

Raakahumuksen ja kasvillisuuden yhteisvaihtelu Pohjois-Hämeen vanhoilla ojitusalueilla

Covariation between raw humus layer and vegetation on peatlands drained for forestry in western Finland

Markku Saarinen & Juha-Pekka Hotanen

Markku Saarinen, The Finnish Forest Research Institute, Parkano Research Station, Kaironientie 54, FIN-39700 Parkano, Finland

Juha-Pekka Hotanen, The Finnish Forest Research Institute, Joensuu Research Station, P.O. Box 68, FIN-80101 Joensuu, Finland

The occurrence of raw humus layer and its relationship to the structure of vegetation and environmental variables were studied on 501 sample plots located systematically in drained peatland forests. The drainage had been done in the 1930s–60s. The correlation between the amount of raw humus and the two-dimensional GNMDS (global nonmetric multidimensional scaling) ordination space was 0.57. The thickness of the raw humus layer increased in the direction of the drainage succession gradient. The correlations between the thickness of the raw humus and the measured environmental variables were weak. The strongest correlation was with the stand volume (0.31) and the drainage age (0.21). Weakness of these correlations was most probably due to the regressive succession on many plots. On average, the raw humus layer was thickest, 6.5 cm, in *Vaccinium vitis-idaea* transformed type I (developed from genuine forested mires) and 5.4 cm in type II (developed from treeless or composite types). In *Vaccinium myrtillus* types the corresponding mean thickness was 5.2 cm (I) and 3.2 cm (II) and in dwarf-shrub types 3.3 cm (I) and 4.6 cm (II). The secondary succession is slower and the amount of the needle litter (of *Pinus sylvestris*) smaller in the dwarf-shrub type than in the *V. vitis-idaea* type. In the *V. myrtillus* type the origin of the litter is more dominated by deciduous trees, the decomposition faster and the coverage of *Pleurozium schreberi* clearly smaller than in the nutrient-poorer types. *P. schreberi* tolerates the litterfall well and together with especially conifer litter, and maybe with slow decaying fine roots, too, it forms a loose raw humus layer on old drained peatlands. Being a poor germination bed, the raw humus makes successful stand regeneration difficult.

Key words: drainage, litter, ordination, secondary succession

JOHDANTO

Luonnontilainen suo on ekosysteemi, jota humidin ilmaston ylläpitämänä luonnehtii korkealla oleva vedenpinta ja jossa vain osittain hajoava orgaaninen aines kerrostuu turpeeksi (Reinikainen 1980, Laine & Vasander 1998). Turpeen kerrostumisnopeus suon koko kehityshistorian mittakaavassa on verrattain hidasta, keskimäärin n. $0,5 \text{ mm v}^{-1}$ (Tolonen ym. 1992), mutta suon pintaosissa turpeen kasvu voi olla 10 mm v^{-1} (Saarinen 1933). Suon pinnassa elävän rahkasammalen vuotuinen kasvunopeus saattaa kuitenkin sammallajista, kasvupaikasta, valaistuksesta, kasvukauden sääoloista ja pohjavesipinnan etäisyydestä riippuen olla yli 10 cm (Clymo & Hayward 1982, Hayward & Clymo 1983, Lindholm & Vasander 1990).

Mikäli ojituksen tuloksena suon pohjavesipintaa lasketaan, turpeen korkeuskasvu hidastuu tai pysähtyy orgaanista hajotusta edistävän ilmaisuuden lisääntyessä (Karsisto 1979, Clymo 1984, Lieffers 1988). Pohjavesipinnan lasku aloittaa myös kasvillisuussukcession, jonka alkuvaiheissa varsinkin mätäspintojen suokasvillisuus voi tilapäisesti runsastua (Hotanen ym. 1999 viitteinen). Riittävän tehokkaan kuivatusvaikutuksen lopputuloksena korkealla olevaan pohjavesipintaan sopeutunut ja turvetta tuottanut suokasvillisuus vaihtuu vähitellen kangasmaille tyypilliseksi kasvilajistoksi (Sarasto 1952, 1957, 1961, Kuusipalo & Vuorinen 1981, Pienimäki 1982, Reinikainen 1984, Laine ym. 1995).

Luonnontilaisilla soilla puiden ja aluskasvillisuuden karikkeet hautautuvat nopeasti kasvavaan sammal- ja pintaturvekerrokseen. Suon ojituksen, suokasvillisuuden häviämisen, turvekerrostuman kasvun loppumisen ja puustobiomassan lisääntymisen myötä tilanne muuttuu. Luonnontilaisen suon sammallajiston vähitellen kadotessa uusi kuivempiin oloihin sopeutunut kangasmaille tyypillinen lajisto ei yleensä kykene välittömästi korvaamaan syntynyttä uutta kasvutilaa (Vasander 1990). Sen biomassassa on lisäksi aiempaa suosammallajistoa selvästi vähäisempi (Vasander 1987). Ojitusalueen biomassatuotoksen painopiste siirtyy sammal- ja varpukasvillisuudesta puustoon, joka tuottaa yhä runsaammin kariketta (Laiho & Laine 1996). Lisääntyvä maanpäällinen karikesato

kerrostuu kasvunsa lopettaneen turvekerroksen pinnalle (Vasander 1987).

Ojitettujen soiden kasvupaikkatutkimusten alkuajoista lähtien on tehty havaintoja turpeen pinnalle ojituksen jälkeen kerrostuneista karikehorisonteista. Melinin (1917) mukaan tehokkaimmin kuivatetuilla 'valiokoealoilla' esiintyi 2–3 cm:n vahvuinen karikekerros ja sen alla turvemullan sekainen raakahumus (myös Keltikangas 1945). Myös vanhoilla ojitusalueilla tehtyjen varhaisimpien metsänuudistamiskoikeiden yhteydessä on tehty havaintoja raakahumuksesta. Yli-Vakkuri (1958) mainitsee ojitusalueen kulotusta koskevassa tutkimuksessaan "aivan suon pinnassa olevan löysän, helposti kuivahtavan, kuolleiden kasvinosien muodostaman kerroksen". Saraston (1963) turvekankailla tekemissä koivun kylvökokeissa "lahoamaton neulaskarikipinta" osoittautui heikoksi itämisalustaksi. Ojitetun suon kasvillisuussukcession liittyvät sammalettomat karikepinnat ilmenevät myös Mannerkosken (1976) tekemässä kasvillisuusseurannassa. Ojitettujen turvemaiden pysyviin koealoihin perustuvien taimi-inventointien mukaan vuosikymmeniäkin vanhoilla ojitusalueilla voi sammalpeitteetömiä karikepintoja olla puolet pohjakerroksen pinta-alasta (Immonen-Joensuu 1987).

Ojitusalueille kerrostuvaa ja pääosin puiden karikkeista muodostuvaa raakahumushorisonttia ei kuitenkaan edellistä tarkemmin ole määritelty saati tutkittu ennen kuin 1980-luvun alussa. Tuolloin aloitettujen ojitusalueiden uudistamistutkimusten yhteydessä raakahumuskerros määriteltiin ensimmäisen kerran turpeen pinnalle kerrostuneena erillisenä horisonttina ja merkittävänä uudistusalan taimettumiseen vaikuttavana ympäristötekijänä (Kaunisto 1984, Kaunisto & Päivänen 1985). Myöhemmin raakahumuskerrostumien esiintyminen on huomioitu useissa turpeen ravinnetaloustutkimuksissa (mm. Kaunisto & Paavilainen 1988), eräissä turvemaiden biomassatutkimuksissa (Vasander 1987) ja myös turvemaiden hiilitasetutkimuksissa (Minkkinen & Laine 1998).

Luonnontilaisten soiden kasvillisuuden rakenteelle on usein tyypillistä eri osakasvustojen mosaiikkimainen kirjo. Siihen ovat vaikuttamassa vesitalouden, ravinteisuuden, reuna- ja keskustavaikutuksen sekä suon pintatopografian

vaihtelusuunnat (Eurola ym. 1994). Ojitusalueilla suokasvillisuus koostuu mosaiikista eri sukkessiovaiheissa olevia kasviyhdyskuntia (Kuusipalo & Vuorinen 1981), mikä myös johtuu em. ekologisten vaihtelusuuntien erilaisten yhdistelmien moninaisuudesta. Siirtyminen sukkessiovaiheesta toiseen ei tapahdu samassa tahdissa mikrotopografian eri tasoilla, sillä alunperin märkien tai kosteiden pintojen kasvillisuus muuttuu mätäspintakasvillisuutta nopeammin. Pohjavesipinnan keskimääräinen etäisyys suon pinnasta ja sen vaihtelu riippuvat lisäksi mm. etäisyydestä lähimpään ojaan, ojien syvyydestä, turpeen vedenläpäisevyydestä, puustosta ja muista kuivatustehokkuuteen vaikuttavista tekijöistä aiheuttaen spatiaalista vaihtelua sukkession nopeuteen ja suuntaan. Ojaverkoston kunnan vähitellen rappeutuessa saattaa kasvillisuussukkersio osalla ojitusaluetta myös pysähtyä ja kääntyä takaisin kohti luonnontilaisten soiden kasvillisuutta. Kuivatuksen aikaansaaman sukkession myötä ojitusalueiden pohjakerroksen kasvillisuuden monimuotoisuus tilapäisesti lisääntyy lajiston vaihdellessa luonnontilaisen suon relikteistä kangasmaille tyypilliseen kasvillisuuteen (Vasander 1987, Vasander ym. 1993).

Luonnontilaisella suolla siemenen itämisen ja sirkkataimen alkukehityksen kannalta on olennaista rahkasammalkerroksen ylläpitämää kosteus, mikä säilyy kuivimmissakin sääolosuhteissa sammalten vettä varastoivan solukon ja lähellä olevan pohjavesipinnan ansiosta. Sammalkerroksen kasvu ja ajoittain liian korkealle nouseva pohjavesipinta tukahduttavat kuitenkin suurimman osan suon pinnalle vuosittain syntyvästä taimimateriaalista. Ojitusalueella pohjaveden haitallinen vaikutus on poistettu, kunnes ojaverkoston toimivuus aikaa myöten heikkenee. Rahkasammalversojen kasvu on myös taantunut, vaikka niiden peittävyys säilyykin pitkään merkittävänä osana ojitusalueen kasvillisuutta.

Tämän tutkimuksen tavoitteena oli selvittää raakahumuskerroksen esiintymisen ja paksuusvaihtelun riippuvuutta kasvillisuuden rakenteesta ja eri ympäristötekijöistä vanhoilla käytännön metsäojitusalueilla. Kysymyksenasettelun taustana ovat olleet vanhoilla ojitusalueilla aloitetut luontaisen taimettumisen tutkimukset, joissa testataan mm. kerrostuman paksuuden vaikutusta sirkkataimien syntyyn ja varhaiskehitykseen.

Kyseisten tutkimusten tarpeita ajatellen keskitytään kasvillisuuden kuvauksessa lähinnä tiettyjen kasvilajiryhmien esiintymiseen painottaen erityisesti rahkasammalien, kangasmaille tyypillisten sammalien ja toisaalta kokonaan sammalpeitteettömien karikepintojen osuuksia vanhan ojitusalueen tyypillisinä "taimettumisalustoina".

AINEISTO JA MENETELMÄT

Tutkimusalue ja näytealat

Valtionmaiden ojituskohteille tehtiin systemaattiseen linja-arviointiin perustuva otantatutkimus kesällä 1990. Perusjoukoksi valittiin Kurun kunnan koillisosassa ja Ruoveden kunnan länsiosassa sijaitsevat Metsähallituksen entisen Kurun hoitoalueen kertaalleen avo-ojitettut ojituskohteet vuosilta 1930–1970. Kurun hoitoalue oli aktiivisen ojitustoiminnan kohteena erityisesti 1930-luvulla. Niinpä otannan kohteena olleen aikakauden ojituksista yli puolet oli runsaan viiden vuosikymmenen ikäisiä. 1950-luvulla ojitustoiminta oli varsin hiljaista. Kun tuon vuosikymmenen ojituksista huomattava osa oli tämän otannan ulkopuolelle jätettyjä salaojituksia, jäi 1950-luvun avo-ojitusten osuus ojitusten kokonaispinta-alasta vähäiseksi. 1960-luvulla puolestaan ojitettiin runsas neljännes tutkimuksen kohteena olleista soista.

Kurun hoitoalueen toiminnan aikana kaikki ojituskohteet merkittiin peruskartoille ojitusvuosineen. Karttamateriaali oli arkistoitu 4 × 4 km:n karttalehtinä, joista kustakin laskettiin kyseiselle ruudulle osuvien ojitusalueiden pinta-ala. Näille ojitusaluekuvioille piirrettiin otantalinjat siten, että ne edustivat mahdollisimman hyvin karttalehden ojituskuvioita niiden kokoja-kauma ja muodot huomioon ottaen. Samalla pyrittiin edustavuuteen myös karttamerkintöjen pohjalta erotettavissa olevien ohut- ja paksu- turpeisten soiden suhteen. Otantalinjojen kokonaispituus karttaruudulla määräytyi ruudun ojituspinta-alan mukaan. Linjoja sijoitettiin kuvioille 20 m kutakin ojitusaluehehtaaria kohden. Kaikki linjat numeroitiin.

Mittaukset tehtiin havaintopisteistä, jotka sijaittivat otantalinjoilla 20 m:n välein. Näin

ollen yksi havaintopiste edusti yhtä ojitusaluehehtaaria. Tutkimuksen kohteena olevan karttamateriaalin ojitusaluepinta-ala oli 2 010 ha, jolloin perusjoukon kooksi kyseisellä linjatottamalla tuli 2 000 mittauspistettä. Maastomittauksiin mukaan tulleet otantalinjat valittiin satunnaisesti numeroitujen otantalinjojen joukosta. Tavoitteena oli vähintään 500 mittauspistettä. Tällöin linjoja poimittiin satunnaisessa järjestyksessä niin kauan, kunnes niistä kertyi tarvittava 10 000 m:n yhteispituus. Koska tutkimus rajattiin koskemaan vain perusojitettuja kohteita, jouduttiin otantalinjojen poiminnassa hylkäämään kaikki kunnostusojitetuille kuvioille osuneet linjat. Heinä- ja elokuun aikana toteutetun maastoinventoinnin lopputuloksena saatiin mitattua 501 havaintopisteen aineisto.

Mittaukset ja arvioinnit maastossa

Luokitus turvekangastyypeihin

Jokaisesta mittauspisteestä arvioitiin turvekangastyypin mittauspiste keskipisteenä aarin kokoiselta ympyräalalta. Turvekangastyypillä tarkoitetaan sen viljavuustason turvekangasta, jota mittauspiste joko vallitsevalla hetkellä edustaa tai jota kohti pintakasvillisuussuksessio on etenemässä (Laine & Vasander 1990). Ruoho- ja jäkäläturvekankaita esiintyi hyvin vähän, eikä niitä pidetty edustavina. Siksi aineisto rajattiin kolmeen turvekangastyypiin, mustikka-, puolukka- ja varputurvekankaisiin. Kukin kolmesta luokasta jaettiin lisäksi alkuperäisen suotyypiryhmän (aidot- tai yhdistelmätyypin suot) perusteella kahteen alaluokkaan (Laine & Vasander 1990). Aluskasvillisuuteen ja puustoon perustuvan arvion tukena käytettiin suon pintatopografiasta ja turvelajista tehtyjä havaintoja. Laine ja Vasander (1990) eivät erotelleet alaluokkia varputurvekangastasolla, mutta tässä tutkimuksessa isovarpurämeet sekä aitojen- ja yhdistelmätyyppien välimaastoon luonnehdittavat tupasvillärämeet nimettiin aitojen suotyypien turvekangasluokkaan (Vatkg I) ja selkeästi nevapintaiset lyhytkorsirämeet yhdistelmäsuotyypien vastavaan luokkaan (Vatkg II).

Suksessiovaiheiden erottelu Saraston (1961) esittämällä ojikko-muuttuma-turvekangasteikolla osoittautui ongelmalliseksi. Vaikka ojikkoja ei esiintynyt ja turvekankaaksi (Sarasto 1961) luokittelu toimi suosammalien enimmäispeittävyuden mukaan, muuttumiksi luokittelu ei vastannut aina vallitsevaa kasvillisuuden suknessiovaihetta. Havaintopisteen ympärillä aarin alalla tehdyssä tarkastelussa rahkasammalkasvustojen alla ilmeni paikoitellen karikekerrostumia. Usein varsin ohut kerrostuma katkaisi jatkumon elävästä rahkasammalversosta heikosti maatuoneiden versonosien kautta pidemmälle maatuoneeseen turpeeseen. Tämä tulkittiin merkiksi rahkasammalkerroksen kuivumisesta ja kuolemista jossain kuivatushistorian aiemmassa vaiheessa. Turvekangas- tai muuttuma-asteelle kehittyneillä ojitusalueilla oli heikentyneen kuivatusilan seurauksena kuitenkin syntynyt uusia "regressiivisiä" rahkasammalpintoja. Jo turvekankaaksi kehittyneet kasvillisuuspinna raakahumuskerrostumiseen oli siis paikoin peittymässä uudellen rahkasammalien alle ja osa nykyisistä "muuttumista" saattoikin olla soistuvia turvekankaita.

Pintakasvillisuus

Kasvupaikkaluokituksen lisäksi jokaisesta mittauspisteestä tehtiin kasvillisuuden peittävyysmääritykset pinta-alaltaan 0,5 m²:n näytealalta. Peittävyudet määritettiin tasavälisissä 5 % luokissa siten, että alle 1 % peittävyuden omaavaa kasvilajistoa ei huomioitu lainkaan. Kasvilajiston peittävyudet määritettiin joko yksittäisinä lajeina tai lajiryhminä sen mukaan onko lajikohitaisuudella katsottu olevan merkitystä siementen itämiselle ja sirkkataimien kehitykselle. Tutkimuksen lähtökohtana oli siis luokitella kasvillisuutta enemmän "luontaisen taimettumisen näkökulmasta", kuin tehdä tarkkaa lajistokuvausta. Rahkasammallajit tulkittiin itämisalustana samanarvoisiksi ja yhdistettiin lajiryhmäksi lukuunottamatta ruskorahkasammalta (*Sphagnum fuscum*). Suosammalista karhunsammalet määritettiin myös lajiryhmänä lukuunottamatta korpi- karhunsammalta (*Polytrichum commune*), jonka erittelu oli lajikohtaisesti oli tarpeen sen tai-

mettümistä haittaavan ominaisuuden vuoksi (Sarasto & Seppälä 1964). Turvekankaille tyyppillisistä kangasmaiden sammallajeista (Sarasto 1957, 1961) lajikohtaisesti eriteltiin seinäsammal (*Pleurozium schreberi*) ja metsäkerrossammal (*Hylocomium splendens*), kun taas kynsisammalet (*Dicranum spp.*) ja suikerosammalet (*Brachythecium spp.*) määritettiin lajiryhminä.

Kenttäkerroksen lajeista taimettumista heikentävät erityisesti tupasvilla (*Eriophorum vaginatum*) sekä harmaasara (*Carex canescens*) ja pallosara (*Carex globularis*) (Sarasto 1963). Tupasvilla määritettiin erikseen mutta harmaa- ja pallosara yhdistettiin kaikkien muiden hyvin harvakseltaan esiintyneiden saralajien kanssa sarojen lajiryhmään. Vähäisen peittävyuden vuoksi yhdistettiin myös heinät ja ruohot omiksi lajiryhmikseen. Paikoitellen esiintyi kuitenkin merkittävässä määrin suomuurainta (*Rubus chamaemorus*) ja metsäkortetta (*Equisetum sylvaticum*), jotka eriteltiin lajeittain. Kaikki kenttäkerroksen varvut arvioitiin lajikohtaisesti.

Ympäristökijöiden mittaukset

Kasvillisuusmääritysten jälkeen otettiin samalta 0,5 m²:n näytealalta turvenäyte 20 cm:n syvyyteen asti raakahumuskerrostuman paksuuden, turpeen maatuneisuuden ja turvelajin makroskoopista määritystä varten. Suoralapaisella teoritulla lapiolla irroitettiin turvepaakku, josta erotettiin raakahumuskerrostuma. Turvemääritykset tehtiin 10 cm:n pintaturpeesta raakahumuskerrostuman alarajasta lukien. Näyte otettiin kangassammallajien tai pelkän karikkeen peittämillä pinnoilta. Mikäli näyteala oli kokonaan rahka- tai karhunsammalien peitossa, selvitettiin mahdollinen raakahumuksen esiintyminen niiden alta. Käsin puristellusta turvenäytteestä maatuneisuus määritettiin von Postin asteikolla. Turvelajimäärityksissä saadut luokat yhdistettiin kahteen luokkaan; rahka- ja saravaltaisiin turpeisiin. Turvelajimuuttuja siis kuvaa jatkossa saraisuuden esiintymistä dikotomisenä muuttujana.

Muita havaintopisteen näytealaan kohdistuneita ympäristötunnuksia olivat ojituksen ikä,

pistettä lähinnä olevan ojan etäisyys ja syvyys, näytealalle kertyneen puustokarikkeen laji sekä näytealan topografinen sijainti. Karikelaji jaettiin kahteen luokkaan, havu- ja lehtikarikeluokkaan. Karikelaista jaettiin kahteen luokkaan, havu- ja lehtikarikeluokkaan. Saraisuutta kuvaavan turvelajimuuttujan tapaan karikelajista tehtiin dikotominen lehtikarikeluokkaisuutta kuvaava muuttuja. Topografia ilmaisi näytealan sijainnin suon peruspintaan nähden eli muuttuja kuvaa mätävälipinta- painannevaihtelua (arvo suurenee kohti painannepintoja). Havaintopiste keskipeitteenä mitattiin lopuksi ympäröivän puuston pohjapinta-ala puulajeittain relaskoopilla sekä puuston valtapituus.

Aineiston käsittely

Näytealojen aluskasvillisuuden rakennetta, vaihtelusuuntia sekä kasvillisuuden ja ympäristömuuttujien (ml. raakahumuskerros) välistä yhteisvaihtelua havainnollistettiin ja analysoitiin ei-metrisellä moniulotteisella skaalauksella (GNMDS) (Minchin 1991). Menetelmän lähtökohtana oli näytealojen välinen Bray-Curtis -etäisyysmatriisi (Faith ym. 1987), joka laskettiin lajien / lajiryhmien log₁₀ -muunnetuista peittävyysarvoista. Skaalauksessa laskettiin 1–3 -ulotteiset ratkaisut käyttäen kymmentä satunnaisaloitusta kullekin ulottuvuudelle. Näiden satunnaisaloitusten tuloksia vertailtiin Prokrustes-analyysillä kussakin ulottuvuusvaihtoehdossa (Schönmann & Carrol 1970). Ympäristömuuttujien ja ordinaatioavaruuden välisten korrelaatioiden merkitsevyys testattiin Monte Carlo -testillä (esim. Minchin 1991). Prokrustes-analyysin mukaan ratkaisut kolmiulotteisessa analyysissä erosivat toisistaan, eli stabiilia ratkaisua ei löytynyt, vaikka selittämätön vaihtelu (stressiarvo) väheni vielä melko paljon lisättäessä ulottuvuuksia kahdesta kolmeen (1D = 0.36, 2D = 0.21, 3D = 0.15). Tämän vuoksi sovellettiin kaksikulotteista analyysiä.

Ympäristömuuttujien ja kasvillisuuden yhteisvaihtelun riippuvuustarkastelua täydennettiin faktori- ja korrelaatioanalyysin (Pearson) käyttäen SAS-Factor ohjelmaa (SAS 1996). Tulkinnan helpottamiseksi saatuja faktorirakenteita yk-

sinkertaistettiin ortogonaalisella Varimax-rotatiolla.

TULOKSET

Kasvupaikkajakauma

Tutkimuksen kohteena olleen alueen selvästi yleisin kasvupaikkatyyppi oli nevista tai nevarämeestä kehittynyt puolukkaturvekangas (Ptkg II). Saman viljavuustason aidot suotyypit (Ptkg I) ja kumpikin varputurvekangasluokka olivat tasaväkisesti seuraavina. Mustikkaturvekankaan luokat esiintyivät edellisiä puolta harvemmin (Taulukko 1). Ojituskohtien kohdentuminen eri viljavuustasoille oli ollut samanlaista 1930- ja 1950-luvuilla, mutta 1960-luvun aikana painopiste oli siirtynyt karumpaan suuntaan (Taulukko 1).

Mustikka- ja puolukkaturvekankaiden viljavuusluokissa perinteiselle turvekangasasteelle (Sarasto 1961) kehittyneitä näytealoja oli 1930-luvulla ojitetuista kohteista runsas kolmannes (Taulukko 2). Varputurvekangasasteella osuus jäi alle viidennekseen. Vastaavasti 1950-luvun ojituskohteista oli 20–30 % edennyt turvekangasasteelle kahdessa viljavimmassa luokassa kun se varputasolla oli alle 10 %. Nuorimmassa 1960-luvun ojitusikäluokassa turvekankaiden osuus oli kaikissa viljavuusluokissa alle 15 %.

Taulukko 1. Näytealojen määrä ojitusajankohdittain ja kasvupaikkatyypeittäin (yhteensä 501 näytealaa).

Table 1. Number of sample plots by site type and drainage period (Total number: 501).

Kasvupaikkatyyppi Site type	Ojitusajankohta Drainage period		
	1930–1939	1950–1959	1960–1969
Mtkg I	23	8	11
Mtkg II	31	3	17
Ptkg I	49	22	18
Ptkg II	93	26	24
Vatkg I	34	16	31
Vatkg II	55	8	32
Total	285	83	133

Kasvillisuuden päivvaihtelusuunnat

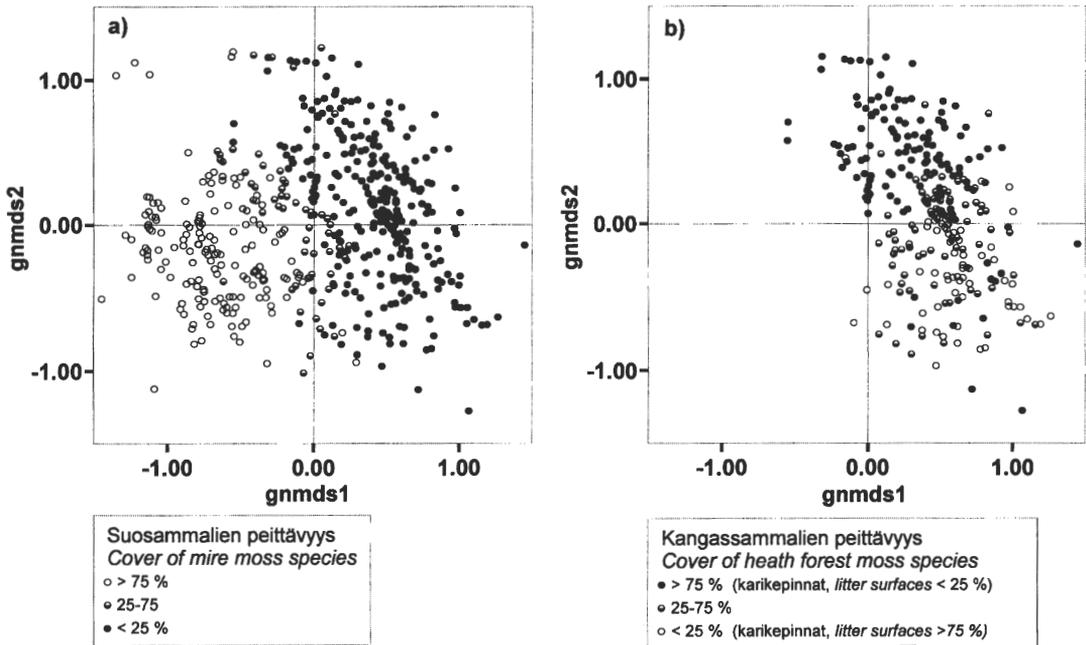
Aluskasvillisuuden päivvaihtelusuunniksi osoitettavat vaihtelut ojitusmenestyksessä (kosteuudessa) ja ravinteisuudessa. Viimeksi mainittuun sisältyi myös rämeisyys–korpisuus -vaihtelua. Molemmat gradientit suuntautuivat ordinaatioakseleihin nähden hieman kulmittain. Suksessiogradientin alkupään suokasvivaltaisimmat näytealat (suosammalien osuus yli 75 %) sijaitsivat ordinaatiodiagrammissa vasemmalla, valtaosa sen alaneljänneksessä (Kuva 1a). Turvekangasasteelle edenneet näytealat (suosammalia alle 25 %) sijoittuivat oikealle. Nämä suksessiogradientin loppupään näytealat jakautuivat viljaviin kasvupaikkojen sammalpeitteettömiin karikepintoihin (oikea alaneljännes) ja karumpiin kangassammalpeitteisiin näytealoihin (oikea yläneljännes, Kuva 1b). Ensin mainituille näytealoille oli tyypillistä, että suosammalet olivat pääosin kadonneet, mutta myös kangassammalien osuus oli vähäinen. Kun niitä esiintyi, olivat kyseessä enimmäkseen vähälukuiset keros-, kynsi- ja suikerosammalet (Kuva 2a). Karuilla turvekangasasteen näytealoilla kangassammalien peittävyys oli yli 75 %. Tällöin valtalajina oli seinäsammal. Sekundaarisuksession eteneminen ilmeni diagrammissa vasemmalta jonkin verran ylös oikealle.

Kasvillisuudeltaan karut turvekangasalat (Vatkg) sijoittuivat ordinaatiodiagrammin keskis-

Taulukko 2. Turvekankaiksi (Sarasto 1961) luokiteltujen näytealojen osuus (%) viljavuusluokittain eri aikoina ojitetuilla ojituskohteilla.

Table 2. Proportion (%) of the plots with transformed vegetation (Sarasto 1961) (heath forest moss species and litter surfaces with no moss cover) of the whole data in different fertility classes and drainage periods.

Viljavuusluokka Fertility class	Ojitusajankohta Drainage period		
	1930–1939	1950–1959	1960–1969
Mtkg	37	27	14
Ptkg	35	21	10
Vatkg	16	8	14



Kuva 1. (a) Kaikkien näytealojen GNMSD -ordinaatio suosammalien (*Sphagnum* spp., *Polytrichum* spp.) peittävyiden mukaan luokiteltuna ja (b) näistä pelkästään turvekangaspintaisten (suosammalia < 25 %) näytealojen ordinaatio kangassammalien peittävyiden mukaan luokiteltuna.

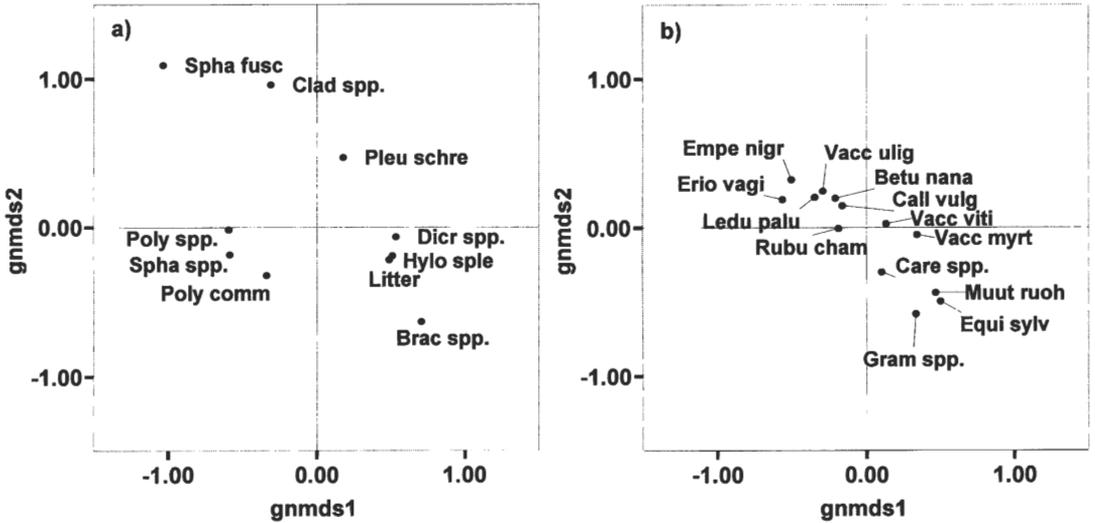
Fig. 1. GNMSD -ordination of (a) all sample plots categorized by the cover of mire mosses (*Sphagnum* spp., *Polytrichum* spp.) and (b) from these only plots with transformed vegetation (mire moss species < 25%) categorized by the cover of heath forest moss species.

osiin ylhäälle (Kuva 3, vrt. Kuva 1b). Mm. jäkälän esiintymisen painopiste oli tällä alueella (Kuva 2a). Mustikkaturvekankaiden näytealat sijoittuivat enimmäkseen oikealle alas. Eri turvekangastyypeiksi nimettyjen näytealojen kesken esiintyi melko runsaasti limittäisyyttä (päällekkäisyyttä). Kaiken kaikkiaan viljavuusgradientti suuntautui ylhäältä alas oikealle (myös Kuva 4).

Kasvillisuuden ja ympäristömuuttujien yhteisvaihtelu

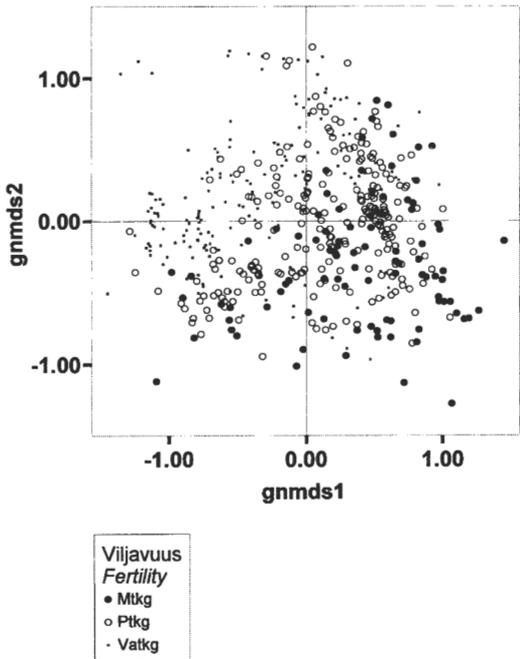
Raakahumuskerroksen paksuus, puuston määrä ja odotetusti viljavuutta kuvaava ravinteisuustaso osoittivat suurinta yhteisvaihtelua kasvillisuuden kanssa (Taulukko 3, Kuva 4). Raakahumusvektori kasvoi sukkessiovaihtelun suunnassa kohti viljavuusgradientin keskivaiheilla olevia

puolukkaturvekankaita (Kuvat 3 ja 4). Raakahumusta oli eniten aidoista puustoisista soista syntyneillä puolukkaturvekankailla (Ptkg I, Kuva 5). Näillä, kuten myös vastaavilla mustikkaturvekankailla (Mtkg I), raakahumuskerros oli paksumpi kuin saman viljavuustason neva- tai sekatyypisyntyisillä turvekankailla (Mtkg II). Varputurvekankailla, joilla raakahumusta oli vähiten, tilanne oli päinvastainen. Kasvaessaan kohti viljavuusgradientin keskustaa raakahumus korreloi heikosti viljavuusmuuttujan (0,18) kanssa. Korrelaatiot olivat heikkoja myös muiden ympäristömuuttujien kanssa. Vahvimmat riippuvuudet liittyivät kuusi- ja mäntypuuston määrään (0,31), valtapituuteen (0,28) ja ojitusikään (0,21). Useimmat puustovektorit yhdessä kasvialustan (turpeen) ominaisuuksia kuvaavien muuttujien kanssa suuntautuivat ravinteisuutta (sis. rämeisyys-korpisuusvaihtelua) osoittavan gradientin mukaan (Kuva 4).



Kuva 2. GNMDS -ordinaatiosta laskettuihin painotettuihin keskiarvoihin perustuva (a) pohja- ja (b) kenttäkerrosrajien sijainti ordinaatioavaruudessa (vrt. Kuva 1).

Fig. 2. Weighted averages of (a) the ground and (b) the field layer species / species groups in GNMDS -ordination (parallel to Fig. 1).



Kuva 3. Kaikkien näytealojen GNMDS -ordinaatio viljavuuden mukaan luokiteltuna.

Fig. 3. GNMDS -ordination of all sample plots categorized by fertility classes.

Turvekangasasteen näytealoilla sammalpeitteettömät karikepinnat olivat yleisempiä viljavimmilla kasvupaikoilla kangassammalien peittävyuden lisääntyessä kohti karuja tyypejä. Karikepinnat lisääntyivät samalla myös aidoista suotyypeistä kohti neva- ja sekatyypialkuperää (saranevat, -rämeet ja -korvet) olevien turvekan- kaiden (Mtkg II, Ptkg II ja Vatk II) suuntaan (Kuva 6). Ordinaatiodiagrammissa tämä näkyi saraturpeiden osuutta kuvaavan turvelajimuuttu- jan suuntautumisena kohti oikeata alaneljännes- tä, jossa oli paljon karikevaltaisia näytealoja (Kuvat 1b ja 4). Kenttäkerroksen lajiston vaihte- lu oli lähinnä viljavuusgradientin suuntaista (Kuva 2b), eikä se näin ollen ilmaissut yhtä selvästi ojituksen jälkeistä kuivumissukkessiota ja raakahumuksen esiintymistä kuin pohjaker- roksen kasvillisuus.

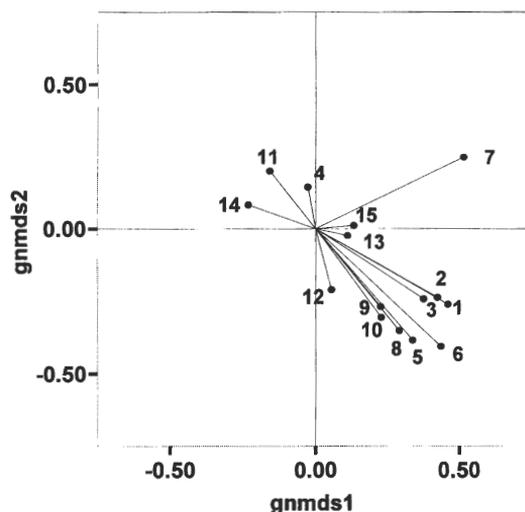
Raakahumuksen ja muiden ympäristömuut- tujen riippumattomuudelle löytyi vektoriesit- tystä tukeva ortogonaalinen ratkaisu viiden fak- torin mallista (Taulukko 4). Voimakkainta fak- toria luonnehti puuston järeytyminen vilja- vuuden ja ojitusian lisääntyessä. Siihen latautui jossain määrin myös ordinaation 1. akselin pistearvot ja raakahumuksen määrä, sillä pääosa

sukessiovaihtelusta ilmeni tällä dimensiolla. Toinen faktori kuvasti karuja mäntyvaltaisia metsiköitä. Kolmas faktori oli alkuperäisen suotyypin vesitalouden faktori, johon latautui turpeen saraisuutta ja samalla suon neva- tai yhdistelmätyypialkuperää kuvaava turvelajimuuttuja. Neljättä faktoria luonnehtivat ojitus- teknisten ratkaisujen erot eri aikakausina. Yli 100 m:n sarkaleveyksiä (havaintopisteen etäisyys ojasta yli 50 m) esiintyi etupäässä 1930-luvun ojitusalueilla. Ne kohdentuivat lähes yksinomaan yli 50 cm:n turvepaksuuksille. Viides faktori oli raakahumuksen esiintymistä kuvaava faktori, johon latautui mätäs-välipinta-painannevaihtelua kuvaava topografiamuuttuja negatiivisesti. Raakahumuksen ja topografiamuuttujan keskinäinen korrelaatio oli kuitenkin hyvin heikko ($r = -0,09$). Ordinaatioakselit latautuivat myös tässä faktorissa. Molempien akselien piste- arvojen suuretessa raakahumuksen määrä lisääntyi. Viiden faktorin faktorimalli selitti muuttujien kokonaisvaihtelusta 65 % (Taulukko 4).

TARKASTELU

Pääosin sararämeistä kehittyvä puolukkaturvekangas (Ptkg II) oli käsillä olevan aineiston yleisin kasvupaikkatyyppi. Se on yleisin myös koko maan ojitusalueilla keskimäärin (Keltikangas ym. 1986). Mittausajankohtaan asti pelkän uudisojituksen varassa edennyt kasvillisuuden kehitys oli 1930- ja 1950-luvun ojitusalueilla saavuttanut turvekangasasteen (Sarasto 1961) enimmäkseen kolmanneksella havaintoaloista. Sekundaarisukessiota kuvaavan "muuttuma"- käsitteen käyttö oli lopuilla havaintoaloilla ongelmallista. Sukessio saattoi olla keskeytynyt ja osittain taantunut missä tahansa kuivatuksen jälkeisessä vaiheessa. Useimmat vielä osittain suokasvillisuuden peittämät havaintoalat osoittautuivat mosaiikiksi erisuuntaisia sukessiovaihteita (vrt. Kuusipalo & Vuorinen 1981). Pääosin tämän vuoksi ojitusikä ja kuivatustekniset tunnusmerkit korreloivat heikosti aluskasvillisuuden kanssa.

Mitatut ympäristömuuttujat kuvasivat vaihtelua, joka ilmeni paitsi puuston järeytymisenä ojitusiän kasvaessa, myös viljavuuden ja suo-



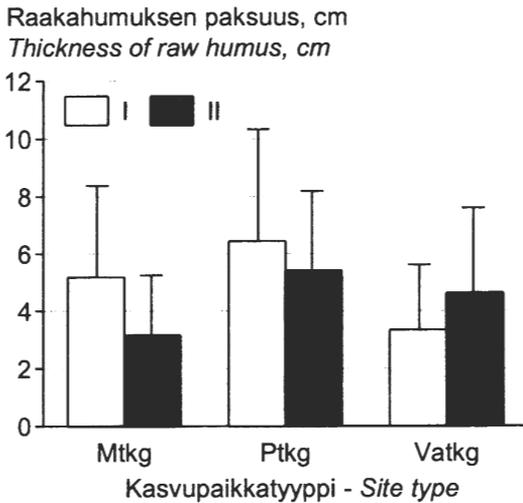
Kuva 4. Ympäristömuuttujien ja GNMDS ordinaation väliset maksimikorrelaatiot vektoriesityksenä. Vektorien numerointi taulukossa 3.

Fig. 4. The maximum correlations between the ordination space and the external sample variables presented as vectors. For the numbering of vectors, see Table 3.

Taulukko 3. Ympäristömuuttujien ja ordinaatioavaruuden väliset maksimikorrelaatiot (r). Kaikki korrelaatiot merkitseviä ($n = 501$).

Table 3. The maximum correlations (r) between the environmental variables and the GNMDS ordination configuration (1 = Stand volume, 2 = Dominant height, 3 = Basal area of spruce, 4 = Basal area of pine, 5 = Basal area of birch, 6 = Fertility, 7 = Raw humus, 8 = Litter type, 9 = Peat type, 10 = Degree of humification, 11 = Thickness of peat layer, 12 = Microtopography, 13 = Age of drainage, 14 = Distance from nearest ditch, 15 = Depth of the ditch).

Muuttuja Variable	r
1. PUUSTO, m ³ ha ⁻¹	0,526
2. VALTAPITUUS, m	0,486
3. PPAkuusi, m ²	0,446
4. PPAmänty, m ²	0,146
5. PPAkoivu, m ²	0,511
6. VILJAVUUS	0,595
7. RHUMUS, cm	0,572
8. KARIKELAJI	0,455
9. TURVELAJI	0,351
10. MAATUNEISUUS	0,381
11. TURVESYVYYS, cm	0,254
12. TOPOGRAFIA	0,217
13. OJITUSIKÄ, v	0,114
14. OJAETÄISYYS, m	0,246
15. OJASYVYYS, cm	0,133



Kuva 5. Raakahumuksen keskimääräinen paksuus ja keskijhajonnat kasvupaikkaluokittain turvekangaspintaisilla näytealoilla (I = aitojen suotyyppien turvekankaat, II = sekatyypin ja nevojen turvekankaat).

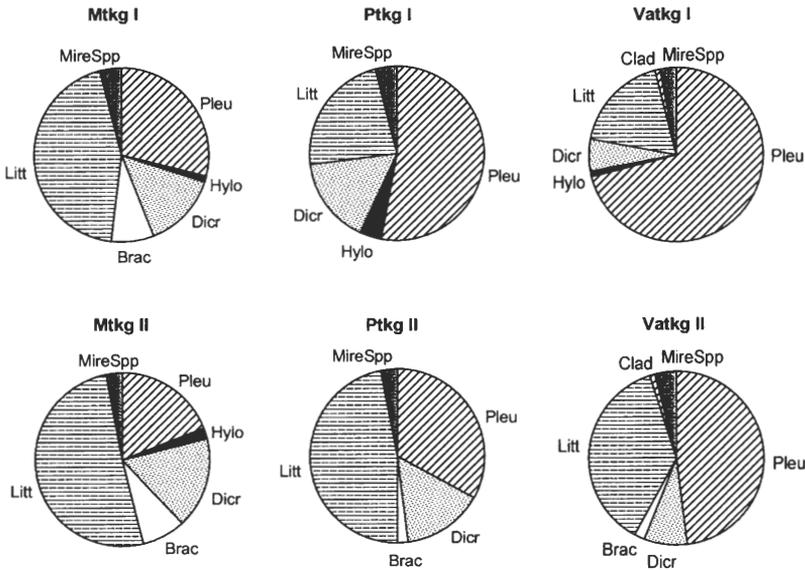
Fig. 5. Average thickness and standard deviations of raw humus layer by site type classes (I = transformed from genuine forested mires, II = from treeless or composite types).

tyyppialkuperän sekä turvekerroksen ominaisuuksien vaikutuksena puulajisuhteisiin. Raakahumuskerroksen paksuus korreloi, vaikkakin hyvin heikosti, ainoastaan kuusi- ja mäntypuuston määrään sekä ojitusikään. Heikon riippuvuuden voi tulkita johtuvan kuivatustilan heikkenemisestä useilla havaintoaloilla. Havaintoalat olivat vain uudisojituksen kohteena olleita soita ja huomattava osa varsinkin 1930- ja 1950-luvun ojitusalueista olisi edellyttänyt kunnostusojitusta käänteisen sukkession välttämiseksi. Raakahumuskerroksen paksuuden määrittäminen ja sen alapuolisen turvekerroksen rajapinnan erottaminen oli usein myös melko tulkinnanvaraista. Suon kuivatustila voi heikentyä merkittävästi juuri siinä vaiheessa, jossa rahkasammalkasvustot ovat häviämässä ja raakahumuskerrostuma vasta syntymässä. Karikkeet sekoittuvat uusiin elpyviin rahkasammalkasvustoihin, jolloin selvää rajapintaa ei pääse syntymään. Myös varpujen ja puiden hienojuurten vaikeuttivat toisinaan kyseisen rajapinnan määrittämistä.

Raakahumuksen ja kasvillisuuden ordinaatio-

avaruuden välinen voimakas korrelaatio johtui erityisesti rahkasammal- ja turvekangaspintojen vaihtelusta, ts. sukkessiovaihtelusta. Kasvavilla rahkasammalpinnoilla raakahumusta ei ole, kun taas kuivuneilla pinnoilla karikkeiden kerrostuminen ja sen jälkeen seinäsammalen tehokas leviäminen (Lloret 1994) alkavat rahkasammalkasvustojen häviämisen jälkeen. Paksuimmat (5,4–6,5 cm) raakahumuskerrostumat painottuivat seinäsammalpinnoille puolukkaturvekankailla. Minkkisen & Laineen (1998) minerotrofisilta nevarämeiltä keräämässä aineistossa raakahumuskerroksen paksuus oli peräti 8 cm. Tässä aineistossa ero puolukka- ja mustikkaturvekankaiden välillä viittaa kariketta kestävän seinäsammalen (Tarkhova & Ipatov 1975) ja pääosin männyn neulasista muodostuvan karkeajakoisen karikkeen runsauteen. Viljavimmilla soilla helposti hajoavan sekä tiiviisti kerrostuvan lehtikarikkeen osuus on suurempi. Myös kuusen mäntyä hienojakoisemman neulaskarikkeen tiiviimpi kerrostuminen lienee yksi osasyys ohuempaan raakahumuskerrostumiin. Hajotusaktiivisuus on myös korpisyntyisillä tai viljavilla turvemaidella nopeampaa kuin rämesyntyillä tai karuilla turvemaidella (Karsisto 1979, Hotanen & Nousiainen 1990). Varputurvekankailla seinäsammalta esiintyy tavallisesti puolukkaturvekankaitakin enemmän (Sarasto 1961, Laine ym. 1995) (vrt. kuitenkin korpiräme, Sarasto 1961), mutta sekundaarisukessio on ensin mainituilla hitaampi ja tässä aineistossa varputurvekankaat olivat myös keskimäärin nuoremmilla ojitusalueilla. Tämä vaikuttaa luonnollisesti sen ajan pituuteen, jolloin raakahumuksen kerrostuminen on ollut mahdollista. Karujen varputurvekankaiden vähäisempi puusto tuottaa myös vähemmän karikemassaa.

Yleisesti ottaen suosammalien häviämisestä ja turvekangaspintojen syntyämisestä kulunut aika on kasvupaikkaominaisuuksien ja karikkeen koostumuksen lisänä merkittävä raakahumuskerrostumien paksuusvaihteluun vaikuttava tekijä ojitusalueilla. Aineiston keruun yhteydessä tehtyjen havaintojen perusteella näyttäisi myös varpujen ja puiden hienojuurten määrällä olevan vaikutusta raakahumuskerrostuman paksuusvaihteluun. Esimerkiksi männyn hienojuurten hajoamisnopeus on neulaskarikkaitakin hitaampaa (Domisch ym. 1998). Yh-



Kuva 6. Turvekangaspintaisten näytealojen pohjakerroksen keskimääräiset lajipeittävyydet kasvupaikaluokittain. MireSpp = "suolajit" (*Sphagnum* spp. ja *Polytrichum* spp.), Litt = karikepinnat, Brac = *Brachythecium* spp., Dicr = *Dicranum* spp., Hylo = *Hylocomium splendens*, Pleu = *Pleurozium schreberi*.

Fig 6. Average cover of ground layer species / species groups by site type classes. MireSpp = "mire species" (*Sphagnum* spp. and *Polytrichum* spp.), Litt = litter surfaces, Brac = *Brachythecium* spp., Dicr = *Dicranum* spp., Hylo = *Hylocomium splendens*, Pleu = *Pleurozium schreberi*.

dessä varpujen juurihuovaston kanssa ne lisäävät karikemassaan kasvettuaan kerrostuman kuohkeutta ja paksuutta.

Alunperin sekatyypin kasvupaikkojen ohuemmat raakahumuskerrostumat saattavat johtua lehtikarikkeiden suuremmasta osuudesta. Varputurvekankailla tilanne oli kuitenkin päinvastainen. Syy löytynee luokitteluongelmista. Oligotrofisten kalvakkaneva- ja lyhytkorsirämeiden (Eurola ym. 1994) rajanveto sararämeisiin on joissain tapauksissa hankalaa pitkälle edenneen kasvillisuuden sekundäärisukcession jälkeen. Osalla Vatk II -luokkaan merkityistä näytealoista rajanveto puolukkaturvekankaisiin olikin tulkinnanvaraista. Näillä kasvupaikoilla kasvillisuuden sekundäärisukcessio lienee edennyt nopeammin kuin vähäravinteisimpien ombrotrofisten aitojen suotyyppien varputurvekankailla (IR, TR).

Sammalpeitteettömien karikepintojen runsas koski erityisesti mustikkaturvekankaiden varjoisia kuusikoita ja runsaan lehtipuusekoituksen omaavia alunperin nevapintaisia sekatyypin kas-

vupaikkoja. Kokonaan kangassammalien peitossa olevia näytealoja oli suhteessa eniten aidoilla varputurvekankailla (Vatk I), jolloin kyse oli valtaosin seinäsammalesta. Karikepintojen runsas esiintyminen muuttuma- ja turvekangasasteen ojitusalueilla voi liittyä erityisesti lehtikarikkeiden sammalkasvustoja tuhoavaan vaikutukseen (Hertz 1932, Mannerkoski 1976) ja varjoisten kuusikoiden seinäsammalelle epäedullisiin valaistusoloihin. Metsäkerrossammal ja kangaskynsisammal sietävät karikepeitetä huomoinnakin seinäsammal (Tarkhova & Ipatov 1975). Karikepintojen ja kangassammalien mosaiikki oli kuitenkin luonteenomaista myös monille puhtaille männiköille, mikä synnyttää ajatuksen kuivatuksen jälkeisen sekundäärisukcession mahdollisesta kaksivaiheisuudesta (vrt. Reinikainen 1984). Ensimmäisessä vaiheessa suosammalet katoavat laikuittain (kuivumissukcessio), jättäen jälkeensä sammalettoiman ja karikkeisiin peittyvän pohjakerroksen. Mikäli ojituksen kuivatusteho säilyy, valtaavat kangasmaiden sammallajit vähitellen suolajeilta

vapautuvaa tyhjää kasvutilaa (metsäsuksessio). Kangassammalpintojen suurempi osuus aidoilla puolukka- ja varputurvekankailla voisi tällöin selittyä seinäsammalmen voimakkaalla kasvullisella leviämiskyvyllä, mikä mahdollistaa sen leviämisen tehokkaasti sammalkasvustoon syntyneisiin aukkoihin (Lloret 1994). Monet suike-rosammalet, joita oli erityisesti mustikkaturvekankailla, kasvavat karikkeella. Ne ilmeisesti hyötyvät lisääntyneestä karikesadosta (Rydin 1997) sekundaarisuksession myöhäisissä vaiheissa (Mäkipää 2000).

Tämän tutkimuksen tuloksia on sovellettu vanhojen ojitusalueiden luontaisen taimettumisen seurantakoejärjestelyiden suunnittelussa. Luontaisen uudistamisen näkökulmasta on tärkeä tiedostaa ojitusalueella etenevän kasvillisuus-suksession merkitys erilaisten "taimettumispintojen" luoja. Uudistaminen ilman muokkausta edellyttää ainakin tietoa itämiselle otollisten rahkasammalpintojen esiintymisestä uudistamiskypsissä ojitusaluemetsiköissä. Tässä esitetyn aineiston hakkuukypsissä ja varttuneissa

metsiköissä rahkasammalien osuus oli enää vain runsaat kymmenen prosenttia pohjakerroksen peittävydestä. Kyse oli siis valtaosin turvekan-kaista, joissa kangassammalien osuus oli keskimäärin puolet pohjakerroksen peittävydestä. Runsaat kolmannes oli edelleen sammalpeitte-töntä karikepintaa. Erilaisten muokkaamattomi-en pintojen taimettumisherkkyyden mallintami-seen tähtäävissä kenttäkokeissa kasvualusta on-kin tähän perustuen luokiteltu rahkasammal-, kangassammal- ja karikepintoihin ja eräissä tapauksissa myös karhunsammalpintaisiin näy-tealoihin, jotka yhdessä käsittänevät valtaosan uudistamisen kannalta merkityksellisestä vaihte-lusta ojitusalueiden erilaisilla luontaisilla tai-mettumispinnoilla. Näiden sinänsä keinotekoisten luokkien sisäisesti taimettumisherkkyyys vaihtelee myös sääoloista riippuen. Karikepinto-jen taimettuminen riippuu karikemassan ominai-suuksista. Runsaat lehtikarikkeen määrä tukah-duttaa sirkkataimia, mutta toisaalta estää myös sammalien kasvua ja siten parantaa maan tai-mettumisherkkyyttä (Hertz 1932). Niinikään eri

Taulukko 4. Ympäristömuuttujien ja kasvillisuusoluttuvuuksien faktoriratkaisu Varimax-rotatoin jälkeen. Latausarvot kerrottu sadalla ja pyöristetty kokonaisluvuksi. Faktorien merkitys kuvattu tekstissä.

Table 4. Orthogonal rotated (Varimax-rotation) factor pattern for environmental variables (variable numbers are explained in table 3) and ordination axes 1 and 2 (GNMDS1 and GNMDS2). Factor loadings are multiplied by 100 and rounded to the nearest integer.

Muuttuja Variable	FACTOR1	FACTOR2	FACTOR3	FACTOR4	FACTOR5	
1. PUUSTO	94	-6	12	-4	6	
2. VALTAPITUUS	92	3	7	-2	2	
6. VILJAVUUS	51	-64	23	-18	9	
3. PPAkuusi	70	-56	-14	7	5	
4. PPAmänty	23	85	8	2	1	
10. MAATUNEISUUS	29	-47	33	-4	-5	
5. PPAkoivu	23	-52	37	-36	12	
8. KARIKELAJI	7	-40	57	-25	18	
9. TURVELAJI	20	-13	69	2	-10	
14. OJAETÄISYYS	-12	-11	-16	66	1	
11. TURVESYVYYS	-4	30	2	63	7	
13. OJITUSIKÄ	45	6	21	64	8	
7. RHUMUS	35	11	2	-5	74	
GNMDS1	49	-13	24	-32	57	
GNMDS2	-20	34	-38	7	52	
12. TOPOGRAFIA	27	0	4	-34	-48	
15. OJASYVYYS	1	-15	-5	6	25	
Ominaisarvot Eigenvalues	3,42	2,42	2,05	1,70	1,54	Σ11,13

kangassammalkasvustojen välillä voi esiintyä huomattavia eroja riippuen paitsi kosteusoloista myös kyseisen sammalen kasvunopeudesta (Sarasto & Seppälä 1964). Karike- ja kangassammalpinnoilla esiintyy todennäköisesti vielä merkittävää taimettumisherkkyyden vaihtelua raakahumuskerrostuman paksuuden suhteen. Näiden pintojen taimettumisherkkyyden erot eri raakahumuskerrostumilla riippuvat lisäksi kasvukauden kosteusoloista ja pohjavesipinnan etäisyydestä.

KIITOKSET

Tutkimus tehtiin osana Metsäntutkimuslaitoksen metsänuudistamisen tutkimusohjelmaan kuuluvaa hanketta, jossa tutkitaan luontaista taimettumista vanhoilla ojitusalueilla. Tutkimus sai alkunsa Metsähallinnon Parkanon hoitoalueessa työskennelleen metsätalousinsinööri Osmo Hakalan myötävaikutuksella. Kenttätyövaiheessa Jani Nuijanmaa avusti Parkanon tutkimusaseman harjoittelijana. Dosentti Leena Finér oli toisena toimituksen valitsemana ennakkotarkastajana. Toimittaja MMT Kari Minkkinen sekä kumpikin hänen valitsemistaan ennakkotarkastajista tekivät käsikirjoitukseen runsaasti hyödyllisiä parannusehdotuksia. B.Sc. Markus Hartman tarkasti artikkelin englanninkieliset osiot. Kaikille edellä mainituille parhaimmat kiitokset.

KIRJALLISUUS

- Clymo, R. S. 1984. The limits to peat bog growth. *Philosophical Transactions of the Royal Society, London. Series B* 303: 605–654.
- Clymo, R. S. & Hayward, P. M. 1982. The ecology of Sphagnum. Teoksessa: Smith, A. J. E. (ed.). *Bryophyte ecology*. pp. 229–289.
- Domisch, T., Finér, L., Karsisto, M., Laiho, R. & Laine, J. 1998. Relocation of carbon from decaying litter in drained peat soils. *Soil Biology & Biochemistry* 30: 1529–1536.
- Eurola ym. 1994. Suokasvillisuusopas. *Oulanka Reports* 13: 1–81.
- Faith, D. P., Minchin, P. R. & Belbin, L. 1987. Compositional dissimilarity as a robust measure of ecological distance. *Vegetatio* 69: 57–68.
- Hayward, P. M. & Clymo, R.S. 1983. The growth of Sphagnum: experiments on, and simulation of, some effects of light flux and water-table depth. *Journal of Ecology* 71: 845–863.
- Hertz, M. 1932. Tutkimuksia aluskasvillisuuden merkityksestä kuusen uudistumiselle Etelä-Suomen kangasmailla. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 17: 1v189.
- Hotanen, J.-P. & Nousiainen, H. 1990. Metsä- ja suokasvillisuuden numeerisen ryhmittelyn ja kasvupaikkatyyppien rinnastettavuus. (Summary: The parity between the numerical units and the site types of forest and mire vegetation). *Folia Forestalia* 763: 1–54.
- Hotanen, J.-P., Nousiainen, H. & Paalamo, P. 1999. Vegetation succession and diversity on Teuravuoma experimental drainage area in northern Finland. (Tiivistelmä: Kasvillisuuden sukkessio ja monimuotoisuus Teuravuoman koeojitusalueella Pohjois-Suomessa). *Suo* 50: 55–82.
- Immonen-Joensuu, M. 1987. Luontaisen uudistamisen onnistuminen vanhoilla metsäojitusalueilla. Pysyviin tuotoskoealoihin perustuva selvitys. Tutkielma MMK-tutkintoa varten. Helsingin yliopisto, suometsätieteen laitos. 68 s.
- Karsisto, K. 1979. Maanparannustoimenpiteiden vaikutuksista orgaanista ainetta hajoittavien mikrobien aktiivisuuteen suometsissä. Osa 1. Pohjaveden etäisyyden ja NPK-lannoituksen vaikutus Vilppulan ja Kivalon rämeellä ja korvessa. (Summary: Effects of forest improvement measures on activity of organic-matter decomposing micro-organisms in forested peatlands. Part 1. Effect of drainage and NPK-fertilization in the spruce and pine swamps at Kivalo and Vilppula.) *Suo* 30: 81–91.
- Kaunisto, S. 1984. Suometsien uudistaminen turvekangasvaiheessa. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 137: 7–21.
- Kaunisto, S. & Päivänen, J. 1985. Metsänuudistaminen ja metsittäminen ojitetuilla turvemaidilla. Kirjallisuuteen perustuva tarkastelu. (Summary: Forest regeneration and afforestation on drained peatlands. A literature review). *Folia Forestalia* 625: 1–75.
- Kaunisto, S. & Paavilainen, E. 1988. Nutrient stores in old drainage areas and growth of stands. (Seloste: Turpeen ravinnevarat vanhoilla ojitusalueilla ja puuston kasvu). *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 145: 1–39.
- Keltikangas, M., Laine, J., Puttonen, P. & Seppälä, K. 1986. Vuosina 1930–1978 metsäojitetut suot: ojitusalueiden inventoinnin tuloksia. (Summary: Peatlands drained for forestry during 1930–1978: results from field surveys of drained areas). *Acta Forestalia Fennica* 193: 1–94.
- Keltikangas, V. 1945. Ojitettujen soitten viljavuus eli puuntuotto-kyky metsätyyppiteorian valossa. (Summary: The Fertility of Drained Bogs as Shown by their Tree Producing Capacity, Considered in Relation to the Theory of Forest Types). *Acta Forestalia Fennica* 53: 1–237.
- Kuusipalo, J. & Vuorinen, J. 1981. Pintakasvillisuuden sukkessio vanhalla ojitusalueella Itä-Suomessa. (Summary: Vegetation succession on an old, drained peatland area in Eastern Finland). *Suo* 32: 61–66.

- Laiho, R. & Laine, J. 1996. Plant biomass carbon store after water-level drawdown of pine mires. Teoksessa: Laiho, R., Laine, J. & Vasander, H. (toim.). Northern Peatlands in Global Climatic Change. Publications of the Academy of Finland 1/96, s. 54–57. Edita, Helsinki.
- Laine, J. & Vasander, H. 1990. Suotyypit. Kirjayhtymä. Helsinki. 80 s.
- Laine, J. & Vasander, H. 1998. Suo ekosysteeminä. Teoksessa: Vasander, H. (toim.). Suomen suot: 10–19. Suoseura ry., Helsinki.
- Laine, J., Vasander, H. & Laiho, R. 1995. Long-term effects of water level drawdown on the vegetation of drained pine mires in southern Finland. *Journal of Applied Ecology* 32: 785–802.
- Lieffers, V. J. 1988. Sphagnum and cellulose decomposition in drained and natural areas of an Alberta peatland. *Canadian Journal of Soil Science* 68: 755–761.
- Lindholm, T. & Vasander, H. 1990. Production of eight species of Sphagnum at Suurisuo mire, southern Finland. *Annales Botanici Fennici* 27: 145–157.
- Lloret, F. 1994. Gap colonization by mosses on a forest floor: An experimental approach. *Lindbergia* 19: 122–128.
- Mannerkoski, H. 1976. Puuston ja pintakasvillisuuden kehitys ojituksen jälkeen saraisella suolla. Summary: changes in tree cover and ground vegetation of a sedge bog following drainage. *Suo* 27: 97–101
- Melin, E. 1917. Studier över de norrländska myrmarkernas vegetation med särskild hänsyn till deras skogsvegetation efter torrläggning. *Norrländskt Handbibliotek* 7. 426 s.
- Minchin, P. R. 1991. DECODA. Database for Ecological Community Data. Version 2.04. Australian National University. Canberra.
- Minkkinen, K. & Laine, L. 1998. Long-term effect of forest drainage on the peat carbon stores of pine mires in Finland. *Canadian Journal of Forest Research* 28: 1267–1275.
- Mäkipää, R. 2000. Brachythecium-suku. Suikerosammallet. Teoksessa: Reinikainen, A., Mäkipää, R., Vanha-Majamaa, I. & Hotanen, J.-P. (toim.). Kasvit muuttuvassa metsäluonnossa, s. 238–239. Tammi. Helsinki.
- Pienimäki, T. 1982. Kasvillisuuden ojituksenjälkeinen kehitys eräällä suotyypeillä Pohjois-Pohjanmaalla. (Summary: Development of vegetation on some drained mire site types in North-Ostrobothnia). *Suo* 33: 113–123.
- Reinikainen, A. 1980. Suoekosysteemi toimii. Teoksessa: Ruuhijärvi, R. & Häyrinen, U. (toim.). Suomen Luonto 3. Suot, s. 211–261. Kirjayhtymä Oy. Helsinki.
- Reinikainen, A. 1984. Suotyypit ja ojituksen vaikutus pintakasvillisuuteen. Teoksessa: Jaakkoinsuon koeojitusalue 75 vuotta. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 156: 7–21.
- Rydin, H. 1997. Competition among bryophytes. *Advances in Bryology* 6: 135–168.
- Saarinen, E. K. E. 1933. Soiden pintaturpeen korkeuskasvusta. Referat: Über das Höhenwachstum des Oberflächentorfes auf den Mooren. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 19: 1–27.
- Sarasto, J. 1952. Metsäojituksen aiheuttamista aluskasvillisuuden muutoksista eräissä suotyypeissä. (Referat: Über Veränderungen in der Untervegetation einiger Moortypen als Folge der Waldentwässerung). *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 40: 1–32.
- Sarasto, J. 1957. Metsän kasvattamiseksi ojitettujen soiden aluskasvillisuuden rakenteesta ja kehityksestä Suomen eteläpuoliskossa. Referat: Über Struktur und Entwicklung der Bodenvegetation auf für Walderziehung entwässerten Mooren in der südlichen Hälfte Finnlands. *Acta Forestalia Fennica* 65: 1–108.
- Sarasto, J. 1961. Über die Klassifizierung der für Walderziehung entwässerten Moore. *Acta Forestalia Fennica* 74: 1–47.
- Sarasto, J. 1963. Tutkimuksia koivun kylvöstä ojitetuilla soilla. (Summary: Sowing of birch on drained swamps). *Suo* 14: 47–56.
- Sarasto, J. & Seppälä, K. 1964. Männyn kylvöistä ojitettujen soiden sammal- ja jäkäläkasvustoihin. (Summary: On sowing of pine in moss and lichen vegetation on drained swamps). *Suo* 15: 54–58.
- SAS Institute Inc. 1992. SAS Technical Report P-229 SAS/STAT software: changes and enhancements, release 6.07. SAS Institute Inc., Cary, NC. 620 pp.
- Schönemann, P. H. & Carroll, R. M. 1970. Fitting one matrix to another under choice of a central dilation and a rigid motion. *Psychometrika* 35: 245–255.
- Tarkhova, T. & Ipatov, V. 1975. Influence of illumination and litter-drop on the development of certain species of mosses. *Soviet Journal of Ecology* 6: 43–48.
- Tolonen, K., Vasander, H., Damman, A. W. H. & Clymo, R. S. 1992. Preliminary estimate of long-term carbon accumulation and loss in 25 boreal peatlands. *Suo* 43: 277–280.
- Vasander, H. 1987. Diversity of understorey biomass in virgin and in drained and fertilized southern boreal mires in eastern Fennoscandia. *Annales Botanici Fennici* 24: 137–153.
- Vasander, H. 1990. Plant biomass, its production and diversity on virgin and drained southern boreal mires. Publications from the Department of Botany, University of Helsinki 18: 1–16.
- Vasander, H., Kuusipalo, J. & Lindholm, T. 1993. Vegetation changes after drainage and fertilization in pine mires. (Tiivistelmä: Kasvillisuuden muutokset rämeillä ojituksen ja lannoituksen jälkeen.) *Suo* 44: 1–9.
- Yli-Vakkuri, P. 1958. Tutkimuksia ojitettujen turvemaiden kulutuksesta. Referat: Untersuchungen über das Absengen als Waldbauliche Massnahme auf entwässerten Torfböden. *Acta Forestalia Fennica* 67: 1–33.

SUMMARY

The raw humus layer, which develops on the peat surface of peatlands after drainage (and subsequent tree stand growth response), primarily consists of needle litter and heath mosses. *Pleurozium schreberi* in particular was observed and commented on already by Melin (1917) and Keltikangas (1945). This quite loose raw humus layer makes stand regeneration difficult by constituting a poor germination bed (Kaunisto 1984, Kaunisto & Päivänen 1985). However, the occurrence of raw humus has not been studied systematically, although it has been taken into account in studies dealing with biomass, nutrients and carbon balance on peatlands (e.g. Vasander 1987, Kaunisto & Paavilainen 1988, Minkkinen & Laine 1998). The aim of this study was to examine the variation in the thickness of the raw humus layer and its relationship to the structure of the vegetation and to the environmental variables on old drained peatland forests in practical forestry use.

The sample plots ($n = 501$) were systematically located on sites ditched only once. The ditchings had been done in the 1930s, -50s and -60s. At each measurement/sampling point the drained peatland forest type was determined according to Laine & Vasander (1990) (with the exception of dwarf-shrub type II) on a 100 m² area (Table 1). The coverage of the understorey vegetation was estimated on a 0.5 m² quadrat. Quadrats representing site types of the final succession phase III, (Sarasto 1961) of drained peatland forests were treated separately from sites representing earlier succession phases (Table 2). Peat samples were collected from the 0–20 cm peat surface and the thickness of the raw humus layer was measured. Furthermore, a number of environmental variables were measured or estimated.

The covariation between the vegetation and the environmental variables including the raw humus layer was analysed by global nonmetric multidimensional scaling (GNMDS) using vector fitting procedure (Minchin 1991). Correlation and factor analyses were also used.

Two dimensions were needed in the GNMDS. The main compositional gradients were variation in drainage succession (moisture) and variation in fertility. Variation in hummock-level bog influence – spruce mire influence was also included in the fertility gradient. Both gradients were located at angles to the ordination axes (Figs. 1–4).

The covariation between the amount of raw humus and the vegetation (ordination space) was 0.57 (Table 3). The thickness of the raw humus layer increased in the direction of the secondary succession gradient (Fig. 4). The amount of the raw humus correlated rather weakly with the measured environmental variables: the strongest correlation was with the stand volume (0.31). The correlation with the drainage age was only 0.21. This may be due to the regressive development in the succession on many plots. The drainage conditions can weaken considerably at the stage when the *Sphagnum* populations are disappearing and the raw humus is just forming. The litter is intermixing with new plant and moss populations and there is no clear interface formed between the raw humus and the peat. A factor model (Table 4) supporting the ordination and vector presentation (Fig. 4) was found. The thickness of raw humus was connected with the volume of the tree stand (factor 1) and the secondary succession (especially GNMDS1, factors 1 and 5).

On average, the raw humus layer was thickest on *Vaccinium vitis-idaea* transformed types, 6.5 cm (Ptkg I) and 5.4 cm (Ptkg II) (Fig. 5). Also in *V. myrtillus* types the raw humus was thicker (5.2 cm) on the objects developed from genuine forested mires (Mtkg I) than on those developed from treeless or composite types (Mtkg II) (3.2 cm). In the dwarf-shrub types the situation was opposite, 3.3 cm (Vatkg I) and 4.6 cm (Vatkg II). Most likely, the Vatkg II plots were mainly of minerotrophic (oligo-) origin and the Vatkg I plots of ombrotrophic origin. The Vatkg II plots resembled to some extent Ptkg II plots but, on the basis of vegetation, were less fertile.

The strong correlation between the raw

humus and the ordination space was caused particularly by the variations in *Sphagnum* and transformed site surfaces, i.e. the variation in the secondary succession. On living *Sphagnum* surfaces raw humus hardly occurs whereas on drained surfaces the deposition of litter and the effective spreading of *Pleurozium schreberi* (Lloret 1994) start immediately after the disappearance of *Sphagnum*. In this study the difference between Ptkg and Mtkg refers to the abundance of coarse-grained litter consisting mainly of pine needles and to the abundance of *P. schreberi* which tolerates the litterfall well (Tarkhova & Ipatov 1975). In Mtkg the litter is more dominated by deciduous trees and the coverage of *P. schreberi* is clearly smaller than in Ptkg or in Vatkg. Furthermore, on fertile sites or on sites of spruce mire origin the decomposition is faster than on nutrient-poorer types or on types of pine mire origin (Karsisto 1979, Hotanen & Nousiainen 1990). In the material collected by Minkkinen & Laine (1998) from drained minerotrophic pine mires the average thickness of the raw humus was as high as 8 cm. There is generally more *P. schreberi* in Vatkg than in Ptkg (Sarasto 1961, Laine et al. 1995) but the secondary succession is slower and the amount of the needle litter smaller in Vatkg than in Ptkg. In this material the dwarf-shrub types had younger drainage history than the other site types (Table 1) and thus a shorter period for the raw humus layer to form.

The fine roots of trees and dwarf-shrubs may also constitute a part of the raw humus. Due to forest drainage the roots develop strongly and the decay of the fine roots of *Pinus sylvestris* is even slower than the needle decay (Domisch et al. 1998). The fine roots can make the determi-

nation of the interface between the raw humus and the peat more difficult.

The litter surfaces were more common on fertile transformed sites whereas the coverage of heath mosses increased towards the poorer sites. There was also an increase of the litter coverage from the originally genuine forested site types towards the treeless or composite site types (Fig. 6). The abundant occurrence of litter surfaces on old drainage areas may be connected with the suppressing effects of especially deciduous litter on moss populations (Hertz 1932, Mannerkoski 1976) and with poor light conditions for *P. schreberi* in shadowy spruce forests. For example, *Hylocomium splendens* and *Dicranum polysetum* are less tolerant to the litterfall than *P. schreberi* (Tarkhova & Ipatov 1975). The mosaic of litter surfaces and heath mosses was, however, typical for many stands consisting of merely pines which leads to the hypothesis of a possible succession in two steps after drainage (cf. Reinikainen 1984). In the first phase the mire mosses disappear in patches (drainage succession) leaving the bottom layer bare before it is covered with litter. As long as the drainage efficiency is preserved the heath mosses gradually occupy free growth substrates (forest succession). The larger proportion of heath mosses in the transformed Ptkg I and Vatkg I sites could then be explained by the effective vegetative propagation of *P. schreberi* which enables it to spread effectively into the gaps left by the retreating mire moss populations (Lloret 1994). *Brachythecium* spp. mosses, which were abundant especially on transformed Mtkg sites grow on litter. They apparently benefit from increased litterfall (Rydin 1997) during the late phases of the secondary succession (Mäkipää 2000).

Received 6.9.2000, accepted 31.10.2000