

RAVINTEIDEN KIERTO ERÄÄSSÄ MÄNNIKÖSSÄ: I KASVILLISUUDEN JA MAAPERÄN RAVINNEPITOISUUKSIEN VAIHTELU KASVUKAUDEN AIKANA

I. LEHTONEN, C. J. WESTMAN ja S. KELLOMÄKI

SUMMARY:

NUTRIENT CYCLE IN A PINE STAND: I SEASONAL VARIATION IN NUTRIENT CONTENT OF VEGETATION AND SOIL

Saapunut toimitukselle 1976-06-22

Tutkimuksen tavoitteena on selvittää ravinnepitoisuuksien vaihtelua erään metsäekosysteemin kasvillisuudessa ja maaperässä kasvukauden kuluessa. Tutkittavia näytteitä on kerätty säännöllisin väliajoin koalueena olleesta puolukkatyyppin männiköstä kasvukauden 1974 kuluessa.

Humuksen osalta voitiin todeta kasveille käyttökelpoisten ravinteiden määrien vähenevän alkukesän intensiivisen kasvujakson aikana. Kesäkuun lopun jälkeen ravinnepitoisuudet alavat taas kohota.

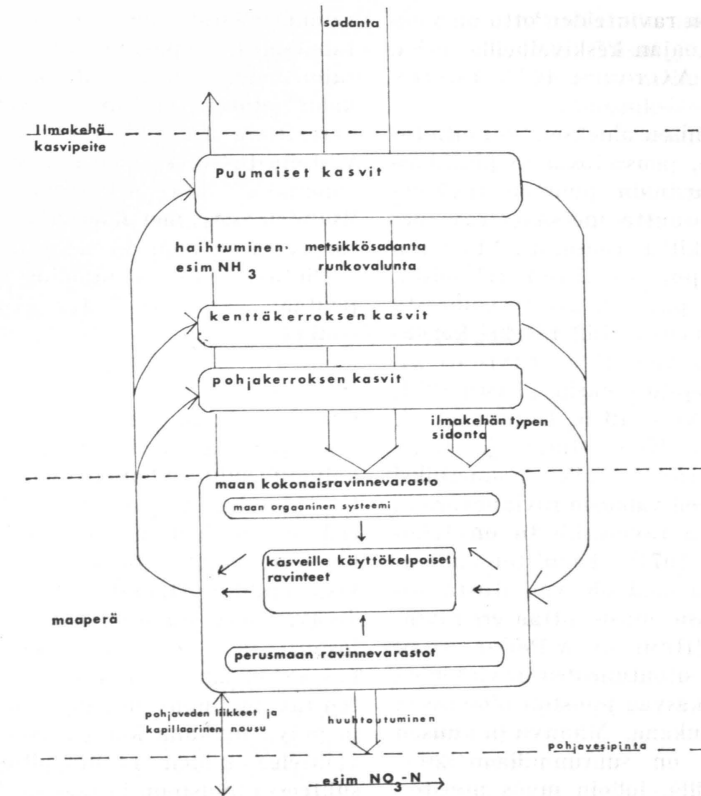
Kasvillisuudessa pohja- ja kenttäkerroksen ravinne muutokset olivat samansuuntaiset: typpipitoisuus kohosi voimakkaasti alkukesästä ja alkoi sen jälkeen vähetä. Sen sijaan fosfori- ja kaliumpitoisuudet nousivat tasaisesti koko kesän. Puustossa neulasten ja oksien puuaineen ravinnepitoisuudet vähenivät puun yläosista alaosiin siirryttäessä sekä solukoiden vanhetessa; suurimmat ravinnepitoisuudet tavattiin siten kasvukauden alussa syntyneissä uusissa soluissa.

1. JOHDANTO

Metsikön kokonaisravinnetaloutta on viime vuosina kartoitettu lukuisissa tutkimuksissa (esim. DUVIGNEAUD & DENAYER-DE SMET 1969, ELLENBERG 1969, MÄLKÖNEN 1974). Koska ravinnetalouden säätely tarjoaa tehokkaan keinon metsikön tuotannon kohottamiseksi, on tämännäköisillä töillä laaja käytännöllinen merkitys. Esimerkiksi täsmällisten lannoitusohjeiden laatimiseksi tarvitaan yksityiskohtaisia tietoja metsäpuiden ravinnevaatimuksista ja ravinteiden kiertämisestä koko ekologisessa järjestelmässä. Viitattakoon tässä yhteydessä kokopuun-

korjuun oletettuun yleistymiseen tulevaisuudessa (esim. HAKKILA 1975), jolloin joudutaan entistä perusteellisemmin paneutumaan erilaisten kasvupaikkojen tuotantoedellytysten säilyttämis- ja lisäämismahdollisuuksiin. Taustan tälle tutkimus- ja kehittäelytyölle muodostaa kasvupaikkojen luontainen ravinnetalous ja sen suomat mahdollisuudet orgaanisen aineksen tuotannossa (MÄLKÖNEN 1974).

Metsikön ravinnekierto kytkeytyy kiinteästi energian kulkuun metsikössä: tuottajaportaassa orgaaniseen ainekseen sitoutuneet



Kuva 1. Metsikön ravinnekierto.
Fig. 1. Nutrient cycle in a stand.

ravinteet siirtyvät kuluttajaportaasta toiseen ja takaisin tuottajaportaaseen. Energiavirrasta poiketen voidaan ravinnekiertoa luonnehtia suljetummaksi, jolloin ravinteiden joutuminen ympäristöstä tuottajaportaaseen ja takaisin ympäristöön kuluttajien kautta muodostaa suhteellisen helposti jäljitettävän kierron. Metsikköön kulkeutuu kuitenkin ulkoa mineraaliravinteita esimerkiksi pölyhiukkasissa ja sadevedessä. Toisaalta myös osa mineraaliravinteista joutuu ekosysteemin ulkopuolelle esimerkiksi huuhoutumisen kautta (vrt. kuva 1).

Pääosa metsikön ravinnekiertoon osallistuvista ravinteista on peräisin metsikön maaperästä. Maaperän ravinteisuus vaikuttaa monella tavalla siihen, millainen kasvipeite kullekin kasvupaikalle muodostuu, mikä puolestaan vaikuttaa maaperän ravinteisiin. Mm. podsolimaannokselle tyypillisissä olosuhteissa tämä vuorosuhde on sel-

vä ja kasvillisuus saattaa muuttaa maan ominaisuuksia hyvinkin epäedullisiksi. Tämä ilmenee esim. mikrobitoiminnan heikkenemisenä ja karikkeen hajoamisen hidastumisena.

Ravinteiden sitoutuminen kasvillisuuteen aiheuttaa maaperässä ravinnevajausta, joka saattaa rajoittaa orgaanisen aineksen tuotantoa. Kasvillisuuden sitomien ravinteiden määrä riippuu kasvillisuuden biomassan suuruudesta. Maaperän ravinteisuus puolestaan määräytyy kivennäismaan ravinteisuuden sekä karikkeiden ja humuksen määrän ja hajoamisnopeuden mukaan. Koska karikkeiden ja humuksen hajoamisedellytykset sekä kivennäismaan rapautumisedellytykset pohjoisessa havumetsävyöhykkeessä yleensä heikkenevät metsikkökehityksen myötä, voi kasvituotantoa rajoittavaa ravinnevajausta esiintyä ennen muuta metsikkökehityksen myöhemmissä vaiheissa.

Toisaalta metsikön ravinteiden otto on vilkkaimmillaan kiertoajan keskivaiheilla (esim. ILVESSALO 1923, AALTONEN 1936, LEYTON 1958).

Metsikön orgaanisen aineksen tuotanto tahtuu puustossa, pensastossa ja pintakasvillisuudessa. Varsinkin puuston ravinnetarvetta ja sen osuutta metsikön ravinnetarvessa on tutkittu runsaasti. Puuston ravinnetarve riippuu lukuisista tekijöistä, kuten puulajista, puuston kehitysvaiheesta ja kasvupaikan maaperästä. Lisäksi kasvukauden ajankohta vaikuttaa erityisesti vihermassan ravinnepitoisuuksiin (TAMM 1954, AALTONEN 1955, VIRO 1955, LIKENS et al. 1967, ELLENBERG 1969, GRIER ja COLE 1972, CHRISTERSSON 1974). Esimerkiksi mänty tulee toimeen vähäisin ravinnevaroin, koska sen sisäinen ravinnekierto on tehokasta (MÄLKÖNEN 1974). Taimiston sulkeututtua ei puuston iällä ole vaikutusta siihen, missä suhteissa puusto ottaa eri ravinteita maaperästä (REMEZOV & POGREBNYAK 1965). Puustoon sitoutuneiden ravinteiden määrä sen sijaan kasvaa puuston biomassan lisääntyessä iän mukana. Männyn ja kuusen ravinteiden tarve on suurimmillaan 20–40 ikävuoden välillä, jolloin myös puuston kasvu on suurimmillaan.

Puuston eri osien ravinnepitoisuuksissa esiintyy suurta vaihtelua. Juuret, oksat ja runko sisältävät runsaimmin kalsiumia. Lehdissä ja neulasissa on eniten tyypeä ja kaliumia. Määrällisesti puusto sisältää eniten kalsiumia, tyypeä ja kaliumia mainitussa järjestyksessä.

Puuston eri osien, erityisesti neulasten ja lehtien ravinnepitoisuuksissa voidaan havaita vuodenaikaista vaihtelua. CHRISTERSSONIN (1974) mukaan männyn neulasten kaliumpitoisuus laskee loppupalvella ja keväällä. Kalsiumpitoisuus sen sijaan nousee neulasten vanhetessa. Uusien versojen alkaessa muodostua tapahtuu neulasten typpipitoisuudessa laskua; typpipitoisuus kohoaa kuitenkin kesän ja syksyn kuluessa ja säilyy koko talvisen lepoajan suhteellisen muuttumattomana (FLOWER-ELLIS 1971). Fosforin ja todennäköisesti myös magnesiumin vuodenaikaiset vaihtelut ovat samansuuntaiset kuin tyyppien.

Vain kaikkein viljavimmilla kasvupaikoilla on pensaskerroskasvien ravinteiden otto merkittävää boreaalissa vyöhykkeessä. Sen sijaan pintakasvillisuuden käyttämät

ravinneäärät ovat huomattavan suuria; tämä saattaa jopa muodostua puuston kasvua rajoittavaksi. Niinpä MÄLKÖSEN (1974) mukaan pintakasvillisuus käyttää puustoon verrattuna 1,5–2,5 kertaisen määrän ravinteita tuotettua kuiva-aineyksikköä kohti. Puolukkatyyppin kasvupaikoilla pintakasvillisuuden osuus metsikön vuotuisesta ravinnetarpeesta on noin 40 %.

Pintakasvillisuus muodostaa ravinnetarpeiltaan varsin epäyhtenäisen ja huonosti tunnetun ryhmän. MÄLKÖSEN (1974) mukaan ovat ruohojen ja heinien typpi-, fosfori- ja kaliumpitoisuudet tavallisesti suurempia kuin muiden lajien. Kenttäkerroksen lajistossa on ainakin tyyppien, fosforin ja kaliumin suhteen havaittavissa vuodenaikaisista vaihtelua (TRAVETT 1959). Sen sijaan ei kasvipopulaation ikään mahdollisesti kytkeytyviä vaihteluita ole varmasti havaittavissa lukuun ottamatta eräitä sammallajeja. TAMM (1953) on osoittanut seinäsammalten fosfori- ja kaliumpitoisuuksien vähenemän kasvuston iän lisääntyessä. Koska sammalten ravinnetalous on riippuvainen sadeveden ja pölyn mukana kulkeutuvista ravinteista, vaihtelee niiden ravinnepitoisuus selvästi suhteessa puustoon ja sääolosuhteisiin. Kasvupaikan ekologinen vaihtelu heijastuu muutoinkin selvästi pintakasvillisuuden ravinnepitoisuuksissa (vrt. FLOWER-ELLIS 1971).

Puustoon ja pintakasvillisuuteen sitoutuneet ravinteet palautuvat karikkeissa takaisin maaperään. Vuotuinen karikesato on havumetsävyöhykkeessä keskimäärin 1500 kg (VIRO 1955, SYKES & BUNCE 1970, ABEE & LAVENDER 1972). Kariketta kertyy runsaimmin syksyllä, jolloin lehtien variseminen tapahtuu. Myös havupuiden neulas- karikkeesta lähes puolet kertyy syksyllä (Gosz et al. 1972).

Pääosan karikkeesta muodostavat lehdet ja neulaset; kuori, kävyt ja oksat muodostavat vain 1–3 % havupuiden karikkeesta (FOSTER 1974). Puuston karike, johon myös kuuluu siemenet ja siitepöly, muodostaa lähes 80 % sulkeutuneen metsikön kokonaiskarikkeesta (WIEGERT ja MONK 1972). Myös juuriston karikkeen osuus metsikön ravinnetarvessa on merkittävä.

Karikkeen ravinnepitoisuuksiin vaikuttavat monet tekijät, kuten esim. puuston lajisuhteet ja ikä sekä vuodenaika ja maaperän ravinteisuus. Puustokarikkeen ravinneta-

loudellisesti tärkein osa muodostuu neulasista, lehdistä, oksista ja kävyistä. Tähän karikeryhmään sisältyykin noin 80 % karikkeen kokonaisravinne määrästä. Siitä lähes 80 % on magnesiumia ja fosforia, lopun koostuessa pääasiassa tyypeistä, kalsiumista ja kaliumista (Gosz et al. 1972).

Tämä tutkimus on osa työstä, jonka tavoit-

teenä on selvittää erään männikön kokonaisravinnetaloutta. Tässä julkaisussa käsitellään tyyppien, fosforin, kaliumin, kalsiumin ja magnesiumin pitoisuuksien vaihtelua aktiivisena kasvukautena maaperässä, puustossa ja pintakasvillisuudessa. Tutkimusaineisto on kerätty puolukkatyyppin kasvupaikkaa edustavasta metsiköstä.

2. AINEISTO JA MENETELMÄT

2.1. Tutkimusalue

Tutkimusalue sijaitsee Helsingin yliopiston metsäharjoitteluaseman lähistöllä Pohjois-Hämeessä (60° 47' N, 24° 18' E, 150 m m.p.y.). Alueen makroilmastollisia olosuhteita on kuvattu taulukossa 1. Tutkimusmetsikkö on täystiheä nuori kasvatusmetsikkö, joka on osa 25 vuotta sitten kulottamalla ja kylvämällä perustettua metsikköä. Sen eri puustotunnusten arvoja on koottu taulukoon 2. Metsikkö edustaa puolukkatyyppin kasvupaikkaa, ja sen pintakasvillisuus on kuvattu taulukossa 3. Tutkimuskohde sijaitsee kumpareisella ja kivisellä moreeni- maalla, jonka yleisiä kemiallisia ominaisuuks-

Taulukko 1. Tutkimuskohteen makroilmasto
Table 1. Macroclimate of the area studied

Tunnus Characteristic	Arvo Value
Vuoden keskilämpötila °C Annual mean temperature	+3.3
Tammikuun keskilämpötila °C Mean temperature, January	-7.2
Kesäkuun keskilämpötila °C Mean temperature, June	+16.2
Tehoisan lämpötilan summa d.d. Effective temperature sum	1217
Vuotuinen keskimääräinen sadanta mm Annual mean rainfall	642
Vuotuinen keskilumisadanta mm Annual mean snowfall	161
Kasvukauden pituus vrk Duration of growing period days	168

Taulukko 2. Tutkimuskohteen puustotunnukset
Table 2. Stand characteristics

Tunnus Characteristic	Arvo Value
Puulajisuhteet Tree species	
Mänty/Scots pine %	100
Kuusi/Norway spruce %	Δ
Muut/Others %	Δ
Keskikoruus m Mean height	7.2
Keskiläpimitta d _{1.3} , cm Diameter at breast height	8.6
Pohjapinta-ala m ² /ha Basal area	13.85
Kuutiomäärä m ³ /ha	60.35

sia on esitetty taulukossa 4. Tutkimusta varten alueelta on rajattu kaksi vierekkäistä 10 × 10 m suuruista koealaa.

2.2. Aineiston keräys

Aineiston keräystä varten erotettiin metsiköstä seuraavat ositteet: puusto, kenttäkerros (heinät, ruohot ja varvut), pohjakerros (sammalet ja jäkälät) sekä humus. Tämän lisäksi kerättiin näytteet neulas- ja oksakarikkeesta. Näytteet kerättiin kolmen viikon välein 15. 5. – 22. 8. 1974.

Puustosta valittiin kullakin näytteenotto- kerralla viisi puuta metsikön runkolukusarjan mukaan painottaen. Kustakin näyte- puusta leikattiin näyteoksa latvuksen etelän-

Taulukko 3. Tutkimuskohteen kasvillisuus
Table 3. Ground vegetation of study area

Laji Species	Koeala — Sample plot										Yhteensä Total	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
	kpl/m ² — Number/m ²											
<i>Pinus silvestris</i>	1											2
<i>Picea abies</i>	1											1
<i>Populus tremula</i>	1											1
<i>Deschampsia flexuosa</i>	119	120	249	30	747	378	384	656	182	268	3 133	
<i>Vaccinium vitis-idaea</i>	290	185	142	127	238	373	165	156	114	104	1 894	
<i>Vaccinium myrtillus</i>	21	40	54	70	4	17	56	103	78	17	460	
<i>Calluna vulgaris</i>	52	90	32	27	52	9	38	15	1	33	349	
<i>Trientalis europaea</i>					3	2	14	8			27	
<i>Luzula pilosa</i>					2			6			6	
<i>Linnaea borealis</i>								1			3	
<i>Pleurozium schreberi</i>	5 159	2 675	6 115	8 535	4 076	10 637	1 465	11 720	1 274	8 471	60 127	
<i>Dicranum sp.</i>	2 548	1 465	2 484	1 974	2 102	2 166	8 535	4 268	955	5 987	32 484	
<i>Polytrichum commune</i>					64	64		64	2 229	318	2 739	
<i>Hylacomium splendens</i>					64						2 548	
<i>Ptilium crista-castrensis</i>	191	127	510	1 656	2 293						2 293	

Taulukko 4. Tutkimuskohteen maaperän kemiallisia ominaisuuksia
Table 4. Chemical properties of the soil in the area studied.

Näytteenottokerros Sampling horizon	pH _{H₂O}	1) Johtoluku Electrical conductivity	2) K.V.K. C.E.C. m.e./100 g	Hehkutushäviö Ignition loss %	3) Maan ravinnevarastot Nutrient content mg/100 g				
					N	P	K	Ca	Mg
Humuskerros	3.8	2.41	14.0	35.3	562	155	77	68	122
Humuskerros <i>Humus layer</i>									
Huuhoutumiskerros ...	3.7	2.55	6.7	5.6	372	85	62	25	25
Huuhoutumiskerros <i>Leached horizon</i>									
Rikastumiskerros	4.1	2.06	5.8	8.9	159	85	83	18	24
Rikastumiskerros <i>Enriched horizon</i>									
Pohjamaa	4.6	0.79	3.2	5.9	136	80	33	23	15
Pohjamaa <i>Parent material</i>									

1) Johtoluku on mitattu 1:25 vesilietoksesta ja laskettu kaavasta $JL = 0.00607 \cdot \mu S \cdot cm^{-1}$ — Electrical conductivity (E.C) of water/soil mixture (2.5:1) calculated using formula $E.C = 0.00607 \cdot \mu S \cdot cm^{-1}$.

2) Effectiivinen kationinvaihtokapasiteetti (KVK) on määritetty uuttamalla maat 1-N KCl:llä. Uutteesta on määritetty vaihtuva alumiini ja vety sekä kalsium ja magnesium. — Cation exchange (C.E.C) determined by extraction with 1-N KCl. Aluminium hydrogen, calcium and magnesium content determined from this extract.

3) Typpi määritetty totaalityypinä Kjeldahl-potossa ja P, K, Ca ja Mg kuumaan 2-N HCl:ään liukenevina. — Total nitrogen determined by the Kjeldahl-method and P, K, Ca and Mg by extraction with hot 2-N HCl.

puoleiselta sivulta ylimmästä ja kolmanneksi ylimmästä oksakiehkurasta. Näyteosien puuaines kuluvan kasvukauden ja aiempien vuosien osalta tutkittiin yhtenä kokonaisuutena. Neulasnäytteet jaettiin ikävuosien mukaisesti ositteisiin.

Kenttä- ja pohjakerroksen kasvillisuuden näytteiden otannassa sekä humuskerroksen otannassa sovellettiin seuraavaa menettelyä. Esitutkimuksissa todettiin, että humuksen ravinnetunnusten luotettavaan ($p < 0,05$) estimointiin yhden aarin kokoiselta koeruidulta tarvittaisiin 14:sta osanäytteestä koostuva kokoomanäyte kunakin otantakertana (vrt. FALCK 1973). Kokoomanäytettä muodostettaessa arvottiin ensimmäisen osanäytteen koordinaatit. Muut osanäytteet sijoitettiin tämän osanäytteen suhteen systemaattisesti koealalle. Kenttäkerroksen kasvillisuuden otannassa oli koealan koko 600 cm² sekä pohjakerroksen ja humuskerroksen otannassa 400 cm².

Puustokarikkeen keräämiseen käytettiin muovisia astioita, joiden pinta-ala oli 3184 cm². Astiat sijoitettiin koealalle satunnaisesti, ja niiden lukumäärä oli 6 kpl.

2.3. Analyysimenetelmät

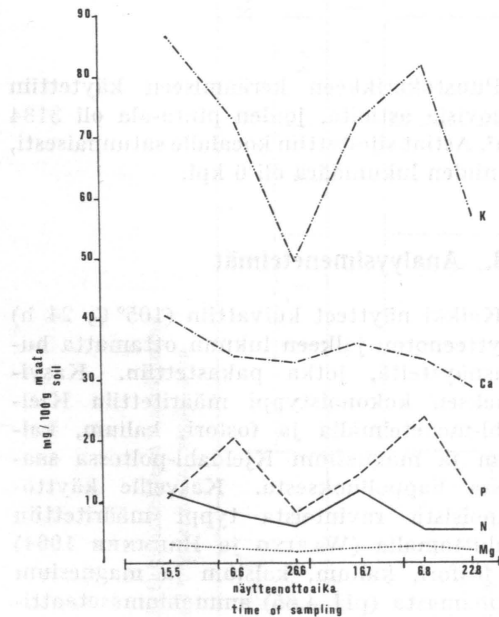
Kaikki näytteet kuivatettiin (105° C, 24 h) näytteenoton jälkeen lukuun ottamatta humusnäytteitä, jotka pakastettiin. Kasviaineksen kokonaistyyppi määritettiin Kjeldahl-menetelmällä ja fosfori, kalium, kalsium ja magnesium Kjeldahl-poltossa saadusta happoliuoksesta. Kasveille käyttökelpoisista ravinteista typpi määritettiin muhittamalla (WARING ja BREMNER 1964) ja fosfori, kalium, kalsium ja magnesium happamasta (pH 4.65) ammoniumasetaatteesta.

3. TULOKSET

3.1. Humuksen ravinnepitoisuuksien vaihtelu

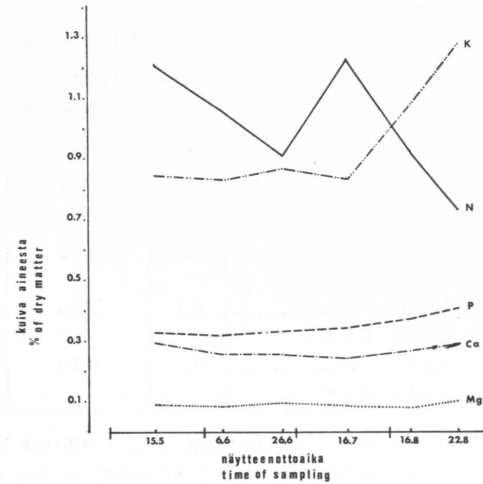
Maaperän ravinteista ainoastaan osa on kasveille käyttökelpoisessa muodossa. Tällaiset ravinteet käsittävät esimerkiksi erilaisiin uuttonesteisiin liukenevia ravinnefraktioita, ja ne muodostavat ainoastaan osan maaperän ravinteiden kokonaismäärästä. Koska lyhyellä aikavälillä kasvipeite saa suurimman osan tarvitsemistaan ravinteista humuskerroksesta (vrt. esim. TAMM ja HOLMEN 1967), on kasvualustan ravinnetunnuksia tässä tarkasteltu vain humuskerroksen puitteissa. Tulokset on esitetty kuvassa 2.

Magnesiumia lukuun ottamatta havaitaan kaikkien tutkittujen näytteiden ravinteiden määrissä laskua, joka saavuttaa alimmat arvonsa keskikesällä. Myöhemmin tapahtuva ravinnepitoisuuksien nousu ei kuitenkaan korvaa aiempaa laskua, vaan ravinnepitoisuus jää selvästi alhaisemmaksi kuin kasvu-



Kuva 2. Kasvualustan ravinteisuuden vuotuisen vaihtelu.

Fig. 2. Seasonal variation of nutrient content in soil.



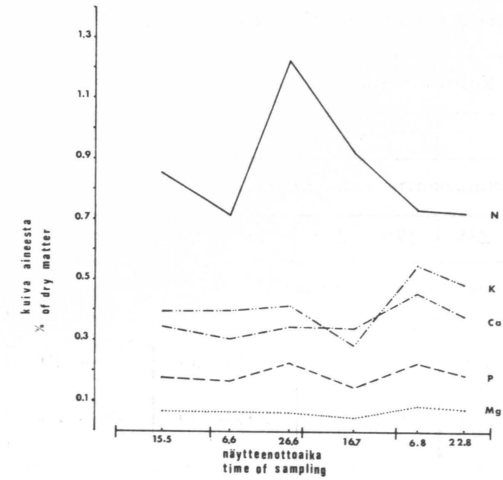
Kuva 3. Ravinnepitoisuuksien vaihtelu pohjakerroksen kasvillisuudessa.

Fig. 3. Variation of nutrient content in bottom layer vegetation.

kauden alussa. Kasvualustan keskimääräiset ravinnepitoisuudet (taulukko 3) vastaavat suuruusluokaltaan useissa aiemmissa tutkimuksissa esitettyjä arvoja vastaavanlaisista olosuhteista (vrt. VIRO 1953, MÄLKÖNEN 1974, URVAS ja ERVIÖ 1974, WESTMAN 1974).

3.2. Pohja- ja kenttäkerrosten kasvillisuuden ravinnepitoisuuden vaihtelu

Eri ravinnepitoisuuksien vaihtelu pohja- ja kenttäkerrosten kasvillisuudessa on esitetty kuvissa 3 ja 4. Havaitaan, että pohjakerroksessa kasvien ravinnepitoisuudet pysyvät suhteellisen muuttumattomina koko tutkimusjakson ajan lukuun ottamatta typpeä ja kaliumia. Myös TAMMIN (1953) tutkimukset osoittavat, että sammalien ravinnepitoisuudet useimpien ravinteiden suhteen ovat jokseenkin samanlaisia kautta vuoden. Sammalten typpipitoisuuden huippu ajoittuu näiden lajien kasvun käynnistymisvaiheeseen (vrt. kuva 5). Kaliumpitoisuuden jyrkkä nousu tutkimusjakson lopussa saattaa viitata sateiden mukana kulkeutuneen sekä



Kuva 4. Ravinnepitoisuuksien vaihtelu kenttäkerroksen kasvillisuudessa.

Fig. 4. Variation of nutrient content in field layer vegetation.

vaihtelevat myös melko vähän. Tämän lisäksi havaitaan sen typpipitoisuuden maksimin ja pohjakerroksen kasvillisuuden typpipitoisuuden minimin samanaikaisuus, mikä viittaa siihen, että kenttäkerroksen kasvillisuus tänä jaksolla käyttää tehokkaasti hyväkseen vapautuvaa typpeä. Näiden osakasvustojen intensiivisin kasvu sattuu samaan ajankohtaan kuin humuskerroksen typpipitoisuuden minimi (vrt. kuva 5). Havaitaan myös, että kenttäkerroksen valtalajien kasvun päättyessä kenttäkerroksen typpipitoisuus saavuttaa suurimmat arvonsa.

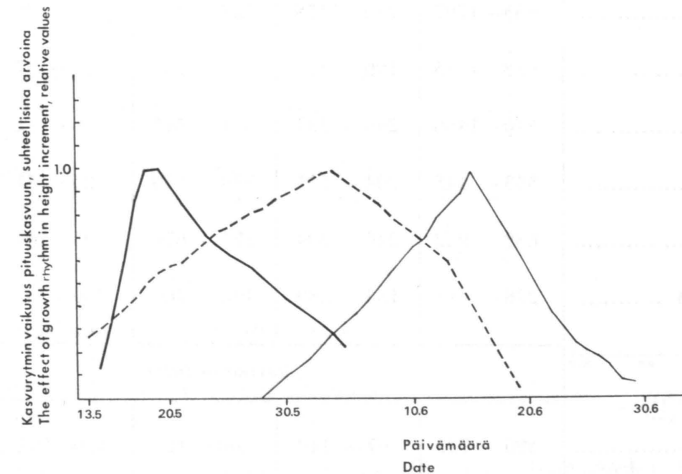
Eri ravinteiden esiintymisen vaihtelurajat on esitetty taulukossa 5. Ne vastaavat suuruudeltaan mm. AALTOSEN (1955) ja MÄLKÖNEN (1974) esittämiä tuloksia vastaavanlaisista olosuhteista.

3.3. Puuston ravinnepitoisuuksien vaihtelu

Neulasten ja puuaineen iän ja sijainnin vaikutusta ravinnepitoisuuksien vaihteluun pyrittiin selvittämään kohdistamalla näytteenotto kahteen oksakiehkuraan ja näiden eri vuosikertojen neulasiin (vrt. LEYTON ja ARMSON 1955). Ravinnepitoisuuksien vaihtelu

puustosta uuttuneen kaliumin merkitykseen kasvupaikan ravinnetaloudessa (esim. TAMM 1953, PÄIVÄNEN 1974).

Kenttäkerroksen kasvillisuuden fosfori-, kalium-, kalsium- ja magnesiumpitoisuudet

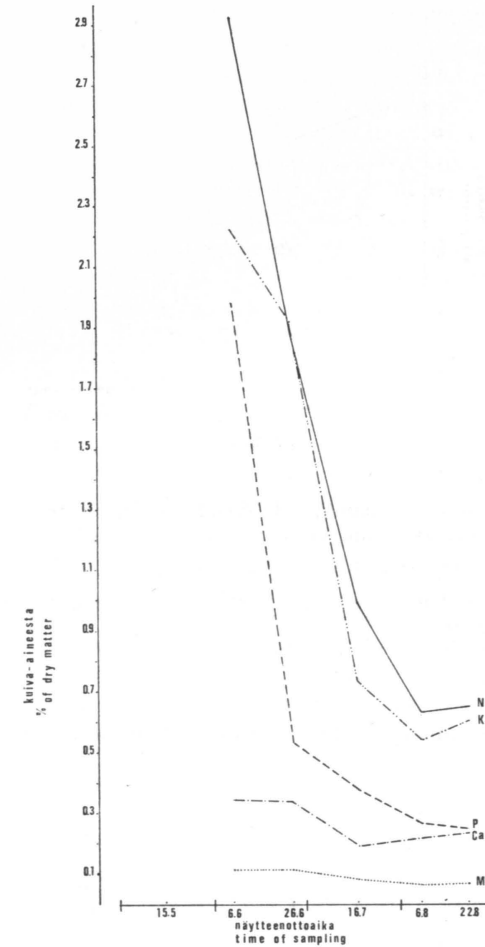


Kuva 5. Mustikan (katkoviiva), puolukan (paksu viiva) ja männyn neulasten (ohut viiva) kasvurytmit (KANNINEN 1976, PIETÄRINEN 1976).

Fig. 5. Growth rhythm of *Vaccinium myrtillus* (dotted line) *Vaccinium vitis-idaea* (thick line) and pine needles (thin line).

Taulukko 5. Humuskerroksen ja kasviaineen ravinnepitoisuuksien vaihtelurajat kesällä 1974.
Table 5. Variation of nutrient content in humus layer and different vegetation layers during study period.

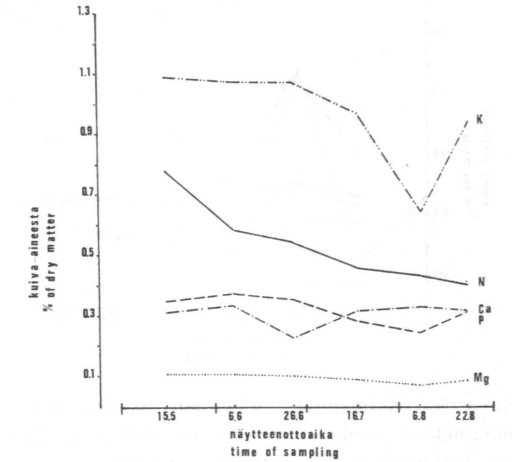
Osio Part	Ravinteet mg/100 g kuiva-ainetta — Nutrients mg/100 g dry matter				
	N	P	K	Ca	Mg
humuskerros — humus layer					
	929—1583	170— 235	170— 220	180—290	29— 38
pintakasvillisuus — surface vegetation					
pohjakerros bottom layer	735—1225	313— 406	803—1274	24— 30	8— 10
kenttäkerros field layer	712—1225	177— 225	285— 551	304—459	49— 86
puusto, ensimmäinen oksa — tree, first whorl					
neulaset 1974 needles	1248—1797	401— 447	720— 962	9— 16	6— 7
neulaset 1973 needles	887—1108	216— 300	376— 640	16— 26	4— 7
puuaines 1974 wood	630—2928	261—1986	544—2225	191—343	62—110
puuaines 1973 wood	400— 783	280— 376	642—1090	312—335	69—107
puusto, kolmas oksa — tree, third whorl					
neulaset 1974 needles	455—1797	236— 555	428— 878	9— 28	5— 8
neulaset 1973 needles	618—1575	196— 356	374— 791	16— 37	5— 8
neulaset 1972 needles	840—1466	206— 334	324— 541	6— 41	1— 6
neulaset 1971 needles	553— 945	204— 281	330— 549	26— 41	4— 5
puuaines 1974 wood	688— 922	246— 394	575— 676	193—244	68— 78
puuaines ennen 1974 wood before	238— 418	185— 289	408— 766	339—389	65— 89
karike — litter					
puustokarike tree litter	490— 723	67— 110	74— 168	109—941	34—122



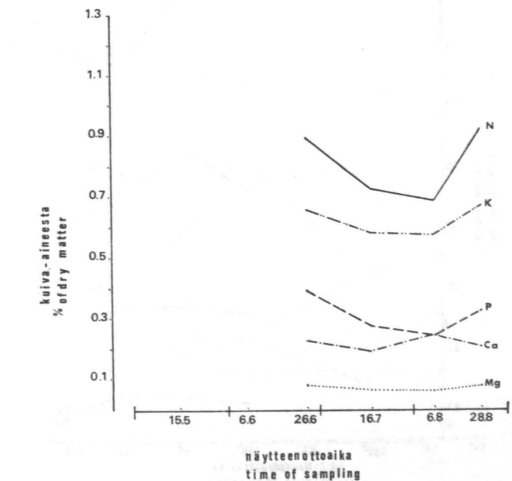
Kuva 6. Ylimmän oksakiehkuran puuaineksen ravinnepitoisuuksien vaihtelu. Tutkimusjaksona syntynyt puuaines.
Fig. 6. Variation of nutrient content of wood in the topmost whorl. Wood grown during study period.

telu oksien puuaineessa ja neulasissa on esitetty kuvissa 6—15.

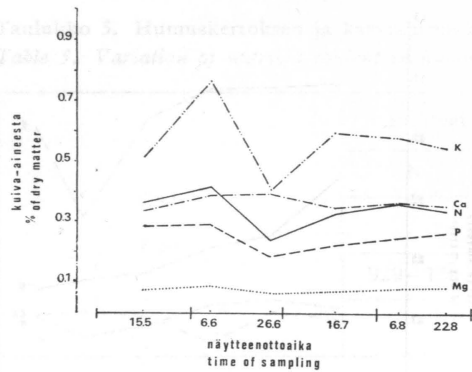
Kasvukauden aikana ravinnepitoisuudet vaihtelevat melkoisesti. Vaihtelu vähenee kuitenkin vanhempiin ositteisiin siirryttäessä (vrt. taulukko 5). Typpipitoisuuksien muutokset ovat suuresta vaihtelusta huolimatta selvimmät. Tutkimusjakson aikana muodostuneissa neulasissa ja puuaineessa typpipitoisuudet ovat alussa varsin suuret, solujen vanhetessa pitoisuus laskee ja on kes-



Kuva 7. Ylimmän oksakiehkuran puuaineksen ravinnepitoisuuksien vaihtelu. Ennen tutkimusjaksoa syntynyt puuaines.
Fig. 7. Variation of nutrient content of wood in the topmost whorl. Wood grown before study period.

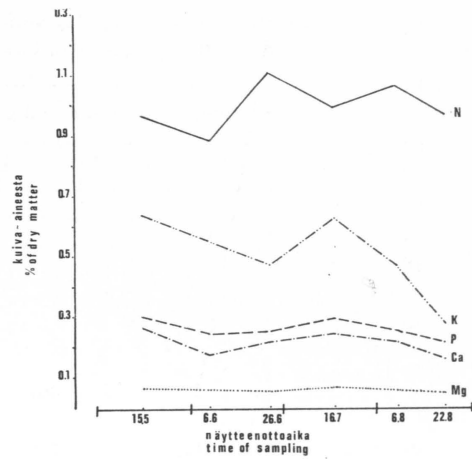


Kuva 8. Kolmanneksi ylimmän oksakiehkuran puuaineksen ravinnepitoisuuksien vaihtelu. Tutkimusjaksona syntynyt puuaines.
Fig. 8. Variation of nutrient content of wood in the third whorl from the top. Wood grown during study period.



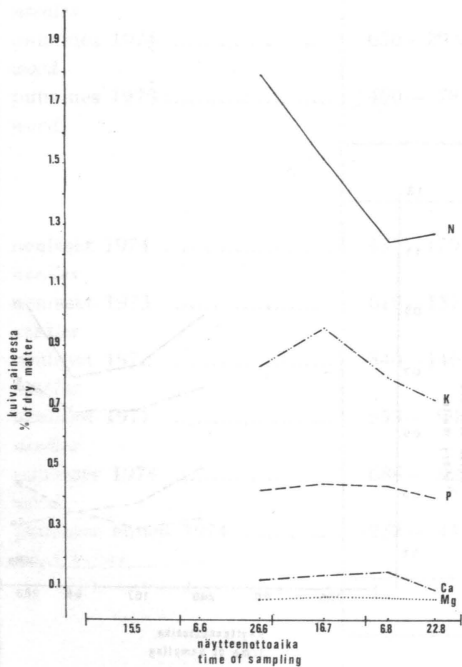
Kuva 9. Kolmanneksi ylimmän oksakiehkuran puuaineksen ravinnepitoisuuksien vaihtelu. Ennen tutkimusjaksoa syntynyt puuaines.

Fig. 9. Variation of nutrient content of wood in the third whorl from the top. Wood grown before study period.



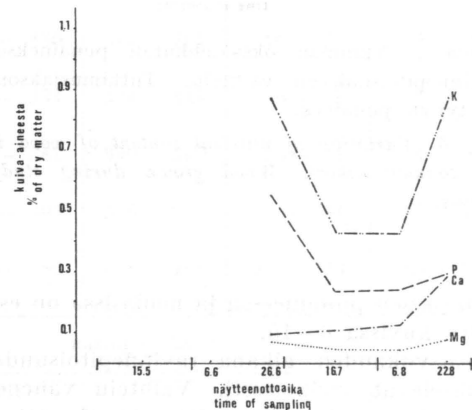
Kuva 11. Ylimmän oksakiehkuran neulasten ravinnepitoisuuksien vaihtelu.

Fig. 11. Variation of nutrient content of needles in the topmost whorl. Needles grown a year before study period.



Kuva 10. Ylimmän oksakiehkuran neulasten ravinnepitoisuuksien vaihtelu. Tutkimusjaksona syntyneet neulaset.

Fig. 10. Variation of nutrient content of needles in the topmost whorl. Needles grown during study period.

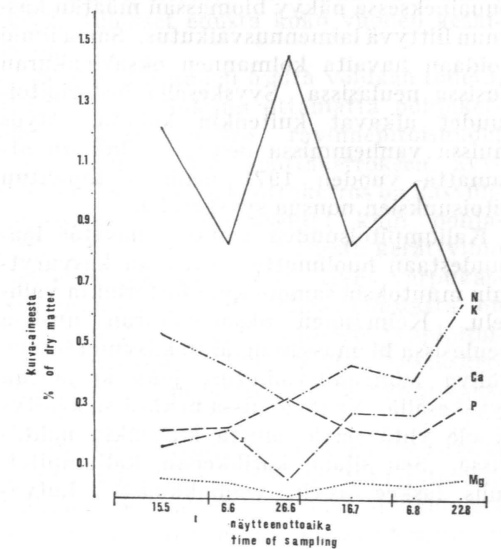


Kuva 12. Kolmanneksi ylimmän oksakiehkuran neulasten ravinnepitoisuuksien vaihtelu. Tutkimusjaksona kasvaneet neulaset.

Fig. 12. Variation of nutrient content of needles in the third whorl from the top. Needles grown during study period.

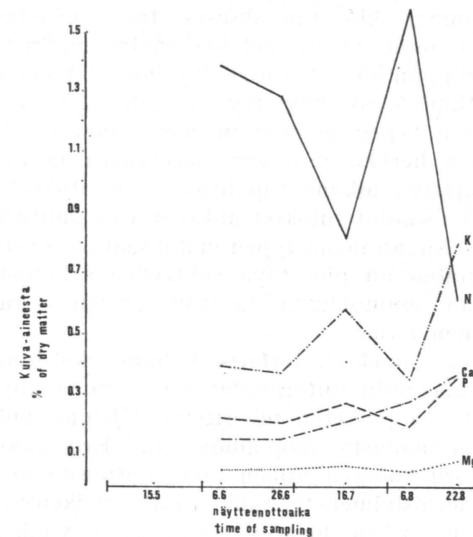
kikesällä minimissä (vrt. SMITH et al. 1970). Syyskesällä typpipitoisuus jälleen vähän nousee. Verrattaessa pitoisuuksien muutoksia oksien ja neulasten kasvurytmiin voidaan havainnoida ravinnepitoisuuksien vaihtelua ja puuaineen lopetettua kasvunsa (vrt. kuva 5). Tämä johtunee siitä, että kasvun intensiteetti ylittää alkukesällä ravinteiden oton intensiteetin. Vasta myöhemmin kesällä juurten toiminta pystyy täydentämään syntyneen ravinnevajauksen (vrt. KOZŁOWSKI & WINGET 1964, GORDON & LARSON 1968, 1970, DICKMAN 1970, SMITH ym. 1970). Eri ositteiden typpipitoisuudet poikkeavat toisistaan siten, että vanhemmissa ositteissa arvot ovat pienemmät, karikkeissa on enää kolmasosa tyypeä uusien neulasten sisältämästä määrästä. Eri oksakiehkuroissa neulasten typpipitoisuudet ovat likimain samat, sen sijaan alempana puuaineksessa tyypeä näyttää olevan vähemmän.

Fosforipitoisuuksien muutokset ovat melko epäsäännöllisiä. Kolmannen oksakiehkuran neulasissa ja puuaineksessa voidaan kuitenkin havaita kasvurytmiin kytkeytyvä fosforipitoisuuksien vaihtelu. Esimerkiksi uudessa



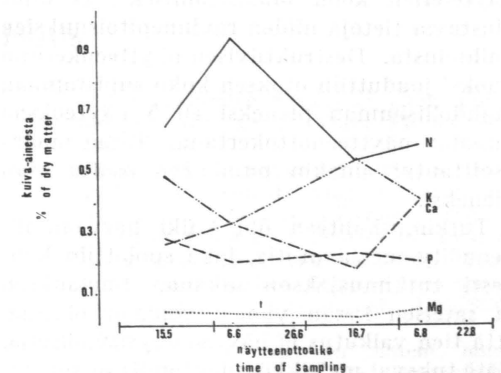
Kuva 14. Kolmanneksi ylimmän oksakiehkuran neulasten ravinnepitoisuuksien vaihtelu. Kaksi vuotta ennen tutkimusjaksoa syntyneet neulaset.

Fig. 14. Variation of nutrient content of needles in the third whorl from the top. Needles grown two years before study period.



Kuva 13. Kolmanneksi ylimmän oksakiehkuran neulasten ravinnepitoisuuksien vaihtelu. Edellisvuonna kasvaneet neulaset.

Fig. 13. Variation of nutrient content of needles in the third whorl from the top. Needles grown a year before study period.



Kuva 15. Kolmanneksi ylimmän oksakiehkuran neulasten ravinnepitoisuuksien vaihtelu. Kolme vuotta ennen tutkimusjaksoa syntyneet neulaset.

Fig. 15. Variation of nutrient content of needles in the third whorl from the top. Needles grown three years before study period.

puuaineksessa näkyy biomassan määrän kasvuun liittyvä laimennusvaikutus. Sama ilmiö voidaan havaita kolmannen oksakiehkuran uusissa neulasissa. Syyskesällä fosforipitoisuudet alkavat kuitenkin kohota. Myös muissa vanhemmissa neulasissa lukuun ottamatta vuoden 1971 neulasia tapahtuu pitoisuuksien nousua syyskesällä.

Kaliumpitoisuuden vaihtelu näyttää laajuudestaan huolimatta seuraavan kasvurytmin muutoksia samoin kuin fosforinkin vaihtelu. Kolmannen oksakiehkuran uusissa neulasissa biomassan määrän kasvuun liittyvä vahva laimennusvaikutus, joka korjautuu syyskesällä. Vanhemmissa neulasissa kehitys ei ole yhtä selvä, mutta kuitenkin nähtävissä. Sen sijaan karikkeissa kaliumpitoisuus laskee hyvin voimakkaasti. Latva-

oksissa muutokset eivät ole yhtä silmiinpistäviä, mikä saattaa johtua siitä, että alempana latvuserroksissa kasvuprosessi etenee nopeammin kuin ylempänä.

Kalsiumpitoisuudet vaihtelevat melko vähän. Näyttää kuitenkin siltä, että kalsiumin nousua tapahtuu kasvukauden kuluessa (vrt. Viro 1955) ja myös siirryttäessä nuoremista kasvinosista vanhempiin. Siten elävien neulasten ja puuaineen suurin kalsiumpitoisuus löytyy tutkimusaineistossa kolmannen oksakiehkuran vanhasta puuainesta. Karikkeessa kalsiumpitoisuus on vielä tätäkin suurempi.

Magnesiumpitoisuudet ovat pieniä eikä niiden vaihtelussa ole selvää trendiä. Mahdollisesti kesän aikana tapahtuu lievää pienenemistä, joka syksyllä korjaantuu.

4. TARKASTELU

Näytteiden keruu pyrittiin maaperän osalta suorittamaan niin, että 10 %:n ero olisi merkitsevä 5 %:n riskitasolla. Esitutkimuksen perusteella tunnettiin vain tutkimuskohteen humuskerroksen kokonaistyyppimäärän vaihtelu, joten oletamus pitää paikkansa vain, jos maaperästä ja pintakasvillisuudesta mitattujen tunnusten vaihtelu on yhtä suuri tai pienempi kuin mainittu typen määrän vaihtelu. Neulasista ja oksista kerättävien näyte-erien koon määrittämiseksi ei ollut alustavia tietoja niiden ravinnepitoisuuksien vaihtelusta. Destruktiivisen näytteenkeruun vuoksi jouduttiin otoksen koko supistamaan mahdollisimman pieneksi eli 5 näyteoksa kunakin näytteenottokertana. Tämä määrä osoittautui ainakin puuaineen osalta liian pieneksi.

Tutkimuskohteen ohi kulki harvaan liikkennöity metsäautotie, joka suolattiin kahdesti tutkimusjakson aikana. Suolauksen ja sateisen kesän vuoksi voidaan olettaa, että tien vaikutus ei näy analyysituloksissa. Tätä tukevat metsikkösadantamittausten antamat tulokset, jotka esitetään myöhemmissä tutkimusraporteissa.

Maaperän ravinnetunnuksia tutkittaessa voidaan erottaa maan kokonaisravinnemäärät ja kasvien käytettävissä olevat ravinnefraktiot. Tällöin on huomattava, että helpoliukoiset ravinteet ovat herkkiä ympäristö-

tekijöiden kuten kosteuden, lämmön ja happamuuden vaihteluille. Käytökelpoista typpeä määrittäessä turvaudutaan usein erilaisiin inkubaatiomenetelmiin, kun taas muut ravinteet voidaan määrittää uuttamalla. Kummassakin tapauksessa tulos edustaa vain osaa maan kokonaisravinnemäärästä ja riippuu käytetystä analyysimenetelmästä. Tutkimuksessa käytetty kasveille käyttökelpoisen typen määrittämismenetelmä ei ole kovin herkkä näytteen säilytyksen ja esikäsittelyn aikana tapahtuville muutoksille, koska saadut tulokset antavat vain suhteellisen kuvan maan typen mobilisaatiokyvystä. Samaten on pidettävä suhteellisina happamaan ammoniumasetaattiin uuttuvia ravinnemääriä.

Kasviaineksen fosfori-, kalium-, kalsium- ja magnesiumpitoisuudet on normaalikäytännöstä poiketen määritetty Kjeldahl-poltossa saadusta happoliuksesta. Erikoisesti fosforin määrittäminen tästä tuotteesta molybdeenisimenetelmällä tuotti vaikeuksia sinisen värin heikon säilyvyyden vuoksi. Tämä on saattanut vaikuttaa tulosten luotettavuuteen.

Humuskerroksessa havaittu ravinnepitoisuuksien aleneminen aktiivisen kasvukauden aikana voi viitata siihen, että kasvit ottavat tuolloin maaperästä enemmän ravinteita kuin niitä mobilisoi maassa. Selvimmin

tämä vajaus ilmenee kalium- ja fosforipitoisuuksissa, mutta myös typpi- ja kalsiumpitoisuuksien vaihtelun voidaan olettaa riippuvan kasvien ravinteiden otosta. Ravinnevajaukseen on oletettavasti vaikuttanut myös alkukesän kuivuus, joka on rajoittanut humuksessa tapahtuvaa ravinteiden mobilisaatiota. Keskikesän ravinnepitoisuuksien nousuun on toisaalta vaikuttanut kasvien ravinteiden oton heikkeneminen ja toisaalta alkaneiden sateiden aiheuttama ravinteiden mobilisaation vilkastuminen. Syyskesällä tapahtuva ravinnepitoisuuksien väheneminen johtuu siitä, että ravinteita on poikkeuksellisten runsaiden sateiden johdosta huuhtoutunut humuskerroksesta.

Kasviaineksen ravinnepitoisuuksien vaihtelun luotettavuutta ei tunneta. Vaihtelu näyttääkin erityisesti typpipitoisuuksien osalta varsin sattumanvaraiselta. Jos kuitenkin vertaillaan keskenään eri ikäisiä ositteita, voidaan ravinnepitoisuuksissa havaita selviä trendejä. Parhaiten tämä näkyy neulasten typpipitoisuuksien laskussa ja kaliumpitoisuuksien nousussa. Mielenkiintoista on, että neulas- ja oksakarikkeen ravinnepitoisuussuhteet poikkeavat huomattavasti kirjallisuudessa esitetyistä arvoista (vrt. s. 190). Siten puustokarike sisältää eniten typpeä ja kalsiumia, joita yhteensä on noin 80 %, loput 20 % koostuvat fosforista, kaliumista ja magnesiumista. Syynä tähän lienee se, että

karikkeet on kerätty kasvukauden aikana, eivätkä tulokset edusta koko vuoden keskiarvoja.

Pintakasvillisuuden osalta voidaan todeta, että kalsiumia lukuun ottamatta pohjakerroksen kasvillisuuden ravinnepitoisuudet ovat suuremmat kuin kenttäkerroksen. Syynä tähän on se, että kenttäkerros on kasvillisuudeltaan heterogeenisempi kuin pohjakerros ja että kenttäkerroksesta kerättyihin näytteisiin on sisällytetty myös varpuksien puumaiset osat. Mielenkiintoista on todeta, että pintakasvillisuuden typpipitoisuuden maksimi on yhtäaikainen humuskerroksen vastaavan pitoisuuden minimin kanssa.

Tämän alustavan tutkimuksen perusteella voi todeta pintakasvillisuuden typpipitoisuuden maksimin sattuvan samaan ajankohtaan kuin näiden ositteiden kasvuintensiteetin maksimin ja toisaalta humuskerroksen typpipitoisuuden minimin. Tämä ja toisaalta myös neulasten ja puuaineen ravinnepitoisuuksissa havaittavat selvät trendit ovat selvimmät viitteet siitä, että ravinteet siirtyvät systemaattisesti metsikköekosysteemin ositteesta toiseen. Tämän siirtymisen nopeudesta ja absoluuttisista määristä ei näin ajallisesti ja määrällisesti suppean aineiston perusteella voi tehdä johtopäätöksiä. Vastauksen löytämiseen tarvitaan useamman kasvukauden mittauksiin perustuva aineisto.

KIRJALLISUUS

- AALTONEN, V. T. 1926. Über die Umsetzungen der Stickstoffverbindungen in Waldboden. Summary: The decomposition of nitrogen compounds in woodland soils. Commun. Inst. For. Fenn. 10.
- 1955. Die Blattanalyse als Bonitierungsgrundlage des Waldbodens II. Commun. Inst. For. Fenn. 45.
- ABEE, A. & LAVENDER, D. 1972. Nutrient cycling in throughfall and litterfall in 450-year-old Douglas-fir stands. Ss. 133–143. In: Proc-Research on coniferous forest ecosystems - a symposium. Ed. J. F. Franklin, L. J. Dempster & R. H. Waring.
- CHRISTERSSON, L. 1974. Seasonal ionic fluctuations and annual growth rates in stands of *Pinus silvestris* L. and *Picea abies* Karst. (L.) Plant and Soil 41, 343–350.
- DICKMAN, D. J. & KOZLOWSKI, T. T. 1970. Mobilization and incorporation of photoassimilated ¹⁴C by growing vegetative

and reproductive tissues of adult *Pinus resinosa* Ait. Trees. Plant Physiol. 45. 284–288.

DUVIGNEAUD, P. & DENAYER-DE SMET, S. 1969. Cycle des éléments biogènes dans des écosystèmes forestiers d'Europe (principalement forest caducifoliées) In: Productivity des écosystèmes forestiers. Proc. Actes coll. Bruxelles, Ecologie et conservation 4. Ed. P. Duvigneaud. UNESCO, Paris 1971, 515–525.

ELLENBERG, H. 1969. Nitrogen content, mineralization and cycling. In: Productivity of forest ecosystems. Proc. Brussels Symp., Ecology and conservation 4. Ed. P. Duvigneaud. UNESCO, Paris 1971, 667–670.

FALCK, J. 1973. En metod för bestämning av humussiktets innehåll av växtnäringämnen. Rapp. Uppsats. Instn. Skogsskötsel. Skogshögskolan, Stockholm. 1.

- FLOWER-ELLIS, J. 1971. Age, structure and dynamics in stands of bilberry (*Vaccinium myrtillus* L.). Sammanfattning: Alder, struktur och dynamik hos blåbärsbestånd. Rapp. Uppsats. Instn. Växtecol. markl. Skogshögskolan, Stockholm. 9.
- FOSTER, N. W. 1974. Annual macroelement transfer from *Pinus banksiana* Lamb. Forest to soil. Can. J. For. Res. 4: 470-476.
- GORDON, J. C. & LARSON, P. R. 1968. Seasonal course of photosynthesis respiration and distribution of ¹⁴C in young *Pinus resinosa* trees as related to wood formation. Plant Physiol. 43: 1617-1624.
- » — & LARSON, P. R. 1970. Redistribution of ¹⁴C-labeled reserve food in young red pines during shoot elongation. For. Sci. 16: 14-20.
- GOSZ, J. R., LIKENS, G. E. & BORMANN, F. H. 1972. Nutrient content of litterfall on the Hubbard Brook Experimental Forest New Hampshire. Ecology 53: 769-784.
- GRIER, C. C. & COLE, D. W. 1972. Elemental transport changes occurring during development of a second-growth Douglas-fir ecosystem. Proc. Symp., Research in Coniferous Ecosystems. Ed. Franklin, J. F., Dempster, L. J. & Waring, R. H., 103-113.
- HAKKILA, P. 1975. Puuraaka-aineen talteenotto. Työtehoseuran metsätiedotus 247. Helsinki.
- ILVESSALO, Y. 1923. Ein Betrag zur Frage der Korrelation zwischen den Eigenschaften des Bodens und dem Zuwachs des Waldbestandes. Acta For. Fenn. 25.
- KANNINEN, M. 1976. Julkaisematon aineisto.
- KOZLOWSKI, T. T. & WINGET, C. H. 1964. The role of reserves in leaves, branches, stems and roots on shoot growth of Red pine. Amer. Jour. Bot. 51 (5): 522-529.
- LEYTON, L. & ARMSON, K. A. 1955. Mineral composition of the foliage in relation to the growth of Scots pine. For. Sci. I, 210-218.
- LIKENS, G. E., BORMANN, F. H., JOHNSON, N. M. & PIERCE, R. S. 1967. The calcium, magnesium, potassium and sodium budgets for a small forested ecosystem. Ecology 48, 5.
- MÄLKÖNEN, E. 1974. Annual primary production and nutrient cycle in some Scots pine stands. Commun. Inst. For. Fenn. 84.5.
- PIETARINEN, I. 1976. Julkaisematon aineisto.
- PÄIVÄNEN, J. 1974. Nutrient removal from Scots pine canopy on drained peatland by rain. Acta For. Fenn. 139.
- REMEZOV, N. P. & POGREBNYAK, P. S. 1965. Forest soil science. Lesnoe pochvedenie. Izdatelstvo »Lesnaya Promyshlennost» Moskva 1965.
- SMITH, W. H., SWITZER, G. L. & NELSON, L. E. 1970. Development of the shoot system of young Loblolly pine: I. Apical growth and nitrogen concentration. For. Sci. 16: 483-490.
- SYKES, J. M. & BUNCE, R. G. H. 1970. Fluctuations in litter-fall in a mixed deciduous woodland over a three-year period 1966-68 Oikos 21, 326-329.
- TAMM, C. O. 1953. Growth, yield and nutrition in carpets of a forest moss. (*Hylocomium splendens*). Meddelanden från statens skogsforskningsinstitut 43.1.
- » — 1954. Some observations on the nutrient turn-over in a bog community dominated by *Eriophorum vaginatum*. L. Oikos 5: 189-194.
- » — & HOLMEN, H. 1967. Some remarks on soil organic matter turn-over in Swedish podsol profiles. Medd. Norske Skogsforsoksv. 85: 69-88.
- » — & TROEDSSON, T. 1955. An example of the amounts of plant nutrients supplied to the ground in road dust. Oikos 6: 61-70.
- TREVETT, M. F. 1959. Growth studies of the lowbush blueberry. 1946-1959. Maine Agr. Expt. Sta., Univ. Maine, Bull. 581.
- URVAS, L. & ERVIÖ, R. 1974. Metsätyypin määrityminen maalajin ja maaperän kemiallisten ominaisuuksien perusteella. Maatal. tiet. aikak. k. 3: 307-319.
- WARING, S. S. & BREMNER, J. M. 1964. Ammonia production in soil under waterlogged conditions as an index of nitrogen availability. Nature. 102: 951-952.
- WESTMAN, C. J. 1973. Urealannoituksen vaikutus metsämaan kasveille käyttökelpoiseen typipimäärään. Summary: Effect of urea application on plantavailable nitrogen in forest soil. Silva Fennica 8: 128-134.
- WIEGERT, R. G. & MONK, C. D. 1972. Litter production and energy accumulation in three plantations of longleaf Pine (*Pinus palustris* Mill) Ecology 53.5
- VIRO, P. J. 1953. Loss of nutrients and the natural nutrient balance of the soil in Finland. Commun. Inst. For. Fenn. 42.1.
- — 1955. Investigations on forest litter. Lyhennelmä: Metsäkariketutkimuksia. Commun. Inst. For. Fenn. 45.6.
- » — 1965. Metsämaan viljavuuden määrittämisestä. Commun. Inst. For. Fenn. 60.3.

SUMMARY:

NUTRIENT CYCLE IN A PINE STAND: I SEASONAL VARIATION IN NUTRIENT CONTENT OF VEGETATION AND SOIL

The paper deals with seasonal variation in the nitrogen, phosphorus, potassium, calcium and magnesium content of vegetation and soil of a young pine stand of *Vaccinium* site type situated in Central Finland. The material consists of sequential samples representing soil, ground vegetation and trees taken during summer 1974.

The amount of soluble nutrients in the humus layer decreased in June when maximum growth of trees and dwarf shrubs occurred. The nutrient content of this layer subsequently began to increase towards the end of the growing period.

The variation in the nutrient content of the bottom and ground layers followed a similar pattern. Nitrogen content increases at the beginning of the summer. After this phase it starts to decrease and reaches its lowest values by the end of growing period. Phosphorus and potassium contents increase throughout the growing period.

The nutrient content of needles and wood are positively correlated with tree height and negatively with the age of material. The highest values for the nutrient content are for new cells.