

ERÄÄN SUOALUEEN OJITUKSEN VAIKUTUS PUROVESIEN LAATUUN KIIMINKIJOEN VESISTÖ-ALUEELLA, POHJOIS-SUOMESSA

PEKKA HYNNINEN ja PENTTI SEPPONEN

Summary

THE EFFECT OF DRAINAGE ON THE QUALITY OF BROOK WATERS IN THE KIIMINKIJOKI RIVER BASIN, NORTHERN FINLAND

Saapunut toimitukselle 3. 1. 1983

Tutkimuksessa käsitellään metsäojituksen vaikutusta seuraaviin purojen veden laatutekijöihin: pH, sähkönjohtavuus, kiintoaine, väri, NO₂-, NO₃- ja NH₄-typpipitoisuus, liuennut- ja kokonaisfosforipitoisuus sekä Ca-, Mg-, K- ja Fe-pitoisuus. Tutkimuskohteena on joukko virtaamaltaan pieniä puroja, Kiiminkijoki ja sen suurin sivujoki Nuorittajoki.

Kiintoaineen määrän todettiin lisääntyvän purojen vedessä ojituksen yhteydessä. Kiintoainepitoisuus näytti osalla alueista kuitenkin palautuvan melko pian lähelle ojitusta edeltävää tasoa. Veden happamuudessa havaittiin tilastollisesti merkitsevä muutos vain yhdessä purossa, jonka pH-arvo nousi n. 0,9-yksikköä.

Kasviravinteiden suhteen merkittävin muutos todettiin ammoniumtyypen pitoisuudessa. Ammoniumtyppi lisääntyi ojituksen jälkeen tilastollisesti merkitsevästi kaikissa puroissa, jotka tulevat ojitusalueilta. Suurimmillaan pitoisuus kohosi jopa 18-kertaiseksi ojitusta edeltäneeseen tasoon verrattuna.

JOHDANTO

Metsäojituksen vaikutusta soiden hydrologiaan on tarkasteltu useissa suomalaisissa julkaisuissa (esim. Huikari 1959, Heikurainen 1976, Mustonen ja Seuna 1971, Ahti 1977 ja 1979, Hyvärinen ja Vehviläinen 1978, Starr ja Päivänen 1981 ja Heikurainen ja Joensuu 1981). Metsäojituksen aiheuttamia muutoksia suolta purkautuvien vesien laatuun on myös tutkittu jonkin verran (Kenttämies 1972, 1977 ja 1979, Korpilampi ja Pheneey 1976, Heikurainen ym. 1978).

Ojitus lisää soilta vuosittain valuvaa vesimäärää ja suurentaa aluksi myös yli- ja alivalumia (Mustonen ja Seuna 1971). Ojitusalueen vanhetessa ja puuston mahdollisesti kehittyessä valunta sitten vähitellen pienenee. Samoin ainakin kesäiset valumahuiput

pienenevät vähäpuustosiin tai avoimiin luonnontilaisiin soihin verrattuna (Heikurainen ym. 1978).

Ojitusajan aikana suolta on todettu purkautuvan runsaasti kiinteää ja liuennutta humusta. Kiintoaineen huuhtoutuminen vähenee pian ojituksen jälkeen jääden kuitenkin ainakin seuraavan vuoden ajaksi huomattavasti luonnontilaisista suuremmaksi (Heikurainen ym. 1978). Kiintoainehuuhtoutuman kasvun voitaneen olettaa vaikuttavan myös kokonaisfosfori- ja typpipitoisuuteen. Selvintä on eräällä tutkimusalueella kuitenkin todettu olleen ammoniumtyypen pitoisuuden kasvun (Kenttämies 1979).

Turvemaita lannoitetaan useimmiten fosforia ja kaliumia sisältävillä lannoitteilla

REFERENCES

DELLA RIVA L. & BERG, A. 1978. Soil-water content and drainage for reproduction as affected by forest and needle age. For. Sci. 24: 189-194.

DELLA RIVA, M. 1975. L'absorption des photographes géométriques pour le calcul de la pente relative des courbes de drainage en topographie. Ann. Inst. Géogr. Univ. de Strasbourg, Sér. B, No. 22: 75-92.

FLOWER, ELLIS, J., ALBREKTSSON, A. & LIND, SOREN, E. 1976. Drainage and growth of spruce. Ann. Agric. Res. Inst. (H) Helsingfors, and Swedish Institute of Forest Research, Stockholm. For. Res. Rep. 7: 1-24.

KELLOMÄKI, S., HARTI, P., RANNINEN, M. & RYÖMÄ, P. 1980. Kasvuympäristön vaikutus metsäojituksen vaikutuksiin. Silva Fennica 1980: 23-43.

HUIKARI, E. 1959. Metsäojituksen vaikutus soiden hydrologiaan. For. Res. Rep. 1: 1-10.

HEIKURAINEN, J. 1976. Metsäojituksen vaikutus soiden hydrologiaan. For. Res. Rep. 1: 1-10.

MUSTONEN, J. & SEUNA, J. 1971. Metsäojituksen vaikutus soiden hydrologiaan. For. Res. Rep. 1: 1-10.

AHTI, J. 1977. Metsäojituksen vaikutus soiden hydrologiaan. For. Res. Rep. 1: 1-10.

HYVÄRINEN, J. & VEHVILÄINEN, J. 1978. Metsäojituksen vaikutus soiden hydrologiaan. For. Res. Rep. 1: 1-10.

STARR, J. & PÄIVÄNEN, J. 1981. Metsäojituksen vaikutus soiden hydrologiaan. For. Res. Rep. 1: 1-10.

HEIKURAINEN, J. & JOENSUU, J. 1981. Metsäojituksen vaikutus soiden hydrologiaan. For. Res. Rep. 1: 1-10.

KENTTÄMIES, J. 1972, 1977 ja 1979. Metsäojituksen vaikutus soiden hydrologiaan. For. Res. Rep. 1: 1-10.

KORPILAMPI, J. & PHENEY, J. 1976. Metsäojituksen vaikutus soiden hydrologiaan. For. Res. Rep. 1: 1-10.

HEIKURAINEN, J. ym. 1978. Metsäojituksen vaikutus soiden hydrologiaan. For. Res. Rep. 1: 1-10.

(Huikari ja Paavilainen 1972). Lannoituksen on havaittu lisäävän huuhtoutuvan fosforin määrää useiden vuosien ajaksi (Kenttämies 1980). Oman erityisongelmansa muodostavat pääasiassa Pohjanmaalla ja Lounais-Suomessa sijaitsevat alunapitoiset Litorinameren pohjasavet. Näiden alueiden kuivaaminen saattaa aiheuttaa sulfidin hapettumista rikkihapoksi ja sen huuhtoutumista vesistöön (Pätilä 1982).

Siihen, miten edelläesitetyt ilmiöt käytännössä näkyvät, saattavat vaikuttaa sekä alueen ilmasto- että edafiset tekijät. Turpeen paksuus ja turpeen alla olevan kivennäismaan tekstuuri ovat tässä suhteessa ilmeisesti hyvin ratkaisevia (Konstantinov ja Suhorukova 1980). Ohutturpeisilla ojitusalueilla, joilla kivennäismaa on hienojakoista ja ojat ulottuvat kivennäismaahan saakka, liikkeelle lähtevän kiintoaineksen määrä ja laatu on tietysti erilainen kuin paksurpeisilla soilla. Myös metsittymisen onnistumisella saattaa olla ratkaiseva vaikutus siihen, miten edellä kuvailtu kehitys käytännössä toteutuu.

Tässä tutkimuksessa tarkastellaan metsäojituksen vaikutusta eräiden Kiiminkijoen vesistön purojen veden laatuun. Kiiminkijoen vesistö kuuluu kansainväliseen Project Aquavesiensuojeluohjelmaan (Luther ja Rzoska 1971), jossa se edustaa polyhumosista, luonnontilaista vesistöä. Vesistön tilan muuttaminen likaantumisen, padotuksen tai muun syyn vuoksi ei saisi tulla näinollen kysymykseen.

Vesistöön tuleva kuormitus on asutuksen sekä maa- ja metsätalouden aiheuttamaa. Näinollen myös maa- ja metsätalouden aiheuttaman ravinnekuormituksen kaikinpuolinen tutkimus on hyvin tärkeää. Tämän tutkimuksen keskeisenä lähtökohtana on ollut palvelu Project Aquan tavoitteita.

Tämä julkaisu on osa laajempaa tutkimusta, jota on tehty Ylikiimingissä, Nuorittajoen varressa tapahtuvien metsäojitusten ekologisten vaikutusten selvittämiseksi. Tutkimus aloitettiin v. 1971 ja rahoittajana toimi vuoteen 1976 saakka Suomen Akatemia. Kenttätutkimukset suunnitteli ja johti pääasiallisesti FT Heikki Haapala. Kenttä- ja laboratorioututkimuksissa ovat tekijöitä avustaneet LuK Ritva Hiltunen, FL Juhani Häggman ja FL Eero Kaakinen.

Allekirjoittaneet ovat suunnitelleet käsikirjoituksen yhdessä. Osia nyt julkaistavasta aineistosta sisältyy Pekka Hynnisen lisensoitettuihin tutkimuksiin, jonka hän on tehnyt Oulun yliopiston kasvitieteen laitokselle. Pentti Sepponen on käsitellyt aineiston uudelleen, mihin työhön myös Hynninen on osittain osallistunut. Sepponen on laatinut käsikirjoitusluonnoksen johdantoa, "aineisto ja menetelmät" -osaa ja osittain "tutkimustulokset" -osaa varten. Hynninen on laatinut "tutkimustulokset" -osan käsikirjoitusluonnoksesta etenkin kasviraivanteita käsittelevät kohdat ja pääasiallisesti osan "tulosten tarkastelu". Käsikirjoitus on viimeistelty yhdessä. Aineiston käsittelyssä ja osittain myös kuvien puhtaaksi piirtämisessä on tekijöitä avustanut tutkimusapulainen Raimo Pikkupera. Käsikirjoituksen ovat lukeneet mm. MMK Kaarle Kenttämies ja MMT Juhani Päivänen. Englanninkieliset osat on kääntänyt valantehnyt kielenkääntäjä Richard Foley. Lausumme edellämainituille samoin kuin muillekin julkaisun syntymiseen myönteisesti vaikuttaneille parhaat kiitokset.

AINEISTO JA MENETELMÄT

Tutkimusalue ja ilmasto

Tutkittu Kiiminkijoen vesistön osa sijaitsee Ylikiimingissä, Pohjois-Pohjanmaalla (kuva 1). Alueen koordinaatit ovat 65°06'N, 26°20'E.

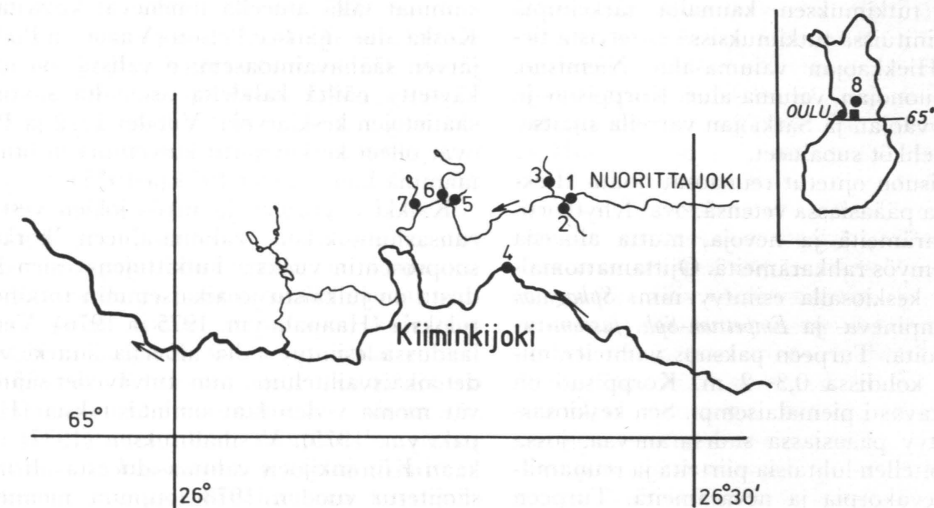
Alue on kallioperältään Pohjois-Pohjanmaan liuskevyöhykettä, jolle on ominaista staurolitiiliuske (Enkovaara ym. 1953, s. 108–113). Tarkkaa maalajikartoitusta ei ole käytettävissä, mutta alueella tehtyjen havaintojen mukaan kivennäismaapeite muodostuu pääasiassa hiekka- ja hietamoreenista sekä hiekasta. Hienojakoisia lajittuneita maalajeja

esiintyy lähinnä vain jokien penkoissa pienialaisina.

Tässä työssä on käsitelty Ylikiimingin tutkimusalueen viidestä purosta, yhdestä kohtaa Nuorittajoesta ja yhdestä kohtaa Kiiminkijosta otettuja vesinäytteitä. Näytteidenotto-paikat on merkitty karkeasti kuvaan 1. Nuorittajoen, Kiiminkijoen ja Tulvapuron näytteitä on käytetty referenssinä edustamaan virtaavaa vettä, jossa ojituksen vaikutus ei näy. Toisena luonnontilaisena vertailupurona on käytetty Kirsiojaa, joka sijaitsee kokonaan toisella alueella Livojoen varressa Pudasjärven kunnassa (kuva 1). Kirsiojan analyysiai-

Taulukko 1. Tietoja tutkittujen purojen pienväluma-alueista.
Table 1. Data on the catchment areas of the individual brooks studied.

	Kokonais-pinta-ala Total area (km ²)	Kivennäis- maa-% Mineral soil (%)	Suo-% Peatland (%)	Metsä- ojitus-% Forest drainage (%)	Pelto-% Agricultural land (%)	Lampi-% Pond (%)
Särkioja	4,03	52	46	35	1,0	0,7
Syväoja	11,60	56	43	41	0,3	0,1
Korppisuonoja	0,80	45	53	41	0,0	1,6
Hiekkaoja	0,74	10	88	81	2,4	0,0
Kirsioja	21,90	39	61	0	0,0	0,0



1 = Nuorittajoki, 2 = Hiekkaoja, 3 = Tulvapuro, 4 = Kiiminkijoki, 5 = Korppisuonoja, 6 = Syväoja, 7 = Särkioja and 8 = Kirsioja.

Kuva 1. Tutkimusalueen sijainti ja näytteenottoapaikat.
Figure 1. Location of the study area and sampling sites.

neiston tekijät ovat saaneet käyttöönsä Oulun vesipiiristä. Hiekkaojan valuma-alueen suot on v. 1970, siis ennen tutkimuksen alkua, ojitettu. Muut purot, joihin ojituksen oletetaan vaikuttavan, ovat Korppisuonoja, Syväoja ja Särkioja. Purojen valuma-alueiden ominaisuuksia koskevia tietoja on koottu taulukkoon 1.

Korppisuonojan valuma-alue (kuva 1) on suhteellisen pieni, joten sen veden laadussa voidaan olettaa myös selvimmin näkyvän valuma-alueen ojituksen vaikutuksen. Muut purot kokoavat vetensä laajemmilta alueilta, joilta saattaa tulla jonkin verran myös muuta

kuormitusta. Niiden veden laadussa tapahtuneita muutoksia on jonkin verran vaikeampi tulkita.

Särkiojan valuma-alueen metsäojitus toteutettiin marras–joulukuussa 1972 ja Syväojan valuma-alueen keskeisten osien ojitus tammii–maaliskuussa 1973. Loppuosa Syväojan valuma-alueesta ojitettiin elo–lokakuussa samana vuonna. Korppisuonojan valuma-alue ojitettiin syys–lokakuussa 1973. Ojien kaivun aikana perattiin kaikkia tutkittuja puroja. Mittavin oli suurimman puron, Syväojan perkaus.

Syväojan valuma-alueella lannoitettiin ke-

vättälvella 1975 noin 10 ha:n alue fosfori-kalium -lannoitteella käyttäen lannoitemääränä 300 kg/ha. Lannoitteen fosforipitoisuus on 9 % ja kaliumpitoisuus 17 %. Muita metsänlannoituksia tutkimusalueilla ei ole seurantajaksoa ennen tai sen aikana tehty.

Nuorittajoen valuma-alueen pinta-alasta on soita yli 60 % (Ilvessalo 1960) ja se kuuluu Pohjanmaan aapasuoalueeseen. Yksityiskohdasta kartoitusta ojitettujen suoalueiden tyyppijakaumasta ei ole tehty, sen sijaan ojitusalueille sijoitettujen koeruutujen suotyypeistä ja turpeen ominaisuuksista on julkaistu kasviravinnetietoja jo aikaisemmin (Sepponen ym. 1978 ja Sepponen ja Haapala 1979). Tämän tutkimuksen kannalta tärkeimpiä ovat mainituissa tutkimuksissa esitetyistä tiedoista Hiekkaojan valuma-alue Niemisuo, Korppisuonojan valuma-alue Korppisuo ja useat Syväojan ja Särkiojan varrella sijaitsevat pienehköt suoalueet.

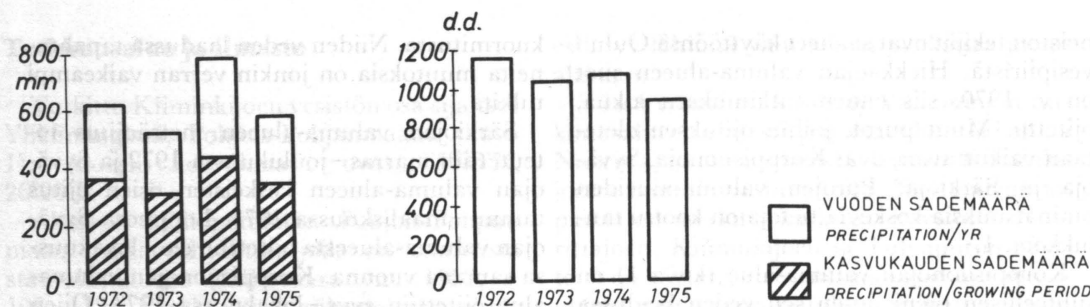
Niemisuon ojitetut reunaosat, joilta Hiekkaoja saa pääasiassa vetensä, ovat lyhytkortisia nevarämeitä ja nevoja, mutta alueella esiintyy myös rahkarämeitä. Ojittamattomalla suon keskiosalla esiintyy mm. *Sphagnum majus*-rimpineva- ja *Empetrum-Sph. fuscum*-räme-kuvioita. Turpeen paksuus vaihtelee mitatuissa kohdissa 0,3–2 m. Korppisuo on huomattavasti pienialaisempi. Sen keskiosassa esiintyy pääasiassa suursaranevaa, jossa on paikoitellen luhtaisia piirteitä ja reunamilta on nevakorpija ja nevarämeitä. Turpeen paksuus vaihtelee mitatuissa kohdissa

1,4–yli 5 m. Muiden purojen valuma-alueilta on vain vähän suotyyppeihavaintoja. Syväojan varressa esiintyy mm. luhtaisia nevakorpija ja nevoja sekä myös pienialaisia ruoho- ja heinäkorpija. Syväojan varren soita luonnehtivatkin ohutturpeisuus ja virtaavat pintavedet l. luhtaisuus.

Syväojan varren eräiltä soilta on aikaisemmin niitetty luonnonheinää, josta edelleen ovat osoituksena peruskarttaan merkityt heinäladot. Särkiojan, Syväojan ja Hiekkaojan valuma-alueilla on myös vähän peltoa. Näistäkään eivät kaikki olleet tutkimusaikana enää viljelyksessä.

Tutkimusajanjakson sademäärät ja lämpösummat tällä alueella ilmenevät kuvasta 2. Koska alue sijaitsee Pelson (Vaala) ja Pudasjärven säähavaintoasemien välissä, on tässä käytetty näiltä kahdelta asemalta saatujen säätiöjen keskiarvoja. Vuodet 1972 ja 1973 ovat olleet keskimäärin kuivempia ja lämpimämpiä kuin vuodet 1974 ja 1975.

Kaikkien purojen ja myös jokien vesi on runsashumuksista valuma-alueen korkean suoprosentin vuoksi. Tutkittujen vesien laadusta on julkaistu jo aikaisemmin tutkimustuloksia (Haapala ym. 1975 ja 1976). Veden laadussa esiintyy tällä alueella suuria vuodenaikaisvaihteluja, mm. tulvedet säätelevät monia veden laatuominaisuuksia (Haapala ym. 1975). Vesihallituksen (1977) mukaan Kiiminkijoen valuma-alueesta oli metsäojitettu vuoden 1973 loppuun mennessä 712 km² eli 19 % maapinta-alasta.



Kuva 2. Tutkimusalueen sademäärä ja tehoisa lämpötilusumma vuosina 1972–1975. Lähde: Kuukausikatsaus... 1972–1975.

Figure 2. The amount of precipitation and the effective temperature sum for the study area in the years 1972–1975. Source: Kuukausikatsaus... 1972–1975.

Mittaukset ja aineiston käsittely

Tutkitut vesinäytteet otettiin Ruttner-näytteenottimella tai purojen vähäisestä vesimäärästä johtuen suoraan muovipulloihin. Analyysit aloitettiin yleensä jo näytteenotto-päivänä (esim. fosfori- ja typpiravinne-määritykset), mutta mikäli näytteitä jouduttiin säilyttämään seuraavaan päivään, ne säilytettiin kylmävarastossa (n. +5°C).

Vesinäytteistä määritettiin pH-arvo, sähkönjohtavuus, väri, kiintoainepitoisuus, NO₂-, NO₃- ja NH₄-tyyppiyhdisteet, "liuen-nut"- ja kokonaisfosfori sekä Ca-, Mg-, K- ja Fe-pitoisuudet.

Näytteiden pH-arvot mitattiin suoraan näytteistä Radiometer PHM 24e ja 29b-mittareilla. Tyyppiyhdisteet määritettiin Vesianalyysitoimikunnan mietinnön (1968) ja fosforiyhdisteet Koroleffin (1968) esittämien menetelmin. Kationit määritettiin atomiabsorptio-spektrofotometrillä (Perkin Elmer AAS M300), jolloin Ca-mittaukseen käytettiin LaCl₃-liuosta (väkevyys 5 %). Veden väri mitattiin spektrofotometrillä ja kiintoaine suodattamalla ja punnitsemalla suodatinpaperit, jotka ennen punnitusta kuivatettiin +105°C:n lämpötilassa. Luonnontilaisen vertailupuron, Kirsiojan, vedenlaatuaineiston on kerännyt Oulun vesipiiriin vesitoimisto. Näytteet on otettu noin 1 kuukauden välein, tulva-aikana kuitenkin tiheämmin. Analyysimenetelmät ovat vesihallituksen käyttämiä standardimenetelmiä (Erkoma ym. 1977).

Veden laadun seuranta jakautuu kahteen jaksoon: ns. referenssijaksoon, jolloin soita ei vielä ollut ojitettu ja ojituksenjälkeiseen jaksoon. Tekemällä veden laatu-tunnusten vertailuja näiden kahden jakson välillä pyrittiin pääsemään selville ojituksen vaikutuksesta.

TUTKIMUSTULOKSET

Veden laatutekijöiden riippuvuus valumasta

Tutkimuskohteista mitattujen muuttujien korrelaatioita valumiin on esitetty taulukossa 2. Purojen osalta on käytetty Nuorittajoen valuma-arvoja. Nuorittajoen järvisyys on

Lisäksi referenssiaineistona on käytetty samanaikaisesti luonnontilaisista puroista ja Nuoritta- sekä Kiiminkijosta kerättyä aineistoa. Vertailukohteista luettiin referenssijaksoon havainnot vuoden 1973 loppuun saakka ja toiseen jaksoon havainnot tästä eteenpäin.

Tutkittujen purojen tarkkoja valuma-arvoja ei ollut käytettävissä. Tästä johtuen esitetyt kiintoaineen huuhtouma-arvot on arvioitu tutkimusalueen kohdalla Nuorittajoessa (järvisyys 2,2 %) sijaitsevan vesihallituksen hydrologian toimiston mittauspaikan päivittäisten valumatietojen perusteella. Nuorittajoesta saatu havaintopäivän valuma-arvo (1 km² d⁻¹) on muutettu tutkitun puron pinta-alaa vastaavaksi. Puron valuma-alueelta tuleva vesimäärä on sitten kerrottu mitatulla kiintoainepitoisuudella. Näin on saatu arvio puron valuma-alueelta tulevasta kiintoainemäärästä. Huuhtoumat on ilmoitettu neliökilometriä kohti (kg km⁻² d⁻¹). Koko ojien kaivun aikaa koskevat kiintoainehuuhtoumat on saatu kertomalla pitoisuushavaintojen aritmeettinen keskiarvo em. periaatteen mukaisesti saadulla vesimäärällä. Ojituksella on valumia suurentavaa vaikutusta etenkin ojituksen aikana ja heti sen jälkeen (esim. Heikurainen ym. 1978). Nuorittajoen vesistöalueella valumat saattavat muutenkin poiketa merkittävästi purojen pienivaluma-alueiden valumista. Tästäkin syystä esitetyt kiintoaineen huuhtouma-arvoja on pidettävä vain suuntaa-antavina.

Analyysitulosten käsittelyssä käytettiin mm. regressioanalyysiä ja t-testiä. Keskiarvojen laskemista ja tilastollista testausta varten muutettiin pH-arvot vetyionikonsentraatioiksi (esim. Lähde 1969, s. 22–23).

vain 2,2 %, joten tässä suhteessa ne kuvastanevat verrattain hyvin tutkituilla pienivaluma-alueilla vallitsevia hydrologisia olosuhteita. Suuren valuma-alueen arvojen käyttö johtanee kuitenkin mm. hetkellisten valuma-huippujen aliarviointiin.

Selvimmän näyttävät valuma-arvojen kans-

Taulukko 2. Eräiden ekologisten muuttujien korrelaatiot Nuorittajoen valumaan.
Table 2. Correlations between some ecological variables and runoff of the Nuorittajoki River.

	Nuurittajoki	Särkioja	Syväoja	Korppisuonoja	Hiekkaoja
Väri Colour				-0,32*	
Kiintoaine Concentr. of suspended solids					0,63***
pH	-0,63***	-0,52***	-0,61***		-0,51***
Sähkönjohtavuus Electr. conductivity	-0,57***	-0,35**	-0,52**	-0,43**	-0,59***
NO ₃ -N				-0,41**	
NH ₄ -N	-0,28*	-0,30*	-0,26*		
P _{tot}					
PO ₄ -P					
K	-0,30*	-0,28*			
Ca	-0,30*		-0,36**		-0,32*
Mg	-0,40***		-0,37**		-0,33*
Fe	-0,43***			-0,28*	

sa korreloivan pH ja sähkönjohtavuus (taulukko 2). Myös Hiekkaojan kiintoainepitoisuudella on selvä korrelaatio Nuorittajoen valumaan. Tilastollisesti merkitseviä korrelaatiokertoimia valumalla on myös eräiden muiden muuttujien kanssa, mutta ne ovat selvästi edellämainittuja pienempiä.

Happamuuden vuodenaikaisvaihtelua Särki-, Syvä- ja Korppisuonojassa havainnollistaa kuva 3. Siitä näkyy, että vuodenaikaisvaihtelu veden happamuudessa on suurta ja tulvavedellä on näinollen selvä vaikutus purojen veden laatuun.

Kuvalla 4 havainnollistetaan vielä eräiden keskeisimpien muuttujien riippuvuutta valumasta. Selittäjänä on kaikissa tapauksissa Nuorittajoen valuma. Kuvasta ilmenee taulukossa 2 esitettyjen korrelaatiokertoimien täydennyksenä riippuvuuden muoto. Yleensä riippuvuus ei ole lineaarinen, vaan valuman kasvaessa esim. sähkönjohtavuus ja pH laskevat ensin voimakkaasti, mutta valuman edelleen lisääntyessä ei enää merkittävää laskua tapahdu. Ilmiö esiintyi sekä kevät- että kesätulvan aikana.

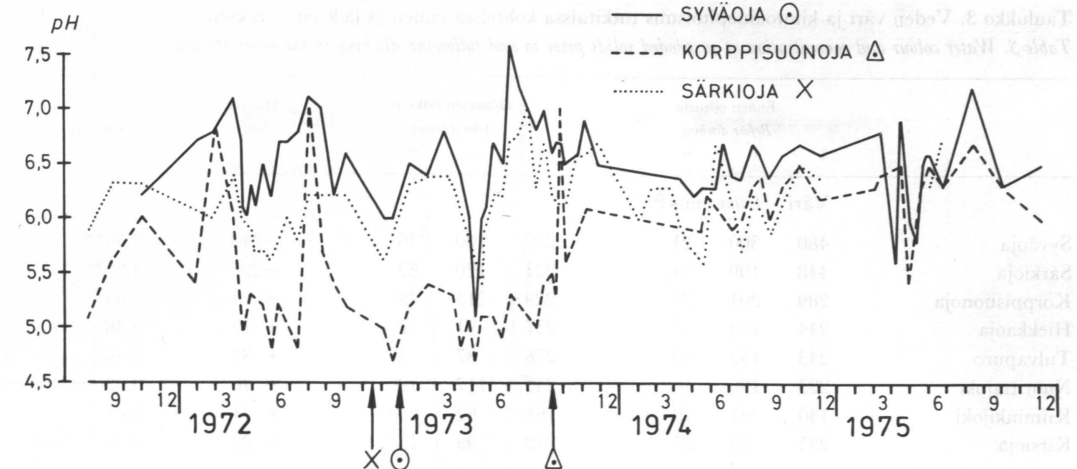
Veden väri ja kiintoaine

Veden väriä todettiin tilastollisesti merkitsevä muutos Syväojoissa ja Särkiojoissa

(taulukko 3). Molemmassa on tapahtunut ruskean värin vaalenemista. Värin voimakkuus platinamilligrammoissa mitattuna oli ojituksen jälkeisellä jaksolla vain puolet ojitusta edeltäneen jakson väristä. Myös Korppisuonojassa tapahtui värin vaalenemista oijen kaivun jälkeen. Sen sijaan oijen kaivun aikana suolta purkautuneen veden väri oli hyvin tumma (korkein arvo 2078 mg Pt l⁻¹).

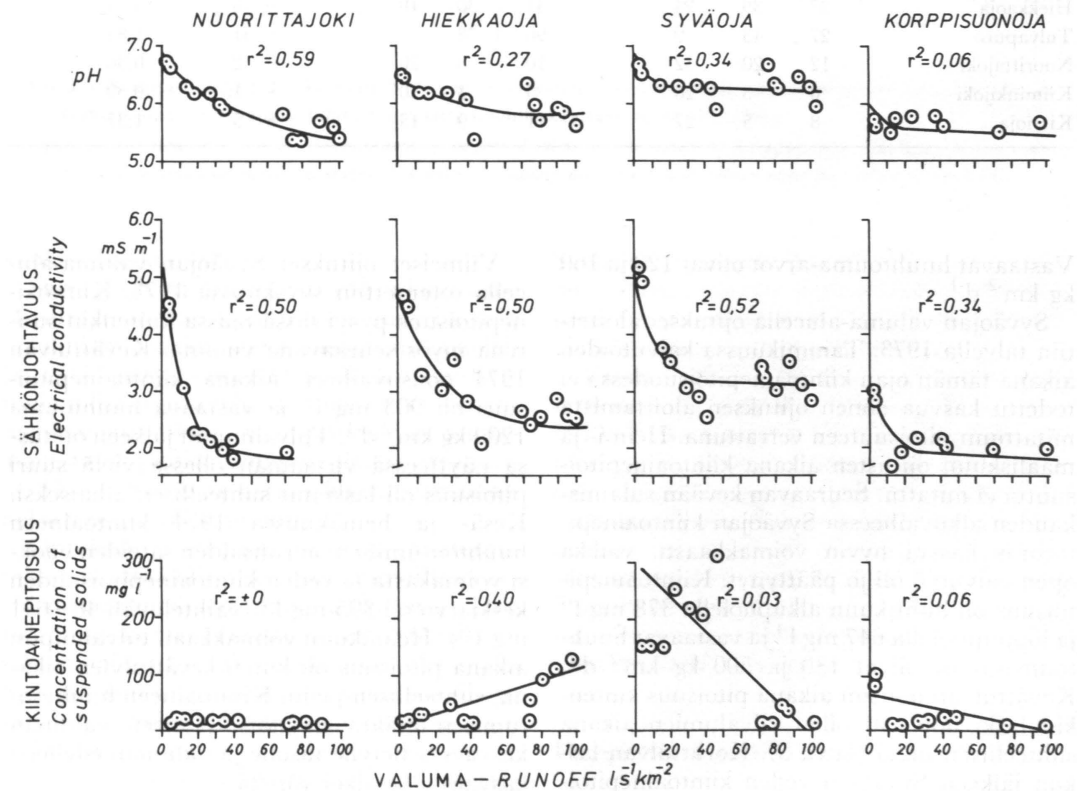
Veden kiintoainepitoisuus muuttui tilastollisesti merkitsevästi ainoastaan Syväojoissa (taulukko 3). Siinä on tapahtunut todella huomattavaa kiintoainepitoisuuden kasvua ojitusta seuranneella jaksolla. Myös Korppisuonojassa on tapahtunut selvää kiintoainepitoisuuden kasvua, mutta mittaustulosten suuren hajonnan ja ilmeisesti myös aikasarjan aukkoisuuden vuoksi se ei ollut kuitenkaan tilastollisesti merkitsevää. Särkiojoissa kiintoainepitoisuuden kasvu näyttää jääneen muiden pienemmäksi. Selvää kasvua todettiin kuitenkin ojituksen aikana. Se, että kiintoainepitoisuuden kasvu ei ollut tilastollisesti merkitsevää, saattaa johtua myös aineiston puutteellisuudesta tämän ojan osalta.

Särkiojan valuma-alueella ojitukset tehtiin myöhään syksyllä. Kaivutöiden aikana otetun näytteen kiintoainepitoisuus oli 100 mg l⁻¹. Oijen kaivun jälkeisen kevättulvan alkupäivinä mitattu kiintoainepitoisuus oli samaa luokkaa kuin kaivutöiden aikana (114 mg l⁻¹).



Kuva 3. Veden pH-arvon vaihtelu Syväojoissa, Korppisuonojassa ja Särkiojoissa. Ojitusajankohdat on merkitty nuolella käyttäen eri oijen symboleita.

Figure 3. The fluctuation in the pH value of the water in Syväoja, Korppisuonoja and Särkioja. The dates of drainage are marked with arrows using the symbols of the different brooks.



Kuva 4. Nuorittajoen, Hiekkaojan, Syväojan ja Korppisuonojan veden pH-arvon, sähkönjohtavuuden ja kiintoainepitoisuuden riippuvuus Nuorittajoen valumasta. Nuorittajoen valuma on x-akselina kaikissa kuvissa. Kuvien pisteet ovat ryhmäkeskiarvoja.

Figure 4. Dependence of pH, electrical conductivity and the concentration of suspended solids on the runoff of the Nuorittajoki River. The runoff of the Nuorittajoki River is the x axis in all figures. The points represent group averages.

Taulukko 3. Veden väri ja kiintoainepitoisuus tutkituissa kohteissa ennen ja jälkeen ojituksen.
Table 3. Water colour and concentration of suspended solids prior to and following ditching in the areas studied.

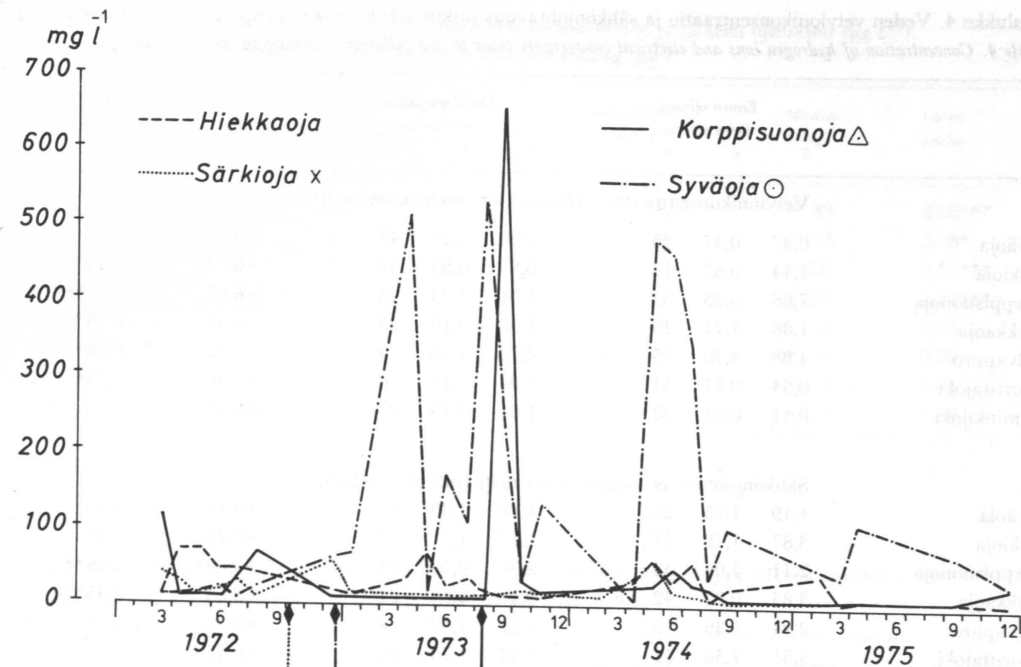
	Ennen ojitusta Before ditching			Ojituksen jälkeen After ditching			Muutos Change	t-arvo t-value
	\bar{x}	s	n	\bar{x}	s	n		
Väri - Colour mg Pt l ⁻¹								
Syväoja	480	300	21	240	100	36	-240	3,56**
Särkioja	448	199	14	221	120	32	-227	3,97**
Korppisuonoja	289	204	27	229	215	18	-74	0,93
Hiekkaoja	244	168	37	257	91	17	+13	0,38
Tulvapuro	243	192	10	276	87	5	+33	0,46
Nuorittajoki	223	106	46	243	117	19	+20	0,63
Kiiminkijoki	140	57	39	161	82	20	+21	1,01
Kirsioja	235	80	27	213	99	13	-22	0,76
Kiintoaine - Concentr. of suspended solids mg l ⁻¹								
Syväoja	15	17	11	220	259	33	+205	4,51***
Särkioja	20	10	9	22	25	31	+2	0,26
Korppisuonoja	14	31	17	96	243	17	+82	1,38
Hiekkaoja	37	39	24	31	30	18	-6	0,54
Tulvapuro	27	43	9	96	78	5	+51	1,83
Nuorittajoki	12	20	32	10	8	20	-2	0,36
Kiiminkijoki	6	3	26	5	3	20	-1	0,50
Kirsioja	8	5	27	11	9	13	+5	1,37

Vastaavat huuhtouma-arvot olivat 120 ja 160 kg km⁻² d⁻¹.

Syväojan valuma-alueella ojitukset aloitettiin talvella 1973. Tammikuussa kaivutöiden aikana tämän ojan kiintoainepitoisuudessa ei todettu kasvua ennen ojituksen aloittamista mitattuun pitoisuuteen verrattuna. Helmi- ja maaliskuun ojitusten aikana kiintoainepitoisuutta ei mitattu. Seuraavan kevään sulamiskauden alkuvaiheessa Syväojan kiintoainepitoisuus kasvoi hyvin voimakkaasti, vaikka ojan kaivutyö oli jo päättynyt. Kiintoainepitoisuus oli huhtikuun alkupuolella 378 mg l⁻¹ ja loppupuolella 647 mg l⁻¹ ja vastaavat huuhtouma-arvot olivat 130 ja 500 kg km⁻² d⁻¹. Kevättulvan nousun aikana pitoisuus kuitenkin laski nopeasti ollen ylivalmien aikana suhteellisen pieni (kuva 5). Kevättulvan laskun jälkeen Syväojan veden kiintoainepitoisuus nousi jälleen voimakkaasti ollen heinäkuun kuivakautena suurimmillaan 200 mg l⁻¹. Syväojan alueen elo-syyskuun ojitusten aikana suurin mitattu kiintoainepitoisuus oli 826 mg l⁻¹ ja huuhtouma-arvo 120 kg km⁻² d⁻¹.

Viimeiset ojitukset Syväojan valuma-alueella toteutettiin syyskuussa 1973. Kiintoainepitoisuus pysyi tässä ojassa kuitenkin suurena myös seuraavana vuonna. Kevättulvan 1974 nousuvaiheen aikana kiintoainepitoisuus oli 903 mg l⁻¹ ja vastaava huuhtouma 1200 kg km⁻² d⁻¹. Tulvahuipun jälkeen otetussa näytteessä virtaaman ollessa vielä suuri pitoisuus oli laskenut suhteellisen alhaiseksi. Kesä- ja heinäkuussa 1974 kiintoaineen huuhtoutuminen on runsaiden sateiden vuoksi voimakasta ja veden kiintoainepitoisuuden keskiarvo oli 395 mg l⁻¹ (vaihteluväli 48-641 mg l⁻¹). Heinäkuun voimakkaan tulvahuipun aikana pitoisuus oli kuten kevättulvien aikana, suhteellisen pieni. Kiintoaineen huuhtoutumisen määrä näyttäisi jääneen valuman kasvaessa tietyllä tasolla ja valuman edelleen kasvaessa se alkoi vähetä.

Korppisuon valuma-alueen ojituksen aikana todettu suurin kiintoainepitoisuus oli 2800 mg l⁻¹. Huuhtouma-arvoksi saatiin 560 kg km⁻² d⁻¹. Ojituksen loppuvaiheessa pitoisuus oli jo alentunut ollen 45 mg l⁻¹ (myös kuvan 5



Kuva 5. Korppisuonojan, Hiekkaojan, Syväojan ja Särkiojan veden kiintoainepitoisuuksien aikasarjat kuukausikeskiarvoina. Ojitusajankohdat on merkitty nuolilla käyttäen ojien symboleita.

Figure 5. The time series for the concentrations of suspended solids for the waters of Korppisuonoja, Hiekkaoja, Syväoja and Särkioja presented as monthly averages. The dates of drainage are marked with arrows using the symbols of the brooks.

kuukausikeskiarvot).

Särki- ja Korppisuonojan veden kiintoaine oli silmämääräisesti arvioituna suurelta osin orgaanista ainakin tulva-aikojen ulkopuolella. Tätä käsitystä tukevat eräillä havaintokeroilla näistä ojista tehdyt kiintoaineen hehkuhäviömittaukset. Korppisuonojan kiintoaineesta oli pitoisuushuipun aikana orgaanista 89 %. Syväojassa taas kivennäismaa-aineksen osuus oli suurempi.

Ojituksen jälkeen kiintoaineen huuhtoutuminen näyttää olleen voimakkaimmillaan väisän ensimmäisinä päivinä lumen ja jään sulamisen kunnolla alettua. Ylivalmien aikana mitatut huuhtoumat eivät olleet pienten pitoisuuksien vuoksi tulvan alkuvaiheen suurimpia todettuja arvoja korkeampia.

Tutkituissa puroissa kulkeutui ojan kaivutyön aikana 4000-8300 kg km⁻² kiintoainetta keskimääräisen vuorokausihuuhtouman ollessa 40-90 kg km⁻² d⁻¹. Syväojassa suurin osa kiintoaineesta huuhtoutui kuitenkin ojituksenjälkeisten sulamiskausien ja muina vuodenaikoina esiintyneiden tulvien aikana.

Syväojan edustalle Nuorittajoen suvanto on sedimentoitunut huomattavasti kiintoainetta, jonka määrää ei tässä tutkimuksessa ole kuitenkaan tarkemmin mitattu.

Vuonna 1970 ojitetulta suolta tulevassa Hiekkaojassa kiintoainepitoisuus oli vuosina 1972-75 keskimäärin lähes seitsemänkertainen luonnontilaiseen vertailualueeseen nähden. Pitoisuudessa ei todettu vähenemistä tutkimusaikana. Kiintoainepitoisuuden riippuvuus valumasta oli tässä ojassa tilastollisesti merkitsevä (kuva 4). Ojan laskukohdalle Nuorittajoen uomaan oli sedimentoitunut ojan tuomasta kivennäismaasta selvästi havaittava deltamuodostuma.

Happamuus ja sähkönjohtavuus

Happamuuden vuodenaikavaihtelu Syvä-, Särki- ja Korppisuonojassa on esitetty kuvassa 3. Valumaveden vetyionikonsentraatioissa tapahtuneet muutokset esitetään taulukossa 4. Ojitus ei ole aiheuttanut tarkastelu-

Taulukko 4. Veden vetyionikonsentraatio ja sähkönjohtavuus tutkimuskohteissa ennen ja jälkeen ojituksen.
Table 4. Concentration of hydrogen ions and electrical conductivity prior to and following ditching in the areas studied.

	Ennen ojitusta Before ditching			Ojituksen jälkeen After ditching			Muutos Change	t-arvo t-value
	\bar{x}	s	n	\bar{x}	s	n		
Vetyionikonsentraatio – Hydrogen ion concentration ($\times 10^{-6}$)								
Syväoja	0,47	0,37	25	0,58	1,25	47	+0,11	0,56
Särkioja	1,14	0,65	17	0,89	0,85	37	-0,25	1,19
Korppisuonoja	7,66	5,35	33	1,01	1,23	25	-6,65	3,67***
Hiekkaoja	1,88	7,71	40	1,50	2,19	25	-0,38	0,29
Tulvapuro	4,88	4,70	15	4,72	4,76	5	-0,12	0,08
Nuorittajoki	0,54	0,71	51	1,04	1,11	28	+0,50	2,15*
Kiiminkijoki	0,41	0,63	42	1,04	2,19	27	+0,63	1,46
Sähkönjohtavuus – Electr. conductivity (mS m^{-1} , +25°C)								
Syväoja	4,19	1,75	25	4,29	1,30	47	+0,10	0,25
Särkioja	3,87	1,78	17	4,13	1,21	37	+0,25	0,53
Korppisuonoja	2,11	1,06	33	2,96	0,76	25	+0,85	3,66**
Hiekkaoja	3,83	0,92	42	3,15	0,67	24	-0,68	3,45**
Tulvapuro	2,94	1,36	15	3,21	1,40	4	+0,28	0,35
Nuorittajoki	3,81	1,30	51	3,33	1,75	26	-0,47	1,22
Kiiminkijoki	3,52	0,84	42	3,29	1,30	27	-0,23	0,82

ajanjaksona tilastollisesti merkitsevää vetyionikonsentraation muutosta muualla kuin Korppisuonojassa. Sen vedessä happamuus on ojituksen jälkeen vähentynyt eli pH-arvo on noussut keskimäärin n. 0,9 pH-yksikköä. Muiden purojen osalta ei voida havaita selvää muutosta. Samanaikaisesti sekä Nuorittajoki- että Kiiminkijoen vedessä on tapahtunut lievää happamoitumista. Veden sähkönjohtavuudessa on tapahtunut tilastollisesti merkitsevä muutos Korppisuonojassa ja vanhemmilta ojitusalueilta tulevassa Hiekkaojassa (taulukko 4). Korppisuonojan veden sähkönjohtavuus on kasvanut, mikä merkitsee siinä olevien elektrolyyttien määrän kasvua ojituksenjälkeisenä aikana. Hiekkaojan vedessä kehitys on vastaavana ajanjaksona ollut täysin päinvastainen. Muiden purojen ja Kiiminkijoen vedessä ei ole tapahtunut merkitseviä muutoksia.

Korppisuonojan turpeesta on tehty joitakin mittauksia eri syvyyksiltä. Näiden mukaan pH-arvo kasvaa syvemmälle mentäessä seuraavan asetelman mukaisesti:

Syvyys	pH	n
0–0,5 m	5,2±0,3	6
0,5–1,0 m	5,4±0,1	3
yli 1 m	5,9±0,3	4

Kasviravinteet

Ammonium-, nitraatti- ja nitriittityypipitoisuudessa tapahtuneet muutokset on esitetty taulukoissa 5 ja 6. Ammonium-typen pitoisuus kasvoi tilastollisesti merkitsevästi Syväojassa ja Korppisuonojassa ojituksenjälkeisenä aikana. Se pysyi näissä ojissa kohonneena hydrologisesti hyvin erilaisina vuosina 1974 ja 1975. Vanhalta ojitusalueelta tulevassa Hiekkaojassa ammoniumtypen pitoisuus nousi vuoden 1973 jälkeen tilastollisesti merkitsevästi. Tulvapurossa, jokihavaintopaikoilla ja luonnontilaisessa Kirsiojassa ammoniumtypen pitoisuus pysyi samanaikaisesti muuttumattomana. Suhteellisesti suurinta

Taulukko 5. Veden ammoniumtyypipitoisuus tutkimuskohteissa ennen ja jälkeen ojituksen ($\mu\text{g l}^{-1}$).
Table 5. Concentration of ammonium nitrogen prior to and following ditching ($\mu\text{g l}^{-1}$).

	Ennen ojitusta Before ditching			Ojituksen jälkeen After ditching			Muutos Change	t-arvo t-value
	\bar{x}	s	n	\bar{x}	s	n		
Syväoja	28	34	23	117	91	42	+ 89	3,60***
Särkioja	18	27	16	43	39	36	+ 25	2,08*
Korppisuonoja	12	19	31	218	184	22	+206	3,82***
Hiekkaoja	202	132	41	415	216	22	+213	4,22***
Tulvapuro	19	19	17	16	10	05	- 3	0,45
Nuorittajoki	38	52	51	49	50	23	+ 11	0,90
Kiiminkijoki	22	19	42	31	26	24	+ 9	1,41
Kirsioja	32	29	26	46	33	12	+ 14	1,34

Taulukko 6. Veden nitraatti- ja nitriittityypipitoisuus tutkimuskohteissa ennen ja jälkeen ojituksen.
Table 6. Nitrate and nitric nitrogen concentrations prior to and following ditching.

	Ennen ojitusta Before ditching			Ojituksen jälkeen After ditching			Muutos Change	t-arvo t-value
	\bar{x}	s	n	\bar{x}	s	n		
$\text{NO}_3\text{-N } \mu\text{gl}^{-1}$								
Syväoja	7	21	24	64	23	38	+57	10,30***
Särkioja	57	26	13	48	40	34	-17	0,83
Korppisuonoja	38	17	32	41	22	18	+ 3	0,52
Hiekkaoja	76	34	42	68	28	17	- 8	0,93
Tulvapuro	56	20	14	37	16	5	-19	2,10
Nuorittajoki	52	35	50	61	52	19	+ 9	0,71
Kiiminkijoki	33	25	41	44	32	18	+11	1,38
Kirsioja	20	15	21	33	31	12	+13	1,65
$\text{NO}_2\text{-N } \mu\text{gl}^{-1}$								
Syväoja	6,0	3,5	3	5,4	2,9	22	-0,6	0,64
Särkioja	6,3	4,9	13	3,1	2,3	21	-3,2	2,21*
Korppisuonoja	5,3	4,4	32	7,4	6,6	6	-	0,75
Hiekkaoja	5,3	2,9	41	-	-	-	-	-
Tulvapuro	6,8	4,9	13	-	-	-	-	-
Nuorittajoki	3,6	2,6	50	-	-	-	-	-
Kiiminkijoki	2,5	1,5	42	-	-	-	-	-
Kirsioja	3,9	1,6	26	3,8	2,6	12	-0,1	0,19

nousu oli Korppisuonojassa, jossa ammoniumtyypipitoisuus oli ojituksen jälkeen keskimäärin 18-kertainen ojitusta edeltäneeseen pitoisuuteen verrattuna.

Syväojan veden nitraattipitoisuus oli ennen ojitusta hyvin pieni. Ojituksenjälkeisenä ai-

kana se kasvoi keskimäärin lähes kymmenkertaiseksi. Muissa ojitusalueen puroissa nitraattipitoisuus oli seurantajakson aikana likipitään samansuuruisen kuin jokiuomissa. Niissä, samoin kuin luonnontilaisissa vertailupuroissa nitraattipitoisuus ei kasvanut.

Taulukko 7. Ammonium-, nitraatti-, kokonaisfosfori- ja fosfaattifosforipitoisuuden vuodenaikaisarvoja ojituksen jälkeen. $\Delta\bar{x}$ = muutos ennen ojitusta mitattuun keskiarvoon verrattuna. I = kausi 01. 12. - kevättulvan alku (valuma $\langle 10 \text{ l s}^{-1} \text{ km}^{-2} \rangle$), II = kevättulva (valuma $\langle 10 \text{ l s}^{-1} \text{ km}^{-2} \rangle$), III = kesäaika (valuma $\langle 10 \text{ l s}^{-1} \text{ km}^{-2} \rangle$), IV = syyskuu, V = 16. 09.-30. 11.

Table 7. Seasonal values of ammonium, nitrate, total phosphorus and phosphate phosphorus concentrations following ditching. $\Delta\bar{x}$ = change compared to the average measured prior to ditching I = the period 1. 12. to the beginning of the spring flood (runoff $\langle 10 \text{ l s}^{-1} \text{ km}^{-2} \rangle$), II = spring flood (runoff $\langle 10 \text{ l s}^{-1} \text{ km}^{-2} \rangle$), III = summer (runoff $\langle 10 \text{ l s}^{-1} \text{ km}^{-2} \rangle$) up through 15. 09., IV = 16. 09.-30. 11.

	I			II			III			IV		
	\bar{x}	s	$\Delta\bar{x}$	\bar{x}	s	$\Delta\bar{x}$	\bar{x}	s	$\Delta\bar{x}$	\bar{x}	s	$\Delta\bar{x}$
NH₄-N $\mu\text{g l}^{-1}$												
Syväoja	150	107	+ 99	58	42	+ 1	87	69	+ 6	212	75	+147
Särkioja	57	41	+ 12	26	32	+20	22	19	+10	109	32	+ 97
Korppisuonoja	456	53	+440	82	64	+69	82	83	+74	296	157	+290
Nuorittajoki	103	39	+ 10	33	36	+ 8	12	10	+ 1	33	26	+ 17
Kiiminkijoki	46	12	+ 12	34	47	+18	16	11	+ 4	26	31	+ 12
NO₃-N $\mu\text{g l}^{-1}$												
Syväoja	58	27	- 2	69	32	+59	67	13	+35	57	16	+48
Särkioja	48	22	-24	40	28	+ 3	59	63	- 7	35	21	-29
Korppisuonoja	29	9	-10	21	11	-10	39	17	- 1	58	22	+13
Nuorittajoki	90	66	+ 7	31	20	- 5	36	6	- 8	37	14	- 5
Kiiminkijoki	62	35	+ 5	29	35	+ 5	23	9	- 3	16	6	- 7
P_{tot} $\mu\text{g l}^{-1}$												
Syväoja	358	247	+188	623	787	+473	235	126	+103	160	109	-101
Särkioja	93	41	- 83	111	61	+ 47	68	31	- 78	70	19	+ 31
Korppisuonoja	50	23	- 67	75	46	+ 5	81	75	+ 1	79	54	+ 49
Nuorittajoki	80	42	+ 6	64	38	+ 1	57	31	+ 15	42	13	- 5
Kiiminkijoki	39	14	- 22	45	15	- 16	40	29	+ 7	30	14	- 10
PO₄-P $\mu\text{g l}^{-1}$												
Syväoja	284	205	+178	270	251	+151	98	54	-31	87	51	-149
Särkioja	61	31	- 38	39	40	+ 3	27	21	-94	29	25	+ 9
Korppisuonoja	23	11	- 42	27	20	- 7	24	9	- 2	25	21	+ 12
Nuorittajoki	47	20	+ 11	34	35	+ 15	16	12	+ 6	9	6	+ 2
Kiiminkijoki	62	35	+ 5	29	35	+ 5	23	9	- 3	16	6	- 7

Tutkittujen vesien nitriittipitoisuus oli pieni ja siinä ei tapahtunut muutosta ojitusta seuranneen jakson aikana (taulukko 6).

Syksyllä purojen ja jokien typpiravinnepitoisuus alkoi kasvaa. Suurimmillaan se oli yleensä kevättalvella lumensulamisen alkuvaiheessa. Pitoisuus pieneni nopeasti kevättulvan noustessa. Kevättulvan jälkeen ammonium- ja nitraattityypin pitoisuudessa tapahtui kasvua, mutta arvot jäivät selvästi talviaikaisia pienemmiksi. Ammoniumtyppi-

pitoisuuden kasvu ojituksen jälkeen oli selvästi suurin kylminä vuodenaikoina. Typpiravinnepitoisuuksien kausikeskiarvot ojituksen jälkeen puroissa ja jokihavaintopaikoilla on esitetty taulukossa 7. Tutkimusalueen lumensulamiseden keskimääräisiä ravinnearvoja on koottu taulukkoon 8. Ammonium- ja nitraattityypin pitoisuus oli tulvan aikana purojen vedessä selvästi pienempi kuin lumensulamisedessä.

Syvä-, Särki- ja Korppisuonojan kokonais-

Taulukko 8. Lumesta sulatetun veden laatutekijöitä tutkimusalueella keväällä 1974.

Table 8. Quality characteristics of water melted from snow in the study area in the spring of 1974.

	\bar{x}	s	n	min.-max.
pH	5,00	0,81	14	4,85-5,15
Sähkönjohtavuus	2,80	1,70	10	1,40-7,00
Electr. conductivity				
	mS m ⁻¹			
NO ₃ -N	$\mu\text{g l}^{-1}$ 150,30	60,10	14	47,50-236,40
NH ₄ -N	$\mu\text{g l}^{-1}$ 102,80	36,50	14	73,10-197,10
Tot.P	$\mu\text{g l}^{-1}$ 31,00	14,80	14	12,90- 61,30
PO ₄ -P	$\mu\text{g l}^{-1}$ 11,70	7,60	14	1,20- 22,00
K	mg l ⁻¹ 0,24	0,23	14	0,05- 0,77
Ca	mg l ⁻¹ 1,00	1,20	10	0,02- 2,97
Mg	mg l ⁻¹ 0,65	0,10	4	0,53- 0,80
Fe	mg l ⁻¹ 0,05	0,05	6	0,01- 0,14

fosfori- ja fosfaattifosforipitoisuus oli ennen ojitustakin korkea (taulukko 9). Ojituksen jälkeen Syväoan kokonaisfosforipitoisuus kasvoi. Suuren hajonnan vuoksi pitoisuuden kasvu oli kuitenkin tilastollisesti vain jokseenkin merkitsevä. Fosfaattifosforipitoisuudessa ei todettu ojituksen jälkeisenä aikana kasvua. Sen sijaan Särkiojassa siinä todettiin tilastollisesti jokseenkin merkitsevää vähenemistä (taulukko 9).

Myös jokihavaintopaikoilla kokonaisfosfori- ja fosfaattifosforipitoisuus oli korkea. Kirsiojassa pitoisuus oli selvästi pienempi. (On huomattava, että Kirsiojassa ei näyteenottoväli ole lumensulamiskausina samalla tavoin tiheä kuin jokihavaintopaikoilla.) Fosfaattifosfori muodosti Syvä- ja Särkiojassa ennen ojitusta pääosan kokonaisfosforista. Fosfaattifosforin suhteellinen osuus väheni ojituksen jälkeen (taulukko 9).

Jokuomissa fosforiravinteiden vuodenaikaisrytmi oli selväpiirteisempi kuin tutkituissa puroissa. Kiiminkijoen havaintopaikalla

Taulukko 9. Veden kokonaisfosforin (P_{tot}) ja fosfaattifosforin (PO₄-P) pitoisuus tutkimuskohteissa ennen ja jälkeen ojituksen.

Table 9. The total phosphorus and phosphate phosphorus concentrations in the study area prior to and following ditching.

	Ennen ojitusta Before ditching			Ojituksen jälkeen After ditching			Muutos Change	t-arvo t-value
	\bar{x}	s	n	\bar{x}	s	n		
P_{tot} $\mu\text{g l}^{-1}$								
Syväoja	170	182	25	300	234	40	+130	2,75*
Särkioja	117	70	17	87	42	35	- 30	1,74
Korppisuonoja	87	67	33	75	53	22	- 12	0,71
Hiekkaoja	61	33	42	97	208	21	+ 36	0,79
Tulvapuro	51	34	15	72	64	3	+ 21	0,56
Nuorittajoki	56	28	51	66	38	25	+ 10	1,10
Kiiminkijoki	47	25	42	41	19	25	- 6	1,18
Kirsioja	36	15	26	47	20	13	+ 11	2,02
PO₄-P $\mu\text{g l}^{-1}$								
Syväoja	143	186	25	181	18	46	+38	0,81
Särkioja	81	65	17	42	33	35	-38	2,33*
Korppisuonoja	41	38	32	26	15	22	-15	1,96
Hiekkaoja	19	19	42	15	8	22	- 4	1,26
Tulvapuro	12	13	14	19	11	5	+ 7	1,08
Nuorittajoki	20	17	51	31	27	26	+11	1,98
Kiiminkijoki	15	12	41	17	11	26	+ 2	0,79
Kirsioja	23	13	25	28	15	13	+ 5	1,02

valuman ja kokonaisfosforipitoisuuden välinen korrelaatio oli tilastollisesti erittäin merkitsevä. Valuman suuressa fosforipitoisuus suureni ja päinvastaisessa tapauksessa väheni. Nuorittajoessa ja tutkituissa puroissa vastaavaa ilmiötä ei todettu (taulukko 2). Jokihavaintopaikoilla fosforipitoisuus oli suurimmillaan yleensä kevättalvella. Sama ilmiö todettiin myös kesätulvan 1974 ja joulukuuhun ajoittuneen tulvan aikana. Kesän kuivakausina fosfaattifosforipitoisuus väheni tutkituissa ojissa ja jokihavaintopaikoilla selvästi.

Korppisuonojassa, Hiekkaojassa ja jokihavaintopaikoilla todettiin kaliumpitoisuudessa tilastollisesti merkitsevä väheneminen ojitusta seuranneen jakson aikana (taulukko 10).

TULOSTEN TARKASTELU

Metsäojitus vaikuttaa suon hydrologiaan mm. lisäämällä alivalumia (Seuna 1981 ja Sallantaus 1982b). Pohjavesipinnan alenemisen vuoksi valunta tapahtuu entistä enemmän pintaturpeen alapuolisten turvekerrosten kautta. Näiden ominaisuudet yleensä poikkeavat pintaturpeesta mm. maatuneisuuden, happamuuden ja ravinteisuuden suhteen, mikä tältäkin alueelta tehdyissä kairauksissa on varmennettu.

Tutkimusalueen pohjaveden laatua ei ole tutkittu. Sen sijaan turpeen ominaisuuksia ja kasvillisuuden kehittymistä ojituksen jälkeen ja lumensulamisesien laatua on ko. soilla analysoitu (Sepponen ja Haapala 1979). Aikaisemmin saatujen tulosten perusteella pyritään tässä yhteydessä tekemään johtopäätöksiä vedenlaadussa tapahtuneita muutoksia selitettäessä.

Tässä tutkimuksessa todettiin monien veden laatutekijöiden korrelaatio valumiin (kuva 4). Haapalan ym. (1975) mukaan heikosti puskuroidun Kiiminkijoen ja sen sivuhaarojen veden happamuus vaihtelee vuodenajoin. Merkittävin happamuuden muutos on keväinen jokiveden happamoituminen, jolloin Nuorittajoen pH laskee jopa 5,0:aan sen ollessa vähän ennen tulvan alkua 6,4–6,8 ja kesäaikaan vedenpinnan ollessa alhaalla yli 7,0, ylimmillään jopa 7,8.

Myös kalsium- ja magnesiumpitoisuuksissa voitiin todeta vähenemistä, joskaan ei yhtä selvästi kuin kaliumpitoisuudessa. Rautapitoisuudessa ei todettu yleisesti tilastollisesti merkitsevää vähenemistä. Ainoastaan Korppisuonojassa ojitusta seuranneen jakson arvo oli jokseenkin merkitsevästi pienentynyt. Luonnontilaisen vertailupuron rautapitoisuus sensijaan oli samanaikaisesti kasvanut.

Kationipitoisuudet olivat suurimmillaan kevättalvella. Kevättulvat vaikuttivat pitoisuuksia vähentävästi. Pienimmillään kaliumin, kalsiumin, magnesiumin ja raudan määrä oli kesällä. Kationien korrelaatio valumaan oli kaikissa tapauksissa negatiivinen (taulukko 2).

Myös kaikissa muissa Kiiminkijokialueen tutkimuskohteissa on havaittu vastaava keväinen virtaavan veden happamoituminen. Alhaisimmat pH-arvot 4,7–4,8 on mitattu Korppisuonojassa lumensulamiskausien aikana ja kesällä alivalumakautena ennen ojitusta. Haapalan ym. (emt.) mukaan keväinen jokiveden happamoituminen johtuu tulvan noustessa lähinnä runsaista tulvanaikaisista lumensulamisesistä, joiden pH on yleensä 4,5–5,0.

Kiiminkijoen, Nuorittajoen ja useimmissa tutkituissa Ylikiimingin puroissa vallitsee pH-arvon ja valuman välillä selvä negatiivinen korrelaatio ($r = -0,51^{***} - -0,70^{***}$). Korppisuonojassa ilmiö peittyi ilmeisesti ojituksesta aiheutuneiden muutosten alle.

Tutkittujen Ylikiimingin pienvaluma-alueiden soiden ojituksen ei todettu lisäävän suolta lähtevien ojen ja purojen veden vetyionikonsentraatiota (taulukko 4). Korppisuonojan valuma-alueelta lähtevien vesien vetyionikonsentraatio päinvastoin väheni selvästi ojituksen vaikutuksesta. Suurimmillaan pH-arvon kasvu oli alivalumakausina. Korppisuonojan valuma-alueen turpeen pH todettiin sitä korkeammaksi, mitä syvemältä turvenäyte otettiin. Ojituksen vaikutuksesta valumavesien kosketus syvempiin turvekerroksiin on lisääntynyt. Ojen yltämällä pinta-

Taulukko 10. Veden kalium-, kalsium-, magnesium- ja rautapitoisuus tutkimuskohteissa ennen ja jälkeen ojituksen. Table 10. The potassium, calcium, magnesium and iron concentrations in the study area prior to and following ditching.

	Ennen ojitusta Before ditching			Ojituksen jälkeen After ditching			Muutos Change	t-arvo t-value
	\bar{x}	s	n	\bar{x}	s	n		
K mg l ⁻¹								
Syväoja	1,00	0,48	23	0,82	0,45	45	-0,18	1,49
Särkioja	1,23	0,86	16	1,54	1,94	36	+0,31	0,80
Korppisuonoja	0,85	0,60	32	0,46	0,21	25	-0,39	3,42**
Hiekkaoja	1,01	0,42	40	0,59	0,46	24	-0,42	3,65**
Tulvapuro	1,06	1,08	13	0,49	0,26	5	-0,57	1,77
Nuorittajoki	1,26	0,78	49	0,73	0,68	28	-0,53	3,11**
Kiiminkijoki	1,31	1,07	42	0,71	0,57	27	-0,60	3,03**
Kirsioja	0,40	0,20	25	0,60	0,40	12	+0,20	2,44**
Ca mg l ⁻¹								
Syväoja	4,12	2,36	22	4,28	2,08	43	+0,16	0,27
Särkioja	3,89	2,03	16	4,54	2,09	36	+0,65	1,06
Korppisuonoja	3,72	1,98	30	2,73	2,08	23	-0,99	1,75
Hiekkaoja	4,54	1,99	39	2,30	1,05	23	-2,24	5,73**
Tulvapuro	3,83	1,31	12	1,99	0,58	5	-1,84	4,01**
Nuorittajoki	4,57	2,36	48	2,53	1,81	25	-2,04	4,11**
Kiiminkijoki	4,40	2,02	42	2,93	1,77	24	-1,47	3,08**
Kirsioja	2,20	1,10	26	2,40	1,10	12	+0,20	0,72
Mg mg l ⁻¹								
Syväoja	1,25	0,61	23	1,49	0,43	42	+0,24	1,67
Särkioja	1,22	0,97	16	1,44	0,49	37	+0,22	0,86
Korppisuonoja	0,94	0,47	32	0,94	0,45	23	± 0	0,00
Hiekkaoja	1,27	0,42	40	0,90	0,30	22	-0,37	4,01**
Tulvapuro	1,04	0,47	13	0,70	0,05	5	-0,34	2,57*
Nuorittajoki	1,30	0,52	49	1,12	0,67	25	-0,18	1,17
Kiiminkijoki	1,26	0,41	42	1,13	0,56	25	-0,13	1,01
Kirsioja	-	-	-	-	-	-	-	-
Fe mg l ⁻¹								
Syväoja	4,25	2,14	20	3,66	1,84	28	-0,59	1,00
Särkioja	2,15	1,42	16	1,45	0,47	22	-0,70	1,90
Korppisuonoja	2,23	2,18	21	1,15	0,31	21	-1,08	2,25*
Hiekkaoja	2,45	2,13	23	2,80	1,55	25	+0,35	0,65
Tulvapuro	3,39	2,87	4	1,68	0,65	5	-1,71	1,17
Nuorittajoki	2,64	1,20	24	2,47	1,32	30	-0,17	0,50
Kiiminkijoki	1,16	0,49	22	1,21	0,40	28	+0,05	0,39
Kirsioja	2,28	1,00	27	4,10	2,39	13	+1,82	3,40*

turvetta neutraalimpiin turvekerroksiin on saattanut olla vaikutusta pH-arvon nousuun ja elektrolyyttipitoisuuden kasvuun. Ojat ylätävät vain pienellä osalla Korppisuota kivennäismaahan saakka. Valumavesien neutraloitumista selittänee kuitenkin myös happaman pintakerrosvalunnan entistä parempi kosketus kivennäismaahan. Ojitus on aiheuttanut myös valuma-alueen yläosassa sijaitsevan pienen Korppilammen vedenpinnan laskun. Tämä merkitsee, että myös lammen vettä on ainakin jossain vaiheessa voinut sekoittaa ojan veteen. Lampi on kuitenkin vesimäärältään pieni ja sen pinta-ala valuma-alueeseen nähden vähäinen. Korppisuonojan valuma-alueen ja Syväojan valuma-alueen koaloilla on samaan aikaan todettu pintaturpeen happamuuden lisääntyminen (Sepponen ja Haapala 1979). Happamoituminen oli kuitenkin vähäistä, joten sen mahdollinen suolta valuvien pintavesien happamuutta lisäävä vaikutus lienee tarkasteluajanjakson aikana peittyntyt säätekijöiden sekä ojituksen aiheuttamien muiden muutosten alle.

Sallantaus (1982a) on tutkinut eräiden turvetuotantoa varten tehtyjen ojituksen vesistövaikutuksia. Tutkituilla ombrotrofisilla soilla alivalumakausien pH-arvot ovat olleet selvästi korkeampia kuin soiden pintaveden tai pintaturpeen pH-arvot. Ojat ylsivät kivennäismaahan tai pintaturvetta neutraalimpaan turvekerrokseen. Ylivalumakausina neutraloituminen oli suhteellisen vähäistä. Edellytyksenä neutraloitumiselle näyttää myös Sallantauksen mukaan olevan valumavesien joutuminen entistä enemmän kosketukseen syvemmällä olevien, vähemmän happamien maakerrosten kanssa. Ramberg (1981) on tehnyt samansuuntaisia havaintoja metsäojitusalueilta. Myös Heikuraisen ym. (1978) tutkimilta vähintään 20 vuotta vanhoilta metsäojitusalueilta purkautuvan veden pH oli korkeampi kuin luonnontilaisilta soilta purkautuvan veden. Tulosten esitetään tosin tässä tapauksessa viittavan lähinnä siihen, että ojituskohteiden valinta ohutturpeisilta ja rehevimmiltä soilta on vaikuttanut epäsuorasti aineistoon.

Tämän tutkimuksen perusteella näyttää siltä, että metsäojitukset eivät ainakaan tutkitun kaltaisten happamien turvemaiden osalta ole aiheuttaneet soilta purkautuvien vesien happamoitumista. Vesistön alajuoksu kuuluu Purokosken (1959) mukaan Litorinameren

pohjasavien esiintymisalueeseen. Alunapitoisia rikkimaita ojitettaessa saattaa sulfidien hapettumisen seurauksena päästä vesistöön rikkihappoa. Kiiminkijoen vesistöalueella ei tiedetä esiintyneen rikkihapon huuhtoutumisesta johtuvia haittoja, kuten esim. Kyrönjoella (Vuoristo 1972). Kokonaisrikkipitoisuus on Kiiminkijoen Haukiputaan virtahavaintopaikalla joen suussa vaihdellut vuosina 1970–1979 välillä 1,3–3,2 mg l⁻¹ (Vesihallituksen julkaisematon aineisto).

Särkiojan ja Syväojan valuma-alueilla myöhään syksyllä ja talvella toteutetut ojitukset lisäsivät verraten voimakkaasti ojien kiintoainepitoisuutta kaivutöiden aikana. Suurin todettu pitoisuus 100 mg l⁻¹ oli kuitenkin suhteellisen pieni muiden vuodenaikojen vastaaviin arvoihin verrattuna. Syväojan valuma-alueella suoritettavat kaivutyöt aiheuttivat kiintoainepitoisuuden hyvin voimakkaan nousun ainakin kahden ojituksen jälkeisen kevään ensimmäisinä merkittävinä sulamispäivinä. Sen jälkeen pitoisuus laski nopeasti tulvan noustessa ja oli ylivalumien aikana enää muutama mg l⁻¹. Tulvan noustessa Nuorittajoen vesi ei vaikuttanut tehtyihin havaintoihin. Sensijaan tulvahuipun aikana joen tulvavesi nousi havaintopaikalle saakka ja on voinut vaikuttaa kiintoainepitoisuutta alentavasti. Eroosioherkkään maaperään kaivetussa Hiekkaojassa kiintoaineen huuhtoutuminen ja pitoisuus oli ylivalumien aikana suurimmillaan ojaerosion vuoksi.

Kiintoainepitoisuuksien suureneminen tulvan lähtiessä nousuun johtunee osaksi siitä, että ojissa oleva irtonainen aines lähtee tällöin liikkeelle. Tulvan edelleen noustessa todettu kiintoainepitoisuuden pieneneminen aiheutuu mahdollisesti siitä, että irtonainen aines on tällöin jo huuhtoutunut pois ja routa sekä jää vähentävät eroosiota. Sallantaus (1981) on päätenyt samaan johtopäätökseen turvetuotantosoilta tehtyjen tutkimusten perusteella. Tähän viittaa myös se, että eroosioherkkään kivennäismaahan saakka kaivetussa Hiekkaojassa pitoisuus oli suurimmillaan ylivalumien aikana. Yhtenä syynä on saattanut olla myös ojitusalueiden ulkopuolisilta metsämailta tulevien vesien laimentava vaikutus.

Sulan maan aikana toteutetun ojien kaivutyön yhteydessä kiintoainepitoisuudet olivat suurimmillaan 826–2805 mg l⁻¹. Ojien kaivutyön aikana huuhtoumat eivät kuitenkaan

muodostuneet kovin suuriksi, koska valumat olivat verraten pieniä. Kiintoaineen huuhtoutumisen todettiin jatkuvan Syväojassa ainakin kahden ojitusta seuranneen vuoden aikana ennen ojitusta vallinnutta tasoa huomattavasti korkeampana. Hiekkaojan kiintoainepitoisuus oli viiden vuoden aikana ojituksen jälkeen keskimäärin selvästi suurempi kuin luonnontilaisella vertailualueella (taulukko 3). Pitoisuudessa ja huuhtoutumisissa ei havaittu tutkimusaikana merkkejä vähenemisestä. Esitetyt huuhtouma-arvot ovat laskentaperusteiden vuoksi karkeita. Niiden perusteella saadaan kuitenkin käsitys huuhtoutumien suuruusluokasta. Ojien kaivunaikaiset ja heti sen jälkeen mitatut huuhtoumat lienevät käytetyn laskentaperusteen vuoksi jonkin verran todellista pienempiä.

Orgaanisen aineen pitoisuudessa on aikaisemmissa tutkimuksissa todettu tapahtuvan lisäystä ojituksen aikana ja välittömästi sen jälkeen. Veden laatu palaa tässä suhteessa kuitenkin nopeasti ennalleen tai jopa paremmaksi (Heikurainen ym. 1978, Kenttämies 1980, Ferda ja Novak 1976). Heikuraisen ym. (emt.) mukaan vähintään 20 vuotta vanhoilta metsittyneiltä ojitusalueilta tulevan veden orgaanisen aineen pitoisuus ei eroa tilastollisesti merkittävästi luonnontilaisilta soilta purkautuvan veden pitoisuudesta.

Aikaisemmat tutkimukset näyttävät kuitenkin viittaavan siihen, että ojituksesta aiheutuvan liuenneen orgaanisen aineen huuhtouman kasvu saattaa johtua pikemminkin valuman kasvusta kuin valumaveden pitoisuustason noususta. Sallantauksen (1981) mukaan tämä näyttää pitävän paikkansa myös turvetuotantoon otettavilla soilla.

Tässä tutkimuksessa liuenneen, veden ruskeaa väriä aiheuttavan orgaanisen aineen määrän mittana käytettiin veden väriä. Veden värin vaaleneminen ojituksen jälkeen oli verrattain selvä Syväojassa ja Särkiojassa (taulukko 3). Korppisuonojassa veden värin intensiteetti kasvoi voimakkaasti ojituksen aikana. Ojituksen jälkeen veden väri vaaleni myös tässä ojassa ennen ojitusta todettua vaaleammaksi. Muissa puroissa ei ojituksen aikaista veden värin tummumista todettu.

Vuosien väliset hydrometeorologiset erot saattavat vaikuttaa huomattavasti veden laatuun. Aikaisemmin ojitetun Hiekkaojan ja luonnontilaisten vertailupurojen veden värin pysyminen samanaikaisesti lähes muuttu-

mattomana on osoituksena siitä, että värin vaaleneminen ojituksen jälkeen on tapahtunut pääasiallisesti ojituksen vaikutuksesta. Tähän viittaa myös se, että Kiiminkijosta ja Nuorittajosta samanaikaisesti otetuista näytteistä määritetty veden väri pysyi muuttumattomana (taulukko 3).

Myöskään Laaksonen ja Malin (1980) eivät ole todenneet Kiiminkijoen vesistössä vuosina 1962–1977 veden värin muutosta, vaikka metsäojitustoiminta on ollut hyvin laajamittaista ja muu vesistöä muuttava toiminta vähäistä. Veden värissä ei ole nähtävissä muutosta myöskään 1970-luvun aineistosta laskettujen eri vuodenaikojen liukuvien keskiarvojen perusteella (Vesihallituksen julkaisematon aineisto).

Ammoniumtyyppipitoisuus kasvoi ojituksen jälkeisenä aikana verraten voimakkaasti Syväojan ja Korppisuonojan vedessä (taulukko 5). Särkiojassa muutosta ei ollut selvästi havaittavissa. Pitoisuuden pysyminen samanaikaisesti muuttumattomana vertailupuroissa ja jokihavaintopaikoilla osoittaa, että ilmiö johtui ojituksesta. Suhteellisesti suurinta pitoisuuden kohoaminen oli valuma-alueena selväpiirteiseltä ojitetulta suolta tulevassa Korppisuonojassa, jossa ammoniumtyyppipitoisuus oli ojituksen jälkeen keskimäärin 18 kertaa suurempi kuin ennen ojitusta (taulukko 5). Hiekkaojan mitta-arvot osoittavat, että ammoniumpitoisuus pysyy pitkään – ainakin viisi vuotta – ojituksen jälkeen kohonneena. Runsassateisena vuonna (n. 4 vuotta ojituksen jälkeen) ammoniumtyyppipitoisuus oli tässä ojassa selvästi normaalien vuosien pitoisuutta suurempi.

Sepposen ym. (1978) mukaan Hiekkaojan valuma-alueen vanhan ojikon (Niemisuo) turpeessa on poikkeuksellisen runsaasti ammoniumtyyppiä (13,5–40,5 mg l⁻¹ tuoretta turvetta). Vuonna 1973 ojitetuilla soilla oli osalla koaloista todettavissa ammoniumpitoisuuden kasvua. Pitoisuus oli sitä suurempi mitä enemmän turve oli ojituksen jälkeen kuivunut. Turpeen kuivuessa happamissa olosuhteissa nitrifikaatio estyy tai se on erittäin hidasta. Tämän vuoksi turpeen ammoniumtyyppipitoisuus saattaa nousta verraten suureksi. Koska kuivuminen vaikuttaa turpeen ammoniumtyyppipitoisuutta lisäävästi, sillä saattaa olla myös ammoniumtyypin huuhtoutumista lisäävää vaikutusta. Tällä perusteella näyttää siltä, että metsäojituksen

yhteydessä tapahtuva kuivatus lisää turpeen typen mobilisoitumisen kasvun kautta valuntavesien ammoniumtypen määrää. Kuitenkin myös Hiekkaojan valuma-alueen peltoalalla (pelto-% 2,4) on saattanut olla jonkin verran ojan veden typpiravinteita lisäävää vaikutusta.

Kenttämiehen (1979) tutkimuksessa ammoniumtyypipitoisuus nousi ojituksen vaikutuksesta huomattavasti eräällä etelä-suomalaisella suolla. Luonnontilaisena kautena ammoniumtyyppiä esiintyi runsaanpuoleisesti $10-40 \mu\text{g l}^{-1}$ vain hyvin vähävetisinä aikoina, kun virtaama oli lähellä nollaa. Ojituksen jälkeen oli pitoisuus keskimäärin $139 \mu\text{g l}^{-1}$ (maksimi-arvo $490 \mu\text{g l}^{-1}$). Turvetuotantoalueilta purkautuvan veden ammoniumtyypipitoisuus on Sallantauksen (1981) havaintojen mukaan tulvakausia lukuunottamatta suhteellisen vakaa ($1400-3000 \mu\text{g l}^{-1}$) valunnan vaihdellessa laajoissa rajoissa. Turvetuotannossa kuivatus on huomattavasti tehokkaampaa kuin metsäojituksessa.

Vuonna 1973 ojitettujen soiden koealojen turpeen nitraattitypen pitoisuudessa on todettu kasvua (Sepponen ja Haapala 1979). Nitraattitypen pitoisuus kasvoi yhdessä purosissa (Syväoja) tilastollisesti merkitsevästi ojituksenjälkeisenä aikana (taulukko 6). Koska ilmiö puuttuu selväpiirteisimmältä ojitusalueelta tulevasta purosta (Korppisuonojasta), sitä ei kuitenkaan voitane yksiselitteisesti päätellä ojituksesta johtuvaksi.

Syväojan vedessä todettu nitraattitypen pitoisuuden kasvu ojituksen jälkeen saattaa viitata ammoniumtypen muuttumiseen nitrifikaation kautta osittain nitraatiksi veden virratessa kauempana sijaitsevilta ojitusalueilta näytteenottokohdalle puron suuhun. Tähän viittaa sekin, että ilmiötä ei todettu talvella. Muissa tutkimuksissa puroissa ei nitrifikaatiota ehtine merkittävästi tapahtua veden kulke- man lyhyen matkan vuoksi.

Tiedot metsäojituksen vaikutuksesta suolta purkautuvan veden fosforipitoisuuteen ja huuhtoutuvan fosforin määrään ovat vähäisiä. Kenttämiehen (1980) havainnot eräältä ojitusalueelta viittaavat kokonaisfosforipitoisuudessa tapahtuvaan lievään kasvuun. Havaintojakso rajoittuu yhteen vuoteen, jonka jälkeen ojituksen vaikutukset peittyvät metsänlannoitteiden aiheuttamien muutosten alle.

Tässä tutkimuksessa kokonaisfosforipitoi-

suus nousi yhdessä ojassa tilastollisesti jokseenkin merkitsevästi ojituksen jälkeisenä aikana (taulukko 9). Aineistossa esiintyvän mittaustulosten suuren hajonnan vuoksi tilastollinen merkitsevyys ei ollut kovin suuri. Ojituskautena korkeat kokonaisfosforipitoisuudet todettiin samanaikaisesti kuin suuret kiintoainepitoisuudet.

Sepponen ja Haapala (1979) eivät todeneet tämän tutkimuksen soiden koealoilla merkitsevää muutosta uuttuvan fosforin määrässä ojituksenjälkeisenä aikana. Mikäli fosforin mobilisoitumista tutkituissa turpeissa tapahtuu, se joko ajoittuu myöhempään vaiheeseen ojituksen kuivattavan vaikutuksen ehdittyä pidemmälle tai kuluu kasvien ja mikrobien elintoimintoihin. Mineralisoituneen fosforin huuhtoutumiseen saattaa vaikuttaa myös sen reaktiot muiden ionien, etenkin raudan kanssa.

Tässä tutkimuksessa ei ojien veden fosfaattifosforipitoisuudessa todettu tilastollisesti merkitsevää muutosta ojituksen vaikutuksesta. Kokonais- ja fosfaattifosforipitoisuudet kasvoivat kuitenkin Syväojassa kevättalvella ja kevättulvan aikana. Tähän on saattanut vaikuttaa myös kevättalvella 1975 suoritettu metsänlannoitus 10 ha:n alueella. Fosfaattifosforin suhteellinen osuus kokonaisfosforista väheni ojituksen jälkeen laskuajissa. Tämä saattaa viitata siihen, että entistä suurempi osa fosforista on orgaanisiin partikkeleihin sitoutuneena.

Syväojan korkeat fosforipitoisuudet ja niiden huomattava suureneminen ojituksen jälkeen johtuneet osittain suppealla alueella (10 ha) suoritettua metsänlannoituksesta ja mahdollisesta pellolta tulevan huuhtoutuman kasvusta. Merkittävin yhteys korkeilla pitoisuuksilla täytynee kuitenkin olla maaperätekijöihin: Syväojan valuma-alueen turpeen fosforipitoisuus on ainakin paikoitellen suuri (Sepponen ym. 1978).

Sepponen ja Haapala (1979) eivät todeneet muutoksia tutkittujen soiden pintaturpeen kaliumpitoisuudessa arvelleen sen johtuvan huuhtoutumisesta tai sitoutumisesta biologisiin toimintoihin. Tämän tutkimusaineiston perusteella kaliumpitoisuus on ojituksenjälkeisenä aikana tilastollisesti merkitsevästi vähentynyt yhdessä purosissa. Ilmiö selittyy pääasiallisesti vuoden 1974 runsaiden sateiden laimentavalla vaikutuksella, koska sama ilmiö todettiin myös Kiiminki- ja Nuorittajoi-

essa.

Sepponen ja Haapala (emt.) eivät havainneet tilastollisesti merkitsevää muutosta uuttuvan raudan määrässä tutkimusalueen ojitetuilla koealoilla. Samanaikaisesti on kuitenkin todettu muutoksia ojitamattomilla alueilla, joilla uuttuvan raudan pitoisuus kasvoi selvästi. Tässä tutkimuksessa luonnontilaisessa Kirsojassa, jonka valuma-alueen turpeen laatua ei ole tutkittu, rautapitoisuus kasvoi tilastollisesti merkittävästi. Sen sijaan ojitetuilta soilta purkautuvien vesien rautapitoisuudessa ei näyttäisi tapahtuneen merkitseviä muutoksia muualla kuin Korppisuonojassa. Useimmissa tapauksissa on tosin todettavissa lievää rautapitoisuuden laskua.

Aikaisemmin on tältä alueelta julkaistu aineistoa mm. raudan esiintymisestä valuntavesien humuksessa (Haapala ym. 1976). Rauta kulkee lähes kokonaan humuksen mukana. Näin ollen veden ruskeaa väriä aiheuttavan humuksen pitoisuuden väheneminen on yhteydessä todettuun rautapitoisuuden laskuun. Raudan reaktiot ojituksen seurauksena kuivuvassa turpeessa ja raudan huuhtoutuminen ovat ilmeisen monimutkaisia tapahtumia, jotka vaativat vielä tarkempia kemiallisia erikoistutkimuksia tullakseen selvi-

tetyiksi. Raudan tutkiminen on sikäläkin tärkeää, että se reagoi ilmeisen selvästi fosforin kanssa ja vaikuttaa näin ollen sekä soiden että vesistöjen kasvien ravintotalouteen (Sepponen ja Haapala 1979).

Koska veden viipymä jokiuomassa on suhteellisen lyhyt, suurin merkitys perustuotannon kannalta on niillä ravinteilla, jotka jo huuhtoutuessaan vesistöön ovat kasveille käyttökelpoisessa muodossa. Typen suhde fosforiin on leväsoluissa tavallisesti 7:1 (esim. Armstrong 1965), mutta vaihtelee riippuen leväsolujen ravitsemustilasta. Kun N/P-suhde on selvästi suurempi kuin 7:1, rajoittaa fosfori kasvua. Kun N/P:n suhde on alhainen, tyyppi on kasvua rajoittava tekijä (esim. Rinne ja Tarkiainen 1976). Tutkituissa puroissa kesän alivirtaamien aikana, jolloin vesi oli suurimmaksi osaksi pohjavettä, fosfaattifosforia oli typpiravinteisiin nähden hyvin vähän. Muutoin ammonium- ja nitraattitypen suhde fosfaattifosforiin oli ennen ojitusta yleensä alhainen. Ojituksen ammoniumtyypipitoisuutta suurentavan vaikutuksen vuoksi tämä suhde suureni ojien kaivun jälkeen levien kasulle edullisempaan suuntaan (ks. Hynninen 1978).

KIRJALLISUUS

- AHTI, E. 1977. Runoff from open peatlands as influenced by ditching. I Theoretical analysis. *Seloste: Metsäojituksen vaikutus avosuon valuntaan. I Teoreettinen analyysi. Commun. Inst. For. Fenn* 92(3): 1-16.
- 1979. Metsäojituksen sivuvaikutuksista. *Metsäntutkimuslaitos. Parkanon tutkimusaseman tiedonantoja* 8: 1-6.
- ARMSTRONG, F. A. 1965. Phosphorus. 304-323. Riley, J. P. & Skirrow, G. (toim.). *Chemical Oceanography* 1. London and New York. 304-323.
- ENKOVAARA, E., HÄRME, M. & VÄYRYNEN, H. 1953. Kivilajikartan selitys, lehdet C5 ja B5, Suomen Geologinen yleiskartta. 153 s. Helsinki. Geologinen Tutkimuslaitos.
- ERKOMAA, K., MÄKINEN, I. & SANDMAN, O. 1977. Vesiviranomaisen ja julkisen valvonnan alaisten vesitutkimuslaitosten fysikaaliset ja kemialliset analyysimenetelmät. Summary: Methods of water analysis used by authorized and Water Authorities' laboratories. National board of Waters. Finland. Report 121: 1-54.
- FERDA, J. & NOVAK, M. 1976. The effect of ameliorative measures on the quality of surface and ground waters in peat soils. 5th Int. Peat Congr. Poznan. Poland. Vol 1: 118-127.
- HAAPALA, H., SEPPONEN, P. & MESKUS, E. 1975. Effect of spring floods on water acidity in the Kiiminkijoki area, Finland. *Oikos* 26: 26-31.
- , HYNINEN, P., HILTUNEN, R., SEPPONEN, P. & NIEMELÄ, K. 1976. The influence upon the river Kiiminkijoki of water from its tributary Nuorittajoki. *Aquilo Ser. Bot.* 14: 32-45.
- HEIKURAINEN, L. 1976. Comparison between runoff conditions on a virgin peatland and a forest drainage area. 5th Int. Peat Congr., Poznan. Poland. Vol. 1: 76-86.
- & JOENSUU, S. 1981. Metsäojituksen hydrologiset seurauksivaikutukset. Summary: The hydrological effects of forest drainage. *Silva Fennica* 15 (3): 285-303.
- , KENTTÄMIES, K. & LAINE, J. 1978. The environmental effects of forest drainage. Lyhenelmä: Metsäojituksen ympäristövaikutukset. *Suo* 29 (3-4): 49-58.
- HUIKARI, O. 1959. Metsäojitettujen turvemaiden vesi-

- taloudesta. Referat: Über den Wasserhaushalt waldentwässerter Torfböden. Commun. Inst. For. Fenn. 51 (2): 1-45.
- & PAAVILAINEN, E. 1972. Metsän lannoitus. Toinen painos. 68 s. Kirjayhtymä. Helsinki.
- HYNNINEN, P. 1978. Kasviplanktonin biomassan, lajiston tuotannon ja kasvipigmenttien sekä kasviplanktoniin vaikuttavien ekologisten tekijöiden vuodenaikaisvaihtelusta Kiiminkijoen vesistössä. Fil. lis. tutkielma, Oulun yliopiston kasvitieteen laitos. 207 s. Oulu.
- HYVÄRINEN, V. & VEHVILÄINEN, R. 1978. The influence of forest drainage. Finland. Proceedings of the Nordic Hydrological Conference. IIII-III10. Hanasaari. Finland.
- ILVESSALO, Y. 1960. Soiden esiintyminen Suomessa. Summary: The occurrence of swamps in Finland. Suo 11: 55-62.
- KENTTÄMIES, K. 1972. Metsäojituksen vaikutus vesistön veden laatuun. IV Maanparannus- ja vesitaloussymposium. Vesihallitus. Report 34 A.
- 1977. Urlakningen av fosfor och kalium från dikade och gödslade torvmarker. 13. nordiska symposiet om vattenforskning. Nordforsk miljövårdssekretariatet Publ. 2: 171-179.
- 1979. Metsäojituksen ja metsälannoituksen merkitys vesien kuormittajana. Vesiyhdistys r.y:n vesipäivä. Vesistöjen hajakuormitus. s. 90-100. Helsinki.
- 1980. The effects on water quality of forest drainage and fertilization in peatlands. The influence of man on the hydrological regime with special reference to representative and experimental basins. IAHS-AISH Publ. no. 130: 277-284.
- KONSTANTINOV, V. K. & SUHORUKOVA, L. J. 1980. Metsäojituksen vaikutus jokien ja vesistöjen likaantumiseen. Silva Fennica 14 (2): 177-181.
- KOROLEFF, E. 1968. Determination of total phosphorus in natural waters by means of persulphate oxidation. - ICES paper C.M. 1968/C:33.
- KORPIJAAKKO, E. & PHEENEY, P. 1976. Transport of peat sediments by drainage system from exploited peatlands. Proceedings of the 5th Int. Peat Congr. Poznan. Poland. Vol. 1: 135-148.
- Kuukausikatsaus Suomen ilmastoon 1972-1975. Vuosien 1972-1975 yhteenvetot. Ilmatieteen laitos. Helsinki.
- LAAKSONEN, R. & MALIN, V. 1980. Vesistöjen veden laadun muutoksista vuosina 1962-1977. Summary: Changes in water quality in Finnish lakes and rivers 1962-1977. Publ. Water Res. Inst. 30: 1-70.
- LUTHER, H. & RZOSKA, J. 1971 (ed.) Project Aqua: a source book of inland waters proposed for conservation. - IBP Handbook No 21. 256 s.
- LÄHDE, E. 1969. Biological activity in some natural and drained peat soils with special reference to oxidation-reduction conditions. Acta For. Fenn. 94: 1-69.
- MUSTONEN, S. & SEUNA, P. 1971. Metsäojituksen vaikutuksesta suon hydrologiaan. Summary: Influence of forest draining on the hydrology of peatlands. Publ. Water Res. Inst. 2: 1-63.
- PUROKOSKI, P. 1959. Rannikkoseudun rikkipitoisista maista. Referat: Über die schwefelhaltigen Böden an der Küste Finlands. Agrogeologia julkaisuja 74: 1-27.
- PÄTILÄ, A. 1982. Katsaus luonnonvesiä happamoittaviin tekijöihin. Abstract: Factors influencing the acidification of lakes. Luonnon tutkija 86: 3-6.
- RAMBERG, L. 1981. Increase in stream pH after a forest drainage. Ambio 10 (1): 34-35.
- RINNE, J. & TARKIAINEN, E. 1976. Algal tests used to study the chemical factors regulating the growth of planktonic algae in the Helsinki area. Käsikirjoitus. Helsingin kaupungin rakennusvirasto katurakennusosasto, Vesien suojelulaboratorio. 30 s.
- SALLANTAUS, T. 1981. Polttoturvetuotanto vesistöjen kuormittajana. Vesihallitus. Koulutuspäivät 4-5. 11. 1981. 19 s. Jyväskylä.
- 1982a. Turvetuotannon vaikutukset jokivesistöjen veden laatuun. Vesihallituksen monistesarja n:o 112: 1-9. Helsinki.
- 1982b. Turvetuotanto vesistöjen kuormittajana. Esitelmä Helsingin yliopiston neuvontapöytä ja täydennyskoulutuksen keskuksen kursilla. 18 s. Hyytiälä.
- SEPPONEN, P., HAAPALA, H., HILTUNEN, R. & HÄGGMAN, J. 1978. The nutrient ecology of certain mires in the parish of Ylikiiminki. Aquilo Ser. Bot. 123: 67-111.
- & HAAPALA, H. 1979. Ojituksen vaikutuksesta turpeen kemiallisiin ominaisuuksiin. Summary: On the effect of drainage on the chemical properties of peat. Folia For. 405: 1-16.
- SEUNA, P. 1981. Metsäojituksen vaikutukset virtaamiin ja pohjavesiin. Vesihallitus. Koulutuspäivät 4-5. 11. 1981. Moniste. 5 s. Jyväskylä.
- STARR, M. R. & PÄIVÄNEN, J. 1981. The influence of peatland forest drainage on runoff peak flows. Seloste: Soiden metsäojituksen vaikutus ylivirtaamiin. Suo 32 (3): 79-84.
- Vesianalyyseitoimikunnan mietintö 1968. Komiteamietintö B 19. Helsinki.
- Vesihallitus 1977. II- ja Kiiminkijoen sekä Kuusamon vesistöjen vesien käytön kokonaissuunnitelma. Vesihallitus. Tiedotus 136. 331 s. Helsinki.
- VUORISTO, H. 1972. Veden laadusta litorina-alueella, erityisesti Pohjanmaan jokivesistöissä. IV maanparannus- ja vesitaloussymposium 30-31. 5. 1972. Vaasa. Vesihallitus. Tiedotus 34 A.

SUMMARY

THE EFFECT OF DRAINAGE ON THE QUALITY OF BROOK WATERS IN THE KIIMINKIJOKI RIVER BASIN, NORTHERN FINLAND

The present study deals with the effect of forest drainage on some quality factors of runoff water. Under study were several brooks in the basin of the Kiiminkijoki River as well as its main tributary, the Nuorittajoki River. These are located in northern Finland (Figure 1). The basin is being studied as part of the international water conservation program Project Aqua and represents a water system rich in humus.

The study comprised monitoring of the quality of water in the brooks both prior to the ditching of the runoff areas and thereafter. The following values were determined for the samples: pH value, electrical conductivity, colour, concentration of suspended solids, NO₂, NO₃, and NH₄ nitrogen concentrations, dissolved and total phosphorus concentrations, and Ca, Mg, K, and Fe concentrations. The analysis involved the same methods as were applied in some earlier studies (Haapala et al 1975 and 1976).

The peatlands of the main basin have earlier been described by Sepponen & Haapala (1979). Characteristics of the catchment areas of the brooks are presented in Table 1; Figure 2 contains data on the climate of the area. Floods greatly affect the quality of water in this area (Haapala et al. 1975 and 1976). Some water quality factors, particularly the pH value, are demonstrably dependent of runoff (Table 2 and Figure 4). The pH value drops abruptly especially during the spring peak flows as a result of the acidity of the runoff from melting snow.

Statistically significant change in colour following ditching was noted for two of the brooks studied (Table 3). In both, brown colour became lighter. In one brook, a significant increase in the concentration of suspended solids was seen (Table 3 and Figure 5). A definite short term increase in suspended solids was observed during and immediately after ditching. Over a longer period of time, this change was not statistically significant. Most leaching of suspended solids seemed to take place during the period of the first flow peaks in the spring following ditching. In some of the brooks the concentration of suspended solids declined with time after ditching. No

such decline was observed for Hiekkaoja, an area particularly sensitive to erosion.

Only one brook showed a statistically significant change in the acidity of the runoff water. This was Korppisuonoja (Table 4 and Figure 3) and its pH value rose approximately 0.9 units. This could partly be because of the contact of runoff water from more neutral peat layers below; water in a peatland in its natural state normally flows only through the surface peat layer. Core samples from the peatland clearly indicate that deeper (0.5-1.5 m) peat layers are more neutral than surface peat. The neutralization of runoff might be accounted for as well by the increased contact of the acidic surface runoff with mineral soil.

The most distinct change as far as plant nutrients are concerned appeared in the concentration of ammonium nitrogen. In all subbasins object to ditching, the NH₄ concentration showed a statistically significant increase (Table 5) as nitrate concentration with one exception did not show such a change. This was interpreted to reflect mobilization of nitrogen in acid conditions: organic nitrogen breaks down into ammonium compounds, and because acidity prevents nitrification, nitrogen is leached as ammonium. The only significant increase in nitrate concentration was detected in Syväoja (Table 6), by far the largest of the drained subbasins. Here in low runoff periods, some nitrification might have occurred during the long pathway of the runoff waters from the most distant parts of the basin to the observation point. Changes in nitrite concentrations were even slighter than for nitrate. Total phosphorus increased only in Syväoja (Table 9). For other mineral nutrients (K, Ca, Mg and Fe) no significant changes in the brooks discharging from the drained areas were noted (Table 10). Only in Korppisuonoja brook, a statistically significant decrease was observed for potassium and iron.

In waters which were assumed to be unaffected by ditching, some changes in nutrient concentrations occurred. Presumably being caused by climatic variation, these changes are not dealt with in any detail.