskerroksessa ja kivennäismaassa.



Kuva 4. Vaihtuvan kalsiumin määrä humuskerroksessa ja kivennäismaassa.



Kuva 5. Vaihtuvan magnesiumin määrä humuskerroksessa ja kivennäismaassa.

viitteitä talvikautisen imeytyksen päättymisen jälkeen. Koealalla 5 emäskationien pitoisuudet maaperän vedessä olivat kohonneet vertailukoealojen tasoon nähden (taulukot 5, 6 ja 7). Jos maassa alaspäin liikkuvat vesimäärät ovat vertailukoealoilla ja lopetetun talvikautisen imeytyksen koealalla yhtäsuuria, humuskerroksesta huuhtoutuu ravinteita imeytyksen päättymisen jälkeen luontaista tasoa enemmän.

Pohjaveden laadun kannalta tärkeiden aineiden pitoisuudet

Pohjaveden rautapitoisuus oli imeytysalueen läheisyydessä (9601) keskimäärin 0,9 mg/l kesäkuussa, mikä ylittää selvästi talousveden laatuvaatimusten enimmäispitoisuuden 0,2 mg/l (Sosiaali- ja terveysministeriö 1994). Rautapitoisuus laski kuitenkin merkittävästi heinäkuun alusta lähtien; keskiarvo oli heinäkuusta lokakuun loppuun 0,1 mg/l. Kasvukautinen imeytys voi siten vaikuttaa alentavasti pitoisuuksiin. Muiden mittauspisteiden rautapitoisuudet olivat: 0,4 mg/l (9406), 0,2 mg/l (9407) ja 0,1 mg/l (9502).

Myös pohjaveden alumiinipitoisuus laski imeytysalueen lähellä kesän edetessä. Keskiarvopitoisuus oli 0,5 mg/l (9601) kesäkuussa ja heinäkuusta eteenpäin alle 0,1 mg/l. Talousveden raja-arvona pidetään 0,2 mg/l (Sosiaali- ja terveysministeriö 1994). Muiden mittauspisteiden alumiinipitoisuudet olivat: 0,2 mg/l (9406), 0,1 mg/l (9407) ja < 0,1 mg/l (9502).

Kaikkien pohjaveden mittauspisteiden kalsium-, magnesium- ja mangaanipitoisuudet olivat raja-arvoja matalampia (Sosiaali- ja terveysministeriö 1994).

Raaka-, vajo- ja maaveden alumiinipitoisuudet olivat myös suhteellisen matalia imeytysaloilla. Korkeimmat vajoveden (syvyys 0 cm) alumiinipitoisuudet määritettiin vertailukoealoilta (taulukko 8).

Raakaveden orgaanisen hiilen (TOC) pitoisuus oli 8,3 mg/l. Raakaveden pitoisuutta luontaisesti korkeampi vajoveden TOC-pitoisuus laski lähelle sadetusveden pitoisuutta imeytyksen aikana. Pohjaveden TOC-pitoisuus oli matalampi kuin raakavedessä eli 5,5 mg/l (9601, taulukko 9). Muiden pohjaveden mittauspisteiden TOC-pitoisuudet (mg/l) olivat 3,4 (9406), 2,5 (9407) ja 5,8 (9502).

Päätelmät

Imeytyksen aiheuttama emäsravinteiden sitoutuminen maahan ja happamuuden väheneminen ovat periaatteessa positiivisia muutoksia kasvillisuuden emäsravinteiden saatavuuden kannalta. Myös maaperän puskurikyky laskeuman happamoittavia komponentteja vastaan lisääntyy emäskationien sitoutumisen ja maan pH:n kohoamisen myötä. Imeytyksen päättymisen jälkeen ylimääräiset emäskationit todennäköisesti huuhtoutuvat pintamaasta, mikä johtuu happaman sadeveden ja maaperän pyrkimyksestä tasapainotilaan. Ravinteiden huuhtoutuminen pintamaasta imeytyksen päätyttyä ei kuitenkaan ole kovin suuri ongelma, koska maaperän varastot ovat kasvaneet normaalia suuremmiksi imeytyksen aikana. Tärkein tekijä, mikä aiheutuu metsämaan happamuustason muutoksesta, on typen kierron muuttuminen.

Happamuustason ja ravinnetilan muutosten lisäksi kasvillisuuden kannalta tärkeä muutos voi olla maan kyllästymisen vedellä imeytyksen aikana. Maan kyllästymistä imeytyksen aikana heijastaa pH:n ja emäskationien pitoisuuksien samankaltaisuus raakavedessä ja maaperän vedessä. Maan kyllästyttyä vedellä kontakti maan ja imeytysveden välillä epäilemättä heikkenee.

Taulukko 4. Raaka-, vajo-, maa- ja pohjaveden pH. Keskiarvot (x), keskiarvon keskivirheet (SE), keskihajonnat (SD) ja näytteiden lukumäärä (n) on ilmoitettu. Pohjavesitulokset ovat pohjavesiputkesta 9601. Imeytykseen liittyvät päivämäärät on myös esitetty.

	Koeala									
	1	2		3		4	5			
	ei imeytystä	ei imeytystä	imeytys	ei imeytystä	imeytys	ei imeytystä	imeytys	ei imeytystä	imeytys	ei imeytystä
		-25.6.	-30.10.	12.6.-12.7.	13.7.-11.8.	12.8.-12.9.	4	-3.6.	-25.10.	
Raakavesi	x	7,68								
	SE	0,09								
	SD	0,42								
	n	21								
Vajovesi	x	4,50	7,05	6,73	-	7,12	4,82	7,22	6,67	
	SE	0,04	0,03	0,08	-	0,04	0,04	0,03	0,10	
	SD	0,06	0,24	0,35	-	0,14	0,09	0,07	0,19	
	n	2	57	21	-	14	4	8	4	
Maavesi	x	-	7,05	-	6,69	7,05	-	-	6,46	
	SE	-	0,06	-	0,01	0,14	-	-	0,31	
	SD	-	0,25	-	0,02	0,27	-	-	0,44	
	n	-	16	-	2	4	-	-	2	
Maavesi	x	-	7,07	-	6,20	6,75	-	-	-	
	SE	-	0,11	-	0,30	0,05	-	-	-	
	SD	-	0,44	-	0,42	0,10	-	-	-	
	n	-	16	-	2	3	-	-	-	
Pohjavesi	x	7,15								
	SE	0,04								
	SD	0,34								
	n	65								

Koeala 1: Vertailu

Koeala 2: Kasvukautinen jatkuva imeytys

Koeala 3: Kasvukautinen jaksotettu imeytys

Koeala 4: Vertailu

Koeala 5: Talvikautinen imeytys

*) 0 cm = humuskerroksen alla

Taulukko 5. Raaka-, vajo-, maa- ja pohjaveden Ca-pitoisuus (mg/l). Keskiarvot (x), keskiarvon keskivirheet (SE), keskihajonnat (SD) ja lukumäärä (n) on ilmoitettu. Pohjavesitulokset ovat pohjavesiputkesta 9601. Imeytykseen liittyvät päivämäärät on myös esitetty.

	Koeala				
	1 ei imeytystä	2 ei imeytystä -25.6. -30.10.	3 imeytys 12.6.-12.7. 13.7.-11.8. 12.8.-12.9.	4 ei imeytystä	5 imeytys -3.6. ei imeytystä -25.10.
Raakavesi	x 9,17				
SE	0,08				
SD	0,39				
n	22				
Vajovesi	x 3,81	8,17	7,75	5,00	34,10
SE	0,21	0,17	0,14	0,61	6,59
SD	0,30	1,14	0,54	1,06	11,42
n	2	54	14	3	3
Maavesi	x -	7,61	-	-	12,45
SE	-	0,31	-	-	3,80
SD	-	1,15	-	-	6,58
n	-	14	-	-	3
Maavesi	x -	7,51	-	-	-
SE	-	0,42	-	-	-
SD	-	1,64	-	-	-
n	-	15	-	-	-
Pohjavesi	x 9,05				
SE	0,07				
SD	0,55				
n	64				

Koeala 1: Vertailu

Koeala 2: Kasvukautinen jatkuva imeytys

Koeala 3: Kasvukautinen jaksoitettu imeytys

Koeala 4: Vertailu

Koeala 5: Talvikautinen imeytys

*) 0 cm = humuskerroksen alla

Taulukko 6. Raaka-, vajo-, maa- ja pohjaveden Mg-pitoisuus (mg/l). Keskiarvot (x), keskiarvon keskivirheet (SE), keskihajonnat (SD) ja näytteiden lukumäärä (n) on ilmoitettu. Pohjavesitulokset ovat pohjavesituloksesta 9601. Imeytykseen liittyvät päivämäärät on myös esitetty.

		Koeala									
		1		2		3		4		5	
		ei imeytystä		ei imeytystä		imeytys		imeytystä		imeytystä	
		-25.6.		-30.10.		12.6.-12.7.		13.7.-11.8.		12.8.-12.9.	
		imeytystä		imeytystä		imeytystä		imeytystä		imeytystä	
		-3.6.		-25.10.		-3.6.		-25.10.		-25.10.	
Raakavesi	x	1,48									
	SE	0,01									
	SD	0,06									
	n	22									
Vajovesi	x	0,90	1,20	1,38		1,35	-	1,50	0,89	5,56	
	SE	0,05	0,24	0,01		0,02	-	0,02	0,09	1,12	
	SD	0,07	0,41	0,10		0,07	-	0,06	0,16	1,94	
	n	2	3	54		14	-	12	3	3	
Maavesi	x			1,34			1,55	1,36		2,52	
	SE			0,03			0,23	0,01		0,66	
	SD			0,09			0,46	0,02		1,15	
	n			14			4	4		3	
Maavesi	x			1,34			0,92	1,09			
	SE			0,04			0,07	0,05			
	SD			0,15			0,15	0,09			
	n			15			4	4			
Pohjavesi	x	1,54									
	SE	0,02									
	SD	0,18									
	n	64									
Koeala 1:	Vertailu										
Koeala 2:	Kasvukautinen jatkuva imeytys										
Koeala 3:	Kasvukautinen jaksotettu imeytys										
Koeala 4:	Vertailu										
Koeala 5:	Talvikautinen imeytys										

*) 0 cm = humuskerroksen alla

Taulukko 7. Raaka-, vajo-, maa- ja pohjaveden K-pitoisuus (mg/l). Keskiarvot (x), keskiarvon keskiarvot (SE), keskihajonnat (SD) ja näytteiden lukumäärä (n) on ilmoitettu. Pohjavesitulokset ovat pohjavesiputkesta 9601. Imeytykseen liittyvät päivämäärät on myös esitetty.

	Koeala									
	1 ei imeytystä	2 ei imeytystä -25.6. -30.10.	imeytys 12.6.-12.7.	3 ei imeytystä 13.7.-11.8.	imeytys 12.8.-12.9.	4 ei imeytystä	5 imeytys -3.6.	ei imeytystä -25.10.		
Raakavesi	x 1,43									
SE	0,02									
SD	0,08									
n	22									
Vajovesi	x 3,13	1,65	1,50	-	1,40	3,33	-	4,62		
SE	0,31	0,23	0,03	-	0,02	0,65	-	0,56		
SD	0,44	0,41	0,25	-	0,08	1,12	-	0,97		
n	2	3	54	-	14	3	-	3		
Maavesi	x -	-	1,27	1,54	1,32	-	-	2,72		
SE	-	-	0,03	0,14	0,04	-	-	0,41		
SD	-	-	0,12	0,28	0,09	-	-	0,70		
n	-	-	14	4	4	-	-	3		
Maavesi	x -	-	1,28	1,21	1,06	-	-	-		
SE	-	-	0,04	0,15	0,04	-	-	-		
SD	-	-	0,17	0,30	0,07	-	-	-		
n	-	-	15	4	4	-	-	-		
Pohjavesi	x 1,65									
SE	0,04									
SD	0,32									
n	64									
Koeala 1:	Vertailu									
Koeala 2:	Kasvukautinen jatkuva imeytys									
Koeala 3:	Kasvukautinen jaksotettu imeytys									
Koeala 4:	Vertailu									
Koeala 5:	Talvikautinen imeytys									

*) 0 cm = humuskerroksen alla

Taulukko 8. Raaka-, vajo-, maa- ja pohjaveden Al-pitoisuus (mg/l). Keskiarvot (x), keskiarvon keskivirheet (SE), keskihajonnat (SD) ja näytteiden lukumäärä (n) on ilmoitettu. Pohjavesitulokset ovat pohjavesituloksesta 9601. Imeytykseen liittyvät päivämäärät on myös esitetty.

	Koeala				
	1 ei imeytystä	2 ei imeytystä -25.6. -30.10.	3 imeytys 12.6.-12.7. 13.7.-11.8. 12.8.-12.9.	4 ei imeytystä	5 imeytys -3.6. ei imeytystä -25.10.
Raakavesi	x 0,03				
SE	0,01				
SD	0,05				
n	22				
Vajovesi	x 2,10	0,55	0,06	2,00	0,10
SE	0,09	0,55	0,02	0,09	0,05
SD	0,13	0,94	0,07	0,15	0,09
n	2	3	14	3	3
Maavesi	x -	-	-	-	0,37
SE	-	-	-	-	0,08
SD	-	-	-	-	0,14
n	-	-	-	-	3
Maavesi	x -	0,07	0,34	0,10	-
SE	-	0,01	0,07	0,01	-
SD	-	0,03	0,34	0,02	-
n	-	14	4	4	-
Maavesi	x -	0,08	0,24	0,23	-
SE	-	0,02	0,02	0,04	-
SD	-	0,07	0,04	0,09	-
n	-	15	4	4	-
Pohjavesi	x 0,18				
SE	0,04				
SD	0,31				
n	64				

Koeala 1: Vertailu

Koeala 2: Kasvukautinen jatkuva imeytys

Koeala 3: Kasvukautinen jaksoitettu imeytys

Koeala 4: Vertailu

Koeala 5: Talvikautinen imeytys

*) 0 cm = humuskerroksen alla

Taulukko 9. Raaka-, vajo-, maa- ja pohjaveden TOC-pitoisuus (mg/l). Keskiarvot (x), keskiarvon keskivirheet (SE), keskihajonnat (SD) ja näytteiden lukumäärä (n) on ilmoitettu. Pohjavesitulokset ovat pohjavesituloksesta 9601. Imeytykseen liittyvät päivämäärät on myös esitetty.

		Koeala				
		1	2	3	4	5
		ei imeytystä	ei imeytystä	imeytys	ei imeytystä	imeytys
			imeytystä	12.6.-12.7.	13.7.-11.8.	12.8.-12.9.
			-30.10.			
Raakavesi	x	8,34				
	SE	0,41				
	SD	1,86				
	n	21				
Vajovesi	x	70,89	52,65	11,21	-	13,48
	SE	4,27	2,15	0,43	-	0,63
	SD	7,39	3,04	1,97	-	2,37
	n	3	2	21	-	14
Pohjavesi	x	5,48			62,49	9,68
	SE	0,13			2,53	0,61
	SD	1,08			5,66	1,71
	n	65			5	8

Koeala 1: Vertailu
 Koeala 2: Kasvukautinen jatkuva imeytys
 Koeala 3: Kasvukautinen jaksotettu imeytys
 Koeala 4: Vertailu
 Koeala 5: Talvikautinen imeytys

*) 0 cm = humuskerroksen alla

Maaperän happamuus- ja ravinnetilan kannalta eri sadetusmuodot näyttäisivät aiheuttavan samansuuntaisen muutoksen, ja palautuminen alkuperäiseen kemialliseen tilaan sadeveden ansiosta on todennäköisesti hidasta.

Koska vajo- ja maavesihavaintoja saatiin hyvin niukasti niiltä ajoilta, jolloin maaperän vesi muodostui sadevedestä, imeytykselle ei vielä tässä vaiheessa ole kunnollisia vertailuaineistoja. Sen vuoksi tässä esitetyt tulokset ovat vasta alustavia eikä niiden perusteella voida sanoa, mihin suuntaan sadetuksessa olisi edettävä. Talvikautinen sadetus on joka tapauksessa poikkeavampi tilanne metsämaan kannalta kuin kasvukautinen sadetus, koska siinä yhdistyy suuren vesimäärän lisäksi voimakas muutos maan lämpöoloissa.

Tulosten tulkintaa vaikeuttaa lisäksi se, että lysimetrit asennettiin vasta kesällä. Aikaisemmissa tutkimuksissa on havaittu asennuksen aiheuttavan normaalista poikkeavia pitoisuuksia lysimetrinäytteisiin asennusta seuraavina viikkoina. Tilanne yleensä korjaantuu viimeistään tutkimusten aloittamista seuraavana kesänä. Tämänkään vuoksi pitkälle menevien päätelmien tekeminen ei ole vielä perusteltua.

Kasvukautisessa imeytyksessä muodostunut pohjavesi oli vähemmän hapanta kuin vertailututkimuksessa. Pohjaveden orgaanisen hiilen pitoisuus oli myös selvästi raakaveden pitoisuutta pienempi. Imeytyksen edetessä pohjaveden rauta- ja alumiinipitoisuudet laskivat alle talousveden laatuvaatimusten enimmäispitoisuuksien.

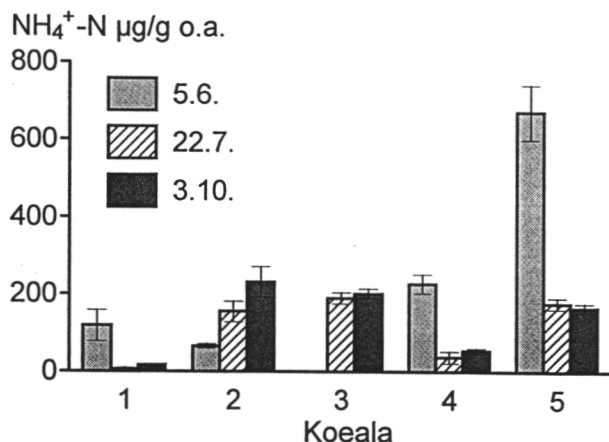
Typen mineralisaatio, nitrifikaatio ja typen häviöt

Maanäytteiden tulokset on ilmoitettu kolmen kokoomanäytteen keskiarvona, sillä näin voi parhaiten verrata koealojen välisiä eroja.

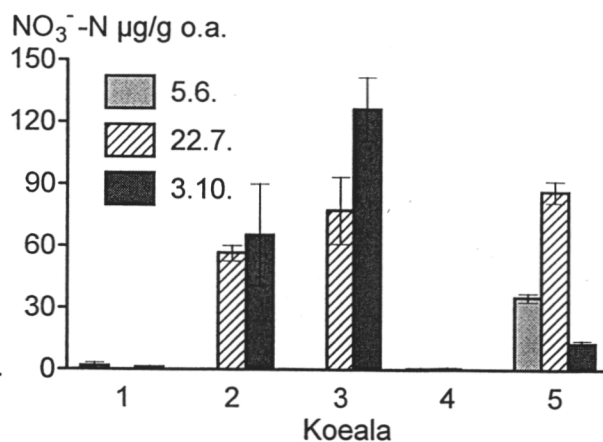
Ammoniumia oli enemmän imeytettyjen koealojen (5.6. koeala 1, 22.7. ja 3.10. koealat 2,3 ja 5) humuskerroksessa kuin vertailualoilla (kuva 6). Nitraattia oli maassa ainoastaan imeytysaloilla (kuva 7). Lokakuussa talvikautisella imeytyskoealalla oli nitraattia maassa huomattavasti vähemmän kuin kasvukautisilla imeytysaloilla. Tämä selittyy luultavasti loppukesän vähäsateisuudella, sillä kuivuuden on todettu hidastavan nitrifikaatiota. Kesäkuun näytteenotossa ammonium- ja nitraattipitoisuudet maassa oli määritetty myös kivennäismaalle ja siellä tulokset olivat samankaltaisia kuin humuskerroksessa (kuva 8). Inkubaatiokokeessa ammoniumia kulutettiin ainoastaan koealoilla, missä muodostettiin nitraattia (kuva 9). Nitraattia tuotettiin laboratorioissa ainoastaan imeytysaloilla (kuva 10). Nitrifikaatio oli siis selvästi alkanut imeytyksen vaikutuksesta. Maahan kertynyt nitraatti (kuva 7) ei voi olla vain imeytysvedestä peräisin, sillä kyseiset maanäytteet tuottivat nitraattia myös laboratorioinkubaation aikana (kuva 10). Luultavasti syynä on maan pH:n kohoaminen (kuva 2). Tämä on voinut kiihdyttää myös ammonifikaatiota, minkä lisäksi suurempi NH_4^+ -N pitoisuus imeytysaloilla selittyy luultavasti myös imeytysveden ammoniumilla (ammonium pidättyy paremmin maahiukkasten pinnalle kuin nitraatti).

N_2O -kenttämittauksissa vaihtelu koealojen sisällä oli hyvin suurta (kuva 11). Koealalla 5 N_2O :n tuotto oli suurinta heti talvikautisen kastelun päätyttyä (6.6), kun maassa oli nitraattia ja maa oli vielä märkää. Koealoilla 2 ja 3 N_2O :ia tuotettiin vasta kun imeytys oli alkanut. Dityppioksidia tuotettiin siis eniten silloin kun maassa oli nitraattia ja maa oli märkää.

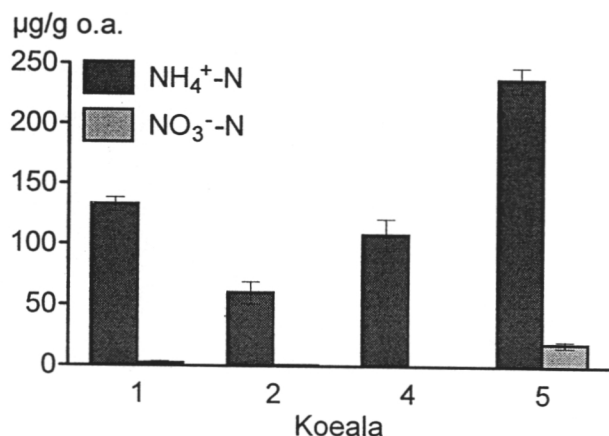
Imeytyksen aikana ammonium-, nitraatti- ja kokonaistyyppipitoisuudet olivat keskihajonnat huomioituina samaa suuruusluokkaa vajo- ja maavedessä kuin raakavedessä (taulukot 10, 11 ja 12). Imeytystauon aikana puolestaan vajo- ja maaveden tyyppipitoisuudet (etenkin nitraatti) olivat selvästi kohonneet. Koealalla 5 nitraatti-typen määrät vajovedessä olivat jopa 35 mg/l imeytyksen loputtua (vrt. raja-arvo (NO_3^-)-N 6 mg/l kts. johdanto).



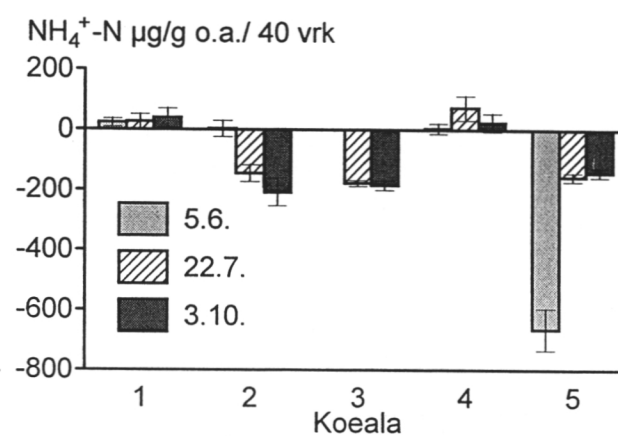
Kuva 6. Ammonium-N:n pitoisuudet humuskerroksessa. Koealan (3 kokoomänäytettä/koeala, joista määrittäminen 2:lla rinnakkaisella) keskiarvo ja keskiarvon keskivirhe.



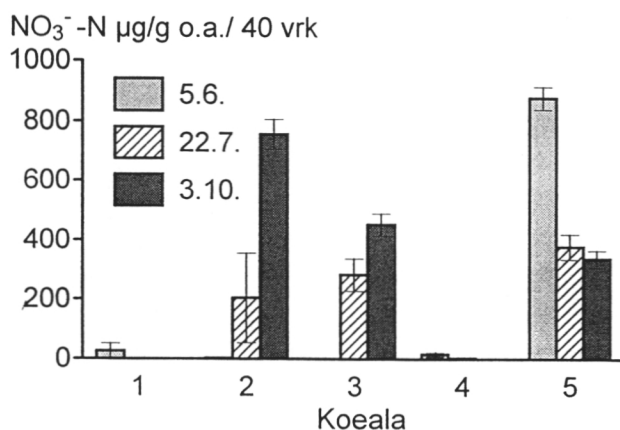
Kuva 7. Nitraatti-N:n pitoisuudet humuskerroksessa. Kuuden rinnakkaisen (kts. selitys kuva 6) maanäytteen keskiarvo ja keskiarvon keskivirhe.



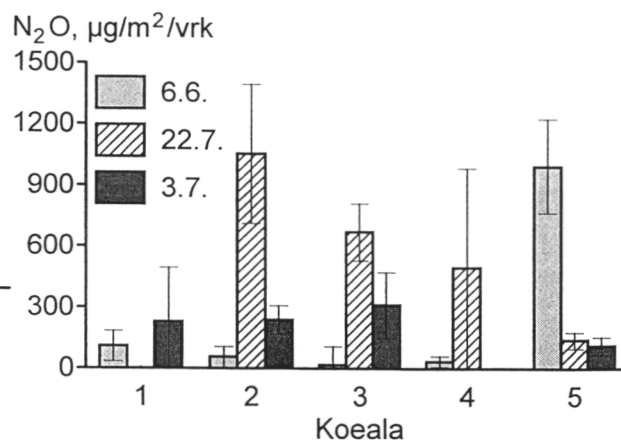
Kuva 8. Ammonium- ja nitraatti-N:n pitoisuudet kivennäismaakerroksessa. Kuuden rinnakkaisen (kts. selitys kuva 6) maanäytteen keskiarvo ja keskiarvon keskivirhe.



Kuva 9. Nettoammonifikaatio humuskerroksessa laboratorioinkubaatiossa (6 vko) vakiokosteudessa (60 % vedenpidätyskyvystä) ja lämpötilassa (14 °C). Kuuden rinnakkaisen (kts. selitys kuva 6) maanäytteen keskiarvo ja keskiarvon keskivirhe.



Kuva 10. Nettonitrifikaatio humuskerroksessa laboratorioinkubaatiossa (6 vko) vakiokosteudessa (60 % vedenpidätyskyvystä) ja lämpötilassa (14 °C). Kuuden rinnakkaisen (kts. selitys kuva 6) maanäytteen keskiarvo ja keskiarvon keskivirhe.



Kuva 11. N₂O:n tuotto koealoilla maastomittauksissa. Kolmen rinnakkaisen mittauskammion keskiarvo ja keskiarvon keskivirhe.

Taulukko 10. Raaka-, vajo-, maa- ja pohjaveden N-tot-pitoisuus ($\mu\text{g/l}$). Keskiarvot (x), keskiarvon keskiarvot (SE), keskihajonnat (SD) ja näytteiden lukumäärä (n) on ilmoitettu. Pohjavesitulokset ovat pohjavesituloksesta 9601. Imeytykseen liittyvät päivämäärät on myös esitetty.

	Koeala									
	1	2		3		4	5			
	ei imeytystä	ei imeytystä	imeytys	imeytystä	ei imeytystä	imeytys	imeytystä	ei imeytystä	imeytys	ei imeytystä
		-25.6.	-30.10.	12.6.-12.7.	13.7.-11.8.	12.8.-12.9.			-3.6.	-25.10.
Raakavesi										
x	602									
SE	79									
SD	326									
n	17									
Vajovesi										
x	2250	1300	575	581	-	606	2233	550	38250	
SE	350	100	38	33	-	20	186	36	7330	
SD	495	141	245	151	-	69	321	81	14660	
n	2	2	42	21	-	12	3	5	4	
Maavesi										
x	-	-	2115	-	18075	2865	-	-	24333	
SE	-	-	269	-	8060	1301	-	-	7535	
SD	-	-	893	-	16119	2602	-	-	13051	
n	-	-	11	-	4	4	-	-	3	
Maavesi										
x	-	-	1948	-	9500	2200	-	-	-	
SE	-	-	417	-	2608	570	-	-	-	
SD	-	-	1444	-	5216	1140	-	-	-	
n	-	-	12	-	4	4	-	-	-	
Pohjavesi										
x	440									
SE	15									
SD	105									
n	49									
Koeala 1:	Vertailu									
Koeala 2:	Kasvukautinen jatkuva imeytys									
Koeala 3:	Kasvukautinen jaksotettu imeytys									
Koeala 4:	Vertailu									
Koeala 5:	Talvikautinen imeytys									

*) 0 cm = humuskerroksen alla

Taulukko 11. Raaka-, vajo-, maa- ja pohjaveden NH₄-N-pitoisuus (µg/l). Keskiarvot (x), keskiarvon keskihierheet (SE), keskihajonnat (SD) ja näytteiden lukumäärä (n) on ilmoitettu. Pohjavesitulokset ovat pohjavesiputkesta 9601. Imeytykseen liittyvät päivämäärät on myös esitetty.

	Koeala									
	1		2		3		4		5	
	ei imeytystä	imeytystä	ei imeytystä	imeytystä	ei imeytystä	imeytystä	ei imeytystä	imeytystä	ei imeytystä	
	-25.6.	-30.10.	12.6.-12.7.	13.7.-11.8.	12.8.-12.9.	170	-3.6.	-25.10.		
Raakavesi	x	25								
	SE	7								
	SD	28								
	n	17								
Vajovesi	x	201	8	18	5	170	15	544		
	SE	120	2	5	3	49	5	193		
	SD	169	13	11	9	85	12	385		
	n	2	2	42	21	3	5	4		
Maavesi	x	-	6	-	-	33	-	83		
	SE	-	2	-	-	19	-	43		
	SD	-	5	-	-	39	-	74		
	n	-	11	-	-	4	-	3		
Maavesi	x	-	4	-	-	6	-	-		
	SE	-	1	-	-	2	-	-		
	SD	-	3	-	-	5	-	-		
	n	-	12	-	-	4	-	-		
Pohjavesi	x	1								
	SE	0								
	SD	3								
	n	49								

Koeala 1: Vertailu

Koeala 2: Kasvukautinen jatkuva imeytys

Koeala 3: Kasvukautinen jaksoitettu imeytys

Koeala 4: Vertailu

Koeala 5: Talvikautinen imeytys

*) 0 cm = humuskerroksen alla

Taulukko 12. Raaka-, vajo-, maa- ja pohjaveden NO₃-N-pitoisuus (µg/l). Keskiarvot (x), keskiarvon keskivirheet (SE), keskihajonnat (SD) ja näytteiden lukumäärä (n) on ilmoitettu. Pohjavesitulokset ovat pohjavesiputkesta 9601. Imeytykseen liittyvät päivämäärät on myös esitetty.

	Koeala				
	1 ei imeytystä -25.6.	2 ei imeytystä -30.10.	3 imeytys 12.6.-12.7. ei imeytystä 13.7.-11.8. imeytys 12.8.-12.9.	4 ei imeytystä	5 imeytys -3.6. ei imeytystä -25.10.
Raakavesi					
x	133				
SE	43				
SD	175				
n	17				
Vajovesi					
x	19	9	54	17	151
SE	8	3	5	3	5
SD	11	4	30	4	12
n	2	2	42	3	5
Maavesi					
x	-	-	112	-	-
SE	-	-	9	-	-
SD	-	-	30	-	-
n	-	-	11	-	-
Maavesi					
x	-	-	79	-	-
SE	-	-	11	-	-
SD	-	-	39	-	-
n	-	-	12	-	-
Pohjavesi					
x	240				
SE	14				
SD	98				
n	49				
Koeala 1:	Vertailu				
Koeala 2:	Kasvukautinen jatkuva imeytys				
Koeala 3:	Kasvukautinen jaksotettu imeytys				
Koeala 4:	Vertailu				
Koeala 5:	Talvikautinen imeytys				

*) 0 cm = humuskerroksen alla

Syynä tähän on ilmeisesti imeytysveden laimentavan vaikutuksen poistuminen ja denitrifikaation hidastuminen (maa ei enää yhtä märkää). Sama ilmiö oli nähtävissä maavedessä imeytysalalla 3: imeytystauon aikana sadevesi oli huuhdellut mukanaan runsaasti nitraattia. Ainoastaan nitraatin kohdalla pohjaveden typpipitoisuudet olivat suurempia kuin raakaveden. Pohjaveden nitraattipitoisuudet ovat kuitenkin hyvin lähellä pohjavesien keskimääräistä pitoisuutta (0,21 µg/l, Soveri ja Ahlberg 1990). Vajo- ja maavesinäytteiden perusteella siis nitraattityppeä näyttäisi huuhtoutuvan ainoastaan imeytystaukojen aikana.

Paras imeytysmenetelmä typen häviöiden estämiseksi?

Talvikautinen imeytys lisäsi nitraatin huuhtoutumista metsämaasta. Koealalla 5 maan pH nousi imeytyksen vaikutuksesta (kuva 2) ja ilmeisesti tämän seurauksena nitraattia tuotettiin runsaasti (kuvat 7 ja 10). Imeytyksen aikana alkukesällä nitraattia ei havaittu runsaasti lysimetreissä, sillä imeytysvesi laimensi huuhtoutuvat nitraatin määrät. Tämän lisäksi imeytyksen aikana maan ollessa kylästynyt vedellä, nitraattia denitrifioitiin N₂O:ksi (kuva 11). Kastelun loputtua nitraattia kuitenkin huuhtoutui sadeveden mukana runsaita määriä (taulukko 12). Tämä sama ilmiö oli nähtävissä myös jaksotetulla kasvukautisella koealalla. Syksyllä jatkuvan kasvukautisen imeytyksen loputtua on myös riski nitraatin huuhtoutumisesta, sillä runsaat sateet saattavat kuljettaa nitraattia alaspäin. Syksyllä lämpötilan laskiessa nitrifikaatio on hitaampaa, mutta toisaalta kasvillisuus ei ota nitraattia. Ensi kesänä olisikin tarpeellista tutkia nitraatin tuottoa vähintään kolme kertaa, jotta päästäisiin perille toisaalta talviimeytyksen kun myös jaksotetun imeytyksen vaikutuksesta nitraatin tuottoon maassa.

Jos nitrifikaation alkaminen imeytetyillä koealoilla johtui maan pH:n noususta, olisi sama ilmiö luultavasti nähtävissä myös karummalla harjulla. Nitraatin tuotto maassa siis luultavasti kiihtyy, jos imeytysveden pH on monta pH-yksikköä korkeampi kun maan oma pH, ja imeytyksen seurauksena maan pH nousee samalle tasolle kun raakaveden pH.

Orgaanisen aineen fraktiointi

Orgaanisen aineen fraktiointia varten otetut näytteet olivat kokoomanäytteitä. Näytteet oli kerätty kevään, kesän ja syksyn -96 aikana levylysimitreistä, raakavedestä sekä eräistä pohjavesiputkista. Imulysimetrien vesiä ei tässä yhteydessä tutkittu.

Orgaanisen aineksen molekyylikokoon perustuvassa fraktioinnissa levylysimetrin 5 keräämä vesi (talvikautinen imeytys) noudatti raakaveden "profiilia". Koealoilla 2 ja 3 orgaanisen aineen määrät olivat hieman korkeampia painottuen raskaampiin jakeisiin (1-10 kD humuksesta 10-100 kD), mikä kertoo osaltaan vähäisestä orgaanisen aineen huuhtoutumisesta. Koealalla 5 ei tätä ilmiötä esiintynyt. Vertailualoilla 1 ja 4 liukoisien orgaanisen aineen osuus oli selvästi korkeampi, mutta ultrasuodatukseen perustuva molekyylipainojakautuma oli samanlainen kuin raakavedessä. Ainoastaan pohjavesiputkesta 9601 saatiin riittävästi näytettä kromatografisiin karakterisointeihin eikä etäämmällä olevista putkista ole voitu tehdä vastaavia mittauksia. Putken 9601 (lähin putki) veden liukoinen orgaaninen aines oli alhaisemmalla tasolla ja painottunut fraktioihin 0-1 kD ja 1-10 kD, joka osoittaa harjun (sekä viereisen altaan) toimivan tehokkaasti näinkin poikkeuksellisissa oloissa. Kaikilla imeytysaloilla, raakavedessä ja pohjavedessä liukoinen tyyppi oli molekyylipainojakautumaltaan samanlaista ja samalla pitoisuustasolla. Vertailualoilla pitoisuudet olivat hieman korkeampia johtuen epäorgaanisen typen määrästä.

Kemiallisiin ominaisuuksiin perustuva karakterisointi osoitti, että pohjaveteen (putki 9601) kulkeutuva orgaaninen aines on pääosin liukoisinta ainesosaa (hydrofiiliset yhdisteet).

Hydrofiilisen ainesosan pitoisuus pohjavedessä on karkeasti ottaen sama kuin raakavedessäkin. Se ei siis juurikaan vähene humus- ja suotautumiskerroksissa. Hydrofiilinen aine on luonteeltaan orgaanisia happoja tai sen luonteisia aineita sekä neutraaliaineita. Koealoilla 2, 3 ja 5 levylysietrien vesi noudattelee raakaveden profiilia. Kemiallinen koostumus painottuu enemmän heikommin vesiliukoisiin yhdisteisiin (hydrofobiset yhdisteet). Pääkomponentteja ovat orgaaniset hapot ja neutraaliaineet (hydrofobiset sekä hydrofiiliset).

IR-spektrokopinen analyysi osoitti, että vertailualojen levylysietrien vesi oli selvästi erilaista kuin raakavesi, pohjavedet tai imeytysalojen vedet. Koealojen 2, 3 ja 5 spektrit olivat samantyyppisiä kuin raakavedellä, ja talvikautisen imeytysalan 5 lysietrivesi muistutti eniten raakavettä. IR-spektroskooppisesta analyysistä käy selville se, että C-H ryhmien osuus vähenee, joka merkitsee myös sitä, että hiilivety-yhdisteiden osuus vähenee selkeästi. Siten myös IR-analyysi vahvistaa käsitystä, että harju toimii raskaasti kuormitettunakin suotimena suhteellisen normaalisti. Pohjavesiputkista 9407, 9406 ja 9502 voitiin tehdä vain TOC- ja IR-analyysi veden vähyden takia. IR-analyysit kuitenkin osoittavat, että pohjavesiputkien etäisyyden kasvaessa imeytysalueesta hiilivetyjen osuus pohjavedessä vähenee ja siten IR-analyysit ovat TOC-mittauksissa saatujen tulosten kanssa yhdensuuntaisia.

Aluskasvillisuus

Keinotekoisien sadetuksen ja veden imeytyksen seurauksena kasvien elinympäristö muuttuu. Muutokset voivat olla fysikaalisia, kemiallisia tai biologisia. Maaperän kosteudella, ravinteisuudella, happamuudella ja lämpötilalla on suuri vaikutus kasvilajien elinkykyyn ja kasvuun. Suurien vesimäärien imeytys maan läpi aiheuttaa muutoksia kaikissa näissä tekijöissä. Eri kasvilajien sietokyky voimakkaasti lisääntyneeseen kosteuteen vaihtelee. Kuivien kasvupaikkojen lajit kärsivät liiasta vedestä, mutta kosteutta hyvin sietävät lajit hyötyvät siitä. Fysiologinen stressi voi johtaa fotosynteesin alenemiseen, kasvun hidastumiseen ja altistaa erilaisille taudeille ja vaurioille. Pitkällä aikavälillä tämä näkyy lajien välisissä runsaussuhteissa siten, että kosteutta sietävät lajit saavat kilpailuetua muiden lajien taantuessa.

Fysikaaliset vaikutukset

Sadetuksen fysikaaliset vaikutukset ilmenivät veden pintavalunnan aiheuttamana maa-aineksen paljastumisena eli eroosiona. Syksyllä 1996 erodoituneita kasvipeitteettömiä alueita oli eniten talvikautisella (12 %) ja kasvukautisella jatkuvan imeytyksen koealalla (10 %). Jaksotetulla imeytysalueella erodoitunut pinta-ala oli puolta pienempi (4 %) (kuva 14). Eroosion seurauksena kasvien juuria oli paljastunut, mikä voi altistaa niitä epäedullisille sääoloille (esim. pakkasvauriot talvella) ja sienitaudeille. Maanpinnan liikkuminen saattaa häiritä myös kasvien kiinnittymistä alustansa.

Talvella keinotekoinen sadetus nostaa maan lämpötilaa ja kesällä taas viilentää sitä. Lämpötilalla on suuri vaikutus kasvien elintoimintoihin ja niiden vuodenaikaisrytmiin. Talviaikainen sadetus saattaa esimerkiksi estää kasvien asettumisen talvilepoon, mutta aikaistaa keväistä kasvuunlähtöä.

Tasaisella maalla imeytys voi täyttää maan huokostilan vedellä, minkä seurauksena kasvien juuret saattavat kärsiä ajoittain hapen puutteesta. Rinteellä maan kyllästyminen vedellä on epätodennäköisempää.

Kemialliset vaikutukset

Veden imeytyksen kemialliset vaikutukset ilmenivät maaperän ravinteisuuden ja happamuuden muutoksina. Imeytys lisäsi maan nitrifikaatiota (kuva 10) ja kasveille käyttökelpoisten emäskationien määrää (kuvat 3 - 5). Myös humuskerroksen pH nousi huomattavasti imeytyksen seurauksena (kuva 2). Eri kasvilajit reagoivat näihin muutoksiin eri tavoin. Suurin osa lehdossa kasvavista heinistä, ruohoista ja sammalista viihtyy typpi- ja kalkkipitoisella kasvualustalla ja todennäköisesti hyötyy tapahtuneista muutoksista. Varsinkin metsäkastikka (*Calamagrostis arundinacea*) runsastui imeytyskoealoilla (kuva 15). Peittävyuden kasvu oli suurin juuri talvi-imeytysalalla (kuva 16), missä nitrifikaation ja ravinteisuuden lisääntyminen oli suurinta. Myös kasvukautisella jaksotetun imeytyksen koealalla metsäkastikan peittävyys lisääntyi kesän kuluessa huomattavasti. Onkin todennäköistä, että kasvillisuus sitoo ainakin osan syntyneestä nitraatista uuteen biomassaan. Toisaalta karummilla kasvupaikoilla ja happamammalla maalla elävät lajit kärsivät liian kosteuden lisäksi myös pH:n noususta.

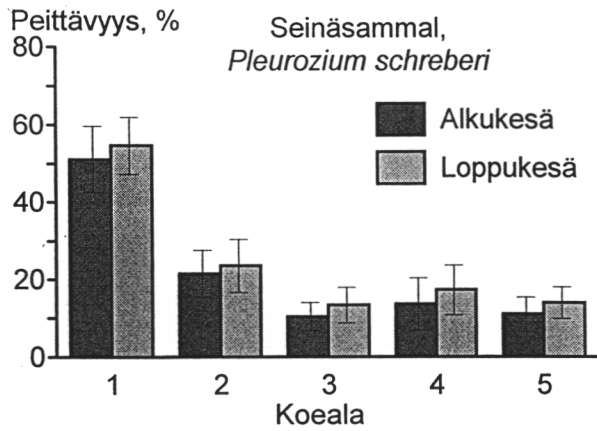
Biologiset vaikutukset

Yhden imeytyskasvukauden jälkeen voidaan havaita metsäkastikan runsastuneen (kuva 15), kun taas varpujen ja sammalten (kuvat 12 ja 13) peittävyudet pysyivät lähes ennallaan. Peittävyuden muutoksia tulkittaessa on kuitenkin muistettava, että koealojen lähtötilanne kasvilajien runsauden suhteen ei ollut samanlainen. Pidemmällä aikavälillä on kasvuvaiikutuksien lisäksi odotettavissa muutoksia kasvien lisääntymisessä, siementen leviämässä, maassa olevan siemenvaraston koostumuksessa ja siementen itämisessä, joilla voi olla huomattavia vaikutuksia kasvilajien populaatiodynamiikkaan.

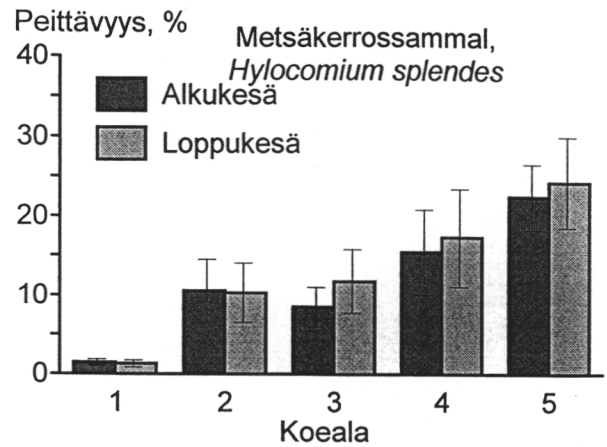
Jo lyhyen tutkimusjakson aikana kasvien ulkonäkö ja elinvoimaisuus muuttuivat. Heinät ja ruohomaiset kasvit hyötyivät kastelusta. Varsinkin metsäkastikka oli loppukesällä huomattavan kookas ja voimakkaan vihreän värinen kastelun vaikutusalueella. Myös suikerosammalet (*Brachythecium*-suku), lehvasammalet (*Plagiomnium*-suku) ja kastesammal (*Plachiochila asplenoides*) näyttivät runsastuneet ja hyötyneen kosteuden lisääntymisestä. Sen sijaan pohjakerroksen yleiset metsäsammalet, seinäsammal (*Pleurozium schrberi*), kerrossammal (*Hylocomium splendens*) ja kynsisammalet (*Dicranum*-suku), olivat stressaantuneen näköisiä. Lukuunottamatta uusinta vuosikasvainta, näiden sammalten väri oli ruskea tai kellertävä. Imeytysaloilla havaittiin myös sammalten pinnalla vaaleaa massaa, joka osoittautui jatkotutkimuksissa järvivedestä peräisin olevaksi leväkasvustoksi sisältäen mm. piilevän kuoria.

Myös puolukka (*Vaccinium vitis-idaea*) näytti kärsivän kastelun vaikutuksesta. Vaikka sen lehtien koko vaikutti suurentuneen, useat lehdet olivat väriltään luonnottoman vaaleita eli kloroottisia. Useat puolukanversot olivat kuolleet. Puolukalla havaittiin myös sienitautia (*Exobasidium* sp., pöhösienet), joka muutti lehdet ja varren turpeiksi ja väriltään vaaleanpunaisiksi.

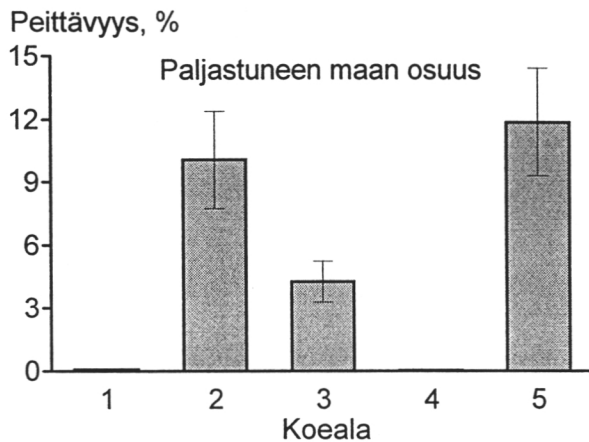
Kuolleen kasviaineksen eli karikkeen määrä oli vertailukoealoilla suurempi kuin imeytyskoealoilla (kuva 17). Tähän saattoi olla syynä loppukesän kuivuus, joka lakastutti kasvillisuutta nopeammin vertailukoealoilla.



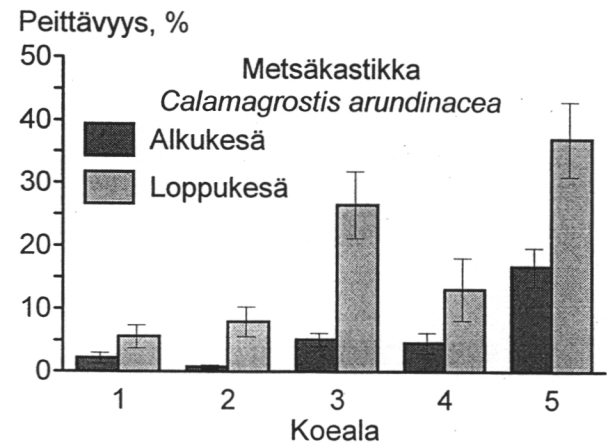
Kuva 12. Seinäsammalen keskimääräinen runsaus alkukesällä 5. - 10.6. ja loppukesällä 22.8. - 1.9. 1996 arvioituna prosenttipeittävyyksinä yhden neliömetrin suuruisilla näyteruuduilla ($n = 15$). Jana = keskiarvon keskivirhe..



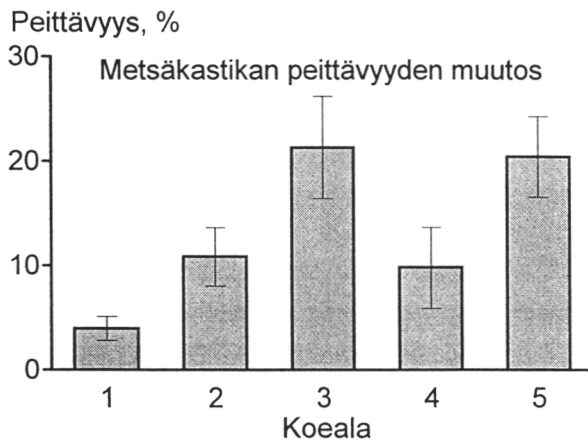
Kuva 13. Metsäkerrossammalen keskimääräinen runsaus alkukesällä 5. - 10.6. ja loppukesällä 22.8. - 1.9. 1996 arvioituna prosenttipeittävyyksinä yhden neliömetrin suuruisilla näyteruuduilla ($n = 15$).



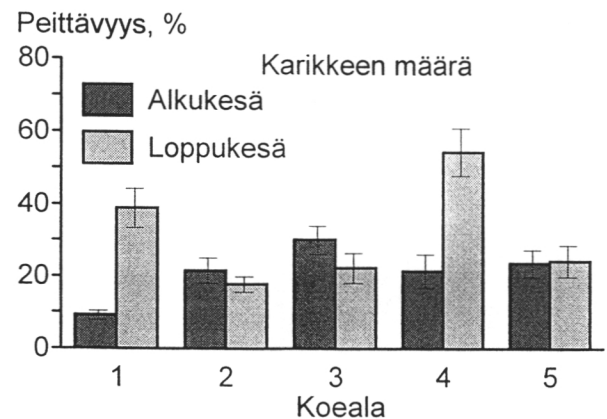
Kuva 14. Veden pintavalunnassa paljastuneen maan keskimääräinen prosentiosuus yhden neliömetrin suuruisilla näyteruuduilla ($n = 15$). Jana = keskiarvon keskivirhe..



Kuva 15. Metsäkastikan keskimääräinen runsaus alkukesällä 5. - 10.6. ja loppukesällä 22.8. - 1.9. 1996 arvioituna prosenttipeittävyyksinä yhden neliömetrin suuruisilla näyteruuduilla ($n = 15$). Jana = keskiarvon keskivirhe..



Kuva 16. Metsäkastikan peittävyden muutos tutkimusjaksolla. Aineistossa on mukana vain ne näyteruudut, joilla metsäkastikkaa kasvoi. Jana = keskiarvon keskivirhe.



Kuva 17. Kuolleen kasviaineksen eu karikkeen määrä alkukesällä 5.-10.6. ja loppukesällä 22.8.-1.9. 1996 arvioituna prosenttipeittävyyksinä yhden neliömetrin suuruisilla näyteruuduilla ($n = 15$). Jana = keskiarvon keskivirhe.

Päätelmät

Lyhytaikaisen seurannan perusteella ei vielä voida ennustaa luotettavasti millaisia kasvillisuusmuutoksia veden imeytys aiheuttaa pitkällä aikavälillä. Seuraavat muutossuunnat voitiin havaita jo yhden kasvukauden aikana:

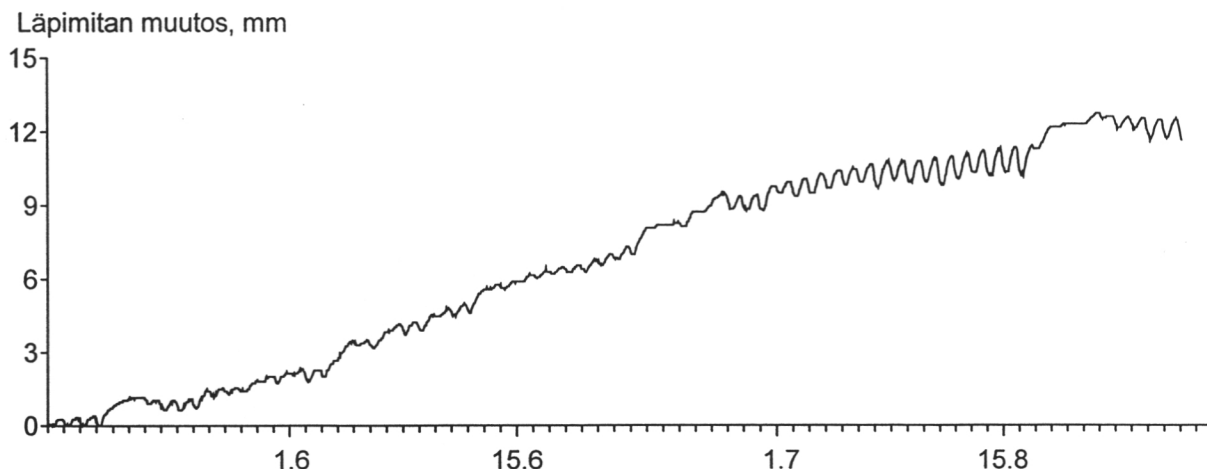
1. Kastelu ei muistuta luonnollista sadetta, sillä vesi tulee liian suurella voimalla ja jakautuu liian pienelle alueelle. Jyrkällä rinteellä maanpinnan eroosio on suurta ja tulee voimistumaan edelleen. Eroosion ehkäisyn kannalta jaksotettu imeytys on paras vaihtoehto.
2. Kuivien ja karujen kasvupaikkojen lajit kärsivät sadetuksen aiheuttamasta liiasta kosteudesta ja maaperän ravinteisuuden ja pH:n muutoksista. Varsinkin varvut ja kangasmetsien sammalet stressaantuvat ympäristön muutoksesta.
3. Typen ja kalkin suosijat eli eräät lehdoissa elävät heinät, ruohot ja sammalet näyttivät viihtyvän imeytyskoealoilla. Aluskasvillisuus, Ahvenistonharjun tutkimusalueella erityisesti metsäkastikka, sitoo todennäköisesti uuteen biomassaan ainakin jonkin verran lisääntyneen nitrifikaation tuottamaa typpeä. Kasvillisuuden peittävyiden kasvu oli suurinta talvi-imeytyksen ja jaksotetun kasvukautisen imeytyksen koealoilla, mitkä olisivat nitraatin sitomisen kannalta parhaat vaihtoehdot.
4. Lehtokasvillisuudessa tapahtuneiden muutoksien perusteella on vaikea tehdä yleistyksiä karummille kasvupaikoille. Ahvenistonharjun tulokset antavat kuitenkin aihetta epäillä, että karu metsäkasvillisuus kärsisi liiasta vedestä enemmän kuin rehevä lehtokasvillisuus. Koska karummilla kasvupaikoilla on niukasti nopeakasvuisia heiniä ja ruohoja, niillä ei ole yhtä hyvää kapasiteettia ylimääräisen typen sitomiseen aluskasvillisuuteen kuin rehevämmillä kasvupaikoilla.

Kuusen ja männyn sädekasvu

Päivastoin kuin monet eläinlajit, puut kasvavat pääsääntöisesti koko elinaikansa. Joka vuosi puu muodostaa yhtenäisen vaipan uutta puuainesta puun rungon ympärille. Kasvunopeuteen vaikuttavat monet tekijät; ilmasto, puun kilpailuasema metsikössä ja puun ikä. Näistä tekijöistä johtuen puun kasvu vaihtelee vuodesta toiseen, Etelä-Suomen oloissa vaihteluväli on normaalisti +/- 30 % keskiarvon ympärillä

Kasvu on myös yhteydessä puun terveydentilaan. Havupuilla hidastunut kasvu kertoo neulaston ja juuriston toimintojen heikentymisestä. Tämä voi johtua epäsuotuisasta ilmastosta, jolloin muutos on palautuva. Epätavallisen voimakas kasvun heikkeneminen on toisaalta osoitus vakavammista vaurioista. Vertaamalla koetilanteessa puiden kasvua kahdella koealalla (käsitelty / kontrolli) voidaan tehdä päätelmiä käsittelyn vaikutuksista puiden elinvoimaisuuteen.

Kasvupantamittaukset alkoivat kesäkuun lopulla, 28.6, jolloin havupuiden paksuuskasvu Suomessa on normaalisti jo varsin lähellä päättymistään. Kuvassa (18) on esimerkki kuusen ympäröimän kehityksestä Punkaharjulla kesällä 1994. Tuolloin valtaosa vuotuisesta paksuuskasvusta toteutui kesäkuun puolella. Puut saavuttivat maksimiläpimittansa heinäkuun puolivälin jälkeen. Sen jälkeenkin on havaittavissa tyypillistä sääoloista johtuvaa vaihtelua.



Kuva 18. Kuusten ympärysmitan kehitys Punkaharjulla sijaitsevassa koemetsikössä kesällä 1994

Vaillinaisesta havaintojaksosta johtuen kesän 1996 kasvupantatuloksien pohjalta voidaan tehdä vain hyvin alustavia päätelmiä veden imeytyksen vaikutuksista puuston kuntoon. Päätelmien tekoa vaikeuttaa myös se, että kesä 1996 oli runsassateinen ja viileä aina heinäkuun lopulle saakka. Siitä johtuen erot kastellun ja vertailualueen kuusien ja mäntyjen välillä jäivät todennäköisesti vähäisemmiksi kuin sääoloiltaan keskimääräisenä kasvukautena.

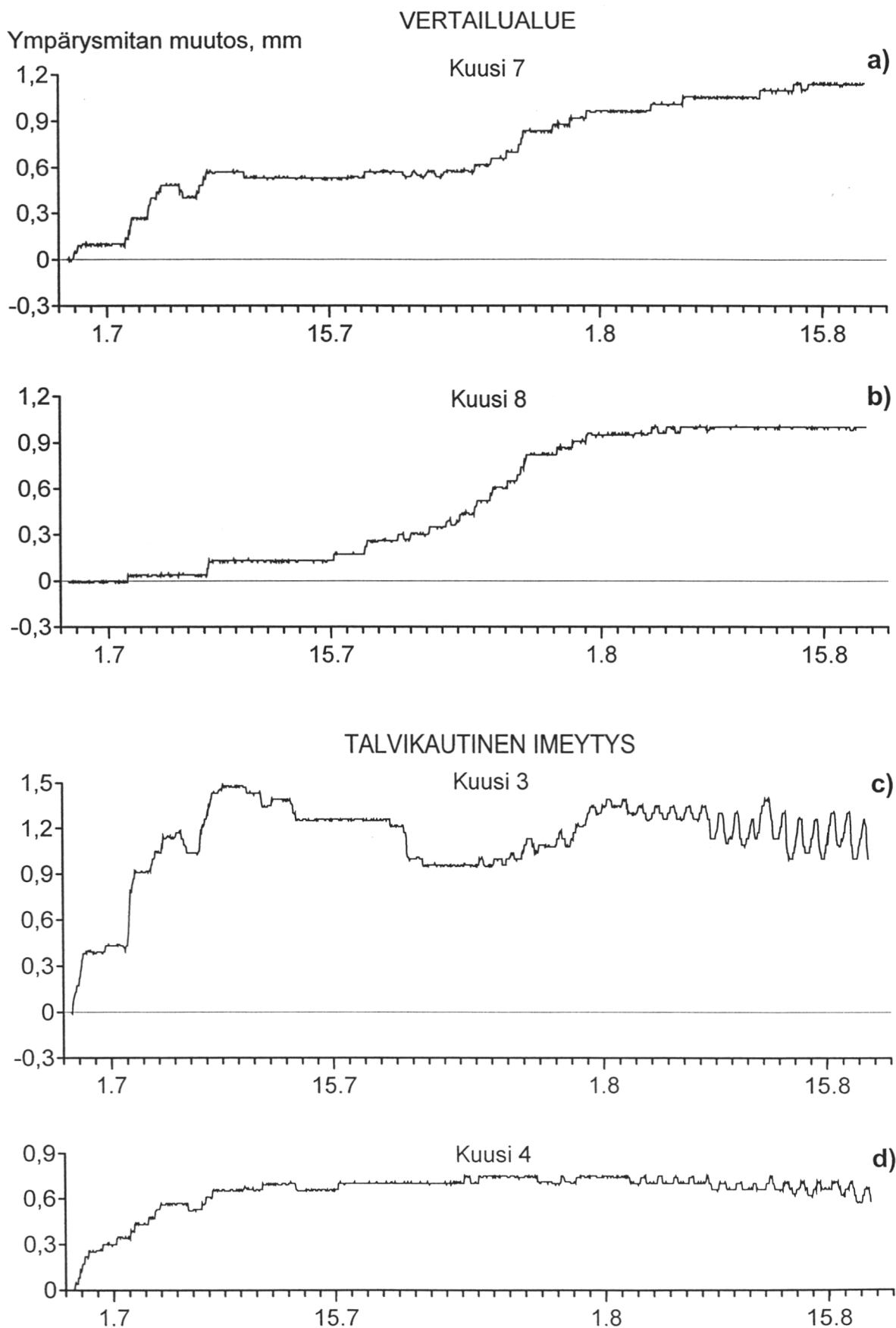
Kuusen pantamittaukset osoittavat, että vertailualueella kasvaneiden yksilöiden runkojen ympärysmitan muutokset vastaavat aikaisempia kuusilla luonnollisessa kasvuympäristössä mitattuja tuloksia. Kuuset 7 ja 8 (kuva 19 a,b) ovat jatkaneet paksuuskasvuun elokuun alkuun saakka, hieman pidempään kuin Etelä-Suomessa on tavanomaista. Tämä selittyy viileällä alkukesällä, joka on todennäköisesti hidastanut kasvukauden alkamista. Alkukesän sateisuus näkyy vuorokautisen vaihtelun vähäisyytenä.

Talvikautisella imeytysalueella sijaitsevien kuusten läpimitta on saavuttanut maksiminsa selvästi aiemmin, jo heinäkuun alkupuolella (kuva 19 c,d).

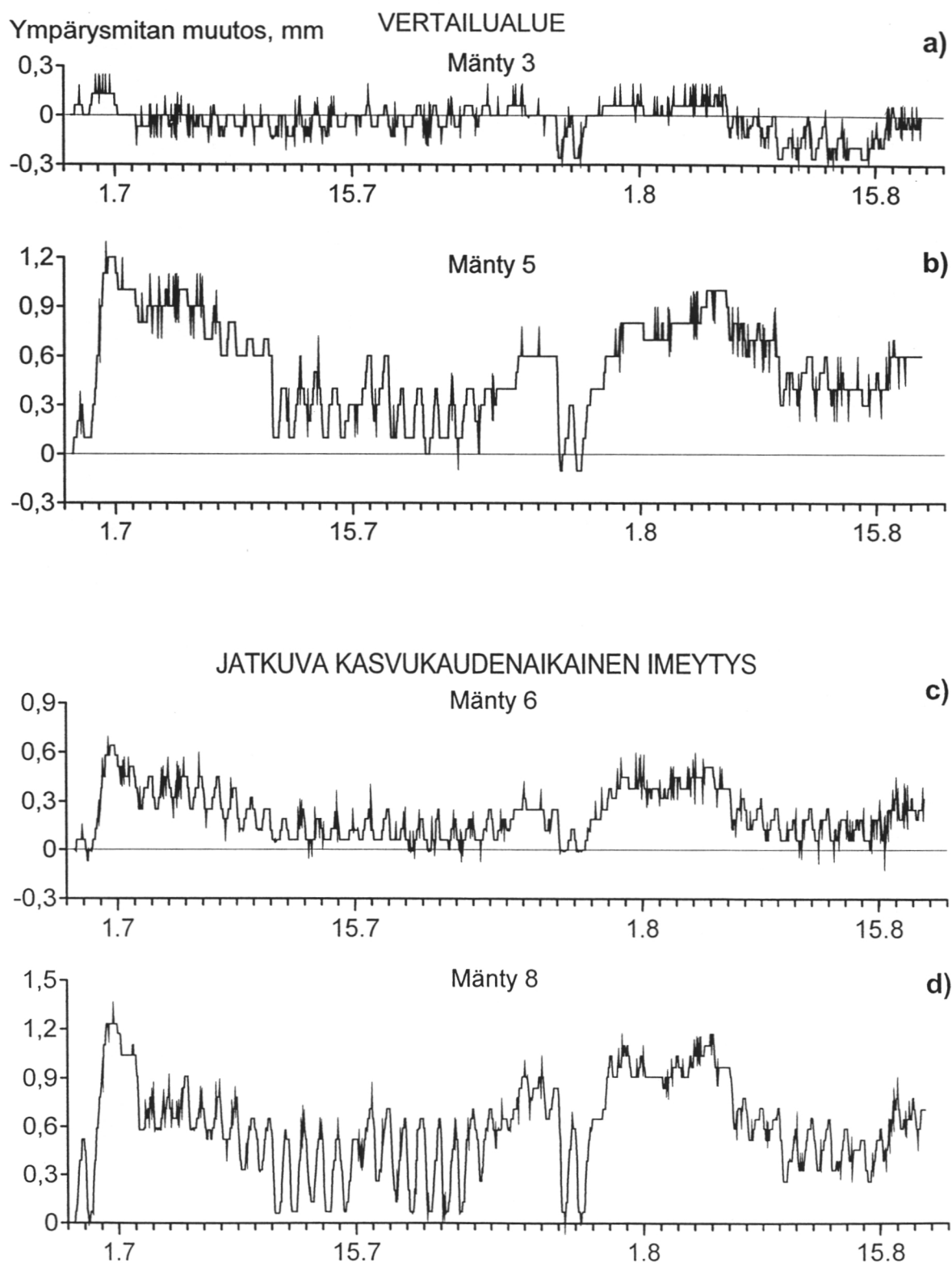
Ero vertailualueen kuusiin on selvä. Luotettavia päätelmiä havainnon merkityksestä voidaan kuitenkin tehdä vasta kun käytettävissä on havaintoja useamman vuoden ajalta. Kastelun vähentäminen 12.7 näkyy ilmeisesti kuusen numero 3 rungon läpimitan pienentymisenä heinäkuun puolivälissä.

Männyillä paksuuskasvu näyttää päättyneen lähes välittömästi mittausten käynnistämisen jälkeen; kastelun aiheuttamia eroja on vaikea todeta (kuva 20). Alueen vanhojen mäntyjen paksu kaarna on myös saattanut turpoilullaan vaikuttaa tuloksiin. Luotettavin tapa tämän haitan vähentämiseen on pantojen sijoittaminen korkeammalle puun runkoon tulevina kesinä.

Kesän 1996 mittauksiin liittyi merkittäviä häiriöitä. Kaksi kuusikoealojen kasvupantaa ja kolme mäntyihin asennettua pantaa oli vaurioitunut jonkin ulkoisen tekijän johdosta. Mahdollisia syitä ovat eläinten aiheuttamat vauriot (joita esiintyi myös lysimetritutkimuksissa), muiden mittalaitteiden asennusvaiheessa tapahtuneet vahingot ja ilkeävalta. Lisäksi yhden kuusikoeapuun runsas pihkavuoto aiheutti mittaongelmia, joihin ei osattu varautua riittävästi.



Kuva 19. Esimerkkejä kuusen ympärysmitan vaihtelusta. Pannat asennettiin 28.6; pystyakselilla on kuvattu muutos mittausten alkuajankohtaan verrattuna. Kuuset 7 ja 8 (a,b) vertailualueelta (3) ja kuuset 3 ja 4 talvikautiselta imeytysalueelta (5).



Kuva 20. Esimerkkejä männyn ympärysmitan vaihtelusta. Puut 3 ja 5 vertailualueelta (1); puut 6 ja 8 kasvukauden aikana jatkuvasti imeytetyltä alalta (2).

Kommentit

Puuston kasvututkimuksen kannalta on hyödyllistä saada tutkimusalueelta jatkuvaa tietoa, lämpötilasta, ilman kosteudesta ja sademäärästä. Kokeiden pystytyskesänä ei alueelle sijoitettu sade- eikä lämpötilamittareita. Tämä puute on tarkoitus korjata ensi keväänä. Samalla mittalaitteet palvelevat projektin muitakin osa-alueita.

Pantojen vaurioitumisesta aiheutuneita haittoja on vaikea ennalta ehkäistä; sen sijaan pantojen toimintaa on seurattava tiiviimmin ja mahdollisesti vioittuvat pannat huollettava mahdollisimman nopeasti.

Kuusen ja männyn ravinnetila

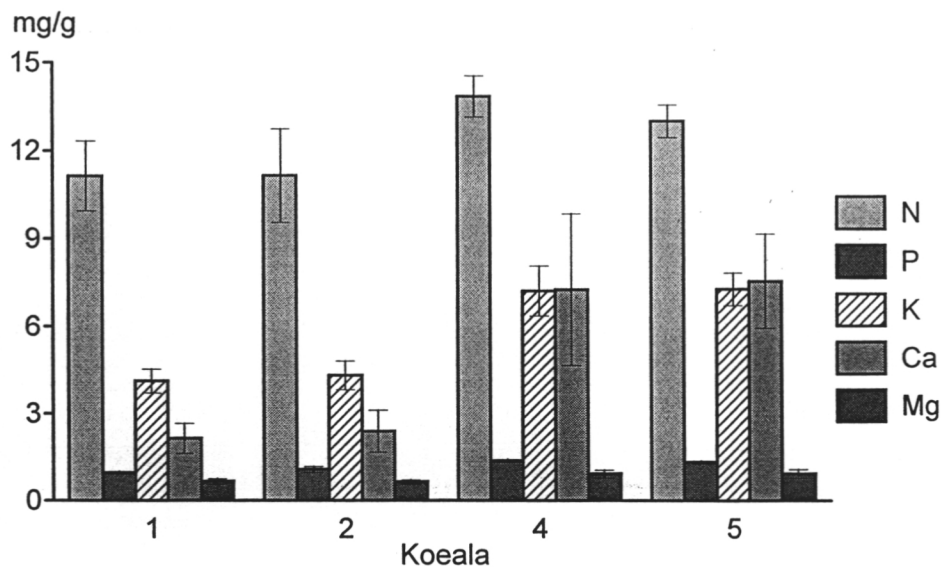
Koalojen puuston korkeuden vuoksi neulasnäytteet jouduttiin ottamaan elävän latvuksen alaosasta. Tämä haittaa tulosten tulkintaa, koska vertailumateriaaleissa näytteet on useimmiten otettu latvuksen yläkolmannaksesta ja ravinnepitoisuus vaihtelee latvuksen eri osissa (Fober 1976, Kolari 1994).

Kuvissa 21 ja 22 esitetään männyn ja kuusen kahden nuorimman neulasvuosikerran pääravinteiden pitoisuudet koaloilla 1, 2, 4 ja 5. Koealat 1 (vertailuala) ja 2 (jatkuva veden imeytys kasvukauden aikana), joiden puusto on pääasiassa mäntyä, eivät eronneet neulasten ravinnetilan osalta merkittävästi toisistaan. Yksi- ja kaksivuotiaiden männyn neulasten typpipitoisuus (N) oli molemmilla koaloilla, ravinteikkaasta maaperästä huolimatta suhteellisen alhainen ja puusto kärsii todennäköisesti lievistä typen puutteesta. Samoin neulasten fosfori- (P), kalium- (K), ja magnesiumpitoisuudet (Mg) olivat suhteellisen alhaisia ja puustossa voi esiintyä lievää magnesiumin ja fosforin puutosta. Kalsiumpitoisuudet (Ca) olivat tyydyttävällä tasolla (Fober 1976, Jukka 1988, Hüttl 1991, Mälkönen 1991, Kolari 1994).

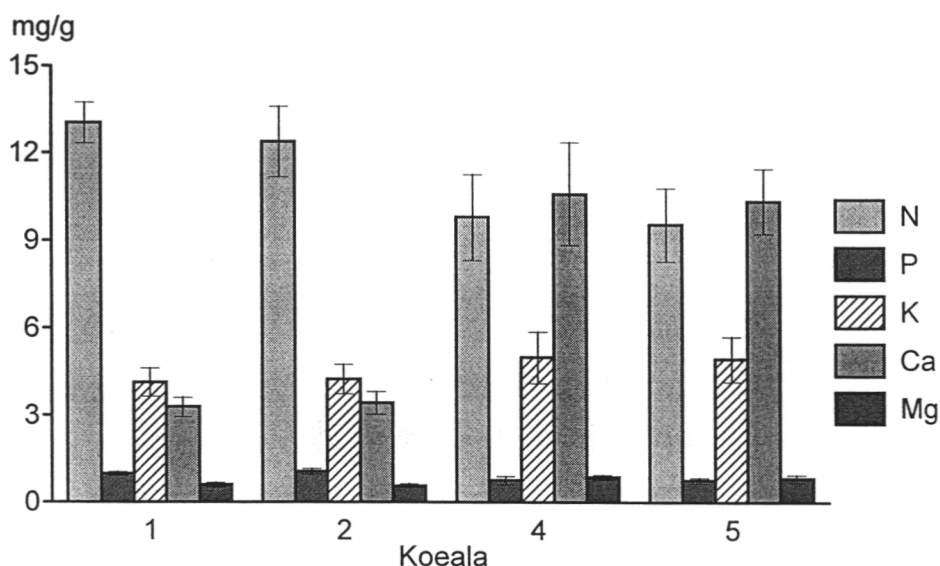
Mangaanipitoisuutta lukuunottamatta männyn neulasten hivenaineiden pitoisuudet eivät eronneet merkittävästi koalojen välillä. Mangaanipitoisuus oli jonkin verran korkeampi imeytysalalla 2 kuin vertailualalla 1, mutta ero ei ollut tilastollisesti merkitsevä. Neulasten rauta-, mangaani-, sinkki- ja molybdeenipitoisuudet olivat vähintään tyydyttävällä tasolla. Sen sijaan kuparin pitoisuus oli männnyissä melko alhainen, mutta puutostilaa ei todennäköisesti esiintynyt.

Koaloilla 4 (vertailuala) ja 5 (talvikautinen veden imeytys), joiden puusto koostui pääasiassa kuusista, puiden ravinnetila oli samankaltainen eikä merkittäviä eroja havaittu. Yksi- ja kaksivuotiaiden kuusen neulasten typpipitoisuus oli tyydyttävä eikä puutostilaa todennäköisesti esiintynyt. Vertailualalla 4 yksivuotisten neulasten N-pitoisuus oli lievästi korkeampi kuin koalalla 5, mutta ero ei ollut tilastollisesti merkitsevä. Neulasten fosfori- ja magnesiumpitoisuudet olivat tyydyttävällä tasolla. Neulasten kalium- ja kalsiumpitoisuudet olivat yksivuotisissa neulasissa korkeat. Kaksivuotisissa neulasissa kalsiumpitoisuudet olivat tilastollisesti merkitsevästi ($p < 0,05$) korkeammat ja vastaavasti kaliumpitoisuudet olivat tilastollisesti merkitsevästi ($p < 0,05$) alhaisemmat kuin yksivuotisissa neulasissa molemmilla koaloilla (Fober 1976, Jukka 1988, Hüttl 1991, Mälkönen 1991, Kolari 1994).

Kuusen neulasten mangaanipitoisuus oli jonkin verran korkeampi vertailualalla 4 kuin imeytysalalla 5. Kuparipitoisuudessa tilanne oli päinvastainen. Erot eivät kuitenkaan olleet tilastollisesti merkitseviä. Neulasten mangaani-, rauta-, sinkki-, kupari- ja molybdeenipitoisuudet olivat tyydyttävällä tasolla.



Kuva 21. Yksivuotisten männyn (koalat 1-2) ja kuusen (koalat 4-5) neulasten ravinnepitoisuuksia 1996.



Kuva 22. Kaksivuotisten männyn (koalat 1-2) ja kuusen (koalat 4-5) neulasten ravinnepitoisuuksia 1996.

Päätelmät

Taustamittauksen mukaan puiden ravinnetila on lähtötilanteessa tyydyttävä eikä todella merkittäviä ravinnehäiriöitä puustossa esiintynyt. Talvikautinen (kesto noin 3 kk) veden imeytys talvella 1995-1996 ei ole muuttanut olennaisesti kuusten ravinnetilaa imeytysalalla 5 vertailualaan nähden.

Jatkotutkimuksessa tulee kiinnittää huomiota ainakin seuraaviin seikkoihin:

- lisääkö maavesitutkimuksessa todettu maan kationipitoisuuden kohoaminen myös puiden ravinteiden saantia (esim. magnesium, kalium)
- missä määrin puut voivat hyödyntää (vesipitoisesta, osin hapettomasta ?) maaperästä typen mobilisaation kasvun kautta tulevaa lisätyppeä ja osaltaan estää myös typen huuhtoumista syvemmälle maassa.

Kuusen ja männyn sekä aluskasvillisuuden hienojuuristo

Hienojuuristonäytteet talvikautiselta imeytysalueelta sekä vertailualueelta otettiin kesäkuussa välittömästi imeytyksen päätyttyä. Suurimmat erot imeytysalan ja vertailualan välillä olivat varpujen ja heinien hienojuurten määrissä. Sekä varpujen että heinien eläviä ja kuolleita hienojuuria oli enemmän talvikautisella imeytysalalla kuin vertailualalla. Eläviä hienojuuria oli talvikautisella imeytysalalla kuitenkin huomattavasti enemmän suhteessa kuolleisiin kuin vertailualalla.

Kuusen ja männyn elävien hienojuurten määrissä ei ollut suuria eroja koealojen 4 ja 5 välillä. Kuusen hienojuuria (läpimitta < 1 mm) oli hieman enemmän ja männyn hieman vähemmän talvikautisella imeytysalalla kuin vertailualalla. Kuusen ja männyn kuolleita hienojuuria (läpimitta < 1 mm) oli talvikautisella imeytysalalla enemmän kuin vertailualalla. Läpimitaltaan 1-2 mm paksuisia kuolleita hienojuuria oli sen sijaan enemmän vertailualalla kuin talvikautisella imeytysalalla. Kun tarkastellaan koko hienojuurimassaa (läpimitta < 2mm), talvikautisella imeytysalalla oli enemmän kuusen ja männyn eläviä hienojuuria, mutta kuolleitten juurten määrässä koealat eivät eronneet toisistaan.

Hienojuuritulokset osoittivat selvästi talvikautisen imeytysalueen aluskasvillisuuden hienojuurten lisääntyneen imeytysalalla. Tulos on yhdenmukainen aluskasvillisuuden peittävyystulosten kanssa. Hienojuuria kuolee yleensä runsaasti talven aikana, ja kevään biomassat ovat syksyä pienemmät. Imeytys on pitänyt pintamaan sulana, joten juurten kasvu on todennäköisesti alkanut aikaisemmin keväällä talvikautisella imeytysalueella.

Taulukko 13. Kuusen, männyn, varpujen ja heinien hienojuurimassat koealoilla 4 ja 5 kesäkuussa 1996.

	Vertailuala		Talvikautinen imeytysala		Vertailuala		Talvikautinen imeytysala	
	< 1 mm				1-2 mm			
	ka.	s.e.	ka.	s.e.	ka.	s.e.	ka.	s.e.
Juurimassa, g/m ²								
Kuusen elävät hienojuuret	102.4	42.8	162.5	42.9	12.4	12.4	10.5	4.7
Männyn elävät hienojuuret	12.4	8.1	6.7	6.7	0.0	0.0	4.7	4.7
Kuusen ja männyn kuolleet hienojuuret	35.5	3.1	82.4	16.1	92.2	22.1	44.5	17.4
Varpujen elävät hienojuuret	39.9	42.3	308.6	88.8	0.1	0.1	20.9	14.4
Heinien elävät hienojuuret	18.0	44.1	76.5	19.0	3.5	8.6	3.5	2.2
Varpujen ja heinien kuolleet hienojuuret	88.1	56.1	175.2	64.3	2.6	2.6	6.0	3.9

LOPPUPÄÄTELMÄT

Imeytyksen aiheuttamat muutokset

Ensimmäisen tutkimusvuoden tulokset osoittavat, että järveden pintaimetyksellä on monitahoisia vaikutuksia imeytysalueen metsämaahan ja kasvillisuuteen. Vaikutusten määrä ja laatu riippuu oleellisesti imeytettävän raakaveden määrästä ja laadusta, kuten happamuudesta ja eri aineiden pitoisuuksista.

Koska pinta-alayksikköä kohti imeytettävät vesimäärät ovat varsin suuria, ja imeytysvesi on happamuudeltaan lähellä neutraalia ja sisältää runsaasti emäskationeja (kalium, kalsium ja magnesium), imeytysalueen metsämaan pH kohosi jo kuukaudessa luontaisesta pH-arvosta 4,7 - 5,2 n. kaksi pH-yksikköä eli samalle tasolle kuin raakaveden pH (n. 6,7). Happamuuden palautuminen luontaiseen tilaan tapahtuu imeytyksen päätyttyä varsin hitaasti. Talvikautisen imeytysalueen pH ei ollut oleellisesti palautunut vielä viiden kuukaudenkaan imeytystauon aikana. Jatkossa olisi tärkeää seurata kuinka nopeasti maaperän pH palautuu ennalleen. Kesällä 1997 tulisi valita joku alue, jota imeytetään ainoastaan muutaman kuukauden ajan, ja tämän jälkeen alueen maaperän happamuuden palautumista seurataan usean vuoden ajan.

Suurin muutos, mikä maan märkyydestä ja pH:n kohoamisesta aiheutui jo ensimmäisenä vuonna, oli typen kierron muuttuminen. Maaperän märkyys ja pH:n kohoaminen kiihdytti nitrifikaatiota eli nitraatin muodostusta imeytyksen aikana. Imeytyksen päätyttyä maan kuivuminen vähensi vähitellen nitrifikaatiota, vaikka pH oli edelleen korkea. Myös denitrifikaatio eli dityppioksidin tuotto oli suurinta imeytysaloilla imeytyksen aikana ja välittömästi sen päätyttyä, kun maassa oli nitraattia ja maa oli vielä märkää. Imeytystauon aikana nitraattia alkoi huuhtoutua sadeveden mukana pohjaveteen, koska denitrifikaatio väheni, ja maassa oli edelleen nitraattia. Loppukesällä nitraatin huuhtoutuminen oli kuitenkin vähäistä talvikautiselta imeytysalalta ja imeytystaukojen aikana jaksotetulta kasvukautiselta imeytysalalta kuivuuden vuoksi.

Maan pH:n nousu ja typen kierron muuttuminen tapahtunee myös karuimmilla imeytysalueilla, mutta syntyvät (ja mahdollisesti huuhtoutuvat) nitraattimäärät ovat todennäköisesti pienempiä kuin viljavilla kasvupaikoilla.

Typen kierron muuttuminen ei kuitenkaan vaikuttanut pohjaveden nitraattipitoisuuksiin, koska imeytysvesi laimensi sadeveden huuhtomia nitraattimääriä, ja toisaalta loppukesän vähäsateisuus vähensi huuhtoutuvia nitraattimääriä. Pohjaveden kannalta on edullista, jos jonkin alueen imeytyksen päättymisen jälkeen viereisellä alueella imeytetään edelleen, ja imeytysalueelta valuvat vesimäärät laimentavat imeytyksen päättymisen jälkeen sateen mukana huuhtoutuvia nitraattimääriä.

Orgaanisen aineen fraktiointi ensimmäisen vuoden näytteistä osoitti, että Ahveniston harjun veden suodatuskyky on hyvä ja toimii toivotulla tavalla. Orgaanisen aineen huuhtoutuminen metsämaasta ei vaikuttanut pohjaveden laatuun. Kasvukautinen imeytys alensi myös merkittävästi pohjaveden raudan ja alumiinin pitoisuuksia. Orgaanisessa muodossa olevat liukoisen typen pitoisuudet olivat pieniä pohjavedessä. Kokonaisuudessaan raakaveden mukana tuli kuitenkin n. 500 kg orgaanista typpeä ja n. 3000 kg orgaanista hiiltä koko imeytysalueelle ja jaksolle (joulukuu 1995-marraskuu 1996) laskettuna. Raakaveden mukana tulleen liukoisen orgaanisen typen ja hiilen pidättyminen harjuun tai joutuminen pohjaveteen tulisi jatkossa tutkia tarkemmin käyttäen olemassa olevia pohjavesiputkia.

Aluskasvillisuus muuttuu todennäköisesti enemmän karummilla kasvupaikoilla kuin Ahveniston harjualueella, missä ensimmäisenä tutkimusvuonna tärkein muutos oli metsäkastikan runsastuminen. Harjulehdon vaateliias kasvillisuus on luontaisesti sopeutunut karumpaa kasvupaikkaa korkeampaan maaperän pH:hon ja runsasravinteisuuteen. Varpukasvit kuten puolukka ja kangasmetsien sammallajit kärsivät imeytyksestä heiniä ja ruohoja enemmän. Maanpinnan paljastuminen oli vähäisintä jaksotetulla imeytysalueella, toisin sanoen mitä lyhyempi on imeytysaika, sen pienemmät ovat haittavaikutukset kasvipeitteeseen. Jatkotutkimuksissa oleellista olisi selvittää sitä, kuinka paljon kasvillisuus

voi sitoa tuotettua nitraattia esim. alkukesällä 1997 suoritettavalla aluskasvillisuuden ja puiden neulasten ravinneanalyseillä.

Kasvupantamittaukset alkoivat kesällä 1996 kesäkuussa, joten vasta ensi kevään mittaukset antavat tietoa mahdollisesta puiden kasvurytmin muuttumisesta. Myöskin kasvukauden aikaisista juuristovaikutuksista saadaan enemmän tietoa, kun kasvukautisen imeytyksen ja vertailualueen hienojuuriaineisto on kokonaisuudessaan käsitelty. Kuusipuustoa ajatellen seuraavina vuosina tulee seurata maannousemaa aiheuttavan juurikäpäsien esiintymistä koaloilla, koska tämä sieni viihtyy maaperässä, jossa on korkea pH.

Imeytyksen ajankohta ja kesto

Sitä, olisiko talvikautinen vai kasvukautinen imeytys typen kierron kannalta parempi vaihtoehto, on vaikea arvioida vasta ensimmäisen vuoden tulosten perusteella. Imeytyksen lopettamisajankohta näyttää kuitenkin nitraatin huuhtoutumisen kannalta keskeisemmältä kuin varsinainen imeytysajankohta. Suurin riski nitraatin huuhtoutumiselle pohjaveteen syntyy imeytyksen päätyttyä. Runsaat sateet imeytyksen jälkeen lisäävät nitraatin huuhtoutumisriskiä, kun taas kasvillisuuden typen otto vähentää riskiä. Tämä viittaisi siihen, että nitraatin huuhtoutumisriskin minimoimiseksi paras imeytyksen päättymisajankohta olisi kasvukauden alkupuoli.

Seuraavana kesänä kasvukautinen imeytys tulisi aloittaa ja lopettaa aikaisemmin (esim. toukokuun alku-syyskuun loppu), jotta nitraatin huuhtoutumista imeytyksen jälkeen voidaan seurata syyssateiden aikana. Nitrifikaatiota ja denitrifikaatiota tulisi vuonna 1997 tutkia kolme kertaa kesän aikana, jotta nitraatin ja typpidioksidin tuotto voitaisiin suhteuttaa tarkemmin imeytysaikatauluun nähden.

Aluskasvillisuuden kannalta imeytysalueiden vuorottelu on tärkeää, koska jo tässä vaiheessa voidaan sanoa, että mitä vähemmän aikaa tiettyä aluetta imeytetään, sen pienemmät ovat vaikutukset aluskasvillisuuteen. Toisaalta viljavien kasvupaikkojen aluskasvillisuus näyttää selviävän suhteellisen hyvin Ahveniston harjulla ainakin yhden kasvukauden/talven mittaisesta imeytyksestä. Tilanne voi olla toinen karummilla kasvupaikoilla, joten niillä imeytysalueiden vuorottelulla saattaa olla paljon suurempi merkitys. Sitä, missä mittakaavassa nyt todetut ilmiöt esiintyisivät karummilla kasvupaikoilla, tulisikin jatkossa selvittää näillä kasvupaikoilla tehtävällä erillistutkimuksella.

Imeytyksen tekninen toteutus

Maan pinnan erodoitumisen ja aluskasvillisuuden kannalta olisi edullista, jos imeytys muistuttaisi enemmän luonnollista sadetta. Pinta-alayksikköä kohti sadetettavaa vesimäärää voisi mahdollisesti vähentää esim. lisäämällä putkirivistöjä. Kuitenkin väliin tulisi jäädä alueita, joilla vesipitoisuus on lähellä luontaisia oloja. Puiden toiminnan kannalta on edullista, mikäli niiden juuret eivät ole kokonaan imeytyksen vaikutuksen alla.

Mittausaikataulu vuonna 1997

Imeytyskokeita tulisi jatkaa entiseen tapaan myös vuonna 1997. Maaperän happamuuden palautumisen seurannan kannalta olisi edullista, jos jotakin uutta aluetta voitaisiin imeyttää noin kuukauden ajan (kunnes maan pH on kohonnut raakaveden tasolle), ja tämän jälkeen alueen metsämaan happamuuden palautumista luontaiseen tilaan seurattaisiin esim. kolme kertaa kasvukaudessa suoritettavin näytteenotoin.

Mikään vuonna 1996 tehdyistä mittauksista ei ole ollut vaikutusten tutkimisen kannalta turhaa, vaan suoritettavat mittaukset ovat antaneet arvokasta ja monipuolista tietoa harjumetsän muuttumisesta imeytyksen vaikutuksesta.

Saatujen kokemusten perusteella mittausohjelmaa pitäisi tarkentaa vuonna 1997 seuraavasti:

Aluskasvillisuuden kartoitus suoritetaan kaksi kertaa kesässä aiemmin ehdotetun kolmen kerran sijasta. Neulasanalyysit ja aluskasvillisuuden ravinneanalyysit tehdään myös vuonna 1997 kasvillisuuden nitraatin sekä emäskationien sitomisen selvittämiseksi. Nitrifikaatio määritetään kolme kertaa kasvukaudessa aiemmin ehdotetun kahden sijasta, samoin kasvihuonekaasujen tuottoa eli denitrifikaatiota määritetään kolme kertaa kasvukaudessa aiemmin ehdotetun yhden sijasta. Nämä prosessit muuttuvat merkittävästi imeytyksen vaikutuksesta, mikä puoltaa aiempaa tarkempaa mittausohjelmaa. Vajovesitutkimus tehdään samoin kuin v. 1996, mutta koalueelle pyritään saamaan sähkö, koska syksyllä aurinkopanelien toiminnassa oli ongelmia. Raakaveden mukana tulleen orgaanisen typen ja hiilen liikkeitä tulee jatkossa seurata tarkemmin pohjavesiputkista. Puuston kasvumittaustulosten tulkinnan helpottamiseksi dataloggereihin täytyy liittää ilman lämpötilan mittaus ja sademäärän rekisteröinti.

KIRJALLISUUS

- Fober, H. 1976. Distribution of mineral elements within the crown of Scots pine (*Pinus silvestris* L.) and Norway spruce (*Picea abies*, Karst.). Arboretum Kornickie, s. 323-331.
- Hüttl, R. 1991. Die Nährelementversorgung geschädigter Wälder in Europa und Nordamerika. Freiburger Bodenkundliche Abhandlungen. Offsetdruck Gerhard Seeger, Freiburg im Breisgau. 440 s.
- Jukka, L. (toim.) 1988. Metsänterveysopas. Metsätuhot ja niiden torjunta. Samerka Oy. Helsinki. 168 s.
- Kolari, K. 1994. Neulasten ravinnepitoisuuden vaihtelu männyn latvuksessa. Suo 45:47-55.
- Leenheer, J.A. (1981) Comprehensive approach to preparative isolation and fractionation of dissolved organic carbon from natural waters and wastewaters. Environ Sci. Technol. 15:578-587.
- Mälkönen, E. 1991. Neulas- ja maa-analyysien käyttökelpoisuus metsänhoitotoimenpiteiden suunnittelussa. Julkaisussa: Mäkkeli, P. & Hotanen, J. (toim.), Metsänkasvatuksen perusteet turve- ja kivennäismailla. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 383:52-61.
- Qualls, R.G. and Haines, B.L. (1991) Geochemistry of dissolved organic nutrients in water percolating through a forest ecosystem. Soil Sci. Soc. Am. J. 55:1112-1123.
- Smolander, A., Kitunen, V., Priha, O. and Mälkönen, E. (1995) Nitrogen transformations in limed and nitrogen fertilized soil in Norway spruce stands. Plant and Soil 172:107-115.
- Sosiaali- ja terveysministeriö 1994. Päätös nro 74. 20.1.1994.
- Soveri, J. ja Ahlberg, T. 1990. Effects of air pollutants on chemical characteristics of soil water and groundwater. Teoksessa: P. Kauppi, P. Anttila ja K. Kenttämies (toim). Acidification in Finland. Springer-Verlag. Berlin. ss. 117-145.
- Starr, M. ja Tamminen, P. 1992. Suomen metsämaiden happamoituminen. Teoksessa: I. Kukkonen ja H. Tanskanen (toim). Ympäristötieteelliset kartat ja kartoitushankkeet Suomessa. Geologian tutkimuskeskus, Tutkimusraportti 115: 7-14.