

# Harvennushakkuun vaikutus pohjavedenpinnan syvyyteen ojitusalueilla Pohjois-Suomessa

Effect of thinning on groundwater table depth in drained peatlands in northern Finland

Hannu Hökkä & Timo Penttilä

*Hannu Hökkä & Timo Penttilä, The Finnish Forest Research Institute, Rovaniemi Research Station, P.O.Box 16, FIN-96301 Rovaniemi, Finland*

The effect of thinning on the groundwater table level was studied in four stands of Scots pine (*Pinus sylvestris*) on drained peatlands in northern Finland. Four thinning intensities (0–50% removal of the initial stocking), with three replications arranged using a randomized block design, were used in each experiment. If found to be in an unsatisfactory condition, the ditch networks were repaired at the time of thinning. Data from nine groundwater wells on each plot were used to determine the average depth of the groundwater table. The wells were monitored at two-week intervals during the latter parts of the growing seasons in 1991–1993. The mean groundwater table depth was used as the dependent variable in ANOVA with repeated measurements. In most cases, the groundwater table depth was lowest in the control plots, but significant differences between the treatments were found only in 1993 in two experiments. It was concluded that thinning caused no rise, or only a slight rise, in the groundwater table level.

Keywords: Forest drainage, groundwater table, *Pinus sylvestris*, thinning

## JOHDANTO

Suon pohjavedenpinnan syvyys ja sen vaihtelu kasvukauden aikana määräytyy sadannan, valunnan ja evapotranspiraation mukaan. Luonnontilaisella suolla puuston hakkuun on todettu lisänneen pohjavedenpinnan vaihtelua, mutta ei muuttaneen sen tasoa (Verry 1981). Heikuraisen (1967) sekä Heikuraisen ja Päiväsen (1970) mukaan ojitetuilla soilla metsikön latvuspidäntä ja puiden kasvuun liittyvä haihdunta pienentävät valuntaa ja lisäävät pohjaveden

syvyyttä. Puuston määrän väheneminen hakkuussa johtaa pohjavedenpinnan kohoamiseen (Heikurainen 1967, Päivänen 1982, Berry ja Jeglum 1988). Hakkuun yhteydessä tehdyllä ojituksen kunnostuksella on todettu voitavan vähentää pohjavedenpinnan nousua (Hänell 1991).

Ojitusalueiden harvennushakkuissa harvennusvoimakkuuden lisääminen parantaa hakkuun kannattavuutta. Samalla lisääntyy pohjavedenpinnan kohoamisen riski, minkä voi olettaa heikentävän puiden kasvuoloja. Suomen oloissa puilla ei kasvukauden aikana ojitetuillakaan soilla

ole puutetta vedestä (Päivänen 1973). Sen sijaan liika vesi haittaa juurten kasvua heikentämällä maan happioloja. Alueilla, joilla pohjaveden korkeutta on säännöstelty, hienojuurten on todettu tunkeutuvan sitä syvemmälle (Paavilainen 1966) ja puuston kasvun olevan sitä parempaa (esim. Silfverberg 1984), mitä syvemmällä pohjavesi on. Vastaavasti pohjaveden keskikorkeuden on todettu selittävän puuston kasvun tasoa (Heikurainen 1980). Harvennushakkuusta mahdollisesti aiheutuvan pohjavedenpinnan nousun vaikutusta jäävän puuston kasvuun ei ole selvitetty.

Aikaisemmat tutkimukset hakkuiden vaikutuksista pohjavedenpinnan syvyyteen on tehty Etelä- ja Keski-Suomessa ja tulokset perustuvat yksittäisten, eri tavalla hakattujen koealojen pohjavesitasojen vertailuun toimenpiteiden jälkeen. Mahdolliset luontaiset erot pohjaveden syvyydessä on selvitetty ennen hakkuita. Käsittelyjen erojen merkitsevyyttä ei ole koejärjestelyjen puitteissa voitu testata. (Heikurainen 1967, Heikurainen ja Päivänen 1970, Päivänen 1982)

Tässä tutkimuksessa on tavoitteena selvittää järjestettyjen kokeiden avulla harvennusvoimakkuuden vaikutusta pohjavedenpinnan syvyyteen ojitusalueilla. Valtaosalla alueita oli hakkuun yhteydessä tehty kunnostusojitus. Tarkastelu painottuu Pohjois-Suomen ensiharvennusvaiheen männiköihin, missä myös ojitualuemetsien harvennustarve on suuri (Paavilainen ja Tiuhonen 1987).

## AINEISTO JA MENETELMÄT

Tutkimuksen aineisto kerättiin METLAn ja Metsähallituksen yhteistyönä perustetuilta suometsien harvennuskokeilta, jotka sijaitsevat Metsähallituksen eri hoitoalueiden käytännön ojitusalueilla. Kallon koe Kittilässä ja Rehulan koe Pyhäjärvellä perustettiin vuonna 1987 ja Sakkala-aavan ja Heinäjängän kokeet Pelkosenniellä vuonna 1989 (Taulukko 1). Kokeissa oli neljä (Kallossa vain kolme) harvennuskäsittelyä, joissa oli poistettu 0–50 % lähtöpuustosta. Kullakin käsittelyllä tavoiteltiin ennalta määrättyä jäävän puuston runkolukua. Normaalin harvennuksen jäävä runkoluku oli sama kuin paikallisen

metsälautakunnan runkolukuohje tuotoskyvyltään vastaavanlaisen kivennäismaan kasvupaikan valtapituudeltaan vastaavassa metsikössä. Lievä ja voimakas harvennus poikkesivat normaalista  $\pm 30\%$ .

Jokaisessa kokeessa noudatettiin yhtenäistä satunnaistettujen lohkojen koejärjestelyä, jossa lohkotuksella pyrittiin kontrolloimaan puuston ja kasvupaikan vaihtelua. Metsiköt olivat Rehulan koetta lukuunottamatta puhtaita männiköitä, ja pohjoisimmat suhteellisen vähäpuustoisia (Taulukko 2). Kokeet sijaitsivat ruohoisilla tai lettoisilla kasvupaikoilla ja niistä kaksi oli ollut alunperin avosoita ja kaksi rämeitä. Rehulan kokeella turpeen paksuus jäi usealla koealalla 80–90 cm:iin, muut olivat paksumpiturpeisia (Taulukko 1).

Perustamisen yhteydessä ojasto oli Rehulan koetta lukuunottamatta kunnostettu, useimmiten perkaamalla vanhat ojat. Kapein sarkaleveys oli Heinäjängän kokeella (Taulukko 1). Heinäjängällä ja Rehulassa kukin koeala oli saran levyinen. Kallossa ja Sakkala-aavalla joitakin eri voimakkuudella harvennettuja koealoja oli samalla saralla rinnakkain (Kuva 1). Koealojen koko vaihteli välillä 710–1 800 m<sup>2</sup>. Puuston mittauksessa kaikki jäävät puut kartoitettiin ja luettiin niiden rinnankorkeusläpimitat. Koepuumittauksiin valittiin n. 20 koko runkolukusarjaa edustavaa koepuuta. Puustotunnusten laskenta tehtiin KPL-ohjelmistolla (Heinonen 1994).

Pohjaveden tason seuraamiseksi jokaiselle koealalle sijoitettiin puuston harvennuksen jälkeen tasaisesti 9 kpl halkaisijaltaan 3,5 cm kokoista ja pituudeltaan n. 1 metrin mittaista pohjavesikaivoa tasapinnoille (Kuva 1). Pohjaveden syvyydeksi merkittiin pohjavedenpinnan ja tasapinnan välimatka 1 cm:n tarkkuudella (vrt. Verry 1981). Pohjaveden syvyys käytiin lukemassa vuosien 1991–1993 aikana keskimäärin 4–7 kertaa kasvukaudessa noin kahden viikon välein kesäkuun lopun ja lokakuun alun välisenä aikana. Rehulan kokeella ei tehty mittauksia vuonna 1992. Pohjaveden syvyyden lukemisessa käytettiin mitatankoa, johon oli yhdistetty summeri (Mannerkoski 1983).

Jos kaivo oli tyhjä, pohjaveden syvyydeksi merkittiin 100 cm, ellei kaivo ollut tätä matalampi. Heinäjängän kokeen yhdellä koealalla oli

Taulukko 1. Kokeiden sijainti- ja kasvupaikkatunnuksia. Koe 1 = Kallo, Kittilä, 2 = Sakkala-aapa, Pelkosenniemi, 3 = Heinäjänkä, Pelkosenniemi, 4 = Rehula, Pyhäjärvi.

Table 1. Location and site attributes of the experimental sites. Site 1 = Kallo, Kittilä, 2 = Sakkala-aapa, Pelkosenniemi, 3 = Heinäjänkä, Pelkosenniemi, 4 = Rehula, Pyhäjärvi.

Tunnus — Attribute	Koe Site			
	1	2	3	4
Sijainti — <i>Co-ordinates</i>				
N	7479	7566	7466	7109
E	399	533	534	614
Korkeus mpy, m <i>Elevation, m.a.s.l.</i>	190	190	200	155
Lämpösumma (>50C) <i>Effective temp. sum</i>	800	800	800	1060
Sademäärä, mm — <i>Precipitation</i>				
keskim. <sup>1</sup> — <i>average</i>	270	300	300	290
1991	200	307	307	461
1992	471	475	475	401
1993	291	263	263	291
Suotyypit <sup>2</sup>	RhSR	VL	RhSN	RhSR
<i>Peatland site type</i>				
Turpeen paksuus, m <i>Peat depth</i>	1,0	>1,0	1,0	0,9
Ojitusvuosi <i>Year of drainage</i>	1971	1969	1969	1972
Perkausvuosi <i>Year of ditch repair</i>	1985	1984	1989	—
Sarkaleveys, m <i>Ditch spacing</i>	55	50	40	30
Harvennusvuosi <i>Year of thinning</i>	1987	1989	1989	1987

<sup>1</sup> 1.5.–30.9. Tuhkasen (1980) mukaan — *from May 1st to September 30th; according to Tuhkanen (1980)*

<sup>2</sup> Laineen ja Vasanderin (1990) mukaan — *according to Laine and Vasander (1990)*

seitsemän kpl 50 cm:n kaivoja ja Rehulan kokeella vain yhdellä koealalla kaivojen syvyys ylsi 100 cm:iin. Tyhjä kaivo -havaintoja oli käytännössä vain Heinäjängällä mainitulla koealalla. Jokaiselle koealalle laskettiin mittauskerroittain kaivojen pohjavesien korkeuksien keskiarvo, jota käytettiin analyysissä pohjaveden korkeutta kuvaavana tunnuksena.

Aineisto analysoitiin SAS:n GLM-proseduurilla (SAS Institute Inc. 1989) toistomitatun kokeen varianssianalyysillä, jossa toisena päätekijänä oli harvennuskäsittely ja toisena aika. Toistotekijänä käytettiin koejärjestelyn mukaista lohkokotijää (Winer 1971). Koska aineisto koostui

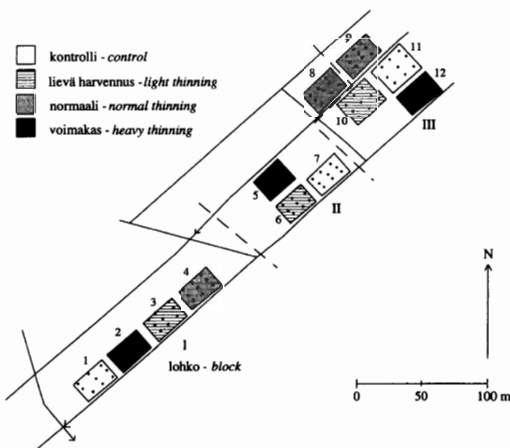
peräkkäisistä mittauksista, erojen testaus jokaisella mittaushetkellä erikseen ei ollut relevanttia. Useiden erillisten testien tekeminen lisää todennäköisyyttä saada merkitseviä eroja, vaikka niitä ei todellisuudessa olisikaan (Ranta ym. 1989). Lisäksi saman havaintoyksikön l. kaivon pohjavesipinnan kahden viikon välein toistuvaan mittaukseen liittyy autokorrelaatiota. Edelleen vierekkäiset kaivot korreloivat keskenään spatiaalisesti, minkä vuoksi käytettiin koealoittaisia keskiarvoja.

Tekijöiden merkityksen testaamisessa tavallisen F-testin käyttö edellyttää, että sfäärisyysoletus on havainnoille voimassa, eli eri mittauskertojen varianssit sekä mittauskertojen väliset

Taulukko 2. Kokeiden keskimääräinen runkoluku (N), valtapituus (H) ja tilavuus ( $V_1$ ) harvennuksen jälkeen sekä harvennuspoistuma ( $V_2$ ) käsitellyittäin. Kokeet kuten Taulukossa 1. Käsitely 0 = kontrolli, 1 = lievä harvennus, 2 = normaali harvennus, 3 = voimakas harvennus.

Table 2. Mean stem tally (N), top height (H) and stand volume ( $V_1$ ) after thinning and the thinning removal ( $V_2$ ) by site and treatment. Sites as in Table 1. Treatment 0 = control, 1 = light thinning, 2 = normal thinning, 3 = heavy thinning.

Koe Site	Käsittely Treatment	N ha <sup>-1</sup>	H m	V m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup>	$V_2$ m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup>
1	0	2880	9.3	76.7	0.0
	2	1392	9.9	57.1	17.0
	3	971	8.8	27.5	25.2
2	0	1733	10.7	87.1	0.0
	1	1318	11.3	78.6	18.4
	2	943	9.7	46.7	17.9
	3	670	11.1	39.2	32.0
3	0	2329	11.2	108.9	0.0
	1	1449	11.2	85.2	27.5
	2	1304	11.2	81.9	19.0
	3	836	10.9	60.7	42.4
4	0	2857	11.0	122.5	0.0
	1	1305	11.0	81.4	26.5
	2	1020	11.4	51.0	30.2
	3	776	11.2	45.3	39.4



Kuva 1. Esimerkki koejärjestelystä Sakkala-aavalla (koe 2). Pohjavesikaivojen sijainti merkitty pisteillä.

Fig. 1. An example of the experimental design at the Sakkala-aapa site (2). The location of the groundwater wells is indicated by dots.

korrelaatiot ovat vakioita. Sfäärisyysehto voidaan analyysin yhteydessä testata edellyttäen, että käsittelyjä on korkeintaan saman verran kuin kokeessa toistoja. Tämä ehto toteutui vain Kallon kokeella. Käytännössä on turvallisinta käyttää vapausastekorjattuja F-testejä, etenkin jos niiden p-arvot poikkeavat tavallisen F-testin p-arvoista (SAS Institute Inc. 1989). Tästä syystä jokaiselle tekijälle laskettiin kolme eri p-arvoa, joista ensimmäinen on tavallisen F-testin p-arvo, toinen Greenhouse-Geisserin vapausastekorjatun F-testin p-arvo ja kolmas Huynh-Feldtin vapausastekorjatun F-testin p-arvo. Kahdesta jälkimmäisestä ensinmainittu testi on konservatiivisempi. Päätelmät tehtiin vapausastekorjattujen testien perusteella.

Pienalueilla pohjavedenpinta pyrkii gravitaation vuoksi tasoittumaan samalle korkeudelle. Kokeissa eri tavalla käsiteltyjen koealojen väliset vaipat olivat 3–10 m:n levyisiä, mitä puuston osalta voidaan keskimäärin pitää riittävänä. Pohjaveden syvyys ei kuitenkaan

välttämättä muutaman metrin matkalla muutu suhteessa muutokseen puuston käsittelyssä. Tämän vuoksi vastaava analyysi tehtiin aineistolle, jossa koelaitteet pohjaveden korkeuden keskiarvot laskettiin vain saran poikkisuunnassa koelaitteen keskellä sijaitsevien kolmen kaivon, ns. keskikaivojen perusteella (Kuva 1). Tällöin vaipan leveydeksi muodostui saran suunnassa 20–40 m.

## TULOKSET

Pohjavedenpinnan syvyys vaihteli kokeittain ja vuosittain (Kuvat 2, 3, 4 ja 5). Sateinen kasvukausi 1992 erosi kuivemmista. Samoin kasvukauden aikana vaihtelu oli kohtalaisen suurta (Taulukko 3). Pohjaveden syvyyttä ei korjattu sadannan vaihtelulla, koska katsottiin, että sadanta oli kokeen sisällä sama. Vuotuiset keskimääräiset pohjavedenpinnan syvyydet eivät

noudattaneet puuston käsittelyjen eroja kaikilla kokeilla, vaikka pohjavedenpinta olikin useimmiten alimpana harventamattomilla käsittelyillä (Taulukko 3).

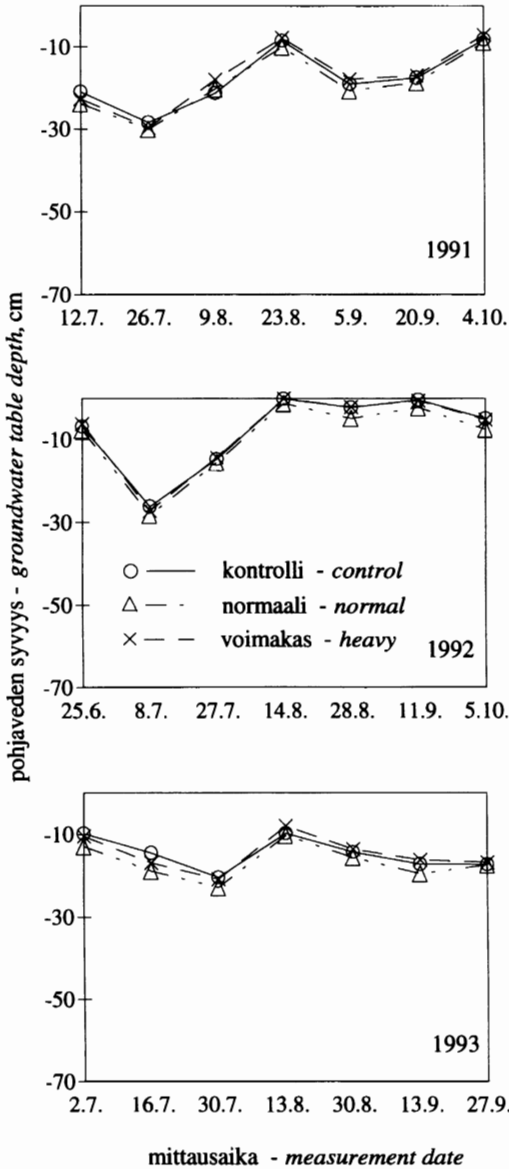
Pohjavesi oli kaikkein korkeimmalla Kallon kokeella, missä erityisesti vuonna 1992 mitattiin aivan suon tasapinnassa olevia pohjaveden arvoja (Kuva 2). Vuonna 1985 peratut ojat olivat erittäin hyväkuntoisia. Kuvien perusteella Kallon kokeella ei käsittelyjen välillä ollut mitään eroja. Korkea pohjavesipinta ei silti anna todellista kuvaa puiden kasvuoloista, koska puut kasvoivat jänteillä ja pohjaveden syvyys mitattiin tasapinnasta.

Sakkala-aavalla käsittelyjen välinen ero oli eri vuosina samaa suuruusluokkaa (<10 cm) riippumatta pohjavedenpinnan syvyyden vaihteluista (Kuva 3). Pohjavedenpinta oli syvimmällä kontrollikoealoilla. Heinäjängällä kontrolli näytti poikkeavan harvennetuista, jotka taas eivät eronneet toisistaan (Kuva 4). Rehulassa eri

Taulukko 3. Pohjaveden keskimääräinen syvyys kokeittain ja käsittelyittäin eri vuosina. Keskihajonta suluissa. Kokeet kuten Taulukossa 1. Käsittely 0 = kontrolli, 1 = lievä harvennus, 2 = normaali harvennus, 3 = voimakas harvennus.

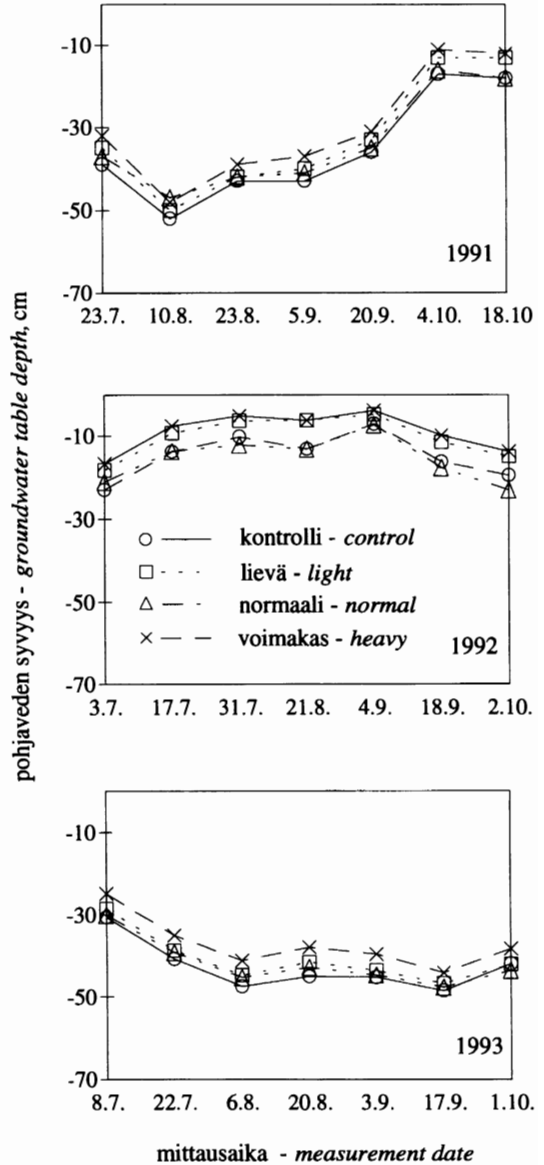
Table 3. Mean groundwater table depth by site, treatment and years. Standard deviations in parentheses. Sites as in Table 1. Treatment 0 = control, 1 = light thinning, 2 = normal thinning, 3 = heavy thinning.

Koe Site	Käsittely Treatment	Pohjaveden syvyys, cm Groundwater depth					
		1991		Vuosi — Year 1992		1993	
1	0	17.63	(7.28)	8.49	(8.65)	14.76	(4.45)
	2	18.96	(7.36)	10.26	(8.72)	16.77	(4.64)
	3	17.15	(8.10)	8.39	(9.01)	14.66	(5.38)
2	0	42.31	(8.48)	14.79	(9.22)	42.84	(7.28)
	1	40.04	(7.14)	10.22	(5.04)	40.90	(7.02)
	2	40.46	(7.89)	15.48	(6.72)	41.95	(9.01)
	3	37.33	(6.76)	8.96	(5.02)	37.35	(6.40)
3	0	49.43	(18.14)	13.43	(6.41)	51.44	(9.22)
	1	42.58	(17.98)	12.32	(7.44)	42.46	(6.05)
	2	50.18	(27.49)	13.47	(8.89)	43.42	(7.22)
	3	44.86	(17.09)	17.35	(8.52)	46.67	(5.81)
4	0	40.92	(17.91)	–	–	47.24	(9.91)
	1	36.33	(16.29)	–	–	41.20	(11.99)
	2	36.78	(14.86)	–	–	34.24	(9.41)
	3	37.94	(15.91)	–	–	45.24	(16.97)



Kuva 2. Pohjavedenpinnan keskimääräinen syvyys käsitteilyittäin eri mittauskerroilla Kallossa (koe 1) vuosina 1991–1993.

Fig. 2. Mean groundwater table depth by treatments and time of measuring at the Kallosa site (1) in the years 1991–1993.



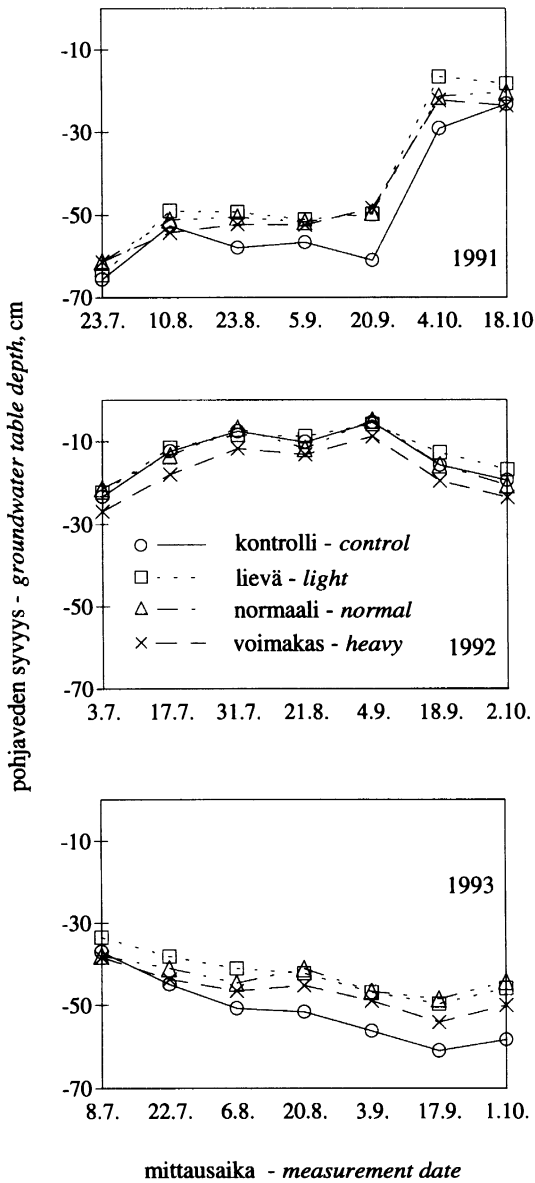
Kuva 3. Pohjavedenpinnan keskimääräinen syvyys käsitteilyittäin eri mittauskerroilla Sakkala-aavalla (koe 2) vuosina 1991–1993.

Fig. 3. Mean groundwater table depth by treatments and time of measuring at the Sakkala-aapa site (2) in the years 1991–1993.

käsitteilyjen väliset erot näyttivät olevan selvimpiä, erityisesti vuonna 1993. Voimakas harvennus ja kontrolli olivat pohjavedenkorkeudeltaan kuitenkin

samalla tasolla (Kuva 5).

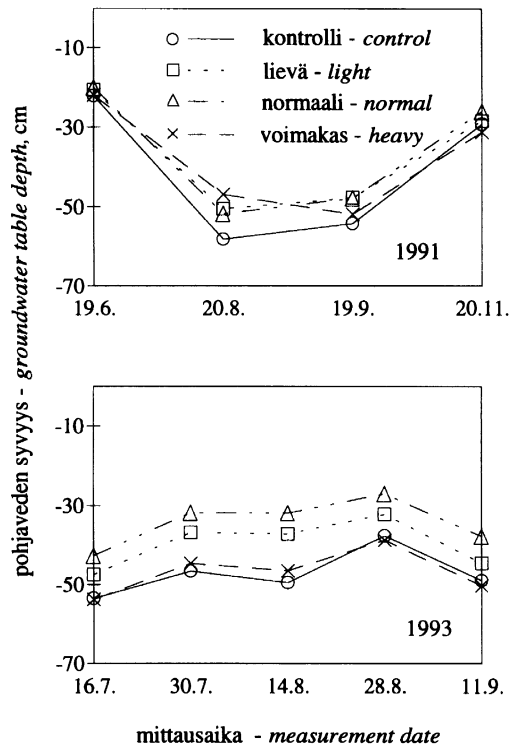
Aineiston varianssianalyyseissa (Taulukko 4) aikatekijä sai kaikilla kokeilla merkitseviä ( $p < 0,05$ )



Kuva 4. Pohjavedenpinnan keskimääräinen syvyys käsittelyittäin eri mittauskerroilla Heinäjängällä (koe 3) vuosina 1991–1993.

Fig. 4. Mean groundwater table depth by treatment and time of measuring at the Heinäjängkä site (3) in the years 1991–1993.

p-arvoja, mikä tarkoittaa vain sitä, että pohjaveden syvyys vaihteli kasvukauden aikana. Sen sijaan harvennuskäsittelyllä ei ollut mallin mukaan



Kuva 5. Pohjavedenpinnan keskimääräinen syvyys käsittelyittäin eri mittauskerroilla Rehulassa (koe 4) vuosina 1991 ja 1993.

Fig. 5. Mean groundwater table depth by treatment and time of measuring at the Rehulassa site (4) in the years 1991 and 1993.

vaikutusta pohjaveden syvyyteen yhdelläkään kokeella. Harvennuksella ja ajalla oli yhdysvaikutusta vain Rehulassa vuonna 1993, jolloin siis käsittelyn vaikutus riippui ajasta. Käsittelyn vaikutus oli lähinnä merkitsevää Heinäjängällä vuonna 1993, vaikka kontrolli kuvan 4 mukaan erosi muista käsittelyistä sekä vuonna 1991 että 1993.

Keskikaivojen (Kuva 1) perusteella lasketun pohjaveden korkeuden käyttö vastemuuttujana mallissa vaikutti tuloksiin vain vähän, josta esimerkkinä Heinäjängän mittaukset (Taulukko 5). Vuoden 1993 osalta harvennus samoin kuin harvennuksen ja ajan yhdysvaikutus olivat mallissa tarpeen. Muina vuosina tai muilla kokeilla ei tapahtunut muutoksia, joiden vuoksi käsittelytekijä olisi muuttunut tilastollisesti merkitseväksi.

Taulukko 4. Varianssianalyysin tulokset harvennuksen ja ajan vaikutuksesta pohjavedenpinnan tasoon kokeittain eri vuosina tavallisen F-testin ( $p_1$ ) sekä Greenhouse-Geisserin ( $p_2$ ) ja Huynh-Feldtin ( $p_3$ ) vapausastekorjattujen testien mukaan. Kokeet kuten Taulukossa 1. Vaihtelun lähde 1 = harvennus, 2 = aika, 3 = harvennus\*aika.

Table 4. The results of ANOVA for the effect of thinning and time, and their interaction on the depth of the groundwater table by site and year according to the F-test ( $p_1$ ) and adjusted Greenhouse-Geisser ( $p_2$ ) and Huynh-Feldt ( $p_3$ ) tests. Sites as in Table 1. Source of variation 1 = thinning, 2 = time, 3 = thinning\*time.

Koe Site	Vuosi Year	Vaihtelun lähde Source of variation	F	$p_1$	df	$p_2$	$p_3$
1	1991	1	0.35	0.722	2	0.613	0.613
		2	179.18	0.000	7	0.003	0.000
		3	1.65	0.125	14	0.315	0.252
	1992	1	1.85	0.271	2	0.307	0.307
		2	169.62	0.000	7	0.001	0.000
		3	0.55	0.879	14	0.590	0.800
	1993	1	0.51	0.634	2	0.549	0.551
		2	41.07	0.000	6	0.006	0.000
		3	0.87	0.590	12	0.487	0.590
2	1991	1	0.80	0.539	3	0.504	0.539
		2	14.82	0.000	4	0.057	0.045
		3	1.04	0.448	12	0.427	0.446
	1992	1	1.03	0.445	3	0.428	0.445
		2	66.38	0.000	6	0.001	0.000
		3	0.76	0.733	18	0.490	0.528
	1993	1	1.21	0.384	3	0.387	0.388
		2	38.47	0.000	6	0.012	0.000
		3	1.44	0.173	18	0.323	0.214
3	1991	1	1.31	0.356	3	0.371	0.356
		2	25.47	0.000	6	0.028	0.010
		3	0.39	0.982	18	0.666	0.897
	1992	1	1.23	0.378	3	0.384	0.378
		2	19.54	0.000	6	0.032	0.006
		3	0.42	0.975	18	0.645	0.844
	1993	1	4.16	0.065	3	0.110	0.065
		2	20.26	0.000	6	0.029	0.004
		3	1.91	0.049	18	0.278	0.155
4	1991	1	0.44	0.731	3	0.602	0.687
		2	79.40	0.000	3	0.000	0.007
		3	1.93	0.113	3	0.276	0.156
	1993	1	4.02	0.069	3	0.170	0.134
		2	10.35	0.003	4	0.054	0.057
		3	5.80	0.000	12	0.077	0.000

## TARKASTELU

Aineiston neljästä kokeesta kolme sijaitsi käytännön metsäojitustoiminnan pohjoisimmilla alueilla, missä ne edustivat keskimääräistä

paremmin kasvavia ojitusalueiden metsiä. Rehulan koe oli sekä puustoltaan, suotyypiltään, että ojitusiältään varsin tyypillinen Pohjanmaan ojitusalue. Aineiston vähäistä koemäärää korvaa osin kolmelta vuodelta tehdyt mittaukset, joihin



Taulukko 5. Varianssianalyysin tulokset harvennuksen ja ajan vaikutuksesta pohjavedenpinnan tasoon (vrt. Taulukko 4) Heinäjängän kokeella, kun pohjavedenpinnan korkeus laskettiin koealan keskikaivojen (3 kpl) keskiarvona (ks. Kuva 1). Vaihtelun lähde 1 = harvennus, 2 = aika, 3 = harvennus\*aika.

Table 5. Results of ANOVA for the effect of thinning and time (cf. Table 4), and their interaction on the depth of the groundwater table at the Heinäjängä site. The groundwater table depth calculated as a mean of three wells located along the middle of the plot (see Fig. 1). Source of variation 1 = thinning, 2 = time, 3 = thinning\*time.

Koe Site	Vuosi Year	Vaihtelun lähde Source of variation	F	p <sub>1</sub>	df	p <sub>2</sub>	p <sub>3</sub>
3	1991	1	0.52	0.683	3	0.562	0.611
		2	14.02	0.000	6	0.053	0.027
		3	0.54	0.916	18	0.612	0.916
	1992	1	0.40	0.760	3	0.666	0.760
		2	15.30	0.000	6	0.049	0.025
		3	0.62	0.811	18	0.527	0.622
	1993	1	10.53	0.008	3	0.041	0.008
		2	36.78	0.000	6	0.012	0.000
		3	3.74	0.000	18	0.131	0.000

sisältyvät hyvin märkä kasvukausi 1992 sekä vähäateisemmat vuodet 1991 ja 1993. Lisäksi koejärjestelyyn sisältyneillä toistoilla voitiin kontrolloida pohjavedenpinnan satunnaista vaihtelua metsikössä. Pohjavedenpinnan tason vaihteluista ennen harvennuskäsittelyjä ei valitettavasti ollut tietoa, joten mahdollisia luontaisia eroja ei voitu ottaa huomioon. Toisaalta Rehula lukuunottamatta kokeiden ojitus kunnostettiin harvennuksen yhteydessä, jolloin aiemmat mahdolliset kuivatuserot ainakin teoriassa eliminoitiin kokeen sisällä. Pohjavedenpinnan oletettiin vakiintuneen ojituksen kunnostuksen määrämälle tasolle ennen seurannan alkamista.

Harvennusvoimakkuudella oli hyvin vähän vaikutusta pohjavedenpinnan korkeuteen tässä aineistossa. Kallon koetta lukuunottamatta pohjavesi oli harventamattomilla koealoilla keskimäärin alempana kuin harvennetuilla, mutta erot eivät olleet tilastollisesti merkitseviä. Koejärjestelyn puitteissa voitiin todeta, että leveämmillä vaipoilla oli vain vähän merkitystä käsittelyjen välisten erojen selittämisessä. Mahdollisesti koealojen vielä selkeämpi erottaminen toisistaan olisi ollut tarpeen, jotta vedenpinnan tasoon olisi ensisijaisesti vaikuttanut vain kyseisen koealan käsittely.

Tulos poikkeaa siitä, mitä aikaisemmin on esitetty (Heikurainen ja Päivänen 1970, Päivänen 1982). Syitä eroihin voidaan etsiä eroista koe-

järjestelyissä, puuston määrässä sekä aineiston maantieteellisessä sijainnissa. Heikuraisen ja Päiväsen (1970) ja Päiväsen (1982) tutkimuksissa hakkuisiin ei yhdistetty ojaston kunnostusta. Tässä aineistossa kolmella kokeella neljästä ojasto oli kunnostettu. Puuston määrä vaihteli Heikuraisen ja Päiväsen (1970) tutkimuksessa välillä 60–120 m<sup>3</sup>ha<sup>-1</sup> ja Päiväsen (1982) tutkimuksessa 84–97 m<sup>3</sup>ha<sup>-1</sup> ja 123–146 m<sup>3</sup>ha<sup>-1</sup>. Tämän tutkimuksen kokeet olivat jonkin verran vähäpuustoisempia, jolloin sekä latvuspidentä että puiden kasvun aiheuttama haihdunta jäävät alhaisemmiksi.

Syy erilaisiin tuloksiin voi olla ero kasvupaikan ominaisuuksissa. Verry (1988) määritteli pohjaveden tason kriittisen normin, joka tarkoitti pohjaveden syvyyttä, jossa aktuaalinen evapotranspiraatio alittaa potentiaalisen. Käytännössä tämä tapahtuu kun pohjavesi laskee syvemmälle kuin 30–40 cm suon tasapinnasta (ks. myös Laine 1984, Ahti 1987). Pohjaveden ollessa syvemmällä yläpuolinen maaprofiili ei ole vedellä kyllästetty, jolloin puuston hakkuu nostaa pohjaveden tasoa. Pohjaveden tason ollessa normin yläpuolella pohjavedenpinnasta kulkeutuu jatkuvasti vettä maanpintaan ja evapotranspiraatio on lähellä potentiaalista. Tällöin vesiolot ovat luonnontilaiseen suohon verrattavissa, eikä hakkuu nosta pohjaveden pintaa (Verry 1981, 1988). Tässä aineistossa pohjaveden keskimääräinen syvyys oli alle 40 cm vuonna 1993 Kalloa

lukuunottamatta kaikilla kokeilla ja vuonna 1991 Heinäjängällä ja Sakkala-aavalla. Ainakin Kallon osalta syynä olemattomiin eroihin käsittelyjen välillä lienee ollut erittäin korkea pohjavedenpinnan taso. Samoin Heinäjängällä käsittelyt poikkesivat toisistaan enemmän, kun pohjavesi oli syvällä. Ilmeisesti puuston vaikutus pohjavedenpinnan syvyyteen tulee esiin vasta kun pohjavesi on ensin valunnan vaikutuksesta painunut riittävän syvälle.

Pohjois-Suomessa ilmasto voi vaikuttaa turvemaan vesioloihin enemmän kuin etelämpänä korkean humidisuuden vuoksi. Solantien (1986) mukaan jo aapasuoovyöhykkeen eteläreunalla kesäkuun haihdunta ylittää sadannan vain niukasti. Peräpohjolan aapasuoalueella maavesivarastot pysyvät täysin lähes koko kesän. Ilmeisesti ojitukseen ei alenna suon kasvukaudenaikaista vesivarastoa siinä määrin, että puuston määrän muutoksen vaikutus pidäntään ja haihduntaan näkyisi pohjaveden korkeuden muutoksena. Erot eri voimakkuudella harvennettujen koealojen pohjavedenpinnan tasossa voivat lisääntyä siirryttäessä etelää kohti. Tutkituissa metsiköissä hakkuun vaikutus pohjavedenpinnan syvyyteen oli vähäinen jos pohjavesi oli luontaisesti korkealla. Toisaalta on ilmeistä, että jos ojitus on kunnossa tai se kunnostetaan harvennuksen yhteydessä, ei voimakaskaan harvennus nosta pohjaveden tasoa haitallisesti.

## KIITOKSET

Käsikirjoituksen lukivat MMT Erkki Ahti sekä kaksi toimituksen valitsemaa esitarkastajaa. He esittivät siihen useita huomioonotettuja korjausehdotuksia. LuK Juha Hyvönen avusti varianssianalyysimallin laadinnassa. Erkki Pekkinen tarkasti tekstin englanninkieliset osat. Mti Matti Siipola ja tutkimusmestari Riitta Alaniva valmistivat raportin kuvat. Kokeiden perustamiseen saatiin apua ja rahoitusta Metsähallitukselta. Perustamistöistä maastossa vastasivat lähinnä mti Jouko Pelkonen, mti Jorma Issakainen ja mti Matti Siipola työryhmineen. Pohjaveden mittauksista ovat huolehtineet lukuisat METLAn Kolarin ja Muhoksen tutkimusasemien sekä Pyhätunturin kansallispuiston työntekijät. Esitämme kaikille tutkimusta edistäneille parhaat kiitoksemme.

## KIRJALLISUUS

Ahti, E. 1987. Water balance of drained peatlands on the basis of water table simulation during the snowless

- period. *Communications Institutii Forestalis Fenniae* 141: 1–64.
- Berry, G. J. & Jeglum, J. K. 1988. Water table profiles of drained forested and clearcut peatlands in Northern Ontario, Canada. *Proceedings of the international symposium on the hydrology of wetlands in temperate and cold regions*, Vol. 2. Publications of the Academy of Finland 4/1988, pp. 72–79. Painatuskeskus, Helsinki.
- Heikurainen, L. 1967. Hakkuun vaikutus ojitettujen soiden vesitalouteen (Summary: On the influence of cutting on the water economy of drained peat lands). *Acta Forestalia Fennica* 82(2): 1–38.
- Heikurainen, L. 1980. Kuivatuksen tila ja puusto 20 vuotta vanhoilla ojitusalueilla (Summary: Drainage condition and tree stand on peatlands drained 20 years ago). *Acta Forestalia Fennica* 167: 1–39.
- Heikurainen, L. & Päivänen, J. 1970. The effect of thinning, clear cutting and fertilization on the hydrology of peatland drained for forestry. *Acta Forestalia Fennica* 104: 1–23.
- Heinonen, J. 1994. Koealojen puu- ja puustotunnusten laskentaohjelma KPL. Käyttöohje. Metsätutkimuslaitoksen tiedonantoja 504. 80 pp.
- Hänell, B. 1991. Skogsförnyelse på högproduktiva torvmarker-plantering av gran på kalhygge och under skärträd (Summary: Forest renewal on productive peatlands. Planting of Norway spruce on clearcuts and in shelterwoods). Swedish University of Agricultural Sciences, Department of Silviculture, Report 34. 71 pp.
- Laine, J. 1984. Estimation of evapotranspiration from peatlands by means of daily water table hydrographs. Publications from the Department of Peatland Forestry, University of Helsinki 5. 100 pp.
- Laine, J. & Vasander, H. 1990. Suotyypit. Kirjayhtymä Oy, Hämeenlinna. 80 pp.
- Mannerkoski, H. 1983. Käytännöllinen vedenpinnan mittausrakente. *Suo* 34: 49–51.
- Paavilainen, E. 1966. Maan vesitalouden järjestelyn vaikutuksesta rämemännikön juurisuhteisiin (Summary: On the effect of drainage on root systems of Scots pine on peat soils). *Communications Institutii Forestalis Fenniae* 61(1): 1–110.
- Paavilainen, E. & Tiitonen, P. 1987. Suomen suometsät vuosina 1951–1984 (Summary: Peatland forests in Finland in 1951–1984). *Folia Forestalia* 714: 1–29.
- Päivänen, J. 1973. Hydraulic conductivity and water retention in peat soils. *Acta Forestalia Fennica* 129: 1–70.
- Päivänen, J. 1982. Hakkuun ja lannoituksen vaikutus vanhan metsäojitusalueen vesitalouteen (Summary: The effect of cutting and fertilization on the hydrology of an old forest drainage area). *Folia Forestalia* 516: 1–19.
- Ranta, E., Rita, H. ja Kouki, J. 1989. *Biometria. Tilastotiedettä ekologeille*. Yliopistopaino, Helsinki 1989. 569 p.
- SAS Institute Inc. 1989. *SAS/STAT User's Guide, Version 6, Fourth Edition, Volume 2*. 846 pp. SAS Institute Inc., Cary, NC.

- Silfverberg, K. 1984. Kuivatustehon ja lannoituksen vaikutus rämemännikön kehitykseen (Summary: Effects of drainage intensity and fertilization in a pine bog stand). *Suo* 35: 86–90.
- Solantie, R. 1986. Suoyhdistymätyypeistä suhteessa ilmastollisiin ja hydrologisiin vyöhykkeisiin (Summary: The zonation of peatland complex types in relation to climatic and hydrological zones). *Suo* 37: 73–85.
- Tuhkanen, S. 1980. Climatic Parameters and Indices in Plant Geography. *Acta Phytogeographica Suecica* 67: 1–110.
- Verry, S. E. 1981. Water table and streamflow changes after stripcutting and clearcutting an undisturbed black spruce bog. Proceedings of the 6th International Peat Congress, Duluth, Minnesota, pp. 493–498. IPS Helsinki.
- Verry, S. E. 1988. The hydrology of wetlands and man's influence on it. Proceedings of the international symposium on the hydrology of wetland in temperate and cold regions, Vol. 2. Publications of the Academy of Finland 4/1988, pp. 41–61. Painatuskeskus, Helsinki.
- Winer, B. J. 1971. Statistical principles in experimental design. Second edition. Mac-Graw-Hill, Inc. 907 pp.

## SUMMARY:

### Effect of thinning on groundwater table depth in drained peatlands in northern Finland

Several studies conducted in Finland have shown that cuttings in stands growing on drained peatland may cause the groundwater table level to rise due to the decreased interception and transpiration. It has also been concluded that dense and well-growing stands of trees as such control the groundwater level. In practical guidelines, remedial drainage or ditch cleaning is recommended in connection with thinnings in order to keep the groundwater table low. Northern Finland lacks previous studies about the hydrological effects of thinnings.

The effect of various thinning intensities (0–50% of the initial stocking removed by thinning from below) on the depth of the groundwater table was studied using data pertaining to four thinning experiments located in northern Finland. Drainage was considered to be in satisfactory condition on one site, while on the others the ditches were cleaned prior to thinning. Groundwater table wells (1 m deep, 3.5 cm in diameter) were set up on plots subjected to different thinning treatments. The groundwater table depths were monitored at two-week intervals during the latter parts of the growing seasons in 1991–1993.

The data were analysed using ANOVA with repeated measurements. Plot-specific groundwater table depths were calculated and the mean of nine

wells was used as a dependent variable in the model. The thinning treatment and time, as well as their interaction, were used as independent variables. Adjusted F-tests (Greenhouse-Geisser and Huynh-Feldt) were used to test the effect of thinning.

Generally, the mean groundwater table was lowest in the control treatment and highest in the treatment involving heavy thinning, but the differences were small and non-significant. Only in one of the sites in 1993 was the interaction between thinning and time statistically significant. The groundwater table means were also calculated for the three wells located along a line in the middle of each plot, perpendicular to the ditch. Following analysis of the data, significant differences between the treatments were found only in 1993 in one site.

It was concluded that thinning caused no rise, or only a slight rise, in the groundwater table level in this set of data. One reason may be the naturally high groundwater table level, which may not be affected by the removal of trees. Also, the influence of a stand of trees on the groundwater table level may be of minor importance in northern Finland because of the low growth and transpiration rates and the great volume of water stored in the soil due to the humid climate.