

Pääravinnesuhteet ja kaliumin riittävyys karujen rämeiden ojitusalueilla

Macronutrient ratios and sufficiency of soil potassium in drained nutrient-poor Scots pine peatlands

Markku Saarinen & Timo Silver

Markku Saarinen, Metsäntutkimuslaitos, Länsi-Suomen alueyksikkö, Kaironiementie 15, FI-39700 Parkano, email: markku.saarinen@metla.fi.

Timo Silver, Metsäkeskus Lounais-Suomi, Kuralankatu 2, FI-20540 Turku, email: timo.silver@metsakeskus.fi

Tutkimuksen tavoitteena oli selvittää turpeen ja nykypuuston kaliumvarojen määrä sekä arvioida kaliumvarojen riittävyys puuston kasvulle päätehakkuuvaiheessa ja toisen puusukupolven aikana vanhoilla varputurvekankaan (Vatk) ojitusalueilla Lounais-Suomessa. Tarkoituksena oli arvioida, voiko osalla karuista varputurvekankaista kalium loppua jo ennen päätehakkuuvaihetta tai viimeistään toisen puusukupolven aikana. Puustoon oli mittaushetkellä sitoutunut kaliumia keskimäärin 62 % (23–106 %) turpeen kaliumvarastoon verrattuna. Jos kiertoajan kokonaistuotokseksi arvioidaan 200 m³ ha⁻¹, eikä turpeen tiivistymisen tai laskeuman mahdollista vaikutusta kaliummäärien muutoksiin huomioida, oli pintaturpeessa keskimäärin 67 % (34–96 %) siitä kaliummäärästä, jonka puusto tarvitsee tuon kokonaistuotoksen maanpäällisen biomassan saavuttamiseksi. Kaliumin riittävyys nykypuuston koko kiertoajalle sekä seuraavan puusukupolven tarpeisiin riippuu paljolti siitä, pystyvätkö ilmasta tuleva kalium ja turpeen tiivistyessä konsentroituva kalium kompensoimaan hakkuun ja huuhtoutumisen aiheuttamat menetykset. Tarkastelu osoittaa, että myös karuilla rämeillä käytettävissä olevan kaliumin määrä saattaa rajoittaa puuston kehitystä. Vähiten kaliumia sisältävien turpeiden kasvupaikoilla ongelmia voi ilmetä jo ensiharvennuksen jälkeen, eikä kalium ehkä riitä edes tavoiteltuun 200 m³ ha⁻¹ kokonaistuotokseen. Kaliumin riittävyyden ongelma lienee pahin niillä varputurvekankailla, jotka ovat lähtöisin runsaasti nevapintaa sisältäneistä lyhytkorsirämeistä (LkR).

Avainsanat: turvema, kuivatus, ravinnepuutos, pääravinne, kaliumin riittävyys

Johdanto

Vuonna 2007 voimaan tulleissa turvemaiden metsänhoitosuosituksissa ojitusalueet jaetaan metsänkasvatuksen taloudellisen kannattavuuden

näkökulmasta metsänkasvatuskelpoisiin, kunnostusojituskelpoisiin ja jatkoinvestointikelvottomiin metsiköihin (Hyvän metsänhoidon suositukset... 2007). Ensin mainitut ovat pysyvästi metsänkasvatuskelpoisia eli nyt ja myös

seuraavien puusukupolvien osalta kannattavia metsänkasvatiskohteita. Kunnostusojituskelpoiset ja jatkoinvestointikelvottomat sisältävät kannattavuuden suhteen varauksia sen mukaan puhutaanko vain olemassa olevan puusukupolven kasvattamisesta ja siihen kohdennettavista kunnostusojitusinvestoinneista vai tämän lisäksi vielä seuraavankin puusukupolven perustamisesta. Osalla ojitusalueista nykyinen puusukupolvi on mielekästä kasvattaa vain päätehakkuuvaiheeseen ja sen jälkeen pidättäytyä uusista investoinneista. Tällöin puhutaan jatkoinvestointikelvottomista eli ”uudistamiskelvottomista” ojitusalue metsiköistä. Osa niistä voi kuitenkin olla kunnostusojituskelpoisia, osalle taas ei kannata enää investoida edes kunnostusojituksia vallitsevan puusukupolven päätehakkuuvaihetta odotellessa.

Ojitusalue metsiköt, joissa nykyisen puusukupolven aikainen kunnostusojitus ei ole kannattavaa ovat Etelä-Suomessa joko jäkäläturvekankaita (Jätkg) tai varputurvekankaita (Vatkg). Ensin mainitut suljetaan tämän tarkastelun ja järkevän metsätalouden ulkopuolelle jo alun perin virheelisinä uudisojituskohteina. Nykyisten metsänhoitosuosittelujen (Hyvän metsänhoidon suositukset... 2007) mukaan varputurvekankaiden kunnostusojituskelpoisuus määräytyy lämpösumman, puuston laadun, runkoluvun ja kehitysluokan perusteella. Suositusten lähtökohtana on ollut, että kasvupaikalla olevan puustopääoman on kunnostusojituksen vaikutusaikana saavutettava leimausraja ja metsikössä voidaan tehdä vähintään yksi hakkuutuloja tuottava harvennushakkuu.

Tämän tutkimuksen tavoite on arvioida kunnostusojituskelpoisiksi luokiteltavien varputurvekankaiden jatkoinvestointikelpoisuuden ravinnetaloudellisia perusteita. Jos varputurvekangas on kunnostusojituskelpoinen, se saattaa myös olla jatkoinvestointikelpoinen riippuen lämpösummasta ja toisen puusukupolven perustamiseen ja kasvattamiseen kohdennettavien kustannusten suuruudesta. Turvemaiden metsänhoitosuosittelujen yhteydessä laadittujen alustavien kannattavuuslaskelmien mukaan varputurvekankaat ovat kolmen prosentin laskentakorolla jatkoinvestointikelpoisia vain Etelä- ja Väli-Suomessa (lämpösumma yli 1000 d.d.), mikäli metsikön perustaminen onnistuu luontaisesti uudistaen tai kylvään. Tällöinkin perusoletuksena on kasvupai-

kan luontaisten ravinteiden riittäminen seuraavan puusukupolven kasvattamiseen eli kasvatukseen edellyttä ravinne-epätasapainoa korjaavia terveystalannoituksia.

Kivennäisravinteiden kuten fosforin ja kaliumin puutosten esiintyminen ojitusalueiden puustoissa on yleensä liitetty paksuturpeisiin ja alkuperäisiltä suotyypeiltään oligo-mesotrofisten tai mesotrofisten saraisten soiden kasvupaikkoihin. Nämä ovat soita, jotka kuivatuksen myötä kehittyvät vähintään puolukkaturvekankaiksi (Paarlahti ym. 1971, Kaunisto & Tukeva 1984, Kaunisto 1987, Moilanen 1993, Moilanen ym. 1996, Silfverberg & Hartman 1999, Silver & Saarinen 2001, Moilanen ym. 2005, Pietiläinen ym. 2005, Silfverberg & Moilanen 2008). Näiden varputurvekankaita runsastypisempien kasvupaikkojen puustoon voi sitoutua suurin osa ravinnekierrossa olevan kaliumin kokonaisvarastosta, joka ääritapauksessa johtaa kaliumin loppumiseen jo ennen kuin puusto saavuttaa päätehakkuuvaiheen. Tämä heikentää kyseisten kasvupaikkojen jatkoinvestointien nettonykyarvoa, sillä toisen puusukupolven kasvatukseen kustannuksiin on lisättävä vähintään yksi ravinnesuhteita tasapainottava lannoitus. Varputurvekankaat saattavat tämän kustannuserän johdosta olla taloudellisesti jatkoinvestointikelvottomia. Kaliumin puutosoireita ja kaliumin loppumista ei kuitenkaan ole pidetty ongelmana varputurvekankailla niiden alhaisempien typpipitoisuuksien ja samalla tasapainoisempien ravinnesuhteiden vuoksi. Missään tutkimusaineistossa asiaa ei kuitenkaan ole tarkasteltu erikseen sellaisilla varputurvekankailla, jotka ovat alunperin olleet nevapintaista ja luonnontilaisena märkää nevarämettä (esim. lyhytkorsiräme (LkR), ja joilla turpeen kaliumpitoisuudet voivat tästä syystä olla huomattavasti alhaisemmat kuin aidoista mätäspintaista ja kuivemmista rämeistä (esim. isovarpuräme (IR)) kehittyneillä varputurvekankailla.

Tutkimuksen tavoitteena oli selvittää turpeen kaliumvarojen määrä sekä arvioida kaliumvarojen riittävyys puuston kasvulle päätehakkuuvaiheessa ja toisen puusukupolven aikana vanhoilla varputurvekankaan ojitusalueilla. Tässä tutkimuksessa esitellään aineisto lounaissuomalaisista ja pääosin sararämelähtöisistä (RhSR, VSR) varputurvekankaista, jotka ovat puustoltaan kunnostusojituskel-

poisia ja joiden ojaverkosto on perattu enintään seitsemän vuotta sitten. Tarkastelu suunnattiin sellaisille ojitusaluekuvioille, jotka puustoltaan olivat lähellä kunnostusojituskelvouden alarajaa. Tarkoituksena oli selvittää turpeen kaliumvarastojen määrä sekä arvioida kaliumin riittävyyttä puuston tuotokselle puuston päätehakkuuvaiheessa ja uudessa puusukupolvessa kaikkein karuimmilla vielä kunnostusojitettavissa olevilla varputurvekankaan ojitusalueilla Etelä-Suomessa. Koska ojitusaluepuuston kaliumin käyttöön ja mahdollisten puutosoireiden ilmaantumiseen vaikuttavat oleellisesti myös kasvualustan tyyppi ja fosfori, tarkastellaan kaliumtaloutta myös kaikkien kolmen pääravinteen suhteiden näkökulmasta.

Aineisto ja menetelmät

Otanta ja mittaukset

Tutkimuksen aineisto on otos perusjoukosta, johon rajattiin Lounais-Suomen metsäkeskuksen toimialueella olevat ja viime vuosina kunnostusojitustoiminnan kohteina olleet varputurvekankaan viljavuustason ojitusalueet. Otanta suunnattiin 2–7 vuotta sitten toteutettuihin kunnostusojitushankkeisiin, joiden suunnitelma-asiapapereissa puustotilavuuden piti olla kunnostusojitushetkellä $15\text{--}30\text{ m}^3\text{ ha}^{-1}$ ja kasvupaikan joko varputurvekangas tai varputurvekankaaksi kehittymässä oleva tupasvilla räme (TR), isovarpuräme (IR) tai lyhytkorsiräme (LkR).

Otantaan poimittiin yhteensä 15 ojitusaluekuviota (taulukko 1), jotka olivat ojitushetkellä kunnostusojituskelvopaisia nykyisissä metsänhoitosuosituksissa esitettyjen runkolukuvaatimusten perusteella (Hyvän metsänhoidon suositukset... 2007) Tästä poikkesi vain yksi koealalinja (Karvia, Alvari 2), jossa hehtaarikohtainen runkoluku (1057 runkoa) jäi hieman alle Väli-Suomen varputurvekankaiden varttuneiden taimikoiden runkolukuvaatimuksen (1300 r). Kaikki muut kohteet olivat mittaushetkellä kunnostusojituskelvouden edellyttämän puustotiheyden omaavia nuoria kasvatusmetsiä (11 kohdetta) tai aivan kyseisen kehitysluokan rajaläpimitan ($d1.3 = 8\text{ cm}$) tuntumassa olevia riukuvaiheen varttuneita

taimikoita (3 kohdetta).

Ojitusaluekuvioille sijoitettuihin koealalinjoihin mitattiin 20 metrin välein seitsemän ympyräkoealaa, joiden pinta-ala oli 50 m^2 . Koealalinjojen lähtöpiste määritettiin ennalta kartalle. Ympyräkoaloilta mitattiin puustotiedot (runkoluku, rinnankorkeusläpimitta ja pituus). Koealan runkolukuun laskettiin kehityskelpoiset, kantoläpimitaltaan yli 4 cm puut. Koealan keskimäinen puu kaadettiin koepuuksi ja siitä mitattiin kasvun laskemista varten viiden vuoden pituus- ja sädekasvu sekä puun pituus ja rinnankorkeusläpimitta.

Otantakohteiden kasvupaikat sekä kuivatus- ja lannoitushistoria

Mittaushetkellä oli uudisojitukselta kulunut aikaa keskimäärin 36 vuotta (33–44). Koska kunnostusojituksesta oli kulunut enintään seitsemän vuotta ja ojan kuivavara oli kaikilla kohteilla 0,8–1,1 metrin välillä, voidaan otantakohteiden kuivatustilaa pitää vähintäänkin tyydyttävänä. Sarkaleveys vaihteli 35–45 metrin välillä. Koealalinjoista kaksi kolmannelta oli lannoitettu, mikä suhteena vastaa toteutettujen peruslannoitusten määrää Lounais-Suomen karuilla rämeillä. Lannoitelajina oli yleensä NPK, osalla pelkkä PK. Koska lannoituksesta ravinneyhteiden ottohetkeen oli kulunut 33–38 vuotta, ei lannoitus enää näkynyt ravinneanalyyysien tuloksissa. Yleisesti ottaen fosforilannoituksen kestoaikana pidetään enimmillään 30 vuotta keinolannoitteilla (Moilanen & Issakainen 1990, Silfverberg & Moilanen 2008). Sen sijaan lannoitus näkyy tuloksissa suurempina puustomäärinä. Koealalinjat olivat tarkasteluhetkellä varputurvekankaita ja alkupe räiseltä suotyypiltään yksitoista oli lyhytkorsirämeitä ja loput neljä tupasvilla- ja isovarpurämeitä. Koealalinjakohtaiset kasvupaikkatiedot sekä ojitusten ja lannoitusten ajankohdat on esitetty taulukossa 1 ja puuston keskitunnukset ovat taulukossa 2.

Turve- ja neulasanalyysit

Koealalinjan koepuista otettiin talvella myös kokoomanäyte neulasista neulasanalyysia varten. Lisäksi koealojen (7 kpl/linja) keskipis-

Taulukko 1. Perustietoja koelaloista.

Table 1. Background information concerning the sample plots.

Kunta	Koelalinja	Suotyyppi	Koordinaatit KKJ (N,E)	Lämpösumma, d.d.	Uudisojitus- vuosi	Kunnostus- ojitusvuosi	Lannoitus- vuosi	Lannoite- laji	Lannoite- määrä
Municipality	Transect	Peatland site type	Coordinates	Temperature sum, degree days	Initial drainage, year	Ditch network maintenance, year	Fertilization year	Fertilizer type	Fertilizer amount
Mynämäki	Saartenokka 1	LkR	6738547, 1569363	1245	1973	2003	1975	(N)PK	600
Mynämäki	Saartenokka 2	LkR	6738792, 1568949	1245	1973	2003	1975	(N)PK	600
Mynämäki	Hukki 1	TR	6737872, 1556001	1291	1975	2007	1975	NPK	700
Mynämäki	Hukki 2	TR	6737814, 1555828	1291	1975	2007	1975	NPK	700
Yläne	Järvenrahka 1	IR	6755076, 1574897	1269	1973	2004	0	0	0
Yläne	Järvenrahka 2	IR	6754599, 1574977	1269	1973	2004	0	0	0
Yläne	Haapasaari	LkR	6753985, 1572117	1267	1969	2003	1969	NPK	500
Pöytyä	Vänniö 1	LkR-TSR	6742280, 2419252	1266	1973	2000	1972	NPK	600
Pöytyä	Vänniö 2	LkR-TSR	6741724, 2419640	1266	1973	2000	1972	NPK	600
Eura	Omasuo 1	LkR-TR	6775715, 1560321	1253	1968	2003	0	0	0
Eura	Omasuo 2	LkR	6775524, 1560341	1253	1968	2003	0	0	0
Eura	Omasuo 3	LkR	6775400, 1560466	1253	1968	2003	0	0	0
Kauvatsa	Piilijoki	LkR	6810204, 2420188	1233	1965	2007	1975	PK	600
Karvia	Alvari 1	LkR	6884114, 2427985	1100	1971	2003	1972	NPK	600
Karvia	Alvari 2	LkR	6884144, 2427830	1100	1971	2003	1972	NPK	600

teistä otettiin keväällä ja syksyllä tilavuustarkat $6 \times 6 \times 20$ cm:n turvenäytteet, joista muodostettiin koelalinjoittaiset kokoomänäytteet. Turvenäyte otettiin 0–20 cm:n pintaturpeesta, josta oli ensin poistettu raakahumuskerros. Neulas- ja turvenäytteistä määritettiin CHN-analysaattorilla typpipitoisuus ja turvenäytteistä lisäksi hiilipitoisuus. Typpihappo-vetyperoksidi -seoksessa märkäpoltetuista neulas- ja turvenäytteistä määritettiin ICP-AES-tekniikalla fosfori- ja kaliumpitoisuudet. Märkäpoltto tehtiin mikroaaltouunihajoituksena. Neulasnäytteiden ravinnepitoisuudet määritettiin kuivapainoa (105 °C) kohden laskettuina pitoisuuksina. Turvenäytteiden ravinnepitoisuudet laskettiin häiriintymättömän turvenäytteen tilavuusyksikköä kohden, jonka jälkeen tulokset ilmaistiin hehtaarikohtaisina määrinä 20 cm:n pintakerroksessa. Näytteiden esikäsittely ja märkäpoltto sekä typpi- ja hiilianalyysit tehtiin Metsäntutkimuslaitoksen Parkanon toimipaikassa ja ICP-AES -ajot Vantaan toimipaikassa. Kaikki mittaukset ja ravinneanalyysit tehtiin vuosien 2007 ja 2008 aikana.

Tarkastelu kaliumin riittävydestä puuston kasvatukseen

Arvioitaessa turpeen kaliumin riittävyttä nykypuuston jäljellä olevalle kiertoajalle, verrattiin pintaturpeen (0–20 cm) kaliumvarastoa toisaalta nykypuustoon jo sitoutuneeseen kaliummäärään että myös ennusteeseen siitä, kuinka paljon kiertoajan kuluessa maanpäälliseen kokonaistuotukseen sitoutuu kaliumia. Nykypuustoon ja kokonaistuotukseen sitoutuvan kaliummäärän arvioinnissa käytettiin Laihon (1997) kehittämää mallia maanpäällisen runkotilavuuden ja biomassaan sitoutuneen kaliummäärän riippuvuudesta.

Aineiston tilastollinen käsittely

Aineiston tilastollinen analyysi aloitettiin kasvualustan ravinnemäärien vaihteluun liittyvällä tarkastelulla. Tähän tarkoitukseen sovellettiin PC-ORD-ohjelman (versio 4.36) pääkomponenttianalyysiä, jonka käyttämisen tavoitteena oli kuvata turpeessa esiintyvien pääravinteiden

Taulukko 2. Tutkimusalueiden koelalinjoilta mitatut puustotunnukset varputurvekankaan (Vätkg) kasvupaikoilla (alkuperäiset suotyypit LkR, TR, IR). D1.3h=metsikön keskiläpimitta, H=keskipituus, R=runkoluku, V=puuston keskitilavuus, iV=vuotuinen juokseva kasvu, KL=metsikön kehitysluokka

Table 2. Stand descriptions according to sample plot transect in the drained peatland areas, which represent the Dwarf shrub -site type (Vätkg). D1.3h = mean stand diameter at breast height, H=mean stand height, R=stem number, V=mean stand volume, iV=annual stand volume increment, KL= stand development class.

Kohde	D _{1,3h} cm	H m	R n/ha	V m ³ /ha	iV m ³ /ha/a	KL
Mynämäki, Saartennokka 1	10,2	7,6	1086	37,7	2,2	2
Mynämäki, Saartennokka 2	8,8	6,3	1486	33,5	1,4	2
Mynämäki, Hukki 1	6,9	6,0	1543	20,7	1,4	T2
Mynämäki, Hukki 2	8,1	7,4	2114	45,5	2,5	2
Yläne, Järvenrahka 1	7,8	6,4	2371	42,5	2,1	T2
Yläne, Järvenrahka 2	8,2	6,0	2029	38,4	1,7	2
Yläne, Haapasaari	10,1	8,0	1342	47,6	2,8	2
Pöytyä, Vänniö 1	8,3	6,3	1457	29,2	1,5	2
Pöytyä, Vänniö 2	9,3	7,9	1914	57,1	5,1	2
Eura, Omasuo 1	9,9	8,0	1657	56,5	2,7	2
Eura, Omasuo 2	9,3	6,3	1057	26,6	0,9	2
Eura, Omasuo 3	7,6	6,4	1629	27,7	2,4	T2
Kauvatsa, Piilijoki	9,9	7,9	1114	37,6	2,1	2
Karvia, Alvari 1	8,5	6,9	1571	35,3	2,2	2
Karvia, Alvari 2	7,7	6,4	1057	17,5	1,2	T2
Keskiarvo / Mean	8,7	6,9	1562	36,9	2,1	

Kehitysluokka T2 = varttunut taimikko ja 2 = nuori kasvatusmetsä

Stand development class T2 = sapling stand, 2 = young commercial stand

eli typen, fosforin ja kaliumin sekä hiili-typin suhteen yhteisvaihtelua. Tällä haluttiin vastata kysymykseen muodostavatko hiili-typin suhteet ja jotkut ravinteista yksin tai yhdessä toisistaan riippumattomia ravinnemäärien vaihtelusuuntia, paljonko nämä vaihtelusuunnat selittävät aineiston kokonaisvaihtelusta ja kuinka yksittäiset ojitusaluekohteet sijoittuvat toisiinsa nähden näiden vaihtelusuuntien muodostamassa ordinaatioavaruudessa (Varimax-rotatoitu ordinaatorakenne). Tällä myös selvitettiin miten puustotunnukset ja neulasten ravinnepitoisuudet vaihtelevat suhteessa muodostettuihin turpeen ravinteisuuden ortogonaalisiin vaihtelusuuntiin. Turpeen ravinnemäärien, neulasten ravinnepitoisuuksien ja puustotunnusten välisiä riippuvuuksia tarkasteltiin lisäksi korrelaatio- ja regressioanalyysin (SPSS 16.0).

Tulokset

Puuston ja turpeen ravinnetila

Kaikkien kolmen pääravinteen pitoisuudet turpeessa olivat varsin alhaiset (Taulukko 3). Turpeen typpipitoisuus oli alle prosentin lähes kahdella kolmasosalla havaintokohteista. Vain yhdellä ylittyi 1,3 %:n raja, jota on Etelä-Suomessa pidetty metsäpuilla typen puutosrajana turvemaidilla (Kaunisto 1987, Pietiläinen & Kaunisto 2003). Typen kokonaismäärä hehtaaria kohden laskettuna oli tutkitussa 20 cm:n pintaturvekeroksessa keskimäärin 1418 kg. Hyvin alhaisista pintaturpeen typpipitoisuuksista huolimatta kolmasosalla näytealoista neulasten typpipitoisuus ylitti puutosrajan (13 g kg⁻¹, Reinikainen ym. 1998). Turpeen ja neulasten typpipitoisuuksien välillä ei siis ollut kovin selkeää riippuvuutta (Taulukko 4). Hiilen ja typen suhteen oletettiin selittävän kokonaistypipitoisuutta paremmin typen mineralisoitumista ja sen myötä käyttökelpoisen typen saatavuutta. Suhde oli odotetusti hyvin suuri eli keskimäärin 51 (Taulukko 3). Hiili-typin suhteen ja neulasten typen välinen korrelaatio oli suurempi kuin turpeen kokonaistypen osalta, mutta sekään ei pienessä havaintoaineistossa ollut merkitsevä. Toisaalta ilman kahta poikkeavaa havaintoa (Euran Omasuo 3 ja Karvian Alvari 2)

korrelaatio olisi ollut peräti -0,812.

Myös kaliumin määrät pintaturpeessa olivat hyvin pienet. Keskimäärin kaliumia oli vain 32,6 kg ha⁻¹ ja kahdella näytealalla jopa alle 20 kg ha⁻¹. Neulasten kaliumpitoisuus oli keskimäärin 3,6 g kg⁻¹ ja kaikilla näytealoilla alitettiin lieväksi puutokseksi luokiteltavissa olevan kaliumpitoisuuden raja 4,5 g kg⁻¹. Ankara kaliumin puutos ($K < 3,5$ g kg⁻¹) oli peräti kolmasosalla näytealoista. Selvästi näkyvä kaliumin puutos neulasissa oli kuitenkin havaittavissa vain Euran Omasuo 3:n koealalla, jossa neulasten kaliumin pitoisuus oli 2,8 g kg⁻¹ ja N/K-suhde 4.0. Koska näkyvä kaliumin puutos on neulasten kaliumpitoisuuksien lisäksi riippuvainen myös typpipitoisuudesta, tarkasteltiin myös typen ja kaliumin suhdetta (N/K-suhde). N/K -suhde oli pienistä kaliumpitoisuuksista huolimatta keskimäärin lähellä optimin rajaa (3,5 Puustjärvi 1962). Suhdeluku oli yli neljän vain kolmella näytealalla. Turpeen kaliumin ja neulasten kaliumin välinen korrelaatio jäi alle merkitsevyytason vaikka olikin vastaavaa typen korrelaatiota hieman suurempi (Taulukko 4). Sen sijaan neulasten kaliumin ja neulasten typen korrelaatio oli merkitsevä ($r = 0,552$, $p = 0,033$).

Pintaturpeessa oli fosforia keskimäärin 51,7 kg ha⁻¹ ja neulasten fosforipitoisuus oli keskimäärin vain 1,2 g kg⁻¹. Kaikilla näytealoilla neulasten fosforipitoisuus alitti lievän puutoksen rajan 1,6 g kg⁻¹ ja lähes kolmella neljäsosalla fosforipitoisuus oli alle ankan puutoksen rajan (1,3 g kg⁻¹). Turpeen ja neulasten fosforipitoisuuksien korrelaatio oli samalla tasolla kuin kaliumillakin (Taulukko 4), mutta neulasten fosfori korreloi merkitsevästi paitsi neulasten typen ($r = 0,631$, $p = 0,012$) myös erityisen voimakkaasti neulasten kaliumin kanssa ($r = 0,841$, $p < 0,000$).

Pääkomponenttianalyysin tärkein pääkomponentti selitti 63 % kokonaisvaihtelusta. Se oli tulkittavissa lähes kokonaan kaliumin vaihtelusta johtuvaksi, sillä ainoa merkitsevä maksimikorrelaatio kyseisen pääkomponentin kanssa oli turpeen kaliumpitoisuudella ($r = -0,963$). Koska turpeen typen ja fosforin välillä oli ainoa voimakas pääravinteiden välinen korrelaatio ($r = 0,876$, $p < 0,001$), muodostivat ne yhdessä toisen pääkomponentin, joka selitti 21 % kokonaisvaihtelusta. Kolmas pääkomponentti selitti vielä lisää 13 % kokonaisvaihtelusta ja oli tulkittavissa

Taulukko 3. Neulasten ja turpeen ravinnepitoisuudet koealalinjoilla sekä turpeen kokonaisravinnemäärät 0–20 cm:n kerroksessa.

Table 3. Nutrient content of pine needles and peat samples (0–20 cm) from sample plot transects in the study areas.

Kunta	Koealalinja	Suo- tyyppi	Neulasten ravinteet					Turpeen ravinteet							
			N	P	K	N/P	N/K	N	P	N	K	C/N			
Municipality	Transect	Peatland site type	g kg ⁻¹	g kg ⁻¹	g kg ⁻¹	g kg ⁻¹	g kg ⁻¹	g kg ⁻¹	g kg ⁻¹	g kg ⁻¹	g kg ⁻¹	g kg ⁻¹	g kg ⁻¹	g kg ⁻¹	g kg ⁻¹
Mynämäki	Saartennokka 1	LKR	12,7	1,4	4,3	9,1	3,0	1,00	1202,4	38,1	36,0	49,8			
Mynämäki	Saartennokka 2	LKR	12,0	1,0	2,9	12,2	4,1	0,94	1435,6	47,0	34,6	52,2			
Mynämäki	Hukki 1	TR	12,0	1,3	3,6	9,2	3,3	0,96	1513,0	44,6	18,5	52,3			
Mynämäki	Hukki 2	TR	12,2	1,3	3,8	9,4	3,2	0,88	1246,6	45,6	30,8	56,9			
Yläne	Järvenrahka 1	IR	12,9	1,2	3,9	10,8	3,3	0,94	1269,2	42,8	38,8	54,0			
Yläne	Järvenrahka 2	IR	11,2	1,1	3,1	10,2	3,6	0,89	1170,6	42,4	28,2	56,9			
Yläne	Haapasaari	LKR	13,4	1,3	4,3	10,1	3,1	0,96	1260,4	49,0	40,6	51,7			
Pöytyä	Vänniö 1	LKR-TSR	15,8	1,4	3,9	11,3	4,1	1,17	1523,4	60,6	36,1	42,4			
Pöytyä	Vänniö 2	LKR-TSR	13,8	1,4	3,8	9,9	3,6	0,99	1859,4	69,8	39,4	52,0			
Eura	Omasuo 1	LKR-TR	13,0	1,1	3,2	11,8	4,1	1,05	1482,6	49,2	38,0	47,8			
Eura	Omasuo 2	LKR	12,1	0,9	3,1	12,9	3,9	0,91	1174,6	34,2	32,6	55,1			
Eura	Omasuo 3	LKR	11,3	0,9	2,8	12,8	4,0	1,16	1324,0	44,0	22,4	43,0			
Kauvatsa	Piihijoki	LKR	12,1	1,3	3,7	9,3	3,3	0,88	1561,2	54,8	29,4	57,4			
Karvia	Alvari 1	LKR	13,9	1,5	3,8	9,3	3,7	1,06	1327,2	50,4	18,0	46,7			
Karvia	Alvari 2	LKR	12,6	1,3	3,9	9,7	3,2	1,34	1921,6	103,2	45,0	38,2			
Keskisarvo															
Mean			12,7	1,2	3,6	10,5	3,6	1,01	1418,1	51,7	32,6	50,6			

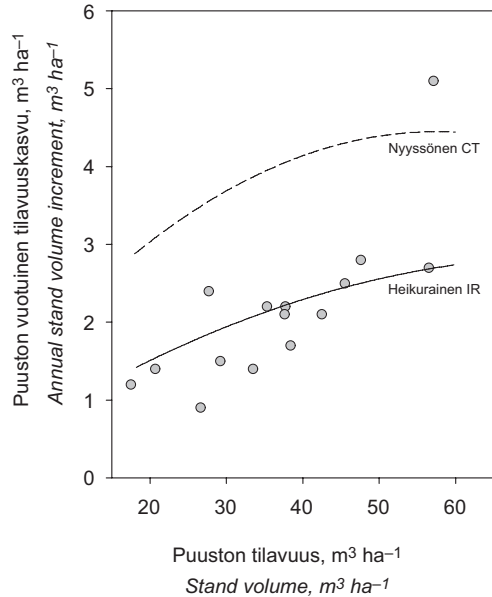
erityisesti turpeen hiili-typisuusuhteen vaihtelusta johtuvaksi.

Neulasten ravinnepitoisuuksien suurimmat korrelaatiot pääkomponenttien suhteen eivät saavuttaneet tilastollisesti merkitsevää tasoa. Neulasten kaliumpitoisuus kuitenkin kasvaisi turpeen suurimpien kaliumpitoisuuksien suuntaan. Neulasten typpi-kaliumsuhde sen sijaan suureni kun typen määrä suhteessa hiileen kasvoi.

Puuston kehitys ja kasvu

Verrattaessa valtaosin lyhytkorsirämeiksi luokiteltujen koealalinjojen keskimääräistä puustotilavuutta ($36,9 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$) Keltikankaan ym. (1986) laajan aineiston ojitusialtään samanikäisiin tupasvillarämeisiin Etelä-Suomessa ($n. 50 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$), todettiin sen olevan noin neljänneksen pienempi. Toisaalta saman aineiston lyhytkorsirämeisiin verrattuna tilavuus oli yli kaksinkertainen. Tämä puolestaan johtunee osittain siitä, että Keltikankaan ym. aineistossa lyhytkorsirämeisiin oli liitetty mukaan myös kaikki ne kermirämeet, joissa ruskorahkasammal ei ollut vallitsevana mätäslajina.

Verrattaessa puustojen keskimääräisiä vuotuisia kasvuja puustotilavuuden funktiona, todettiin tämän aineiston puuston kasvulukujen olevan noin 10–30 % pienempiä kuin Keltikankaan ym. (1986) aineiston tupasvillarämeillä. Kuvassa 1 tämä sama vertailu on tehty suhteessa Heikuraisen (1959) isovarparämeiden ja toisaalta Nyyssösen (1975) kanervatyypin männiköiden kasvumalleihin. Tämän aineiston kasvuluvut noudattelevat yhtä poikkeushavaintoa (Vänniö 2) lukuun ot-



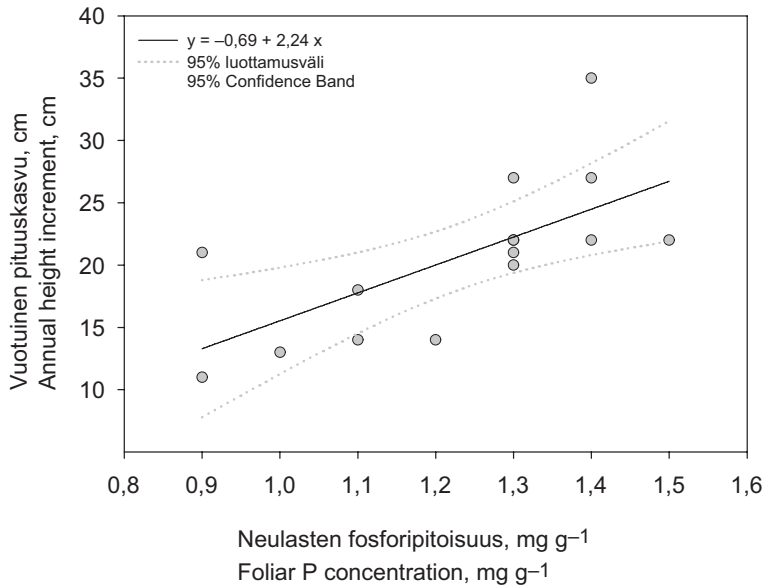
Kuva 1. Varpaturvekankaan (LkR, TR, IR) koealalinjojen vuotuinen juokseva kasvu suhteessa metsikön kuutiomäärään (havaintopisteet). Vertailuna puuston kehityssarjoja Etelä-Suomesta. Nyyssösen CT = Kanervatyypin kuivan kankaan vuotuinen juokseva kasvu kuutiomäärän funktiona toistuvien harvennuksien käsitellyissä männiköissä Etelä-Suomessa (Nyyssönen 1975). Heikurainen IR = Isovarpurämeen vuotuinen juokseva kasvu kuutiomäärän funktiona Etelä-Suomessa (Heikurainen 1959).

Fig. 1. Annual stand volume increment relative to stand volume on sample plot transects in dwarf shrub type drained peatland sites (observed data points). Stand development curves for Southern Finland are presented for comparison. Nyyssönen CT = annual increment as a function of stand volume in repeatedly thinned pine stands on *Calluna vulgaris* type upland sites in Southern Finland (Nyyssönen 1975). Heikurainen IR = annual increment as a function of stand volume in dwarf shrub pine bogs in Southern Finland (Heikurainen 1959).

Taulukko 4. Turpeen ja neulasten ravinnepitoisuuksien ja -suhteiden korrelaatiot (Pearson).

Table 4. Correlations (Pearson) for nutrient contents (and ratios) between peat samples and pine needles.

Turve/Peat	Neulaset – Needles				
	N	P	K	N/P	N/K
N	0,290	0,323	0,135	-0,200	0,017
P	0,298	0,363	0,274	-0,261	-0,134
K	0,303	0,049	0,354	0,084	-0,157
CN	-0,399	-0,118	-0,060	-0,180	-0,269



Kuva 2. Neulasten fosforipitoisuuksien vaikutusta vuotuisen pituuskasvuun kuvaava regressiomalli. Mallin selittäjät, kertoimien estimaatit keskivirheineen sekä selityssaste (r^2) taulukossa 7.

Fig. 2. Regression model describing the dependence of annual height increment on the phosphorus content of needles. Model variables, estimates of coefficients with SE and the coefficient of determination (r^2) are presented in Table 7.

tamatta melko hyvin isovarpurämeiden käyrää, mutta jäävät selkeästi kanervatyypin kasvukäyrän alapuolelle.

Millään puuston tilavuus-, läpimitta-, pituus- tai kasvutunnuksella ei ollut tilastollisesti merkitsevää korrelaatiota turpeen ravinteisuutta kuvaavien vaihteluuntien kanssa. Taulukon 5 mukaisesti puuston läpimitan kasvulla ja turpeen typpipitoisuudella on merkitsevä korrelaatio. Tämä kuitenkin johtuu vain kahdesta typpipitoi-

suudeltaan poikkeuksellisesta koealalinjasta (Alvari2 ja Vänniö2). Puustotunnusten ja neulasten ravinnepitoisuuksien välillä esiintyi kuitenkin selvempiä riippuvuuksia (Taulukko 6). Näistä voimakkain oli neulasten fosforipitoisuuksien ja viimeisen viisivuotijakson keskimääräisen vuotuisen pituuskasvun välinen riippuvuus, joka on esitetty regressiomallina kuvassa 2 ja taulukossa 7. Mallissa fosforipitoisuudet selittivät 45 % aineistossa olevasta pituuskasvun vaihtelusta.

Taulukko 5. Puuston koko- ja kasvutunnusten sekä turpeen ravinnepitoisuuksien ja C/N-suhteen korrelaatiot. D=puiden keskiläpimitta rinnankorkeudella, H=keskipituus, V=puuston keskitilavuus, iD, iH, iV=puuston läpimitan, keskipituuden ja keskitilavuuden vuotuinen kasvu

Table 5. Correlations between stand size and growth characteristics and peat nutrient contents and C/N ratio. D=mean stand diameter at breast height (1.3 h), H=mean stand height, V=mean stand volume, iD, iH, iV= the annual growth of stand diameter, height and stand volume.

Turve/Peat	Puusto – Stand					
	D	H	V	iD	iH	iV
N	-0,122	0,127	-0,078	0,524*	0,459	0,284
P	-0,170	0,044	-0,191	0,446	0,380	0,111
K	0,398	0,325	0,313	0,167	0,155	0,191
C/N	0,221	0,189	0,399	-0,349	-0,242	0,117

Mallin jäännösvaihtelussa ei ollut neulasten typpi- ja kaliumpitoisuuksien, eikä neulasten N/P-suhteen aiheuttamaa trendiä.

Kaliumin riittävyys puuston kasvatukseen

Nykypuustoon mittaushetkellä sitoutunut kaliumin määrä oli keskimäärin 62 % (23–106 %) turpeessa vielä jäljellä olevaan kaliumvarastoon verrattuna (Kuva 3). Jos kiertoajan kokonaistuotokseksi arvioidaan 200 m³ ha⁻¹, eikä turpeen tiivistymisen tai laskeuman mahdollista vaikutusta kaliummäärien muutoksiin oteta huomioon, olisi pintaturpeessa keskimäärin vain 67 % (34–96 %) siitä kaliummäärästä, joka vielä tarvittaisiin tuon kokonaistuotoksen mukaisen maanpäällisen biomassan saavuttamiseksi.

Tulosten tarkastelua

Yleistä turvemaiden ravinnetaloudesta

Turvemaiden ojitusalueilla typpi ja fosfori eivät lopu kesken. Mikrobin hajotustoiminnan tuloksena kumpaakin ravinnettä riittää puille käyttökelpoisessa muodossa kaikilla kasvupaikoilla niin kauan kuin turvettakin. Ojitusalueilla on kuitenkin yleistä että puusto ”kärnsii” fosforin ”puutteesta”. Fosforivarantojen loppumisesta ei kuitenkaan tuolloin ole kyse, vaan siitä että fosforia vapautuu turpeesta kutakin tyyppiyksikköä kohden vähemmän kuin puut pystyisivät sitomaan kasvavaan biomassansa. Kaliumin

kohdalla tilanne on toinen, sillä turvekerrostuman kaliumista vain murto-osa on sitoutunut turpeen orgaaniseen ainekseen rakenteellisenä aineosana. Lähes kaikki turpeen kalium on maaveteen liuenneena tai turpeen kationivaihtopaikkoihin heikosti sitoutuneena eli herkästi huuhtoutuvana ja ilman turpeen hajotustoimintaa vapaasti puille käyttökelpoisessa muodossa (esim. Kaunisto & Paavilainen 1988). Tällöin kaliumia on pintaturpeessa kasvukauden aikana puiden käytettävissä juuri siinä määrin kuin typen ja fosforin mukaan määräytyvä kasvunopeus edellyttää. Kaliumia ei kuitenkaan tule turpeen hajotustoiminnan myötä koko ajan lisää puille käyttökelpoiseen muotoon kuten typpeä ja fosforia, vaan se voi loppua kesken siitä turpeen pintakerroksesta, josta puut ottavat ravinteensa. Samalla kun typen ja fosforin kokonaisvarasto kasvaa turpeen painuessa ja maatuessa, kaliumin määrä vastaavasti pienenee tai enintään pysyy ennallaan (Kaunisto & Paavilainen 1988, Laiho & Laine 1995). Kun puhutaan ravinteiden riittävydestä kasvatettavan tai sitä seuraavan puusukupolven tarpeisiin, puhutaan yleensä ravinteesta, joka voi kokonaisuudessaan loppua kesken. Paksuturpeisilla ojitusalueilla kyse on siis lähinnä kaliumista.

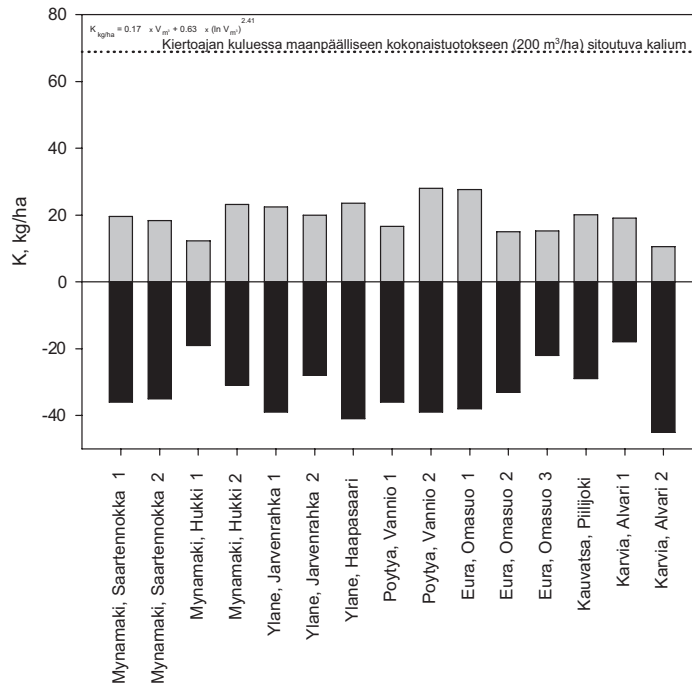
Ravinnemäärien vertailu muihin aineistoihin

Tämän aineiston karuja varputurvekankaita vastaavilla kasvupaikoilla turpeen hajotus ja ravinteiden mineralisoituminen on niin hidasta, että typpeäkin on rajoitetusti saatavilla puille käyttökelpoisessa muodossa. Kokonaistyyppiva-

Taulukko 6. Puuston koko- ja kasvutunnusten sekä neulasten ravinnepitoisuuksien ja -suhteiden korrelaatiot. Merkitsevät korrelaatiot merkitty tähdellä. Ks. tunnusten kuvaus taulukossa 5.

Table 6. Correlations between stand size and growth characteristics and nutrient contents and ratios of pine needles. The significance of the correlation coefficients marked with asterisks. For description of the stand characteristics, see table 5.

Neulaset/ Needles	Puusto — Stand					
	D	H	V	iD	iH	iV
N	0,186	0,226	0,202	0,440	0,430	0,245
Peat	0,095	0,371	0,165	0,600*	0,673**	0,327
K	0,247	0,442	0,172	0,530*	0,607*	0,244
NP	-0,012	-0,322	-0,093	-0,432	-0,528*	-0,221
NK	-0,059	-0,292	-0,019	-0,280	-0,377	-0,101



Kuva 3. Puustomääriin sidottu laskennallinen kaliumin määrä koealainjoittain mittaushetken maanpäällisessä puuston osassa (harmaat pylväät) ja turvenäytteen (0–20 cm) sisältämä kalium (mustat pylväät). Katkoviiva esittää ennustettua puustoon sitoutuvaa kaliumin kokonaismäärää kiertoaajan kuluessa, kun puuston arvioitu kokonaistuotos on 200 m³ ha⁻¹. Kaliumin määrät (puustoon sitoutunut) on laskettu kuvassa esitetyn regressiomallin (Laiho 1997) mukaisesti.

Fig. 3. Estimated amount of potassium in the above-ground stand biomass (gray bars) and peat samples (0–20 cm) (black bars) at the time of measurement according to sample plot transect. The dashed line represents the total amount of potassium predicted to be bound by the stand during the rotation when the total forecasted stand yield is 200 m³ ha⁻¹. Potassium amounts (bound by the stand) have been calculated using the regression model (Laiho 1997) embedded in the figure.

rasto on ”ehtymätön” mutta siitä ”annostellaan” puuston tarvitsemisessa muodoissa olevana tyypenä hyvin hitaasti. Typen rajoittaman hitaan kasvun vuoksi myös maaperän kaliumin sitoutuminen puustobiomassaan on hidasta, jolloin vähäisetkin turpeen kaliumvarastot riittävät ajallisesti pidempään kuin runsaasti tyypeä sisältävissä turvemaissa. Varputurvekankaan viljavuustasolla kaliumin puutosoireet ovatkin käytännön havaintojen perusteella ilmeisesti selvästi harvinaisempia kuin puolukka- ja mustikkaturvekankailla (Ptkg, Mtkg). Tästä huolimatta olivat neulasten kaliumpitoisuudet ainakin tämän aineiston varputurvekankailla hyvin pienet. Kaliumia oli hyvin vähän myös kasvualustassa. Pintaturpeen (0–20 cm) kaliumin määrät olivat keskimäärin vain

32,6 kg ha⁻¹. Aiemmissä tutkimuksissa varputurvekangastason soilla kaliumin määrät turpeessa ovat olleet huomattavasti suurempia. Laihon ym. (2000) aineistossa Pirkka-Hämeen ojitusialttaan 30–50 vuotta vanhoilla ojitusalueilla kaliumin määrät 50 cm:n pintaturpeesta mitattuna olivat n. 80–90 kg ha⁻¹. Tämä vastaa 0–20 cm:n kerrokseen suhteutettuna todennäköisesti selvästi suurempaa määrää kuin tässä aineistossa, sillä suurin osa kaliumista keskittyy mitatun kerroksen pintaosiin. Laihon ym. (2000) aineisto ei kasvupaikkajakaumaltaan ollut täysin vertailukelpoinen tämän aineiston kanssa, sillä siihen oli karuimmassa tarkastelun kohteena olleessa kasvupaikkaluokassa sisällytetty lyhytkorsirämeiden lisäksi myös tupasvillasararämeitä (TSR).

Westmanin ja Laihon (2003) laajassa ojitusalueaineistossa oli Etelä-Suomen varputurvekankailla kaliumia n. 100 kg ha⁻¹ 30 cm:n pintaturvekerroksessa. Aineisto koostui kohteista, joissa turpeen paksuus oli pienimmillään vain 30 cm. Ohutturpeisimmilla kohteilla turpeen näytteenottoisyvyys ylsi näin ollen kivennäismaan rajapintaan asti, mikä osaltaan selittää suurehko kaliummäärät turpeessa sekä erot tämän aineiston kaliumpitoisuuksiin. Kohteet olivat myös selvästi runsaspuustoisempia (puustolaraja n. 45 m³ ha⁻¹) ja samalla kuitenkin huomattavasti nuorempia ojituksia kuin tässä aineistossa (n. 52 % alle 20 vuotta uudisojituksesta). Koealat olivat siis puuntuotoskyvyltään parempia tai jo ojitushetkellä runsaspuustoisempia kuin tämän aineiston kohteet. Todennäköisesti Westmanin ja Laihon (2003) otantakohteet ovat painottuneet enemmän aitoihin isovarparūmelähtöisiin kasvupaikkoihin, jotka ovat alkuperäiseltä hydrologialtaan ja sen myötä kaliumtaloudeltaan tästä aineistosta poikkeavia.

Myös turpeen fosfori- ja typpimäärät poikkesivat huomattavasti aiemmista aineistoista. Westmanin ja Laihon (2003) sekä Laihon ym. (2000) aineistoissa fosforia oli 0–30 cm pintaturpeessa lähes nelinkertainen tämän aineiston 20 cm:n kerrokseen verrattuna. Fosforin osalta erot selittynevät ainakin osittain samoilla syillä kuin kaliumin kohdalla. Totaalitypen määrät tässä aineistossa olivat alle kolmanneksen aiempien aineistojen typpimääristä. Typpimäärien erot selittynevät

paitsi tämän aineiston alhaisilla pitoisuuksilla (karummat kasvupaikat), kuin myös sillä että näytteet keskittyivät enemmän pintaturpeeseen (pienempi näytteenottoisyvyys).

Neulasten ravinteet

Neulasten typpipitoisuudet olivat muutamilla koealalinjoilla yllättävän suuria suhteessa pieniin turpeen typpipitoisuuksiin. Syynä tähän saattaa olla Lounais-Suomen suurehko typpilaskeuma (Moilanen 2005, Mäkipää 1998) ja syvemmällä turpeessa olevat maatuneemmat turvekerrokset. Useilla soilla oli analysoidun pintaturpeen (0–20 cm) alla selvästi maatuneempaa ja typpipitoisempaa turvetta. Maatuneisuuden muutos saattoi olla vähittäistä tai hyvin selvärajaisista. Esimerkiksi Mynämäen Saartennokan ja Yläneen Haapasaaren lyhytkorsirämeillä oli noin 50 cm:n syvyydessä selvä rajapinta, jossa maatumaton (von Post 2) turve muuttui syvemmällä jyrkkärajaisesti maatuneeksi (von Post yli 5) turpeeksi. Juuristot saattavat saada tyypeä maatuneemmasta turvekerroksesta (Moilanen 2005) ja turpeen painuessa saattaa syvemmistä turvekerroksista vapautua entistä enemmän tyypeä puiden käyttöön. Uudisojitusmenetelmällä voi myös olla jotain vaikutusta soiden ravinnetilanteeseen ja puiden kasvuun. Yläneen Haapasaaren samoin kuin Kauvatsan Piilijoen suoalueet oli uudisojituksessa kuivatettu ojaajrsimellä, jolloin ohut kerros maatumatta, tyypeästä turvetta oli levinnyt jyrkittäessä suon pintaan.

Taulukko 7. Neulasten fosforipitoisuuksien (foliarP) vaikutusta vuotuisen pituuskasvuun kuvaava regressiomalli (ks. Kuva 2) ja mallin selittäjät, kertoimien estimaatit keskivirheineen. Mallin selitysaste $r^2 = 0,45$.

Table 7. Regression model (Fig. 2) and explanatory variables, estimates of coefficients with SE and for explaining the effect of phosphorus content in needles (foliarP) on the annual height increment. The coefficient of determination $r^2 = 0,45$.

Muuttuja Variable	Kerroin Coefficient	Keskivirhe SE	p-arvo p-value
Vakio Intercept	-0,6875	0,8459	0,4310
foliarP	2,2398	0,6823	0,0059

Ravinteiden keskinäiset riippuvuudet

Turpeen pääravinnemäärien sekä hiili-typpisuhteen vaihtelua kuvaavan pääkomponenttianalyysin tärkein komponentti (ravinteisuuden vaihtelu-suunta) ja sen ominaisarvo kuvaavat sitä, kuinka pelkästään kaliumin vaihtelu tuottaa lähes kaksi kolmasosaa tarkasteltujen ojitusaluekohteiden eri pääravinnemäärien ja niiden välisten erilaisten ravinnesuhteiden tuottamasta kokonaisvaihtelusta. Tuo kaliummäärien vaihtelu on samalla riippumaton toiseksi tärkeimmästä vaihtelusuunnasta, joka kuvaa turpeen kuiva-ainekseen sitoutunutta ja hajotustoiminnan kautta vapautettavissa olevan fosforin ja typen kokonaisvaraston vaihtelua. Kol-

mas ja ominaisarvoltaan pienin pääkomponentti kuvaa sitä, kuinka osittain typen kokonaisvaraston vaihtelusta riippumatta aineistossa on vaihtelua myös sen suhteen, kuinka suuri olemassa oleva typpivarasto on suhteessa turpeen hiilimäärään. Tämä hiili-typisuhteen vaihtelu kertoo mikrobitoiminnan käytettävissä olevasta energiasta (hiilihydraatit) hajotustoiminnan kohteena olevaa orgaanisen typen määrää kohden. Samalla se kertoo ainakin teoriassa mikrobitoiminnan aktiiviteetin vaihtelusta ja sen myötä puille käyttökelpoisen typen mineralisoitumisen intensiteetistä ja liukoisen typen määrästä (Pietiläinen ym. 2007). Näin ollen se kuvastaisi myös sitä vaihtelua, jossa kahdella saman kokonaistypivaraston omaavalla kohteella puille käyttökelpoisen typen määrät voivat olla erilaiset. Siinä tapauksessa hiili-typisuhde selittäisi kokonaistypimäärää paremmin neulasten typpipitoisuutta. Tässä aineistossa tuo riippuvuus olisi ollutkin voimakas ilman kahta poikkeushavaintoa. Näistä poikkeamista ei pienen havaintomäärän vuoksi valitettavasti voi sanoa, olivatko ne todellakin vain yksittäisiä poikkeamia vai osa sellaista suurempaa hajontaa, joka kumoaisi oletetun riippuvuuden. Ensin mainitussa tapauksessa hiili-typisuhteella olisi tämän aineiston kaltaisilla metsänkasvatuskelpoisuuden rajamailla olevilla ojitusalueilla ennustearvo sille, kuinka kauan turpeen kaliumvarat riittävät.

Tilanteessa, jossa kaikkia pääravinteita on hyvin niukasti, on vaikea arvioida mikä ravinteista on puuston kasvun minimitekijänä. Varsinkin fosforin ja kaliumin erottaminen toisistaan tässä suhteessa on hankalaa, sillä niiden pitoisuudet neulasissa usein korreloivat voimakkaasti keskenään. Tässä aineistossa minimiravinteena näytti olevan fosfori, sillä neulasista mitattu fosforipitoisuus selitti voimakkaimmin erityisesti pituuskasvussa esiintynyttä vaihtelua (Kuva 2, Taulukko 7). Mikäli pelkän kaliumin puutos rajoittaisi kasvua, ilmenisi se todennäköisesti ensin näkyvänä puutosoireena ja vasta sen jälkeen kasvun heikkenemisenä ja kuolevina puuyksilöinä. Tässä aineistossa turpeen kaliumvaraston loppuminen lienee lähellä vain näkyviä puutosoireita osoittavalla Euran Oma-suolla. Valtaosalla koealalinjoista puiden kasvu oli varsin hyvä ja neulasten typen ja kaliumin suhde oli selkeästi liian suuri (N:K -suhde yli 4) vain neljänneksellä koealalinjoista.

Turpeen kaliumin määrä puuston kasvun rajoitteena

Tämän pilottiluonteisen ja havaintomäärältään pienen tutkimuksen tärkein tavoite oli esimerkiksiaineiston avulla esitellä tarve karuimpien ojitusalueiden jatkoinvestointikelpoisuuden tarkasteluun uudesta näkökulmasta. Kaikilla metsänkasvatuskelpoisuuden rajamailla olevilla kohteilla ei ehkä kriittisintä ole pelkästään alhaisen typpitason aiheuttama vaatimaton tuotostaso, vaan myös kaliumin riittävyys viimeistään seuraavan puusukupolven kasvatuksen rajoitteena. Kuvan 3 esittämä tarkastelunäkökulma herättää epäilyksen siitä, että valtaosalla tämän otannan kohteista kalium loppuu pintaturpeesta jo ennen ensimmäisen puusukupolven päätehakkuaajan kohtaa. Kaikissa pintaturpeen kaliumvarasto on pienempi kuin kokonaistuotokseen jatkossa tarvittava kaliumin määrä. Esitetystä teoreettisesta kaliumin riittävyystarkastelusta kuitenkin puuttuu turpeen tiivistymisen ja laskeuman aiheuttama kaliumin lisäys metsikön ravinnekiertoon. Avoimen paikan kaliumin märkälasseuma on Etelä-Suomessa n. 0,5 kg ha⁻¹ a⁻¹ (Lindroos ym. 2007). Eteläisen Suomen kaliumlaskeuman on arvioitu olevan jopa samaa suuruusluokkaa kuin varttuvan puuston biomassansaan pidättämän kaliumin nettomäärä (Laiho ym. 2005). Toisaalta kaliumin laskeuman on arvioitu korvaavan vain keskimääräisen luontaisen huuhtoutuman (Salantaus & Kaipainen 1996). Uudistusojituksesta alkanut turpeen tiivistyminen todennäköisesti etenee hidastuvassa määrin kohti kiertoajan loppua, mutta toisen kiertoajan aikana se ei enää välttämättä jatku (Laiho ym. 2000), jolloin kaliumia tulisi enää lisää tätä kautta. Tässä aineistossa turpeen tiheys oli keskimäärin 0,071 g cm⁻³, mikä sijoittuu Westmannin (1981) luonnontilaisilta lyhytkorsirämeiltä mitattujen turpeen tiheyksien (0,046 g cm⁻³) ja Kauniston & Paavilaisen (1988) tutkimien isovarpurämelähtöisten vanhojen (75 v) turvekankaiden turpeen tiheyksien (0,109 g cm⁻³) puoliväliin. Tiivistymistä on varmasti tämän aineiston soilla tapahtunut ja todennäköisesti sitä tulee vielä jatkamaan kiertoajan loppuvaiheisiin asti.

Kaliumin riittävyteen liittyvästä tarkastelusta puuttuu toisaalta myös hakkuissa runkokuu-

mukana poistuva ja hakkuutähteistä huuhtoutuva kalium, mikä pienentää kaliumin määrää ravinnekierrossa. Kauniston (1996) tutkimuksessa kaliumin ravinnepoistuma oli ensiharvennuksessa 18 kg ha^{-1} , kun harvennuskertymä oli $30 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ karun rämeen kokopuukorjuussa. Ravinnepoistumasta 7 kg ha^{-1} oli runkopuussa ja noin 60 % eli 11 kg ha^{-1} hakkuutähteissä, josta kalium huuhtoutuu helposti. Tämän aineiston kohteilla arvioitiin päätehakkuuvaiheen puuston määrän olevan n. $170 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$. Tuolloin olisi puustoon maanpäälliseen osaan sitoutuneena kaliumia kaikkiaan 65 kg ha^{-1} (Laiho 1997). Tästä noin kolmasosa on sitoutuneena runkopuuhun (Finér 1991). Näin ollen rungon mukana poistuisi kaliumia kokonaan kierrosta 21 kg ha^{-1} päätehakuussa ja helposti huuhtoutuviin hakkuutähteisiin jäisi loppu 44 kg ha^{-1} . Laskelman mukaan pelkäättään runkopuun osalta kaliumin ravinnehävikki olisi ensiharvennuksen ja päätehakuun jäljiltä yhteenlaskettuna suuruusluokaltaan lähes sama kuin tämän aineiston pintaturpeesta nyt mitattu ja vielä jäljellä oleva kaliumvarasto. Kaliumin huuhtoutuminen hakkuutähteistä päätehakuun yhteydessä heikentää edelleen tilannetta arviotaessa kaliumin riittävyyttä viimeistään toisessa puusukupolvessa. Kaliumia on todettu huuhtoutuvan soiden avohakkuualoilta $2\text{--}3 \text{ kg ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ heti hakkuuta seuraavina vuosina (Nieminen 1998). Hakkuutähteiden kalium huuhtoutuu varsin nopeasti (Palviainen ym. 2003, Palviainen 2005), joten suurin osa mainitusta avohakkuualojen huuhtoutumasta lienee juuri hakkuutähteistä peräisin. Runkopuussa poistuvan ja hakkuutähteistä huuhtoutuvan kaliumin ravinnehävikki voi siis olla huomattava suhteutettuna tämän aineiston pintaturpeiden jopa alle $20 \text{ kg hehtaarikohtaisesti}$ kaliummääriin.

Loppupäätelmiä

Kaliumin riittävyys nykypuuston koko kiertoajalle sekä seuraavan puusukupolven tarpeisiin riippuu siis paljolti siitä, pystyvätkö ilmasta tuleva kalium ja turpeen tiivistyessä konsentroituva kalium kompensoimaan hakkuun ja huuhtoutumisen aiheuttamat menetykset. Tarkastelluilla karuilla rämeillä näyttää siltä, että osalla kohteista kalium

saattaa loppua jo ensimmäisen puusukupolven lopulla. Kaikkein kaliköyhimmillä kohteilla ongelmia voi ilmetä jo ensiharvennuksen jälkeen, eikä kalium riittäisi edes tavoiteltuun $200 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ kokonaistuotokseen. Kaliumin riittävyyden ongelma lienee pahin niillä varputurvekankailla, jotka ovat lähtöisin runsaasti nevapintaa sisältäneistä lyhytkorsirämeistä. Tilanne saattaa olla jonkin verran parempi parhaimpien isovarpurämeiden ojitusaljoilla, vaikka tämän tarkastelun isovarpuja tupasvillarämeillä kaliumin pitoisuudet olivat myös hyvin pienet.

Ravinteiden riittävyysongelma voidaan periaatteessa ratkaista lannoittamalla. Tutkimusten mukaan karujen rämeiden NPK-lannoitus ei kuitenkaan ole perusteltua kannattavuussyistä edes ensimmäisen puusukupolven kasvatuksessa (Aarnio ym. 1997, Pietiläinen & Kaunisto 2003). Karuimpien kasvupaikkojen suuri fosforin huuhtoutumisriski (Nieminen 2005) ja NPK-lannoitusten aiheuttama versosurmariski (Mannerkoski & Miayzawa 1983, Vasander & Lindholm 1985) puoltavat myös pidättäytymistä fosforia ja tyypeä sisältävistä lannoitteista.

Aineiston kohteet olivat nykyisin sovellettavien metsänhoitosuosittelujen (Turvemaiden metsänhoitosuosittelut 2007) mukaan selvästi kunnostusojituskelpoisia varputurvekankaita yhtä näytealalinjaa lukuun ottamatta. Varputurvekankeilla kunnostusojitus on yleensä tarpeen tehdä vain yhden kerran ensimmäisen puusukupolven aikana. Toiskertaiselle kunnostusojitukselle ei liene perustetta, koska lisäkuivatushyödyn saavuttaminen todennäköisesti edellyttäisi myös lannoitusta. Niinpä ensimmäisen kunnostusojituksen yhteydessä tehdyn harvennuksen lisäksi tehdään päätehakuu tilanteen mukaan joko kiertoajan lopulla tai jo siinä vaiheessa, kun ravinneongelmia ilmenee. Tällä kasvatusketjulla saataisiin jo tehdyt investoinnit hyödynnettyä. Päätehakuun jälkeen nämä kohteet jäisivät toistuvan lannoitustarpeen vuoksi metsätaloustoimenpiteiden ulkopuolelle.

Tämän tutkimuksen suppea otanta ei salli tulosten yleistämistä mihinkään laajempaan aluekokonaisuuteen. Tulokset perustuvat kuitenkin tyypillisiin lounaissuomalaisiin varputurvekankeisiin ja antavat aiheen vakavasti pohtia, olisiko syytä laajempaan otantaan perustuen tutkia tarkemmin varputurvekankaiden ravinnetaloutta

kaliumin riittävyyden näkökulmasta. Tällöin olisi syytä erotella aidoista rämeistä (IR) ja sekatyypin rämeistä (LkR ja TR) lähtöisin olevat varputurvekankaat I ja II -tyypeinä, kuten on vastaavasti tehty puolukka- ja mustikkaturvekankaiden kasvupaikoilla juuri ravinesuhteiden eroavuuksista johtuen. Jos laajempi tutkimus Etelä-Suomen varputurvekankailla paljastaisi erityisesti sekatyypin rämeistä lähtöisin olevien ojitusalueiden ravinnetalouden yhteneväiseksi tämän aineiston kanssa, pitäisi niiden kunnostusojituksen kannattavuuteen liittyviä puustopääomakriteereitä tiukentaa huomattavasti. Samalla tulisi niiden metsätaloudellisesta jatkoinvestointikelpoisuudesta luopua koko maan alueella myös luontaisesti uudistettuina.

Kirjallisuus

- Aarnio, J., Kaunisto, S., Moilanen, M. & Veijalainen, H. 1997. Suometsien lannoitus. Teoksessa: Mielikäinen, K. & Riikilä, M. (toim.). Kannattava puuntuotanto. *Metsälehti* Kustannus. s. 116–126.
- Finér, L. 1991. Effect of fertilization on dry mass accumulation and nutrient cycling in Scots pine on an ombrotrophic bog. *Acta Forestalia Fennica* 233. 42 pp.
- Heikurainen, L. 1959. Tutkimus metsäojitusalueiden tilasta ja puustosta. *Acta Forestalia Fennica* 69.1.
- Hyvän metsänhoidon suositukset turvemaille. Metsätalouden kehittämiskeskus Tapio. *Metsäkustannus Oy*, 2007. 50 s.
- Kaunisto, S. 1987. Effect of refertilization on the development and foliar nutrient contents of young scots pine stands on drained mires of different nitrogen status. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 140. 58 pp.
- Kaunisto, S. 1996. Massahakemenetelmä ja ravinnepoistuma rämeen ensiharvennusmännikössä. *Metsäntutkimuspäivä Porissa 1995*. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 593: 15–23.
- Kaunisto, S. & Paavilainen, E. 1988. Nutrient stores in old drainage areas and growth of stands. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 145. 39 pp.
- Kaunisto, S. & Tukeyva, J. 1984. Kalilannoituksen tarve avosoille perustetuissa riukuvaiheen männiköissä. (Summary: Need for potassium fertilization in pole stage pine stands established on bogs). *Folia Forestalia* 585. 40 s.
- Keltikangas, M., Laine, J., Puttonen, P. & Seppälä, K. 1986. Vuosina 1930–1978 metsäojitetut suot: Ojitusalueiden inventoinnin tuloksia. *Acta Forestalia Fennica* 193. 94 s.
- Laiho, R. 1997. Plant biomass dynamics in drained pine mires in southern Finland. : Implications for carbon and nutrient balance. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 631. 53 s.
- Laiho, R. & Laine, J. 1995. Changes in mineral element concentrations in peat soils drained for forestry in Finland. *Scandinavian Journal of Forest Research* 10: 218–224.
- Laiho, R., Penttilä, T. & Laine, J. 2000. Riittävätkö ravinteet suometsissä? *Metsätieteen aikakauskirja* 2/2000: 316–320.
- Laiho, R., Kaunisto, S., & Alm, J. 2005. Suometsien ravinnetilan kehitys ojituksen jälkeen. Suosta metsäksi – suometsien ekologisesti ja taloudellisesti kestävä käyttö. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 947: 46–60.
- Lindroos, A.-J., Derome, J. & Derome, K. 2007. Open area bulk deposition and stand throughfall in Finland during 2001–2004. Forest condition monitoring in Finland. National report 2002–2005. Working Papers of the Finnish Forest Research Institute 45. 166 pp.
- Mannerkoski, H. & Miayzawa, T. 1983. Growth disturbances and needle and soil nutrient contents in a NPK-fertilized Scots pine plantation on a drained smallsedge bog. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 116: 85–91.
- Moilanen, M. 1993. Lannoituksen vaikutus männyn ravinnetilaan ja kasvuun Pohjois-Pohjanmaan ja Kainuun ojitetuilla soilla. (Summary: Effect of fertilization on the nutrient status and growth of Scots pine on drained peatlands in Northern Ostrobothnia and Kainuu). *Folia Forestalia* 820. 37 s.
- Moilanen, M. 2005. Suometsien lannoitus. Suosta metsäksi – suometsien ekologisesti ja taloudellisesti kestävä käyttö. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 947: 134–166.
- Moilanen, M. & Issakainen, J. 1990. Suometsien PK-lannos ja typpilannoitelajit karuhkojen

- ojitettujen rämeiden lannoituksessa. *Folia Forestalia* 754. 20 s.
- Moilanen, M., Kaunisto, S. & Sarjala, T. 2005. Puuston ravinnetilan arviointi. Suosta metsäksi – suometsien ekologisesti ja taloudellisesti kestävä käyttö. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 947: 81–95.
- Moilanen, M., Piironen, M-L & Karjalainen, J. 1996. Turpeen ravinnevarat Metsähallituksen vanhoilla ojitusalueilla. Teoksessa: Piironen, M-L & Väärä, T. (toim.). *Metsäntutkimuspäivä Kajaanisissa 1995. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 598: 35–54.
- Mäkipää, R. 1998. Responses of forest vegetation and soil to addition of nitrogen (Academic Dissertation/väitöskirja). Joensuun yliopiston metsätieteellisen tiedekunnan tiedonantoja 78. 37 p.
- Nieminen, M. 1998. Effect of clearcutting and site preparation on leaching from drained peatland forests. Teoksessa: Sopo, R. (toim.) *Proceedings of the International Peat Symposium, the Spirit of Peatlands, Jyväskylä, Finland 7–9 September, 1998.* p. 84–86.
- Nieminen, M. 2005. Suometsien lannoituksen vaikutus fosforin huuhtoutumiseen. Suosta metsäksi – suometsien ekologisesti ja taloudellisesti kestävä käyttö. Tutkimusohjelman loppuraportti. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 947: 259–265.
- Nyysönen, A. 1975. Metsän arvioiminen. *Tapion taskukirja*. 17 painos, s. 246–247.
- Paarlahti, K., Reinikainen, A. & Veijalainen, H. 1971. Nutritional diagnosis of Scots pine stands by needle and peat analysis. *Communications Instituti Forestalis Fenniae* 74(5): 1–58.
- Palviainen, M. 2005. Logging and ground vegetation in nutrient dynamics of clear-cut boreal forest. *Dissertationes Forestales* 12. 38 p.
- Palviainen, M., Finér, L., Kurka A.-M., Mannerkoski, H., Piirainen, S. ja Starr, M. 2003. Ravinteiden vapautuminen hakkuutähteistä. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 886: 43–48.
- Pietiläinen, P., Hartman, M. & Moilanen, M. 2007. Nitrogen and Scots pine on drained peatlands. Teoksessa: Taulavuori, E. & Taulavuori, K. (toim.): *Physiology of Northern Plants Under Changing Environment.* p. 255–269.
- Pietiläinen, P. & Kaunisto, S. 2003. The effect of peat nitrogen concentration and fertilization on the foliar nitrogen concentration of Scots pine in three temperature sum regions. (Tiivistelmä: Turpeen kokonaistyyppitoisuuden ja lannoituksen vaikutus männyn neulasten tyyppitoisuuteen kolmessa eri lämpösumma-vyöhykkeessä). *Suo* 54: 1–13.
- Pietiläinen, P., Moilanen, M. & Vesala, H. 2005. Nutrient status and growth of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) on drained peatlands after potassium fertilization. (Tiivistelmä: Kaliumlannoituksen vaikutus männyn neulasten ravinnepitoisuuksiin ja tilavuuskasvuun ojitetuilla rämeillä). *Suo* 56: 101–113.
- Puustjärvi, V. 1962. Suometsien kaliumravitsemuksesta ja neulasten N/K suhteesta neulasanalyysin valossa. (Summary: On the potassium nutrition of wet peatland forests and on the N/K ratio in their needles). *Suo* 13: 36–40.
- Reinikainen, A., Veijalainen, H. & Nousiainen, H. 1998. Puiden ravinnepuutokset – metsänkasvattajan ravinneopas. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 688. 44 s.
- Sallantausta, T. & Kaipainen, H. 1996. Leaching and accumulation of elements in ombrotrophic bogs as indicators of recent and past deposition quality. Teoksessa: Jaana Roos (toim.). *The Finnish Research Programme on Climate Change. Final Report. Publications of the Academy of Finland* 4/96: 412–417.
- Silfverberg, K. & Moilanen, M. 2008. Long-term nutrient status of PK fertilized Scots pine stands on drained peatlands in North- Central Finland. (Tiivistelmä: PK-lannoituksen vaikutus männyn ravinnetilaan Pohjois-Pohjanmaan ojitusalueilla). *Suo* 59(3): 71–88.
- Silver, T. & Saarinen, M. 2001. Terveyslannoituskohteen määrittely turvemaidella. (Summary: Determining the need of repairing fertilization on drained peatlands). *Suo* 52: 115–120.
- Turvemaiden metsänhoitosuosituksat 2007. Hyvän metsänhoidon suositukset turvemaidelle. *Metsä-*

- talouden kehittämiskeskus Tapio. 51 s.
- Vasander, H. & Lindholm, T. 1985. Männyn-
versosyöpätuhot Laaviosuon jatkolannoitus-
koealueella. Suo 36 (4–5): 85–94.
- Westman, C.J. 1981. Fertility of surface peat in
relation to the site type and potential stand
growth. Acta Forestalia Fennica 172. 77 s.
- Westman, C.J. & Laiho, R. 2003. Nutrient dy-
namics of peatland forests after water-level
drawdown. Biogeochemistry 63: 269–298.

Summary: Macronutrient ratios and sufficiency of soil potassium in drained nutrient-poor Scots pine peatlands

The aim of this study is to assess the nutritional grounds for continued investment (establishment of a new generation of pine forest) and consequent ditch network maintenance in nutrient-poor dwarf shrub type drained peatland sites. Based on a case example in Southwest Finland, we intend to evaluate the likelihood of potassium depletion occurring already before the final felling stage or during the second generation of forest at the latest in such sites.

If the total yield of the rotation is estimated as being $200 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$, and the potential effect of peat subsidence or deposition on changes in the potassium store are ignored, then the surface peat would contain on average only 67% (34–96%) of the potassium necessary to achieve the above-ground biomass corresponding to the aforementioned total yield.

The sufficiency of the soil potassium supply for the entire rotation of the present stand as well the coming generation greatly depends on whether the potassium from airborne deposition and that concentrated due to peat subsidence can compensate for potassium lost through harvesting and leaching. In the nutrient-poor drained peatland pine forests investigated here, it appears that the potassium store may become exhausted already by the end of the first rotation in some of the sites. As for the most potassium-deficient sites, problems may arise already after the first commercial thinning, in which case the amount of potassium would be insufficient relative to the desired $200 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ total yield. The worst potassium deficiencies are likely encountered on those dwarf shrub type drained peatland sites which have originated from composite pine mires, i.e., low-sedge *Sphagnum papillosum* pine fens.

Keywords: peatland, drainage, nutrient deficiency, macronutrient, potassium sufficiency

