

Metsätalouden vesistöhaittojen torjuminen ojitetuista soista muodostettujen puskurivyöhykkeiden avulla

Prevention of detrimental impacts of forestry operations on water bodies using buffer zones created from drained peatlands

Tapani Sallantaus, Harri Vasander & Jukka Laine

Tapani Sallantaus, Pirkanmaa Regional Environment Centre, P.O. Box 297, FIN-33101 Tampere, Finland

Harri Vasander & Jukka Laine, Department of Forest Ecology, P.O. Box 24, FIN-00014 Helsinki University, Finland

Before large-scale drainage in Finland the outflowing water from forests was naturally filtered through peatlands. The even topography, dense moss cover and the favourable physical, chemical and biological properties of surface peat facilitate versatile buffering functions in these systems. In addition to retaining suspended solids, peatlands may act as traps for nutrients or harmful metals. Major part of these buffering systems have been lost as a result of forestry drainage. Restoring drained peatlands, being potentially well suited to act as a buffer zone between forestry land and a watercourse, may bring back part of the lost buffering capacity. Potentially each drainage area should include a restored part through which waters both from the drainage area itself and from the surrounding upland forest catchment would be filtered. Preliminary results from three experimental catchments show that buffer zones restored from drained peatlands may be successfully used in decreasing the detrimental impacts forestry operations may have on adjacent water courses. Long-term monitoring is, however, required for the quantitative assessment of the buffer efficiency.

Key words: nutrient load, peatland drainage, restoration, water pollution

JOHDANTO

Metsätalouden ympäristövaikutukset ja haitallisten vaikutusten ehkäiseminen käytännön metsätaloudessa ovat saaneet kasvavaa huomiota osakseen. Tärkeimpiä ympäristövaikutuksia ovat vesistöhaittojen lisääntyminen ja monimuotoisuuden pieneminen.

Suo on ihanteellinen puskuriekosysteemi met-

sätalousmaan ja vesistöjen välillä. Soiden tasainen topografia, kasvipeitteisyys sekä pintaturpeen suotuisat fysikaaliset, kemialliset ja biologiset ominaisuudet mahdollistavat monipuolisen vesiensuojeluyödyn. Merkittävää on, että toimivan suoekosysteemin vuosittain kerryttämään uuteen turpeeseen pidättyy ravinteita pitkäksi aikaa.

Ravinteiden pidättymisestä luonnontilaisiin suoekosysteemeihin on paljon tietoa (esim. Ross

1995). Typen poistajina suot ovat etenkin nitraatin suhteen tehokkaita. Suot pidättävät nitraatin tavoin myös sulfaattia, jopa erittäin merkittävässä määrin (Devito 1995). Valumaveden happamuus ei siitä huolimatta vähene, koska suot tuottavat orgaanisia happoja valumaveteen. Orgaaninen happamuus on kuitenkin huomattavasti vähemmän haitallista vesieliöstön kannalta kuin happaman laskeuman aiheuttama happamuus (Dunson & Martin 1973). Valumaveden laadun kannalta tärkeää on myös soiden kyky toisaalta pidättää tehokkaasti alumiinia, toisaalta tuottamalla orgaanisia happoja saattaa alumiiniyhdisteet vesieliöstön kannalta haitattomaan muotoon. Luonnontilaiset suot toimivat keskimäärin emäskationien nieluina; kvantitatiivisesti ilmiön merkitys on suhteellisen vähäinen, mutta happamien episodien aikana suon suuret emäskationivarastot tasoittavat valumaveden happamuuden vaihteluita. Myös raskasmetallien pidättyminen suohon on tärkeä prosessi (Shotyk 1988, 1997).

Suuri osa vesiensuojelutarkoituksiin ideaalisista pienialaisista läpivirtaussoista on jo ojitettu, etenkin Etelä-Suomessa, jolloin soiden luontainen suodattava ja puskuroiva vaikutus on menetetty. Ennallistamalla valuma-alueella strategisessa asemassa oleva metsäojitettu suo tai sen lähtöomaa lähinnä oleva osa voidaan luoda toiminnallinen suoekosysteemi, joka toimii puskurivyöhykkeenä luonnontilaisen suon tavoin. Metsäojitusalueiden osien muodostaminen puskurivyöhykkeiksi ja suojealueilla sijaitsevat suot ovat soiden ennallistamisen tärkeimmät kohteet Suomessa (Vasander ym. 1998). Ennallistettavien suonosien pinta-alaosuudeksi riittänee yleensä muutama prosentti valuma-alueen pinta-alasta, joten syntyvä haitta on metsätalouden kannalta kohtuullinen. Syntyvä pienkosteikkoverkosto voi kuitenkin olla potentiaalisesti merkittävä suolajiston säilymisen ja leviämisen kannalta.

Maatalousvaluma-alueilla on tutkittu ravinteiden ja kiintoaineksen pidättymistä ennallistettuun kosteikkopuskuriin (Leonardson 1994). Metsätalousalueilla luonnontilaisten soiden käyttö vesiensuojelutarkoituksiin on antanut suhteellisen hyviä tuloksia (Emmett ym. 1994). Soista muodostettuja pintavalutuskenttiä on käytetty myös turvetuotantoalueiden vesien puhdistamiseen (Heikkinen ym. 1994). Soiden ennallistamisen vesiensuojeluhäydystä ja mahdollisista ongelmista metsätalousvaluma-alueilla on sen sijaan niukalti kokemuksia.

Tämän artikkelin tavoitteena on pohtia kirjallisuuden ja eräiden kokeiden alustavien tulosten perusteella metsäojitusalueiden osista ennallistamalla muodostettujen puskurivyöhykkeiden mahdollisuuksia vesistöhaittojen torjunnassa.

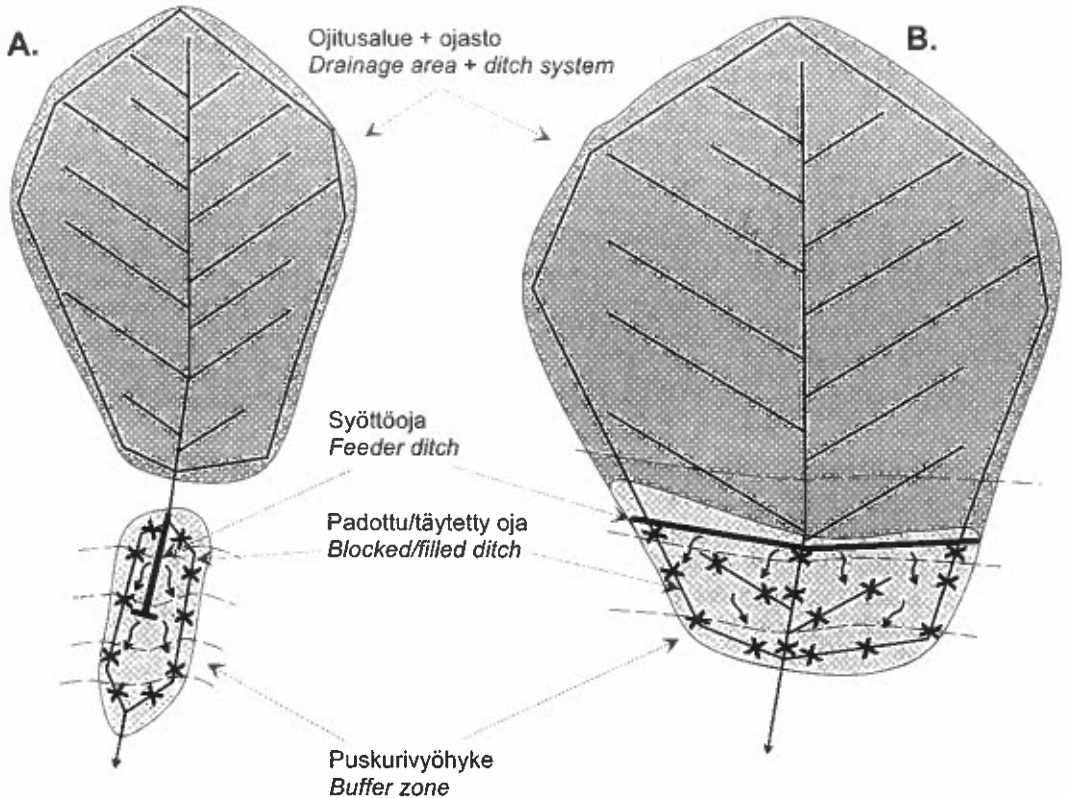
KOEALUEET JA -JÄRJESTELYT

Tutkimusta varten on perustettu 3 koealuetta. Kahden alueista (Vanneskorpi, Konilamminsuu) on käytetty toistaiseksi puskurivyöhykkeen muodostamisen aiheuttamien vedenlaatuvaikutusten (suon vetäminen, puuston hakkuu) selvittämiseen; Soimasuon alueella on selvitetty puskurin tehokkuutta kunnostusojituksen aiheuttaman kuormituksen pienentämisessä.

Kurun Vanneskorven tutkimusalueen alapuolinen ojitusalue ennallistettiin kesällä 1996. Alue on erittäin eroosioherkkää; jo ennen hakkuita vanhojen metsäojien syöpyminen on aiheuttanut ajoittain voimakasta kiintoainekuormitusta. Valuma-alueella tehtävien hakkuiden aiheuttaman kuormituksen määrää tullaan seuraamaan mittapadolla kalibrointikausi — vertailualueen menetelmään perustuen (Saukkonen & Seuna 1995). Puskurivyöhyke on muodostettu Kuvan 1A mukaisesti.

Oriveden Konilamminsuu on tutkimuksen intensiivikoealue. Ennallistettu alue on vajaan hehtaarin suuruinen; noin puolet alueesta on hakattu avoimeksi, osa on edelleen puustoinen. Koealue ennallistettiin jo keväällä 1995 ja kasvillisuuden muuttuminen metsäkasvillisuudesta suokasvillisuudeksi on ollut yllättävän nopeaa. Merkittävin kasvillisuusmuutos Konilamminsuon vetetyllä alueella on ollut tupasvillan voimakas lisääntyminen: keskimääräinen peittävyys oli ennen vettämistä vuonna 1994 vain 3–5% ja loppukesällä 1995 jo lähes 70% (Komulainen ym. 1998). Syväjuurinen tupasvilla (*Eriphorum vaginatum* L.) voi olla merkittävä biologinen komponentti suhteellisen pitkäkestoisessa ravinteiden pidätyksessä (Chapin ym. 1979).

Alueella on tutkittu muodostetun puskurivyöhykkeen ja sen muodostamisen (ojien tukkiminen, puuston poisto) vaikutusta turpeen läpi suodattuvan veden laatuun. Jatkossa alueella tutkitaan typi- ja fosforikuormituksen pidättymistä puskurin eri komponentteihin. Puskurivyöhyke ja tulevan veden syöttö on muodostettu Kuvan 1B mukaisesti.



Kuva 1. Periaatekuva puskurivyöhykkeen muodostamisesta metsäojitetulle suolle (A) tai suon osalle (B). Vesi syötetään A tapauksessa kapeahkon juotin keskelle, johon on muodostunut reunaojien aiheuttaman suuremman painumisen vuoksi korkeampi harjanne. Syöttöoja on tällaisissa tapauksissa pyrittävä päättämään "harjanteelle", jotta veden suotautuminen olisi mahdollisimman tasaista. Ojien patoaminen ja täyttäminen on suunniteltava siten, että niiden kohdalle ei muodostu pintavalumauomia. Tapauksessa B syöttö tapahtuu ns. 0-kaltevuusojan kautta (oja on suunnilleen korkeuskäyrien suuntainen).

Fig. 1. The principle of the buffer zone formation. In case A, the feeder ditch is planned to end at the higher ridge between the ditches to ensure an even subsurface water flow into the buffer. The ditches should be blocked/filled in such a way that surface flow channels would not be formed on them. In case B, water is fed into the buffer through a so called 0-slope ditch (the ditch is planned in the direction of the contour lines).

Soimasuo kunnostusojitettiin kesällä 1998. Suon alaosilla järveen rajoittuen on kapeahko (n. 60 m) paksuturpeinen korpinotkelma, josta muodostettiin tutkimuksen kohteena oleva puskurivyöhyke tukkimalla ojat lokakuussa 1996. Syöttöoja on kaivettu ns. 0-kaltevuusojana aiemmin avohakattuun korpinotkelmaan soveltaen Kuvan 1A ja B periaatteita.

Alueella tutkitaan ensivaiheessa yläpuolisen ojitusalueen kunnostuksessa syntyvän kuormituksen pidättymistä puskuriin (kesä 1998). Kunnostusojitusalueen vedet valuvat puskurin kautta, jonka ala on vain alle 1% koko valuma-alueesta. Pus-

kuri on avohakattu n. 5 vuotta sitten; ennen hakkuuta alue oli runsaspuustoinen kuusivaltainen korpikuvio, sekapuuna koivua. Alueen kasvillisuus oli jo reagoinut hakkuuseen ennen ennallistamista, sammalpeite oli lähes yhtenäinen, mutta talvella 1996–97 tehdyn ennallistamisen jälkeen kasvillisuuden kehittyminen on ollut hyvin voimakasta. Rahkasammalkasvusto on kasvanut korkeutta n. 10 cm vuodessa vettä ja hakkuun jälkeen, ja saattaa siten muodostaa merkittävän ravinteita pidättävän kasvillisuuskomponentin syntyneen koivunuorennoksen ohella.

Koalueilla mitataan valunta, ja vedenlaatu-

seurannassa ovat sekä tuleva että lähtevä vesi, josta analysoidaan seuraavat aineet: orgaaninen C, epäorgaaninen C, kokonais-N, ammonium-N, nitraatti-N, kokonais-P, fosfaatti-P, Na, K, Ca, Mg, Fe, Mn, Al, sulfaatti, Cl, pH, alkaliniteetti, kiintoaine ja johtokyky.

TULOKSET JA TARKASTELU

Puskurin muodostamisen (ennallistamisen) vaikutus veden laatuun

Vanneskorpi

Ennen ennallistamista tulevan ja lähtevän veden ainepitoisuudet olivat likimain samat (Taulukko 1). Ennallistaminen on pysäyttänyt kiintoaineen käytännössä kokonaan; liuenneen orgaanisen aineksen pitoisuus puskurista lähtevässä vedessä (mitattuna kemiallisesti hapettuvan orgaanisen aineksen määränä, COD) on taas noussut. Kokonaistypen konsentraatio on hieman noussut, pääosan ollessa orgaanista, osin ammoniumtyyppä, mutta nitraatti on vähentynyt. Kokonaisfosforia on pidättynyt keväällä (70–90 mg l⁻¹ pitoisuuden alenema), mutta vapautunut syksyllä; pitoisuus jäi marras- joulukuulla tasolle < 90 mg l⁻¹. Fosfaattifosforin kohonut taso ennallistamisen jälkeen v. 1997 näky selvästi Kuvassa 2. Taulukon 1 lukuja ei ole painotettu virtaamalla, joten ne yliarvoivat fosforin vapautumista ja aliarvioivat kiintoaineen pidättymistä.

Fosforin, ammoniumtypen ja liuenneen orgaan-

nisen aineksen mobilisoituminen on tunnettu ilmiö turvemaiden hakkuiden yhteydessä (esim. Ahtiainen 1990). Tässä tapauksessa hakkuu koskee vain ennallistettua suon osaa (n. 2% valuma-alueesta), joten on odotettavissa, että ilmiö on lyhytaikainen veden tehokkaan vaihtuvuuden vuoksi. Huomattavaan fosforin vapautumiseen on voinut vaikuttaa myös se, että ennallistettu ojitusalue on lannoitettu ja sinne on kertynyt jossain määrin eroosioaineiden mukana fosforia jo ennen ennallistamista (Taulukko 1). Soiden on esitetty toimivan eroosioaineiden sisältämän fosforin nieluina, mutta voidaan lisätä liuenneen fosforin huuhtoutumista mobilisoimalla sitä eroosioaineksesta (esim. Gehrels & Mulamootil 1989).

Nitraattipitoisuudet ovat hyvin alhaisia, mutta silti ennallistettu alue alentaa niitä entisestään (Taulukko 1). Avohakkuiden yhtenä merkittävänä kuormitusmuotona pidetään juuri nitraattityppä, jonka pidättämisessä soita pidetään erityisen tehokkaina (esim. Jacks ym. 1994). Nitraattityypen huuhtoutuminen avohakkuun jälkeen kasvaa pienellä viiveellä, jolloin puskurivyöhykkeen kasvillisuudella on aikaa kehittyä ennen kuormitushuippua. Vanneskorven kasvillisuuden luonne muuttui välittömästi vettämiseen liittyvän puuston poiston yhteydessä: huomattava osa "metsäkasveja" kuoli ja rahkasammalet ja tupasvilla alkoivat lisääntyä syöttöajan läheisyydessä.

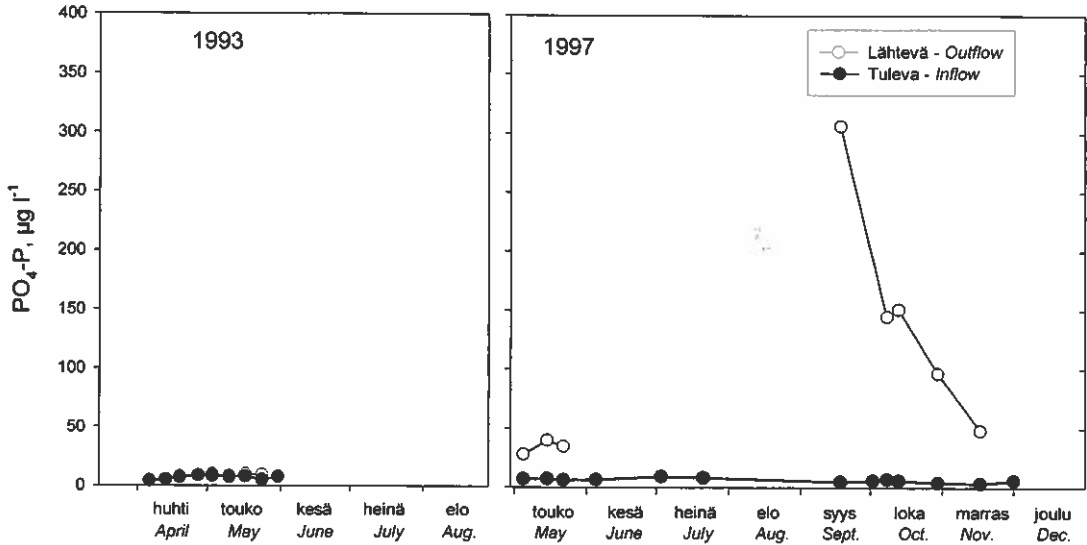
Konilamminsuo

Alue poikkeaa muista siinä, että ennallistetun alueen osuus valuma-alueesta on huomattavan

Taulukko 1. Keskimääräiset ainekonsentraatiot Vanneskorven puskurin tulevassa ja lähtevässä vedessä ennen ja jälkeen puskurin muodostamisen (ojien patoaminen, puuston hakkuu).

Table 1. Mean concentrations of suspended solids, COD and various elements and compounds in the inflow and outflow water of the Vanneskorpi buffer zone before and after the construction of the buffer (including blocking of ditches and cutting of the tree stand).

	kiinto-aine <i>suspended solids</i> , mg l ⁻¹	COD mgO l ⁻¹	kok. P <i>tot. P</i> , µg l ⁻¹	kok. N <i>tot. N</i> , µg l ⁻¹	NH ₄ -N µg l ⁻¹	NO ₃ -N µg l ⁻¹
Ennen — <i>Before</i> (n= 9):						
Tuleva — <i>Inflow</i>	156	18	154	366	32	31
Lähtevä — <i>Outflow</i>	123	17	141	347	36	31
Jälkeen — <i>After</i> (n= 12):						
Tuleva — <i>Inflow</i>	42	19	39	314	9	7
Lähtevä — <i>Outflow</i>	1	34	128	619	98	3



Kuva 2. Fosfaattikonsentraatiot Vanneskorven puskurin tulevassa ja lähtevässä vedessä vuonna 1993 ennen puskurin muodostamista (suon osan vettämistä ja puuston hakkuuta) ja sen jälkeen (v. 1997). Huomaa lähtevän veden vahvasti kohonnut konsentraatio suon vettämissen ja hakkuun jälkeen tällä alueella.

Fig. 2. Phosphate concentrations in the inflow and outflow water of the Vanneskorvi buffer zone before (1993) and after (1997) the construction of the buffer (including blocking of ditches and cutting of the tree stand). The phosphate concentrations in the outflow water were clearly raised after the operations in this area.

suuri, n. 20%. Pääosa tulevasta vedestä tulee läheisestä Konilammesta (etenkin ylivalumakausina); osa tulee pohjavesivaluntana viereisestä Vatiharjusta.

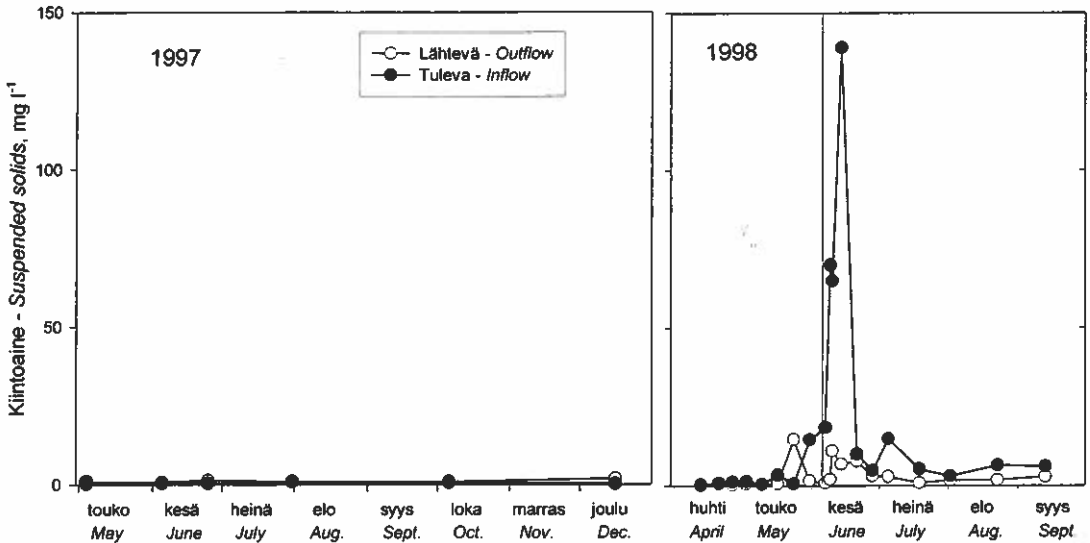
Suopuskurin suuren suhteellisen koon vuoksi (suon osuus lisääntyi merkittävästi valuma-alueella) ennallistamisen vaikutus vedenlaatuun on merkittävä. Lähtevän veden humusaines on lisääntynyt suhteessa tulevaan veteen ja sen kautta myös kokonaistypen ja -fosforin pitoisuudet ovat nous-

seet (Taulukko 2). Puskurista lähtevän veden rauta- alumiini- ja sulfaattipitoisuudet ovat laskeneet selvästi tulevaan veteen verrattuna. Sulfaatin pidättyminen on selkeintä kasvukaudella. Puskurivyöhykkeillä voi olla täten edullisia vaikutuksia myös vedenlaadun kannalta haitallisten metallien sekä antropogeenisen happamuuden pidättäjinä, joskin sulfaatin pidättyminen (neutraloiva prosessi) kompensoituu ainakin lyhytaikaisesti heti ennallistamisen jälkeen huuhtoutuvan humushappa-

Taulukko 2. Keskimääräiset ainekonsentraatiot Konilamminsuon puskurin tulevassa ja lähtevässä vedessä puskurin muodostamisen jälkeen (ojien patoaminen, puuston hakkuu). Tuleva A = Konilammesta pääosin tuleva vesi; Tuleva B = harjun pohjavettä.

Table 2. Mean concentrations of suspended solids, COD and various elements and compounds in the inflow and outflow water of the Konilamminsuo buffer zone after the construction of the buffer (including blocking of ditches and cutting of the tree stand). Inflow A = water mainly from the Konilampi pond; Inflow B = ground water from the adjacent esker.

	kiinto-aine, mg l ⁻¹ suspended solids	COD mgO l ⁻¹	kok. P tot. P, µg l ⁻¹	kok. N tot. N, µg l ⁻¹	NH ₄ -N µg l ⁻¹	NO ₃ -N µg l ⁻¹
Tuleva A — Inflow A	1,1	34	18	560	64	7
Tuleva B — Inflow B	0,7	5	4,4	140	38	8
Lähtevä — Outflow	1,2	46	25	775	59	6



Kuva 3. Kiintoainekonsentraatiot Soimasuon puskurin tulevassa ja lähtevässä vedessä vuonna 1997 ennen yläpuolisen suon kunnostusojitusta ja ojituksen jälkeen 1998. Lähes koko aiheutunut kiintoainekuormitus on pidättynyt puskurin. Katkoviiva vuoden 1998 kuvassa osoittaa kunnostusojituksen ajankohdan.

Fig. 3. Suspended solids in the inflow and outflow water of the Soimasuo buffer zone before (1997) and after the maintenance of the ditch system of the above forest drainage area in June 1998. The suspended solids load has been retained almost completely in the buffer zone. The dashed line in the graph of 1998 shows the time of the maintenance operation.

muuden kasvun kautta. Jälkimmäisen ilmiön kesto on tosin vaikea arvioida — on mahdollista, että ennallistamisen alkuvaiheessa suosta huuhtoutuu normaalia enemmän humusaineita ennallistamista edeltävän pitkäaikaisen kuivatusvaiheen maatumisprosessien tuloksena. Havaitut orgaanisen aineksen (COD) pitoisuusarvot (Taulukko 2) eivät kuitenkaan ole poikkeuksellisia suoalueille; esimerkiksi läheisen Lakkasuon ojitusalueilla COD:n keskiarvot valumavedessä vaihtelevat välillä 40–50 mg O l⁻¹. Happamuuden lisääntymiseen on vaikuttanut myös emäskationien sitoutuminen ja vaihtuminen vetyioneihin turpeen kationinvaihtopaikoilla.

Kokemukset Soimasuon kunnostusojituksesta

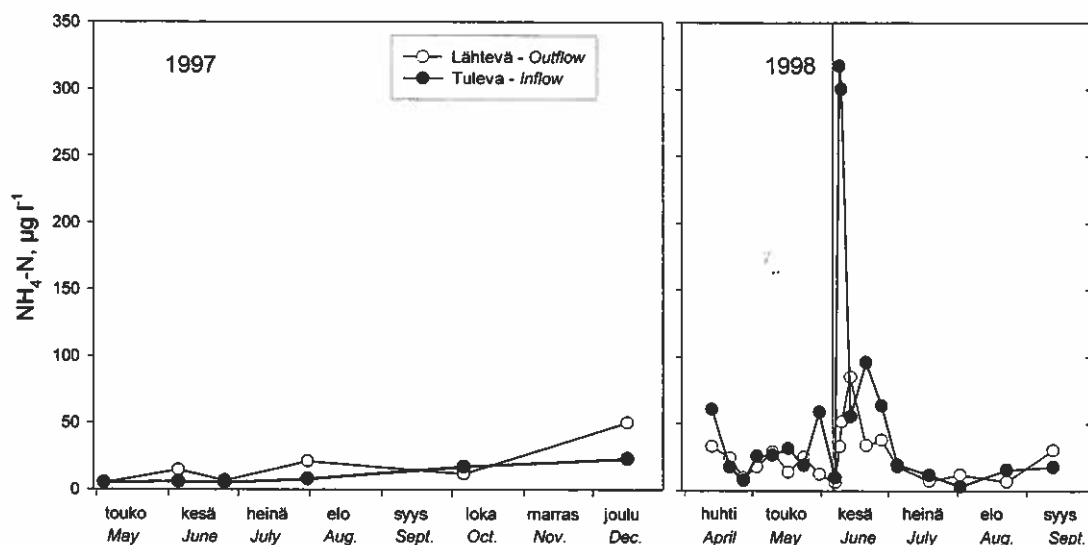
Soimasuon kunnostusojitus toteutettiin kesäkuun alussa 1998 perkaamalla kaikki n. 5 ha:n suuruisen ojitusalueen kuivatusojat. Osa ojista ulottui perkauksen jälkeen hiesun-saven muodostamaan pohjamaahan. Ojien perkaus aiheutti välittömästi kiintoaineen ja ravinteiden, etenkin typen ja fosforin pitoisuuksien lisääntymisen alueelta purkautu-

vassa vedessä (Kuvat 3 ja 4). Myös raudan ja mangaanin pitoisuudet kasvoivat ja alkaliniteetti lisääntyi. Pitoisuushuippujen kesto oli kuitenkin lyhytaikainen.

Puskurin alapuolisesta ojasta otettujen vesinäytteiden analyysit osoittivat, että suurin osa tulevan veden kohonneista ainemääristä pidättyi puskurin. Tuleva kiintoaine pidättyi puskurin lähes kokonaan (Kuva 3) ja ammoniumtypen konsentraatiolisäyksestä leikkautui n. 2/3 (Kuva 4). Kokonaistypen, kokonais- ja fosfaattifosforin sekä raudan ja mangaanin pidättyminen oli samansuuntaista kuin ammoniumtypen.

PÄÄTELMIÄ

Alustavien kokemusten perusteella tulevan veden syöttö puskurin on paras tehdä ns. 0-kaltevuusojan kautta, jos se on alueen muodon puolesta mahdollista. Kapeilla juuteilla syöttöojan voi päättää suon korkeimpaan kohtaan, joka sijaitsee useimmiten juotin keskellä, jos kummallakin reunalla on oja (Kuva 1A). Puskurin on pyrittävä muodostamaan siten, että mahdollisimman suuri osa vedestä



Kuva 4. Ammoniumtyypen konsentraatiot Soimasuon puskurin tulevassa ja lähtevässä vedessä vuonna 1997 ennen yläpuolisen suon kunnostusojitusta ja ojituksen jälkeen 1998. Suurin osa kunnostusojituksen aiheuttamasta ammoniumtyppikuormituksesta on pidättynyt puskurin. Katkoviiva vuoden 1998 kuvassa osoittaa kunnostusojituksen ajankohdan.

Fig. 4. Concentrations of ammonium in the inflow and outflow water of the Soimasuo buffer zone before (1997) and after the maintenance of the ditch system of the above forest drainage area in June 1998. The ammonium-N load brought about by ditching has been retained almost completely in the buffer zone. The dashed line in the graph of 1998 shows the date of the maintenance operation.

kulkee pintakerrosvaluntana. Näin veden kontakti puskurin eri pidätysprosesseihin on mahdollisimman tehokas.

Puskurin muodostaminen (suon tai suon osan ennallistaminen) voi aiheuttaa joissakin tapauksissa (Vanneskorven esimerkki) kohonneita fosfaatin ja ammoniumtyypen konsentraatioita lähtevään veteen ainakin lyhytaikaisesti. Tätä voidaan torjua poistamalla puskurista kaikki vedenpinnan nousun vuoksi kuoleva puusto kokopuukorjuuna. Tällöin hakkuutähteistä vapautuvat ravinteet eivät vapaudu puskurissa vaiheessa, jolloin ravinteita pidättävä kasvillisuus on heikoimmillaan. Fosfaattipäästöjä voitaneen joissakin tapauksissa vähentää myös kalkitsemalla (fosforin sitoutuminen kalsiumfosfaatiksi), etenkin jos alapuolinen vesistö kärsii happamoitumisesta.

Soimasuon kokemusten perusteella ennallistamalla tehty puskurivyöhyke pidättää varsin hyvin kunnostusojituksen aiheuttamat kohonneet aine-määrät purkautuvasta vedestä konsentraatiomuutosten perusteella arvioituna. Vaikutusten kokonaisarviointi edellyttää kuitenkin pitempiäaikaista seurainta.

Puskurivyöhykkeen merkitys ei rajoitu metsä-

ojitetun suon kunnostusojituksen aiheuttamien haittojen torjuntaan, vaan sen kautta suotautuvat koko valuma-alueen vedet. Tällöin myös alueeseen kuuluvien kangasmetsien käsittelystä aiheutuneet vesistöhaitat pienenevät.

KIITOKSET

Jouni Meronen, Veli-Matti Komulainen ja Tapio Aitolahti vastasivat suurelta osin koelalueiden maastosuunnittelusta ja toteutuksesta; Jouni Meronen on lisäksi vastannut mittauksista ja näytteenotosta. Vesinäytteet on analysoitu Pirkanmaan ympäristökeskuksen laboratoriossa. Metsähallitus, UPM-Kymmene ja Hannu Valkeejoki ovat luovuttaneet alueitaan tutkimuksen käyttöön. Tutkimustyön rahoitus on tullut pääosin maa- ja metsätalousministeriöltä. Hytyälän metsäsema on luonut erinomaiset puitteet työn suoritukselle logistiikan osalta. Kiitokset kaikille työn mahdollistajille.

KIRJALLISUUS

Ahtiainen, M. 1990. The effects of clear-cutting and forestry drainage on water quality of forest brooks. Publications of the Water and Environment Administration, series A, 45: 1-122.

- Chapin, F. S., Van Cleve, K. & Chapin, M. C. 1979. Soil temperature and nutrient cycling in the tussock growth form of *Eriophorum vaginatum*. *Journal of Ecology* 67: 169–189.
- Devito, K. J. 1995. Sulphate mass balances of Precambrian Shield wetlands: the influence of catchment hydrology. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 52: 1750–1760.
- Dunson, W. A. & Martin, R. R. 1973. Survival of brook trout in a bog-derived acidity gradient. *Ecology* 54: 1370–1376.
- Emmett, B. A., Hudson, J. A., Coward, P. A. & Reynolds, B. 1994. The impact of a riparian wetland on streamwater quality in a recently afforested upland catchment. *Journal of Hydrology* 162: 337–353.
- Gehrels, J. & Mulamootil, G. 1989. The transformation and export of phosphorus from wetlands. *Hydrological Processes* 3: 365–370.
- Heikkinen, K., Ihme, R. & Lakso, E. 1994. Ravinteiden, orgaanisten aineiden ja raudan pidättymiseen johtavat prosessit pintavalutuskentällä (Summary: Processes contributing to the retention of nutrients, organic matter and iron in an overland flow wetland system). *Publications of the Water and Environment Administration, Series A*, 193: 1–81.
- Jacks, G., Joellsson, A. & Fleischer, S. 1994. Nitrogen retention in forest wetlands. *Ambio* 23: 358–362.
- Komulainen, V.-M., Nykänen, H., Martikainen, P. J. & Laine, J. 1998. Short-term effect of restoration on vegetation succession and methane emissions from peatlands drained for forestry in southern Finland. *Canadian Journal of Forest Research* 28: 402–411.
- Leonardson, L. 1994. Wetlands as nitrogen sinks — Swedish and international experience. *Naturvårdsverket, Rapport 4176*: 1–265.
- Ross, S. M. 1995. Overview of the hydrochemistry and solute processes in British wetlands. (Teoksessa) Hughes, J. & Heathwaite, A. L. (toim.). *Hydrology and hydrochemistry of British wetlands*, pp. 133–181. John Wiley & Sons Ltd., Chichester.
- Saukkonen, S. & Seuna, P. 1995. Metsänuudistamisen vesistövaikutukset: kalibrointitajan tuloksia. (Teoksessa) Saukkonen, S. & Kenttämies, K. (toim.). *Metsätalouden vesistövaikutukset ja niiden torjunta. METVE-projektin loppuraportti. Suomen ympäristö 2*, pp. 413–416. Suomen ympäristökeskus, Helsinki.
- Shoty, W. 1988. Review of the inorganic geochemistry of peats and peatland waters. *Earth Science Reviews* 25: 95–176.
- Shoty, W. 1997. Atmospheric deposition and mass balance of major and trace elements in two oceanic peat bog profiles, northern Scotland and the Shetland Islands. *Chemical Geology* 138: 55–72.
- Vasander, H., Tuittila, E.-S., Komulainen, V.-M., Laine, J. & Sallantaus, T. 1998. Restoration of peatlands drained for forestry in Finland. *Proc. of the Int. Peat Symposium "Peatland restoration and reclamation — Techniques and Regulatory Considerations"*, Duluth, Minn. USA, 14–18 July, 1998, pp. 88–93. International Peat Society, Jyväskylä.

SUMMARY:

Prevention of detrimental impacts of forestry operations on water bodies using buffer zones created from drained peatlands

The prevention of detrimental impacts of forestry operations has gained increasing importance lately. The two most important problems are connected with the water quality changes and with the decrease of species diversity. Before large-scale drainage in Finland, the outflowing water from forests (as a subsurface or ground water flow) was naturally filtered through peatlands. The even topography, dense moss cover and the favourable physical, chemical and biological properties of surface peat facilitate versatile buffering functions in these systems. In agricultural watersheds, the possibilities of natural or artificial wetlands in restoration of watercourses has been recognized already for a long time. In addition to retaining suspended solids, peatlands may act as traps for nutrients or harmful metals. The long-term reten-

tion rates may be moderate, but in the case of suddenly increased loading due to e.g., forestry operations, the retention may be substantial.

Major part of these buffering systems have been lost as a result of forestry drainage. Restoring drained peatlands, being potentially well suited to act as a buffer zone between forestry land and a watercourse, is the major reason for rewetting outside nature reserves. Potentially each drainage area should include a restored part through which waters both from the drainage area itself and from the surrounding upland forest catchment would be filtered. Restoration and subsequent liming of mires could also be used to improve the water quality of acidified waterbodies.

The objective of this paper is to discuss the potential of restored peatlands, previously drained

for forestry, in preventing detrimental impacts of forestry. The discussion is largely based on literature and preliminary results from our experimental sites.

Our hypothesis is that after rewetting, when the formation of a new acrotelm is initiated, the peat accumulation may be substantially higher than the long-term peat accumulation rates in geologically old peatlands, being similar to accumulation values in recently paludified areas, i.e. even above $100 \text{ g m}^{-2}\text{a}^{-1}$ of organic matter for several decades. In the case of phosphorus, with typical concentrations in surface peat for natural mesotrophic sites, this would mean a rate of P accumulation of about $200 \text{ mg m}^{-2}\text{a}^{-1}$ which is about 20 times the normal leaching values in forested areas in Finland.

Financed by the Forest and Park Service, Ministry of Agriculture and Forestry, and UPM-Kymmene we have started peatland restoration experiments to create buffer zones for preventing the possible detrimental effects forestry operations (cuttings, soil preparation, fertilization) in the catchment area might have on the water quality of the down stream water courses.

The water inputs and outputs at the sites are monitored for water quality and the following water quality variables are measured: organic C,

inorganic C, N, ammonium, nitrate, P, phosphate P, Na, K, Ca, Mg, Fe, Mn, Al, sulphate, Cl, pH, alkalinity, suspended solids and conductivity.

Two of the sites (Vanneskorpi, Konilammisuo) have been presently used for studying the effects of building the buffer zone (rewetting, cutting of the tree stand) on the quality of the outflow water. The Spimasuo site is used for testing the applicability of restored mires in reducing the load caused by ditch maintenance, a major task in forest drainage areas in the near future.

The short term observations indicate that buffers created from drained peatlands by restoration measures, can act as efficient buffers between forests and water courses by trapping suspended solids, nutrients and harmful metals from the inflow water (Figs. 2–4; Tables 1–2). A longer period of monitoring is, however, needed before quantitative conclusions of the effectiveness can be drawn. Also vegetation development, especially the returning of *Sphagna* is a slow process, and consequently evaluation of its importance as a long term nutrient sink needs further research. Cottongrass (*Eriophorum vaginatum* L.) appears to expand soon after clearcutting and rewetting and, as it is efficient in carbon fixation and forming new biomass, it may be the most promising nutrient sink in the early phases of the buffer.

Received 6.10.1998, accepted 13.10.1998