

FOLIA FORESTALIA 641

METSÄNTUTKIMUSLAITOS · INSTITUTUM FORESTALE FENNIAE · HELSINKI 1985

ARI FERM

JÄTEVEDELLÄ KASTELTUIJEN
LEHTIPUIDEN ALKUKEHITYS
JA BIOMASSATUOTOS
KAATOPAIKALLA

EARLY GROWTH AND BIOMASS
PRODUCTION OF SOME HARDWOODS
GROWN ON SANITARY LANDFILL
AND IRRIGATED WITH LEACHATE
WASTE-WATER



METSÄNTUTKIMUSLAITOS
THE FINNISH FOREST RESEARCH INSTITUTE

Osoite: Unioninkatu 40 A
Address: SF-00170 Helsinki, Finland

Puhelin: (90) 661 401
Phone:

Ylijohtaja: <i>Director:</i>	Professori <i>Professor</i>	Aarne Nyssönen
Yleisinformaatio: <i>General information:</i>	Tiedotuspäällikkö <i>Information Chief</i>	Olli Kiiskinen
Julkaisujen jakelu: <i>Distribution of publications:</i>	Kirjastonhoitaja <i>Librarian</i>	Liisa Ikävalko-Ahvonon
Julkaisujen toimitus: <i>Editorial office:</i>	Toimittaja <i>Editor</i>	Tommi Salonen

Metsäntutkimuslaitos on maa- ja metsätalousministeriön alainen vuonna 1917 perustettu valtion tutkimuslaitos. Sen päätehtävänä on Suomen metsätaloutta sekä metsävarojen ja metsien tarkoituksenmukaista käyttöä edistävä tutkimus. Metsäntutkimustyötä tehdään lähes 800 hengen voimin yhdeksällä tutkimusosastolla ja kymmenellä tutkimus- ja koeasemalla. Tutkimus- ja koetoimintaa varten laitoksella on hallinnassaan valtionmetsiä yhteensä n. 150 000 hehtaaria, jotka on jaettu 17 kokeilualueeseen ja joihin sisältyy kaksi kansallis- ja viisi luonnonpuistoa. Kenttäkokeita on käynnissä maan kaikissa osissa.

The Finnish Forest Research Institute, established in 1917, is a state research institution subordinated to the Ministry of Agriculture and Forestry. Its main task is to carry out research work to support the development of forestry and the expedient use of forest resources and forests. The work is carried out by means of 800 persons in nine research departments and ten research stations. The institute administers state-owned forests of over 150 000 hectares for research purposes, including two national parks and five strict nature reserves. Field experiments are in progress in all parts of the country.

FOLIA FORESTALIA 641

Metsäntutkimuslaitos. Institutum Forestale Fenniae. Helsinki 1985

Ari Ferm

JÄTEVEDELLÄ KASTELTUIJEN LEHTIPUIDEN ALKUKEHITYS JA BIOMASSATUOTOS KAATOPAIKALLA

Early growth and biomass production of some hardwoods
grown on sanitary landfill and irrigated with leachate waste-water

Approved on 1.11.1985

SISÄLLYS

1. JOHDANTO	3
2. AINEISTO JA MENETELMÄT	4
21. Kokeiden perustaminen	4
22. Mittaukset	5
23. Sääolot	6
3. TULOKSET	6
31. Kasteluveden laatu	6
32. Kastelun vaikutus maahan	7
321. pH, johtoluku ja ravinnepitoisuudet	7
322. Lämpötila	11
33. Puiden alkukehitys	12
331. Elossaolo	12
332. Pituus- ja paksuuskehitys	13
34. Biomassatuotos	14
35. Ravinnepitoisuudet	17
351. Lehdet	17
352. Rungon puuaine ja kuori sekä oksat	20
36. Puustoon sitoutuneiden ravinteiden määrä	23
37. Tuhot	25
4. TULOSTEN TARKASTELU	26
5. TIIVISTELMÄ	28
KIRJALLISUUS — REFERENCES	30
SUMMARY	32
LIITTEET — APPENDICES	33

FERM, A. 1985. Jätevedellä kasteltujen lehtipuiden alkukehitys ja biomassatuotos kaatopaikalla. Summary: Early growth and biomass production of some hardwoods grown on sanitary landfill and irrigated with leachate wastewater. *Folia For.* 641: 1—35.

Tutkimuksen tavoitteena oli kehittää kaatopaikan valuma- ja suotovesien käsittelymenetelmä, jossa täyttöalueelta purkautuvan veden määrää pienennetään käyttämällä tätä jätevettä nopeakasvuisten puuviljelmien kasvatukseen.

Kokeet perustettiin kolmelle kaatopaikalle: vuonna 1982 Hollolaan sekä vuosina 1983 ja 1984 Lahteen ja Valkeakoskelle. Jätepenkereen peitemaana käytettiin Hollolassa hiekkamoreenia, Lahdessa kuori-lietehumusta sekä Valkeakoskella soraista hiekkamoreenia ja karkeata hiekkaa. Viljelmien puulajit olivat vesipaju (*Salix 'Aquatica'*), koripaju (*S. viminalis*), ruhtinaanpoppeli (*Populus rasmuskyana*) ja rauduskoivu (*Betula pendula*). Kasvatustiheys vaihteli 25 000...100 000 kpl/ha. Tavoitteellisina kastelutasoina olivat 0, 500 ja 1 000 mm kasvukautta kohti.

Käytetty jätevesi oli hyvin suolapitoista. Veden sähkönjohtavuus vaihteli 3 000...8 000 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Natrium-, kalium- ja kloridipitoisuudet olivat erityisen korkeita. Myös tyyppiä oli runsaasti. Sen sijaan raskasmetallipitoisuudet olivat alhaisia. Kastelu nosti hieman maan jo ennestään korkeahkoa pH:ta. Lahden kaatopaikalla maan natrium-, kalium- ja magnesiumpitoisuudet nousivat moninkertaisiksi, natriumpitoisuus jopa kolmikymmenkertaiseksi suurimmalla kastelutasolla. Sen sijaan kalsiumpitoisuus näytti vähenevän. Maa muuttui Lahdessa alkaliseksi heti ensimmäisen kasvukauden jälkeen.

Valkeakosken kaatopaikalla vesipaju ei menestynyt kumpanakaan koevuotena lähinnä jäteveden toksisuuden ja kovan kasvualustan vuoksi. Sen sijaan Lahdessa vesipajun valtipituus oli yli 3 m jo toisen kasvukauden jälkeen ja Hollolassa 4 m kolmannen kasvukauden jälkeen. Hollolassa kastelu edisti selvästi vesipajun pituuskasvua kolmantena kasvukautena. Ruhtinaanpoppeli saavutti kolmessa kasvukaudessa 3 m valtipituuden kastelusta riippumatta. Rauduskoivu kasvoi hitaammin kuin pajut tai poppeli.

Varsinkin Lahden kaatopaikalla kastelu vaikutti biomassakertymään hyvin selvästi. Vesipajun kahden kasvukauden biomassatuotos, 34 t/ha 500 mm:n kastelulla lienee korkein Suomessa julkaistu tuotosarvio puuvartisille kasveille. Hollolan kaatopaikalla kolmivuotiaiden vesipajujen suurin biomassatuotos oli 29 t/ha ja poppeliä 15 t/ha.

Eri puuosien tyyppi-, fosfori-, kalium- ja magnesiumpitoisuudet eivät eronneet sanottavasti eri käsittelyjen välillä. Lehtien rautapitoisuus kohosi, mutta mangaani- ja kalsiumpitoisuudet alenivat kastelun takia. Runsaasta jätevesikastelusta johtuvia kasvuvaurioita havaittiin kasvustoissa, joissa lehtien natrium- ja kloridipitoisuudet olivat hyvin korkeita. Erityisesti vesipaju käytti runsaasti ravinteita. Kaksivuotiaaseen vesipajukasvustoon oli enimmillään sitoutunut tyyppiä, fosforia, kaliumia, kalsiumia ja magnesiumia 350, 43, 230, 195 ja 31 kg/ha.

The aim of the study was to establish fast growing tree stocks on sanitary landfills and to diminish leachate reservoirs by irrigating these tree stocks with leachate.

The experiments were conducted on three sanitary landfills. Different soil materials were used as topsoil: gravelly sand moraine in Hollola, bark humus and sludge in Lahti and both gravelly sand moraine and coarse sand in Valkeakoski. Selected tree species were *Salix 'Aquatica'*, *S. viminalis*, *Populus rasmuskyana* and *Betula pendula*. Planting density varied between 25 000...100 000 cuttings or transplants per hectare. The amount of irrigation was 0, 500 and 1000 mm of leachate.

Irrigation water was very saline, electrical conductivity varying between 3 000...8 000 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Particularly K, Na and chloride contents were high. On the other hand, heavy metal contents were low in all leachates.

Irrigation raised soil pH slightly. Soil Na, K and Mg contents increased manifold due to irrigation in Lahti sanitary landfill. Na content increased 30-fold with the highest irrigation level. Soil Ca content was decreasing.

The trees (willows) did not survive on Valkeakoski landfill because of the toxic waste-water and the compactness of the landfill. On the other hand, the dominant height of *Salix 'Aquatica'* in Lahti was more than 3 m already after two growing seasons, and in Hollola 4 m after three growing seasons. The height growth was greatly improved by irrigation in Hollola during the third growing season. *Populus rasmuskyana* reached the dominant height of 3 m irrespective of irrigation. *Betula pendula* grew more slowly than willows or poplars.

The biomass production of trees was greatly affected by irrigation. In Lahti the highest production with *S. 'Aquatica'* in two years, 34 t/ha with 500 mm irrigation, is amongst the highest production figures for woody plants in Finland. In Hollola willows produced 29 t/ha and poplars 15 t/ha during three growing seasons.

The highest biomass production was in stands with equal proportion of ammonium and nitrate in the soil. N, P, K and Mg contents of different parts of the trees were similar in different irrigation treatments. Irrigation increased foliar Fe and decreased foliar Mn and Ca. Foliar Na and chloride contents were very high in stands where dieback and toxicity symptoms were observed.

Particularly *S. 'Aquatica'* had a high nutrient consumption. At its maximum 350, 43, 230, 195 and 31 kg/ha of N, P, K, Ca and Mg respectively were bound into the two-year-old thickets.

ODC 176.1 + 181.525 + 232.322.4 + 237.6
ISBN 951-40-0722-0
ISSN 0015-5543

1. JOHDANTO

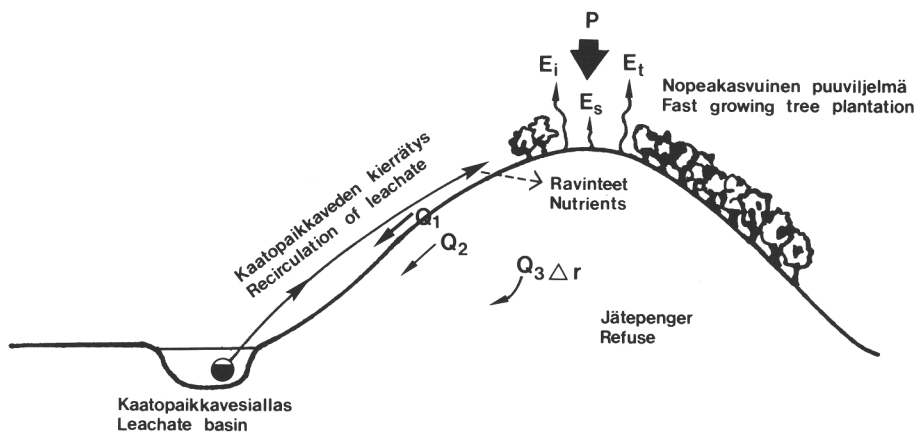
Suomessa oli käytössä vuonna 1984 lähes 850 kaatopaikkaa. Niiden valuma- ja suotovesien käsittely on osoittautunut kohtuullisin kustannuksin vaikeaksi (Johansen 1975, Lehtonen 1979). Useimmilla kaatopaikoilla ei ole lainkaan vesiensuojeluun liittyviä rakenteita tai niissä on tehty vain ojitus. Yleisimmin jätevedet hävitetään maahan imeyttämällä. Jätevesien laatu vaihtelee suuresti. Tyypillisimpiä ominaisuuksia ovat korkea typpipitoisuus ja alkaliteetti sekä joillakin kaatopaikoilla lisäksi eräiden metallien korkeat pitoisuudet.

Käytöstä poistetun kaatopaikan tai sen osan maisemointi ja tähän liittyvä kasvittaminen on usein vaikeata. Kasvualustassa leimaa antavia piirteitä ovat maan suuri tiiviys, korkea lämpötila ja kuivuus. Kaatopaikat painuvat ja niistä erittyy kaasuja. Usein myös jätepenkereen peittäminen maa-aineksella toteutetaan puutteellisesti ja kasvilajin

valinta epäonnistuu (Konold ja Zeltner 1981).

Jätevesikastelun vaikutusta puiden kehitykseen on tutkittu jonkin verran. Kastelukokeita on tehty käyttäen yhdyskuntien (Bialkiewicz 1978, Smith ym. 1979, Sopper ja Kerr 1979, David ja Struchtemeyer 1982), teollisuuden (Harrington ym. 1979, Hansen ym. 1980) tai molempien (Cromer ym. 1982, Stewart ja Flinn 1984) jätevesiä. Toisaalta eri puulajien menestymistä kaatopaikoilla on selvitetty (Flower ym. 1978, Gilman ym. 1981, Peeters 1981). Viimeaikoina on tutkittu myös kaatopaikan jätevesien sadettamista puu- ja ruohokasvustoihin (FoU Avfall 1983, Menser ym. 1983).

Tässä tutkimuksessa testattiin eräiden lehtipuulajien menestymistä kaatopaikoilla sekä selvitettiin mahdollisuuksia parantaa kastelun avulla biomassatuotantoa (kuva 1). Koska kaatopaikka kasvialustana on hyvin eri-



Kuva 1. Tutkimuksen kehukset.

Fig. 1. Frames of the study.

P = sadanta — precipitation

E_i = puustopidäntä — interception

E_s = haihdunta maaperästä — evaporation

E_t = kasvillisuuden haihdunta — transpiration

Q₁ = pintavalunta — surface runoff

Q₂ = valunta täyttöalueen pintakerroksesta — subsurface runoff

Q₃ = pohjavesivalunta — ground-water runoff

Δ_r = vesivaraston muutos — change in water storage

(Ettalan 1985 mukaan — According to Ettala 1985)

koinen (esim. Flower ym. 1978, Gilman ym. 1981) ja koska kasteluun ja puiden jäteveden sietokykyyn liittyy monia epävarmuustekijöitä, tehtiin yhdellä kaatopaikalla vuonna 1982 esitutkimus (Ettala ja Ferm 1982). Saatujen myönteisten kokemusten perusteella kokeita jatkettiin ja niitä laajennettiin kahdelle muulle kaatopaikalle.

Tutkimus on tehty yhteistyössä DI Matti Ettalan kanssa. Insinööri-tieteisiin liittyvä osuus on ollut Ettalan vastuulla ja biologinen panos on kirjoittajan. Käsikirjoituksen on kirjoittaja tehnyt yksin. Erityisen merkittävää on ollut Insinööri-toimisto Paavo Ristola Oy:n

toimihenkilöiltä saatu apu kokeiden perustamisessa, hoidossa ja mittauksissa. Ravinneanalyytit tehtiin MMK Ansa Pilkkeen johdolla. Aineiston käsittelyssä avusti LuK Eija-Riitta Huuki, kuvien piirtämisessä merkonomi Maire Ala-Pönttiö ja toimittamisessa ymerkonomi Keijo Polet. Professorit Eino Mälkönen, Eero Paavilainen ja Paavo Pelkonen sekä FK Hannu Raitio ja MH Jyrki Hytönen ovat lukeneet käsikirjoituksen ja tehneet siihen varteenotettuja huomautuksia. Maj ja Tor Nesslingin säätiö on vuosina 1983—1984 auttanut apurahan turvin tämän tutkimuksen edistymistä. Säätiön puolesta valvojana toimi dos. Veijo Ilmavirta ja seurantaryhmässä olivat lisäksi DI Eero Laukkanen ja MMT Veli Pohjonen. Kiitän kaikkia lämpimästi saamastani avusta.

2. AINEISTO JA MENETELMÄT

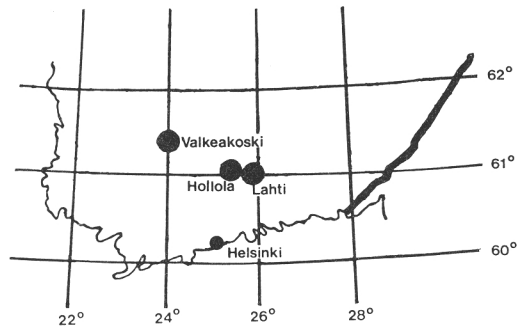
21. Kokeiden perustaminen

Tutkimuksessa mukana olleet kaatopaikat sijaitsevat Hollolassa (Aikkala), Lahdessa (Kujala) ja Valkeakoskella (Lumikorpi) (kuva 2). Kokeet perustettiin Hollolaan vuonna 1982, Lahteen ja Valkeakoskelle vuonna 1983. Yleistiedot kaatopaikoista on esitetty taulukossa 1.

Jätteiden täyttämisen jälkeen kaatopaikkamaa tiivistetään joko telapuskutraktorilla (Hollola) tai kaatopaikkajyrällä (Lahti ja Valkeakoski). Kasvuolojen parantamiseksi levitettiin Hollolan kaatopaikalle maanrakennustyömailta saatua soraista hiekkamoreenia (organista ainesta 4...5 %) noin 25 cm:n paksuinen kerros. Lahdessa vastaavana pintamaana käytettiin kuivastusta jäteliitteestä ja kuorijätteestä tehtyä kompostimaata (org. ainesta 40...50 %), jota vuoden 1983 kokeita varten levitettiin noin 25...30 cm:n kerros ja vuonna 1984 noin 15 cm:n kerros. Valkeakoskella pintamaana käytettiin vuonna 1983 vastaavanlaisia maa-ainesta kuin Hollolassa, mutta heikon kasvutuloksen vuoksi koealue uusittiin vuonna 1984 käyttämällä karkeata hiekkaa (org. ainesta alle 1 %).

Valittavilla puulajeilla tuli olla seuraavia ominaisuuksia: nopea kasvu, hyödyntävät kasvukauden tarkoin, runsas veden ja ravinteiden käyttö, laaja kasvupaikka-amplitudi, stressin sietokyky ja viljelyn helppous. Suomalaisista energiametsäviljelytutkimuksista saatujen kokemusten perusteella päädyttiin seuraaviin puulajeihin: Hollolaan vesipaju (*Salix 'Aquatica'*), ruhtinaappeli (*Populus rasumowskyana*) ja rauduskoivu (*Betula pendula*), Lahteen vesipaju ja koripaju (*S. viminalis*) sekä Valkeakoskelle vesipaju. Pajut ja poppeli viljeltiin pistokkaina. Pajun pistokkaat oli tehty yksivuotiaista versoista. Sen sijaan poppelin pistokkaat oli leikkattu varttuneiden puistopuiden oksista. Rauduskoivu viljeltiin paljasjuurisilla 1M+1A taimilla. Kunakin viljelyvuonna istutustyö tehtiin toukokuun alussa heti lumen sulamisen jälkeen. Viljelytyötä vaikeutti kuori-lietehumusta lukuunottamatta maan kovuus.

Koealojen koko oli 100 m². Viljelytiheys oli Hollolassa kaikilla puulajeilla 30 000 kpl/ha, Lahdessa 50 000



Kuva 2. Kaatopaikkojen sijainti.

Fig. 2. Location of sanitary landfills.

kpl/ha sekä Valkeakoskella 25 000, 50 000 ja 100 000 kpl/ha. Lahdessa toinen puoli koealasta viljeltiin vesipajulla ja toinen puoli koripajulla. Hollolan ja Lahden kaatopaikoilla kasteluveden määräksi valittiin 500 mm ja 1000 mm kasvukautta kohti. Valkeakoskella kastelun määrä oli vain 500 mm. Kaikilla kaatopaikoilla oli vertailuruudut, joita ei kasteltu. Hollolassa toistoja oli puulajia kohti kaksi, Lahdessa ja Valkeakoskella kolme. Kasteluvesi pumpattiin kaatopaikkojen reunoilla sijaitsevista jätevesien tasausaltaista. Hollolassa kastelu tapahtui letkusta valuttamalla, Lahdessa sadettamalla sekä Valkeakoskella jakokourun (kanavan) avulla vuonna 1983 ja vuonna 1984 sadettamalla. Kasteluvesi pyrittiin annosteamaan kasvustojen kasvukautisen kehityksen sekä oletetun veden- ja ravinnetarpeen mukaan (ks. Ingestad 1979) siten, että suurimmat vesiansokset ajoittuisivat heinäkuuhun. Monien teknisten vaikeuksien vuoksi tässä ei täysin onnistuttu eivätkä lopulliset kasteluvesimäärätkään kaikilta osin vastanneet tavoitettua (liite 1). Lahden kokeen suurimmat poikkeamat sat-

Taulukko 1. Yleistiedot kaatopaikoista.
Table 1. Characteristics of the landfills.

Kaato- paikka — Sanitary landfill	Perus- tamis- vuosi — Year of estab- lishment	Pinta- ala — Area, ha	Jätepen- kereen suurin korkeus — Greatest height, m	Yhdys- kunta- jätettä — Comm- unity refuse, t/a	Jätteen peittä- minen — Covering the refuse	Erytis- piirteet — Special features
Hollola	1974	3	12	5200	Vähäis- tä — Minor	Umpi- ja sakokaivo lietettä — Sludge 10000 m ³ /a
Lahti	1955	17	8	38000	Runsas- ta — Abundant	Teollisuus- lietettä — Industrial sludge 10000 m ³ /a, tuhkaa ja kuonaa — ash and slag
Valkea- koski	1964	8	6	8000	Kohta- laista — Moderate	Teollisuus- lietettä — Industrial sludge (Zn ja S yhdistei- tä — compounds) 10000 m ³ /a

tuivat vuoden 1984 kasvukauden alussa, jolloin sadet-
timien epäkunnon vuoksi eräät koeruudut saivat huo-
mattavasti suurempia viikkoannoksia kuin oli suunnit-
teltu. Hollolassa taas kastelumäärä oli joka vuosi alhai-
sempi kuin tavoite. Eri kastelutasoista käytetään sel-
vyyden vuoksi tästä lähtien merkintöjä: 0 = ei kastelua,
I = alhaisin kastelutaso ja II = korkein kastelutaso.

22. Mittaukset

Vuoden 1983 kasvukauden kuluessa otettiin kaikilta
kaatopaikoilta 7...12 kertaa näytteet kasteluviedestä.
Vedestä analysoitiin sähköjohtavuus, pH, COD_{Mn},
BOD₇, kiintoaine, alkaliteetti, kokonais- ja ammonium-
typpi, kokonaisfosfori ja -rikki, kloridi, Fe ja Mn stan-
dardimenetelmän Vesiteknikka Oy:ssä. Koska veden
laatu vaihteli vain vähän kasvukauden aikana kulla-
kin kaatopaikalla, vähennettiin vuonna 1984 näytteiden
määrä 4...6:een. Tuolloin määritettiin lisäksi K, Ca,
Mg, Na, B sekä raskasmetallit Al, Cu, Zn, Ni, Cd ja Pd.

Maanäytteet otettiin kaikista käsittelyistä seuraavas-
ti: marraskuussa 1983 ja syyskuussa 1984 kaikilta kol-
melta kaatopaikalta sekä toukokuussa 1983 Hollolasta
ja Lahdesta. Kunkin koeruudun näyte koostui viidestä
osanäytteestä, vuonna 1983 10 ja 30 cm:n kerroksista
sekä vuonna 1984 20 cm:n kerroksesta. Näytteistä an-
alysoitiin johtoluku ja pH_{H₂O} sekä NH₄⁺, NO₃⁻ (vain
1984), liukoinen P ja vaihtuvat K, Ca, Mg, Na, Mn, Fe
ja Cu Vesiteknikka Oy:ssä Halosen ja Tulkin (1981)
mukaan.

Puiden lehtien ravinnepitoisuuden määrittämistä var-

ten otettiin lehtinäytteet syyskuun puolivälissä vuosina
1983 ja 1984. Näytteet poimittiin kultakin ruudulta vä-
hintään 15:sta valtaimesta siten, että yhdestä yksilöstä
otettiin ylälehtien alapuolelta kolme lehteä ilman kan-
taa. Lehtien ravinnepitoisuuksien kasvukautisen vaihte-
lun selvittämiseksi kerättiin Hollolan kaatopaikalta ves-
sipajun (3. kasvukausi) lehtinäytteet 1.6., 1.7., 1.8. ja
16.9. 1984. Laboratoriossa lehdet kuivattiin välittömästi
70 °C:n lämpötilassa ja jauhettiin jatkokäsittelyä varten.
Puuston biomassamittauksien yhteydessä (16.—20.9.
1984) otettiin lehtien lisäksi oksista ja rungosta näytteet
ravinneanalyysejä varten. Rungon puuainesta ja kuores-
ta tehtiin erilliset analyysit. Näitä varten runkonäyte
pyrittiin ottamaan kohdasta, jossa kuoriosuus olisi kes-
kimääräinen. Näyte otettiin 50 cm:n etäisyydeltä tyvestä
(vrt. Hytönen ja Ferm 1984). Lehdistä analysoitiin N,
P, K, Ca, Mg, Fe ja Mn sekä oksista, rungon puuai-
neesta ja kuoresta N, P, K, Ca ja Mg Halosen ja Tulkin
(1981) mukaan. Kesällä 1984 ilmeni Lahden kaatopai-
kan pajukasvustoissa kastelusta johtuvia kasvuvaurioi-
ta. Tällöin poimituista lehtinäytteistä määritettiin edellä
mainittujen ravinteiden lisäksi Na, Cl ja S Viljavuuspal-
velu Oy:ssä.

Maan lämpötilaa mitattiin touko-syyskuussa Jenway
PCT 101-mittarilla (mitt. tark. ±0,5 °C) vuonna 1983
Lahdessa kahdeksan ja Hollolassa yhdeksän kertaa sekä
vuonna 1984 Lahdessa 15 ja Hollolassa 11 kertaa.
Mittaukset tehtiin kaikilta ruuduilta viidestä eri pistees-
tä 20 cm:n syvyydeltä.

Puuston elossaolo-osuus ja pituus mitattiin jokaisen
kasvukauden jälkeen. Lisäksi vuonna 1984 mitattiin
puiden paksuus sekä arvioitiin puuston maanpäällinen
biomassa. Runkolokusarja selvitettiin satunnaistetulla

systemaattisella otannalla (ks. Hytönen 1985b). Otosyksikkönä oli kahden metrin pituinen rivi siten, että otannan kooksi tuli vähintään 10 % ruudun pinta-alasta. Puiden ja vesojen pituus mitattiin 1 cm:n tarkkuudella ja läpimitta 1 dm:n etäisyydeltä tyvestä 1 mm:n tarkkuudella. Luetut puut noudattivat suhteellisen hyvin normaalijakaumaa. Reunimmaisista riveistä ei hyväksytty otantaan mahdollisen reunavaikutuksen vuoksi (Zavitkovski 1981). Koepuuaineisto poimittiin runkolukusarjan mukaisesti puulajeittain ja käsittelyittäin siten, että jokaiselta koeruudulta tuli koepuita mukaan. Koepuiden rungon, oksien ja lehtien tuoremassa punnittiin (1 g:n tark.) maastossa. Kuiva-ainepitoisuuden määrittämiseksi kuivattiin erillisiä oksa- ja runkonäytteitä 1–2 vrk lämpökaapissa 105 °C:n lämpötilassa sekä lehtinäytteitä vastaavasti 80 °C:n lämpötilassa. Koepuiden biomassaositteille laskettiin kuivamassayhtälöt allometrisella mallilla: $Y = a \cdot X^b \cdot \epsilon$, missä selittäjänä oli tyvilämpötilan neljän ja pituuden tulo (ks. Björklund ja Ferm 1982, Hytönen 1985b). Yhtälöt laskettiin logaritmi-muunnoksen avulla. Muutettaessa yhtälöt takaisin aritmeettiseen muotoon lisättiin yhtälön vakioon logaritmi-muunnoksen edellyttämä korjaustekijä $s^2/2$, missä s on yhtälön jäännöshajonta. Vuoden 1984 koepuuaineisto ja kuivamassayhtälöt on esitetty liitteessä 2.

Lasketut kuivamassayhtälöt ennustivat yleensä hyvin kulloinkin kyseessä olevan biomassaositteiden ja olivat additiivisia verrattaessa ositteiden yhteenlaskettua ja kokonaismassan yhtälöllä saatuja tuloksia. Yksivuotiaille pajuille lasketut oksien kuivamassayhtälöt olivat kuitenkin hyvin epävarmoja. Tämä johtui siitä, että yksivuotiaissa pajuissa ei aina edes ole oksia.

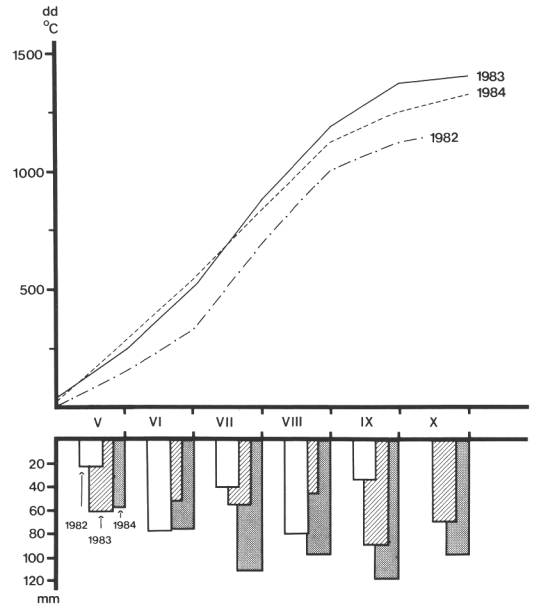
23. Sääolot

Tutkimusjakson säätiiedot on mitattu Lahden Laukeen sääasemalla, jonka tiedot yleispiirtein kuvaavat kaikkien tutkimusalueiden sääoloja. Seuraavassa asemelmassa on esitetty eri vuosien kasvukautinen lämpösoma, sademäärä sekä evaporaatio (Class A pan).

	1982	1983	1984
Lämpösoma, dd	1133	1407	1322
Sademäärä, mm	254	375	471
Class A pan, mm	—	407	390

31. Kasteluveden laatu

Kasteluveden pH ja sähkönjohtavuus vaihtelivat eri kaatopaikoilla kasvukauden kuluessa hyvin vähän (variaatiokerroin alle 5 %). Sensijaan kaatopaikkojen välillä oli eroja näiden tunnusten suhteen (taulukko 2). Hollolassa jäteveden pH oli noin 6,5, Lahdessa



Kuva 3. Lämpösoma ja sademäärä kuukausittain tutkimuksen aikana.

Fig. 3. Temperature sum and monthly precipitation during the study years.

Kaikkina vuosina toukokuu, jolloin kastelu aloitettiin, oli lämpimämpi kuin pitkäaikaiskeskiarvo vuodelta 1931–60. Erityisesti vuoden 1984 toukokuu oli hyvin lämmin. Lämpösoma kastelun aloittamishetken mennessä kertynyt vuonna 1982 noin 140 dd:tä, vuonna 1983 240 dd:tä ja vuonna 1984 260 dd:tä (kuva 3). Kesäkuu oli vuonna 1982 kylmä ja kokonaisuudessaan tämän kasvukauden lämpöolot olivat heikommat kuin seuraavien vuosien. Lisäksi merkille pantavaa on vuoden 1983 lämmin syyskuu. Sademäärä kasvukauden eri kuukausina vaihteli 20...120 mm (kuva 3). Vuoden 1984 kasvukausi oli runsasasteinen ja vuoden 1982 kasvukausi taas vähäasteinen.

3. TULOKSET

noin 8 ja Valkeakoskella yli 8. Veden sähkönjohtavuus oli erittäin korkea erityisesti Valkeakoskella, mutta Hollolankin jätevesi on sähkönjohtavuuden perusteella luokiteltavissa erittäin suolapitoiseksi (esim. Vic. Irrig. Res. Advis. Serv. Comm. 1980).

Kasteluveden muut ominaisuudet on esitetty liitteessä 3. Veden tyyppi oli noin 90 %:sti

ammoniummuodossa. Natriumia, kaliumia ja magnesiumia kaatopaikkavesissä oli tyyppillisen runsaasti (Johansen 1975, FoU Avfall 1983, Jorgensen 1984). Myös booria oli paljon etenkin Lahdessa ja Hollolassa. Kalsiumia sensijaan Hollolaa lukuunottamatta oli melko vähän. Fosforia on kaatopaikan jätevesissä yleensäkin niukasti.

Kaikkia muita ravinteita paitsi fosforia kastellut puustot saivat monikertaisen määrän verrattuna siihen, mitä niille lannoituksessa annettaisiin (taulukko 3). Esimerkiksi Lahdessa II kastelutasolla typen määrä oli hehtaria kohti 1,4 tonnia, kaliumin 2,6 tonnia ja magnesiumin 1,6 tonnia. Lisäksi natriumin (11,1 t/ha) ja kloridin (4,7 t/ha) mää-

rät olivat äärimmäisen korkeita. Valkeakoskella oli kahden viimeksi mainitun lisäksi vielä rikkiä hyvin runsaasti (2,0 t/ha). Hollolan kastelueden erikoispiirre oli rauta, jonka määrä II kastelutasolla oli 1,0 t/ha.

Jätevesien sisältämien raskasmetallien pitoisuuksia voidaan pitää alhaisina verrattuna muihin kaatopaikan valuma- ja suotovesistä tehtyihin analyyseihin (taulukko 4) (Johansen 1975, Chian ja DeWalle 1976, Jorgensen 1984). Ainoastaan Hollolan kaatopaikan jäteveden alumiinipitoisuutta voitaneen pitää korkeahkona.

32. Kastelun vaikutus maahan

321. pH, johtoluku ja ravinnepitoisuudet

Hollolan kaatopaikalla pH mitattiin vasta yhden kasvukauden kastelun jälkeen. Mikäli nollaruutujen pH-arvoja verrataan kasteltuihin ruutuihin, näyttäisi siltä, että kastelun vaikutuksesta maan pH nousisi jonkin verran (kuva 4). Tulokseen jää kuitenkin epävarmuutta, koska alkutilannetta ei ole kartoitettu. Lahdessa maan pH oli kahden kasvukauden jälkeen kastelemattomissa koejäsenissä 1,0...1,5 pH-yksikköä alhaisempi kuin kastelun saaneissa (kuva 4). Valkeakoskella maan oli emäksistä vuonna 1983 (pH 8).

Maan johtolukuarvot vaihtelivat melko paljon sekä Hollolan että Lahden kaatopaikalla (kuva 4). Huomiota kiinnittää kevään

Taulukko 2. Kastelueden pH ja sähkönjohtavuus keskimäärin eri tutkimusvuosina.

Table 2. Electrical conductivity and pH of leachates during the study years.

Kaatopaikka — Sanitary landfill	Vuosi — Year	pH	Sähkönjohtavuus — Electrical conductivity, $\mu\text{S}/\text{cm}$
Hollola	1982	6,5	3460
	1983	6,5	3000
	1984	6,6	3150
Lahti	1983	7,9	5930
	1984	8,1	4600
Valkeakoski	1983	8,1	8830
	1984	8,2	7810

Taulukko 3. Kastelueden ravinne määrät eräillä kasteluannoksilla vuonna 1984. Vertailuna Normaali Y-lannoksen 600 kg/ha sisältämä ravinne määrä.

Table 3. Amount of nutrients in leachates in 1984. Normal fertilizer mixture (600 kg/ha) as a comparison.

Kaatopaikka — Sanitary landfill	Kastelutaso — Irrigation level, mm	N	P	K	Ca	Mg	Na	Fe	Mn	B	S	Cl
		kg/ha										
Hollola	I	299	1,6	255	550	103	363	510	10	4	12	508
	II	599	3,3	510	1100	206	725	1020	20	9	23	1015
Lahti	I	752	1,6	1380	166	859	5816	48	2	14	27	2470
	II	1439	3,1	2642	319	1645	11133	93	3	28	51	4729
Valkeakoski	I	255	8,0	590	360	*)	11625	220	4	4	1060	2040
Normaali Y-lannos — Normal fertilizer mixture, 600 kg/ha		96	42	80	14	1	3	1	—	0,3	12	76

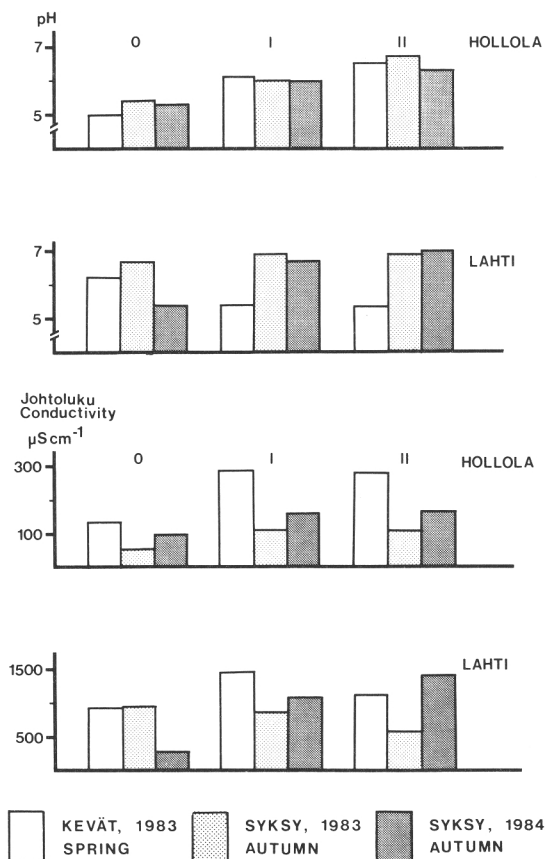
*) puuttuu —
missing

Taulukko 4. Kasteluvesien alumiini- ja raskasmetallipitoisuudet.
 Table 4. Aluminium and heavy metal contents of leachates.

Kaatopaikka — Sanitary landfill	Al μg/l	Cu	Zn	Cr	Ni	Cd	Pd
Hollola	4500	77	240	75	40	0,5	23
Lahti	200	22	10	17	37	0,2	1
Valkeakoski	1400	180	140	84	43	0,3	9

1983 suuret arvot, jotka voivat johtua jonkin ravinteiden suuresta mobilisoitumisesta tai useamman ravinteiden yhdysvaikutuksesta. Lahdessa johtoluku oli kahden kasvukauden jälkeen alle 500 μS/cm kastelemattomissa ruuduissa, noin 1000 μS/cm I kastelutasolla ja vajaa 1400 μS/cm II kastelutasolla. Hollolassa ja Valkeakoskella maan johtoluku kivennäispitoisemman maan vuoksi oli huomattavasti alhaisempi kuin Lahdessa.

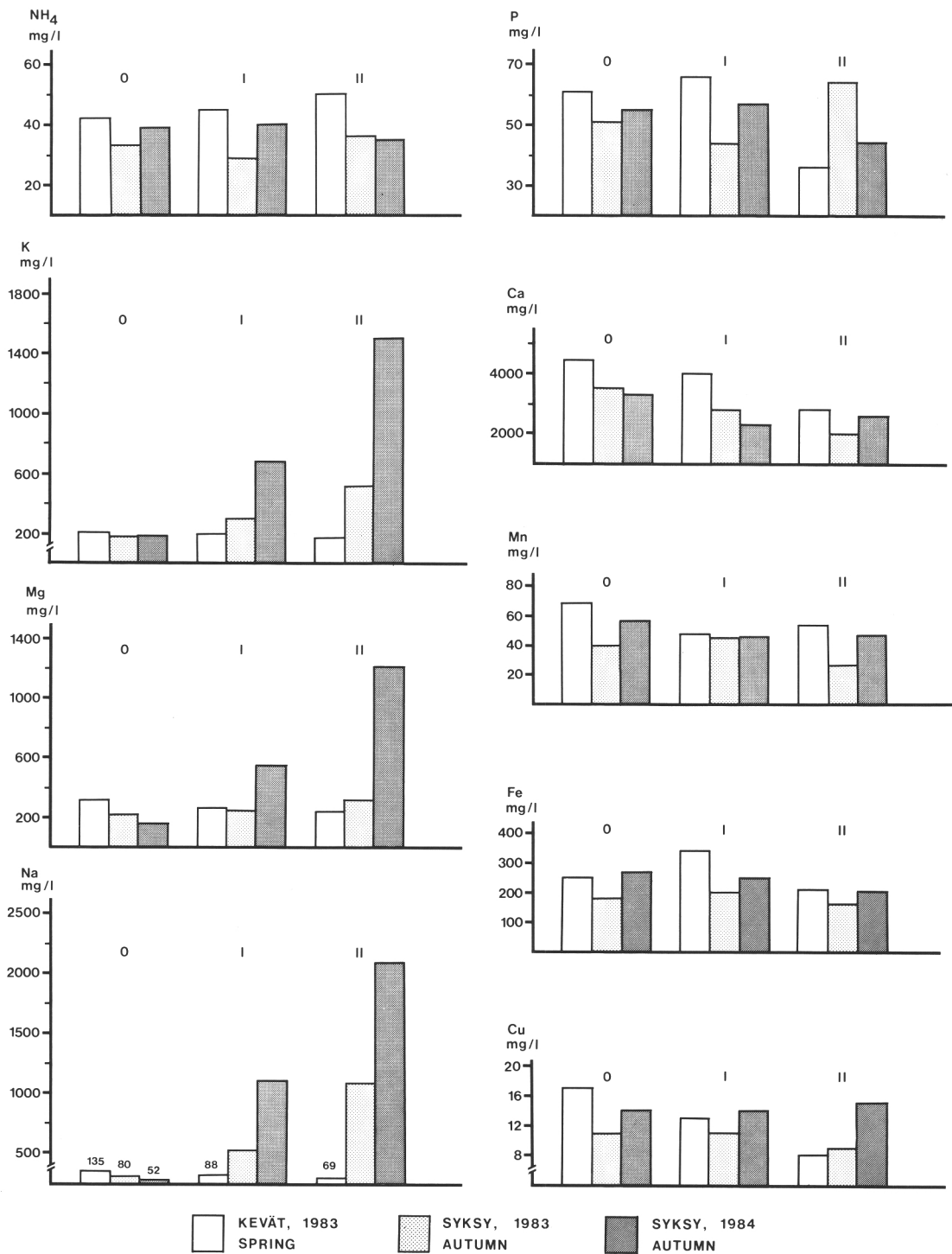
Lahdessa peitettynä käytetyn kuori-lietehumuksen ravinnetilanne oli hyvä ilman kasteluakin (kuva 5) (vrt. Kurki 1982). Hollolassa ravinnetilanne oli korkeintaan välttävä (kuva 6). Kastelun vaikutus maan eri ravinteiden pitoisuuksiin oli tilastollisesti tarkasteltavissa ainoastaan Lahden kokeessa, jossa eri käsittelyjä verrattiin kahden kastelukauden jälkeisessä tilanteessa. Ammoniumtyypen, kalsiumin, raudan, mangaanin eikä kuparin pitoisuuksissa ollut eroja eri käsittelyjen välillä. Nitraattityppeä oli II kastelutasolla enemmän kuin muissa käsittelyissä ($p < 0,01$). Ammonium- ja nitraattityppeä oli maassa II kastelutasolla suhteessa 1:3, I kastelutasolla suhteessa 1:1 ja käsittelyssä, jota ei kasteltu, maan tyyppi oli pääosin ammoniumia. Maan alkaliteettia lisäävien kaliumin, magnesiumin ja natriumin pitoisuudet lisääntyivät suuresti kastelun vaikutuksesta (kuva 5). Kalium- ja natriumpitoisuus oli korkein II kastelutasolla ($p < 0,01$) ja I kastelutasokin erosi tilastollisesti kastelemattomasta käsittelystä ($p < 0,05$). Maan kaliumpitoisuus kohosi I kastelutasolla kolminkertaiseksi ja II kastelutasolla seitsemänkertaiseksi — ollen 1 500 mg/l — alkutilanteeseen verrattuna. Natriumin lisääntyminen oli vieläkin voimakkaampaa: suurin kastelumäärä kohotti maan natriumpitoisuuden kolmikymmenkertaiseksi, 70 mg:sta/1 2 100 mg:aan/l. Mainittakoon, että esimerkiksi maamme peltojen natriumpitoisuus on keskimäärin 20...30 mg/l (Kurki 1982). Suurin kastelumäärä kohotti myös maan magne-



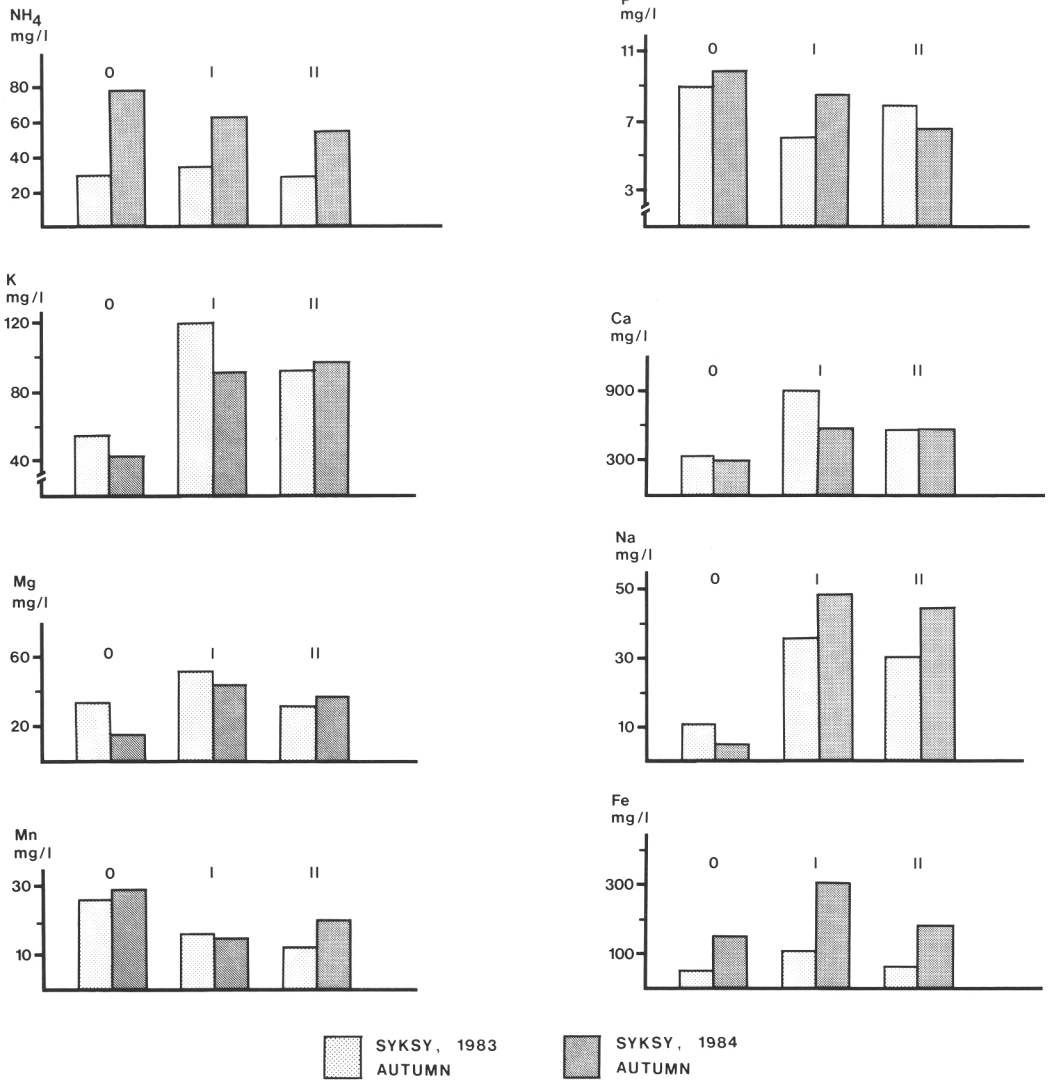
Kuva 4. Maan pH ja johtoluku Hollolan (sorainen hiekkamoreeni) ja Lahden (kuori-lietehumus) koelaloilla. 0, I, II kastelutasot.

Fig. 4. Soil pH and conductivity at Hollola (gravelly sand moraine) and Lahti (bark humus and sludge) sample plots. 0, I, II irrigation levels.

siumpitoisuutta alhaiseen kastelumäärään ($p < 0,05$) ja kastelemattomaan ($p < 0,01$) verrattuna. Sen sijaan I kastelutaso ei eronnut kastelemattomasta. Kastelu näytti vähentävän maan kalsiumia (kuva 5). Tilastollisesti sitä ei kuitenkaan voitu todentaa.



Kuva 5. Maan ravinnepitoisuudet Lahden koelaloilla. 0, I, II kastelutasot.
 Fig. 5. Soil nutrient contents at Lahti sample plots. 0, I, II irrigation levels.



Kuva 6. Maan ravinnepitoisuudet Hollolan koelaloilla. 0, I, II kastelutasot.
 Fig. 6. Soil nutrient contents at Hollola sample plots. 0, I, II irrigation levels.

Kahden kasvukauden jälkeen Lahden kaatopaikalla natriumin osuus oli vaihtuvien kationien summasta (Ca, K, Mg ja Na) kasteluissa ruuduissa 25...31 %, kun tuo osuus kastelemattomissa ruuduissa oli vain noin 1 %. Jätevesikastelu muutti kasvualustan suolaiseksi ja alkaliseksi (ks. Chapman 1966). Korkeimmalla kastelutasolla kasvualusta oli alkalinen jo ensimmäisen kastelukauden jälkeen. Hollolan ja Valkeakosken kaatopai-

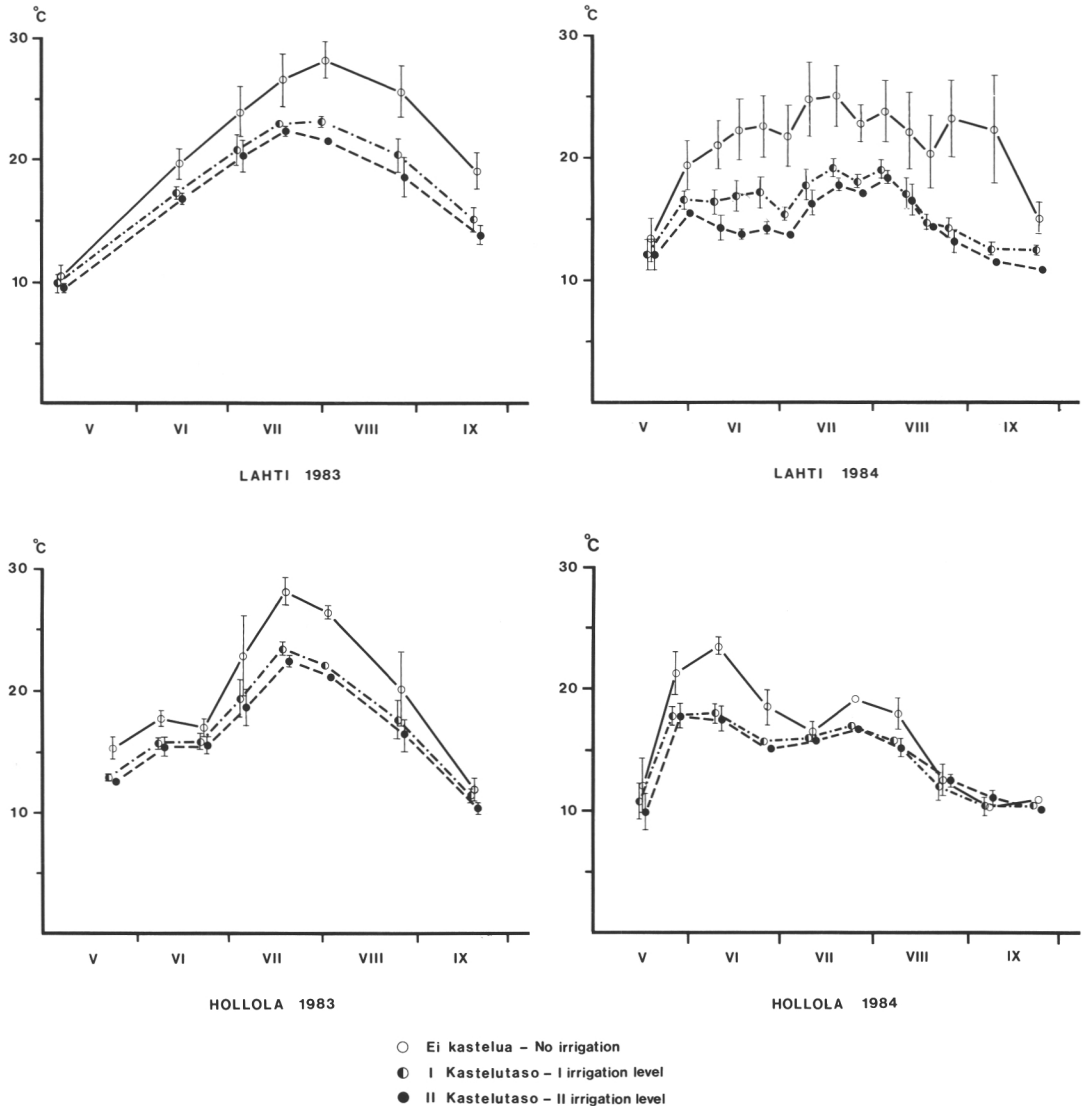
koilla natriumin osuus alkalimetalleista jäi vähäiseksi.

Hollolan kaatopaikalla jätevesikastelu ei paljontaan muuttanut maan ravinnepitoisuuksia (kuva 6). Tähän oli syynä ainakin kastelun vähäisyys ja osin epäsäännöllisyys. Myös kastelualustan laatu vaikuttanee tulokseen. Ainoastaan maan kalium- ja natriumpitoisuus näyttivät hieman lisääntyneen kastelun vuoksi.

332. Lämpötila

Hollolan ja Lahden kaatopaikoilla maan lämpötila oli korkeampi koealoilla, joita ei kasteltu, enimmillään yli 5 °C korkeampi kuin kastelluilla koealoilla (kuva 7). Kasvukauden puolivälissä vuonna 1983 maan lämpötila ylitti 20 °C kaikissa käsittelyissä kummallakin kaatopaikalla. Sen sijaan vuonna 1984 mitattiin yli 20 °C:n lämpötiloja vain

koealoilla, joita ei kasteltu. Kastelun voimakkuuskin vaikutti jonkin verran: alhaisemmalla kastelutasolla maan lämpötila oli 0,5...1,0 astetta korkeampi kuin korkeammalla kastelutasolla. Mainittakoon, että pajun viljelykokeessa turpeentuotannosta poistuneella suolla Limingan Hirvinevalla korkeimmat maan lämpötilat olivat vuoden 1983 kasvukauden aikana 14...15 °C (Lumme ym. 1984).



Kuva 7. Maan lämpötila (20 cm) Lahden ja Hollolan koealoilla. Kahden havainnon liukuvat keskiarvot. Janat = 2 kertaa keskiarvon keskivirhe.

Fig. 7. Soil temperature (20 cm) at Lahti and Hollola sample plots. Moving averages of two cases. Vertical bars = 2 times standard error of the mean.

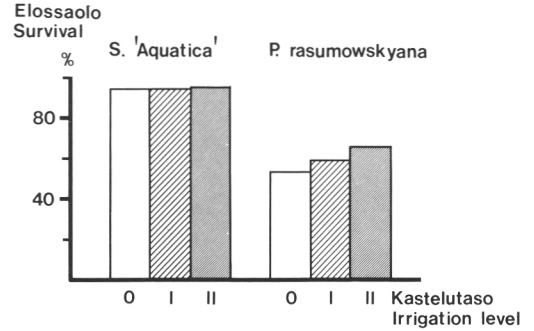
Kaatopaikalla maan lämpötila kasvien juuristokerroksessa voi nousta tavattoman korkeaksi. Tästä osoituksena oli Lahden koikesta erään kastelemattoman ruudun erään mittauspisteen lämpötila-arvot, jotka olivat kesä-heinäkuun ajan yli 40 °C sekä vuonna 1983 että 1984. Korkeimmat arvot olivat 55 °C. Tämän mittauspisteen välittömässä ympäristössä ei kasvanut ainuttakaan kasvia. Vuoden 1984 kesällä mainitusta paikasta mitattiin voimakas metaanikaasun purkaus. Korkeat lämpötilat ovat useimmiten yhteydessä kaatopaikalla esiintyviin kaasuihin (Flower ym. 1978).

33. Puiden alkukehitys

33.1. Elossaolo

Valkeakosken kaatopaikalla pajut eivät menestyneet. Pistokkasiin syntyi alkukesällä 1983 pieniä vesoja, mutta juurtuminen epäonnistui ja pistokkaat kuolivat melko pian. Vuonna 1984 tulos oli vielä heikompi. Huonoon tulokseen ei ollut syynä pistokasmateriaalin heikkous, vaan jäteveden toksisuus (ks. luku 31.). Lisäksi maan tiiviyys sekä peite-
maana käytetty hiekkamateriaali lienevät osasyynä tulokseen.

Hollolan kaatopaikalla vesipajun pistokkaista yli 95 % tuotti vesoja (kuva 8). Ruhtinaanpoppelin pistokasmateriaali oli selvästi heikompaa kuin vesipajun, mikä oli osasyynä

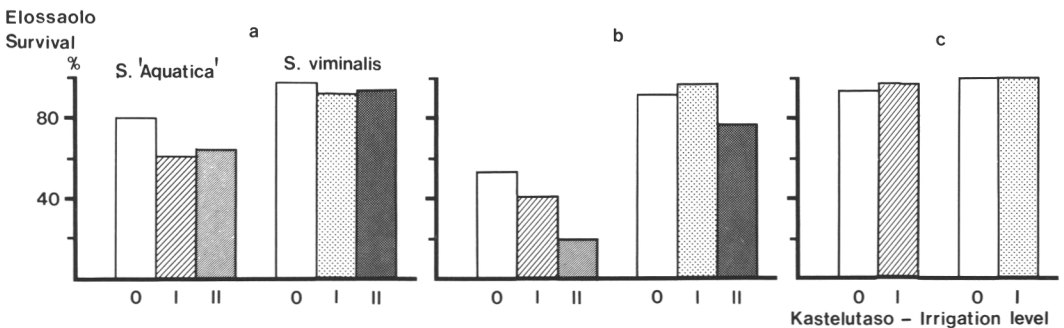


Kuva 8. Vesipajun ja ruhtinaanpoppelin elossaolo Hollolan kaatopaikalla ensimmäisen kasvukauden (1982) jälkeen.

Fig. 8. Survival of *Salix 'Aquatica'* and *Populus rasmowskyana* after the first growing season (1982) on Hollola sanitary landfill.

heikompaan elossaoloon ensimmäisen kasvukauden jälkeen (kuva 8). Rauduskoivun taimet menestyivät hyvin, sillä taimia ei kuollut istutusvuonna ja mm. jurominen oli hyvin vähäistä.

Lahden kaatopaikalla koripajun elossaolo oli vuoden 1983 kasvukauden jälkeen vesipajua suurempi niin kuori-lietehumukselle kuin pelkälle tiivistetylle pintamaalle istutettaessa (kuva 9). Vuonna 1984 juurtuivat kumman-
kin pajulajin pistokkaat lähes 100 %:sti ohuehkoa kuori-lietehumuskerrosta peite-
maana käytettäessä paitsi suurimman kaste-
luannoksen saaneissa ruuduissa, joissa pis-



Kuva 9. Vesi- ja koripajun elossaolo Lahden kaatopaikalla ensimmäisen kasvukauden (a ja b 1983, c 1984) jälkeen.

a = Peite-
maana kuori-lietehumus (25...30 cm),

b = Pelkkä tiivistetty kaatopaikan pinta,

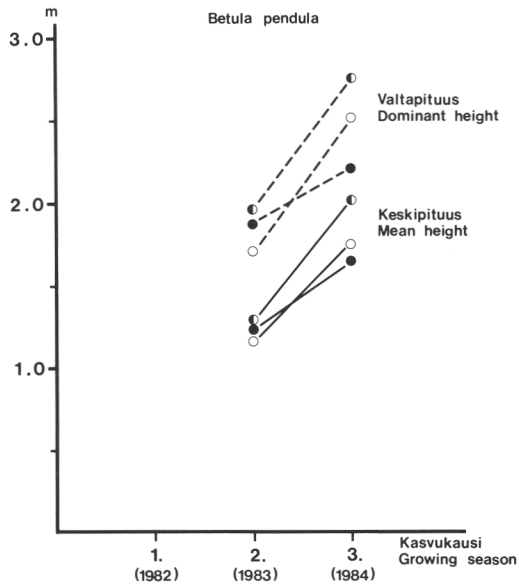
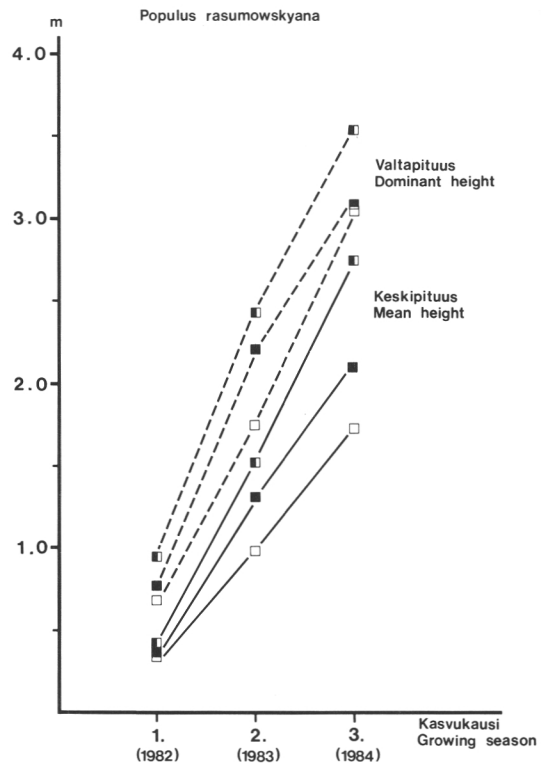
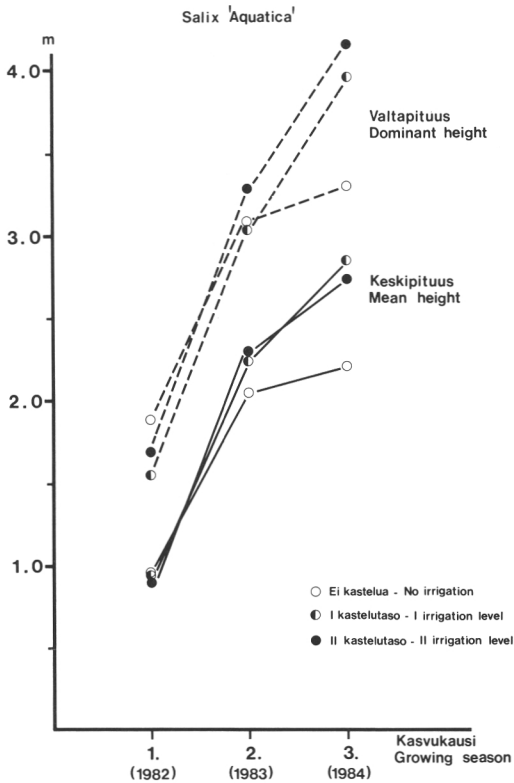
c = Peite-
maana kuori-lietehumus (15 cm).

Fig. 9. Survival of *Salix 'Aquatica'* and *S. viminalis* after the first growing season (a and b 1983, c 1984) on Lahti sanitary landfill.

a = Bark humus and sludge (25...30 cm) as topsoil,

b = Without topsoil,

c = Bark humus and sludge (15 cm) as topsoil.



Kuva 10. Puustojen valta- ja keskipituuden kehitys Hollolan kaatopaikalla kolmessa kasvukaudessa.
 Fig. 10. Development of dominant and mean height of the stands on Hollola sanitary landfill during three growing seasons.

tokkaat menehtyivät. Kahden ruudun esi-
 merkinomainen vesottaminen yhden kasvu-
 kauden jälkeen (kaato toukokuussa 1984)
 tuotti 100 %:n vesomistuloksen.

332. Pituus- ja paksuuskehitys

Hollolan kaatopaikalla jätevesikastelu ei vaikuttanut pajun eikä poppelin keski- tai valtapituuteen (5 pisimmän yksilön keskipituus näytealaa kohti) ensimmäisenä kasvukautena (kuva 10). Rauduskoivun pituustun-
 nusten kehitykseen kastelu ei mainittavasti vaikuttanut toisena tai kolmantena kasvukautena. Ruhtinaanpoppelin keskipituus oli toisen ja kolmannen kasvukauden jälkeen selvästi pienin koaloilla, joita ei kasteltu. Vesipajun pituuskasvu alkaa yleensä heiketä

kolmantena kasvukautena. Tämä näkyy Hollolassa kastelemattomilla pajuilla, suorastaan pituuskasvun päättymisenä. Sen sijaan kastelun avulla pituuskasvu jatkui vielä huomattavana (kuva 10). Vesipaju saavutti kolmen kasvukauden jälkeen kastelluilla ruuduilla 4 m ja kastelemattomilla 3 m valtapituuden. Ruhtinaanpoppelin valtapituus oli noin 3 m ja rauduskoivun 2,2...2,7 m eri käsittelyissä.

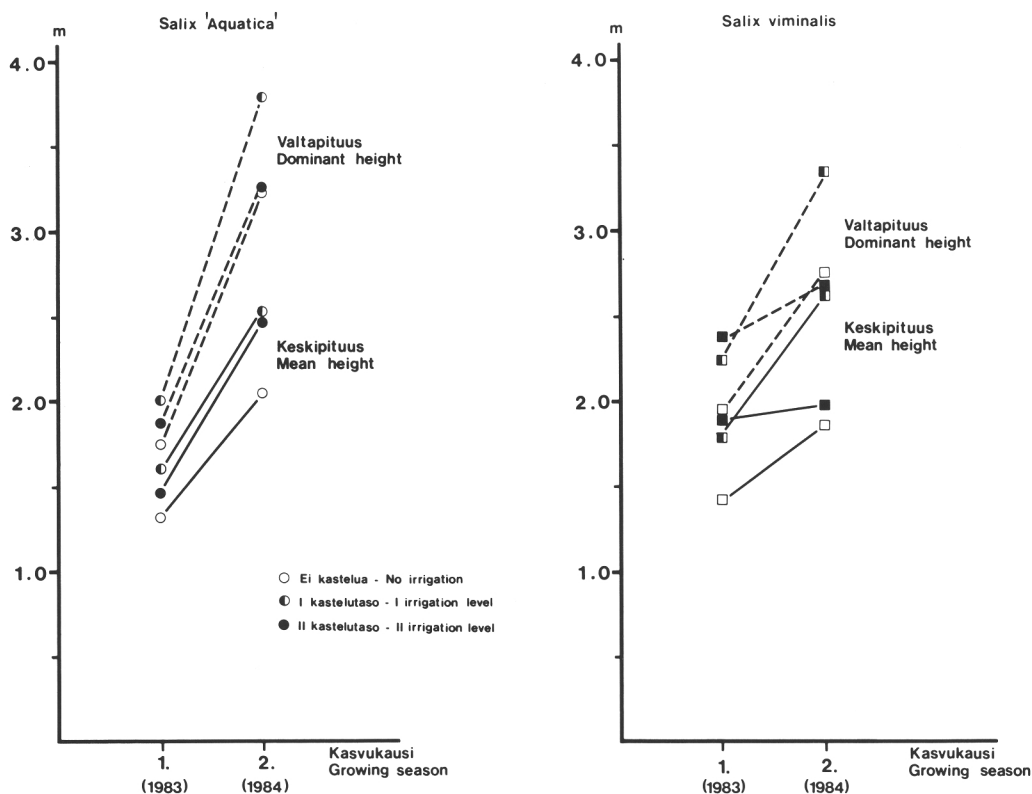
Lahden kaatopaikalla kummankin pajula-jin pituuskehitys oli nopeaa jo ensimmäisenä kasvukautena (kuva 11). Pajut, joita ei kasteltu, kasvoivat vähiten. Koripajun valtapituus ylitti kastelluilla koaloilla jopa 2 m. Koripajun toisen kasvukauden tulokseen vaikutti edellisen talven jänistuhot (ks. luku 37.). Sen sijaan vesipaju saavutti yli 3 m valtapituuden kaikissa käsittelyissä kahdessa kasvukaudessa (kuva 11). Esimerkinomainen vesottaminen osoitti, että vesojen pituuskasvu on vieläkin nopeampaa kuin pistokastai-

mien pituuskasvu. Yhden kasvukauden aikana (1984) vesipaju kasvoi keskipituudeltaan yli 2 metriseksi ja valtapituus oli peräti 3,2 m. Koripajulle vastaavat luvut jäivät hieman alhaisemmaksi.

Hollolassa vesipajun tyviläpimitta oli eri käsittelyissä kolmen kasvukauden jälkeen keskimäärin 1,9...2,3 cm ja valtaläpimitta 3,7...4,0 cm (kuva 12). Poppelin paksuustunnukset olivat lähes samansuuruiset kuin vesipajulla, mutta koivulla varsinkin valtaläpimitta oli selvästi pienempi. Lahdessa taas kahden kasvukauden jälkeen vesipajun valtaläpimitta oli kastelluissa kasvustoissa jo yli 3 cm (kuva 13).

34. Biomassatuotos

Lahden kaatopaikalla jätevesikastelu vaikutti hyvin selvästi vesi- ja koripajun kahden



Kuva 11. Pajujen valta- ja keskipituuden kehitys Lahden kaatopaikalla kahdessa kasvukaudessa.

Fig. 11. Development of dominant and mean height of the willow stands on Lahti sanitary landfill during two growing seasons.

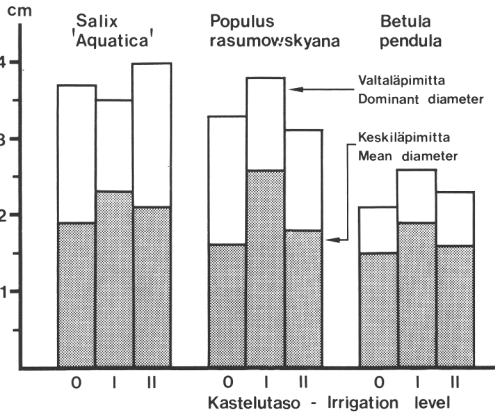
kasvukauden biomassakertymään. I kastelutason kasvustoissa kokonaisbiomassa oli selvästi suurempi kuin kasvustoissa, joita ei kasteltu (vesipaju: $p=0,001$; koripaju: $p<0,01$) tai II kastelutason kasvustoissa ($p<0,01$) (kuvat 14 ja 15). Sensijaan kasvatus ilman kastelua ja liikakastelu johtivat kummallakin pajulajilla suurinpiirtein samaan biomass-

satuotokseen. Vesipajun kuivamassa oli 34 t/ha I kastelutasolla, 20 t/ha II kastelutasolla ja 14 t/ha ilman kastelua. Koripajulle vastaavat arvot olivat 23 t/ha, 11 t/ha ja 13 t/ha. Koripajun tuotokseen vaikutti toista kasvukautta edeltänyt jänistuhö (ks. luku 37.). Biomassatuotoksen kannalta näyttäisi optimaalinen kastelumäärä olevan tässä tapauksessa noin 500 mm kasvukaudessa. Mahdollista on, että alhaisemminkin kastelumäärillä saataisiin aikaan tuntuvia kasvunlisäyksiä jo siksi, että kasteluvesi sisältäisi paljon ravinteita (ks. taulukko 3). Toisaalta suuremmat kastelumäärät aiheuttivat kasvun taantumisen ja selviä myrkytysoireita kasvustoissa (lehtien ”kärventymistä”, kuihtumista, nekroosia). Koripaju näytti kärsivän runsaasta kastelusta enemmän kuin vesipaju.

Lahden kaatopaikalla oli vesipajun kahden vesotetun ruudun kantovesojen tuotos yhdessä kasvukaudessa hyvin suuri, 15 ja 17 t/ha (kuva 14). Näin suuria tuotosarvioita ei maassamme ole puille aikaisemmin julkaistu. Tulos viittaa myös siihen, että ainakin vesija koripaju olisi syytä kaataa pistokkaiden juurtumisvuoden jälkeen ja käyttää vesomisen elinvoimaa hyväksi kasvustojen tuotoksen kohottamiseksi.

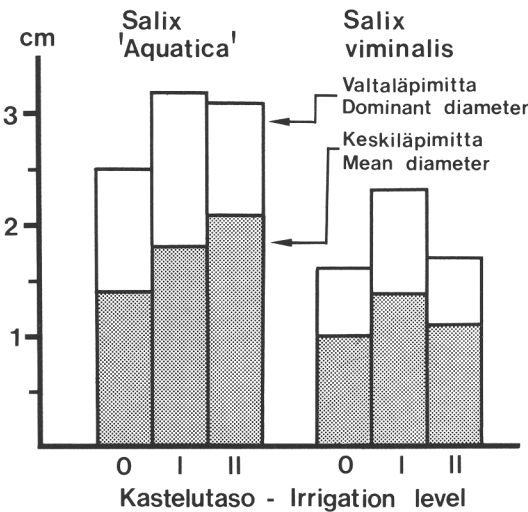
Hollolan kaatopaikalla puustojen tuotoksekehitys oli hitaampaa kuin Lahdessa. Tähän oli ennenkaikkeaa syynä karumpi kasvualusta sekä pienempi kasvatustiheys. Kasteltujen ja kastelemattomien kasvustojen välille ei biomassatuotoksen suhteen suuria eroja syntynyt. Mahdollisesti alhaisempi kastelumäärä kuin Lahden kokeella, epäsäännöllisempi kastelu sekä erilainen kastelutapa (valutus) vaikuttivat tulokseen. Toisaalta kastelun hättävaiikutuksiakaan ei havaittu. Eri puulajien kasvunopeudet tulivat koejakson aikana hyvin esiin. Pistokkaina viljeltyjen vesipajun ja ruhtinaanpoppelin tuotos oli kolmen vuoden aikana selvästi suurempi kuin taimina istutetun rauduskoivun (kuva 16). Vesipaju oli taas huomattavasti tuottoisampi kuin poppeli. Vesipajun maanpäällinen biomassa oli kolmen kasvukauden jälkeen kaikissa käsittelyissä yli 20 t/ha ja II kastelutasolla lähes 30 t/ha. Ruhtinaanpoppelin biomassa oli kaikissa käsittelyissä yli 11 t/ha. Rauduskoivu jäi tuotoksessaan 4...7 t/ha, mistä tosin puuttuu lehtimassan arvio, sillä koivun lehdet olivat mittaushetkellä jo lähes kokonaan pudonneet.

Lahdessa oli vesipajun kahden kasvukauden biomassasta lehtien osuus n. 20 %, kun



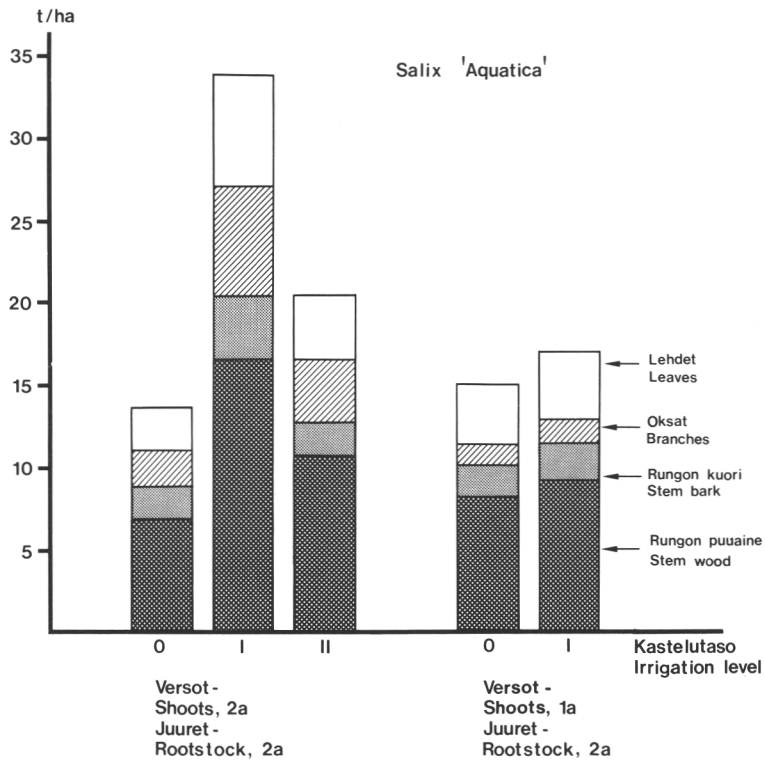
Kuva 12. Puustojen läpimittatunnukset Hollolan kaatopaikalla kolmen kasvukauden jälkeen.

Fig. 12. Diameter parameters of the stands on Hollola sanitary landfill after three growing seasons.



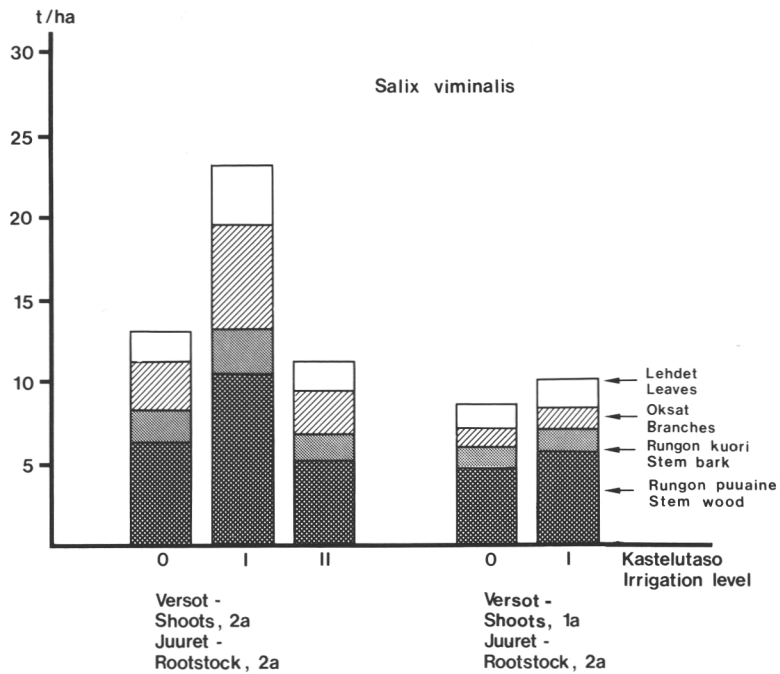
Kuva 13. Pajujen läpimittatunnukset Lahden kaatopaikalla kahden kasvukauden jälkeen.

Fig. 13. Diameter parameters of the willow stands on Lahti sanitary landfill after two growing seasons.



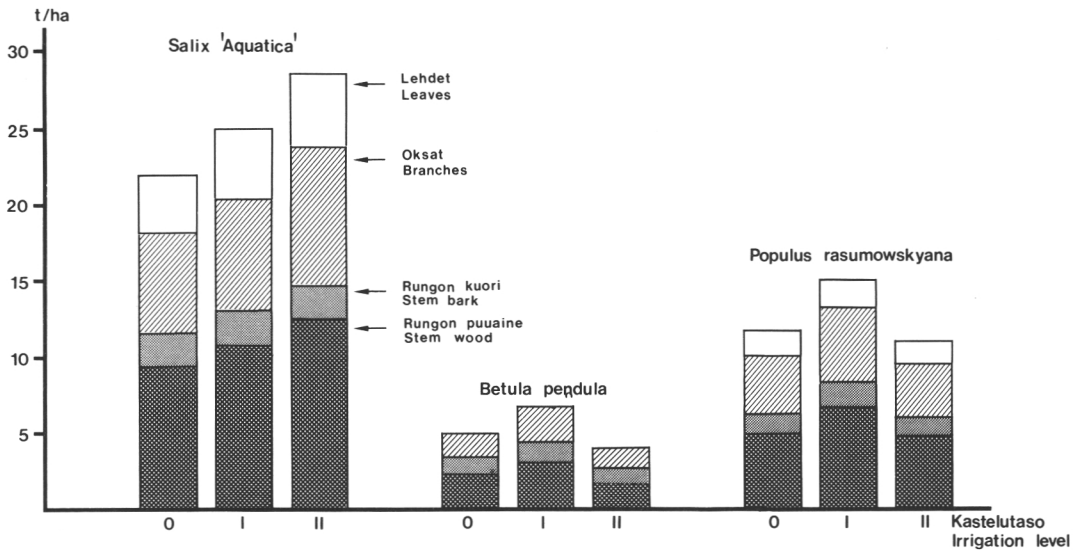
Kuva 14. Vesipajun kahden kasvukauden jälkeinen biomassa Lahden kaatopaikalla.

Fig. 14. Drymass of *Salix 'Aquatica'* after two years on Lahti sanitary landfill.



Kuva 15. Koripajun kahden kasvukauden jälkeinen biomassa Lahden kaatopaikalla.

Fig. 15. Drymass of *Salix viminalis* after two years on Lahti sanitary landfill.



Kuva 16. Vesipajun, rauduskoivun (ilman lehtiä) ja ruhtinaanpoppelin kolmen kasvukauden jälkeinen biomassa Hollolan kaatopaikalla.
 Fig. 16. Drymass of *Salix 'Aquatika'*, *Betula pendula* (without leaves) and *Populus rasumowskyana* after three years on Hollola sanitary landfill.

se koripajulla oli vain 14 % (kuvat 14 ja 15). Vesipajun lehtituotos oli suurempi kuin koripajulla eivätkä näiden lajien ominaislehtialat kovin paljon eroa toisistaan (Hytönen 1985, julkaisematon). Laajan yhteyttävän lehtialan kehittyminen johti suuriin vesipajun tuotoksiin. Käyttämällä apuna Hytösen vesipajulle laskemia ominaislehtialoja, voidaan arvioida, että vesipajun lehtiala oli lähes 10 m²/m² (lehtimassa 6,8 t/ha) I kastelutason kasvustoissa, kun esimerkiksi koripajun lehtiala ei missään käsittelyssä yltänyt yli 5 m²/m².

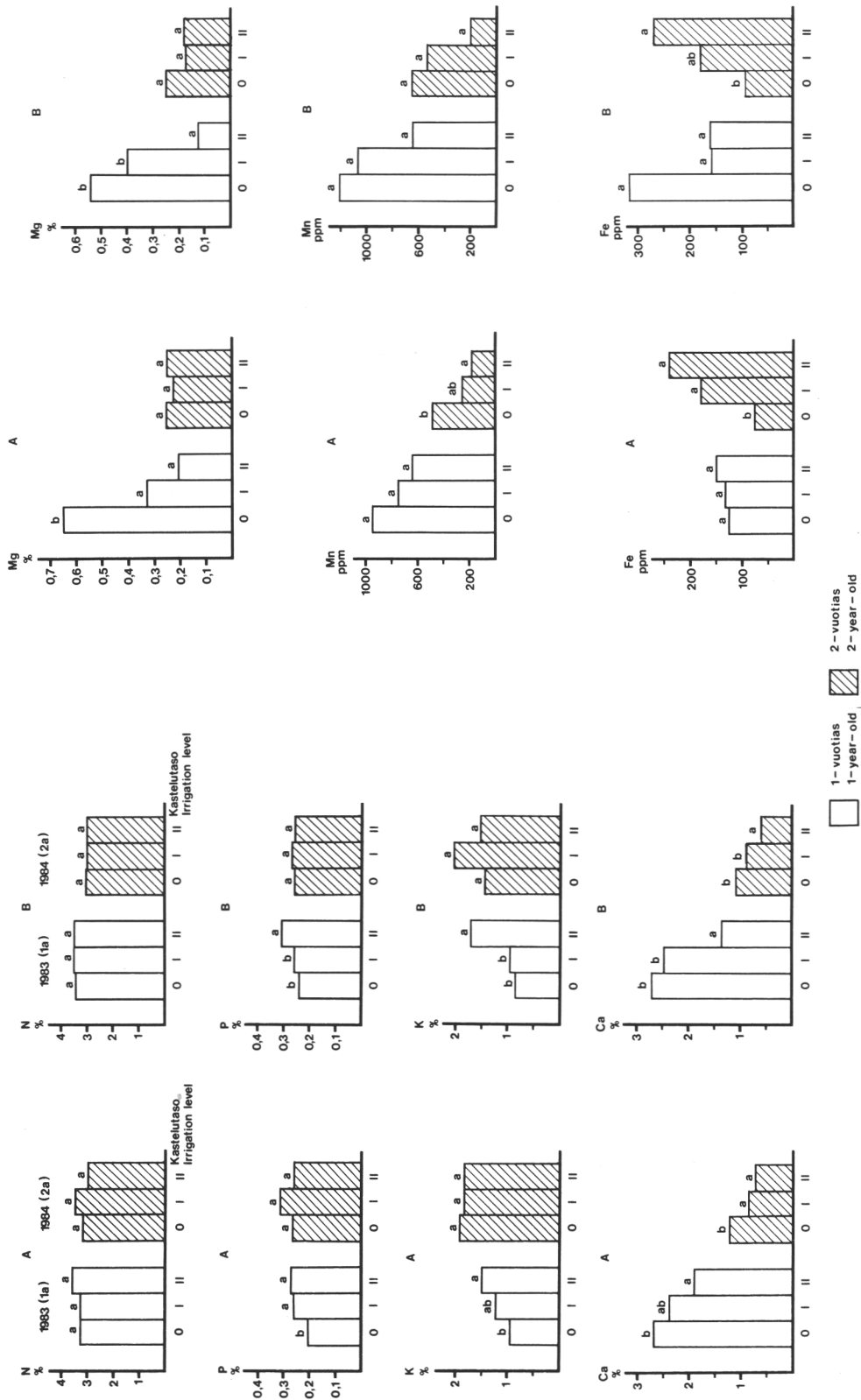
35. Ravinnepitoisuudet

351. Lehdet

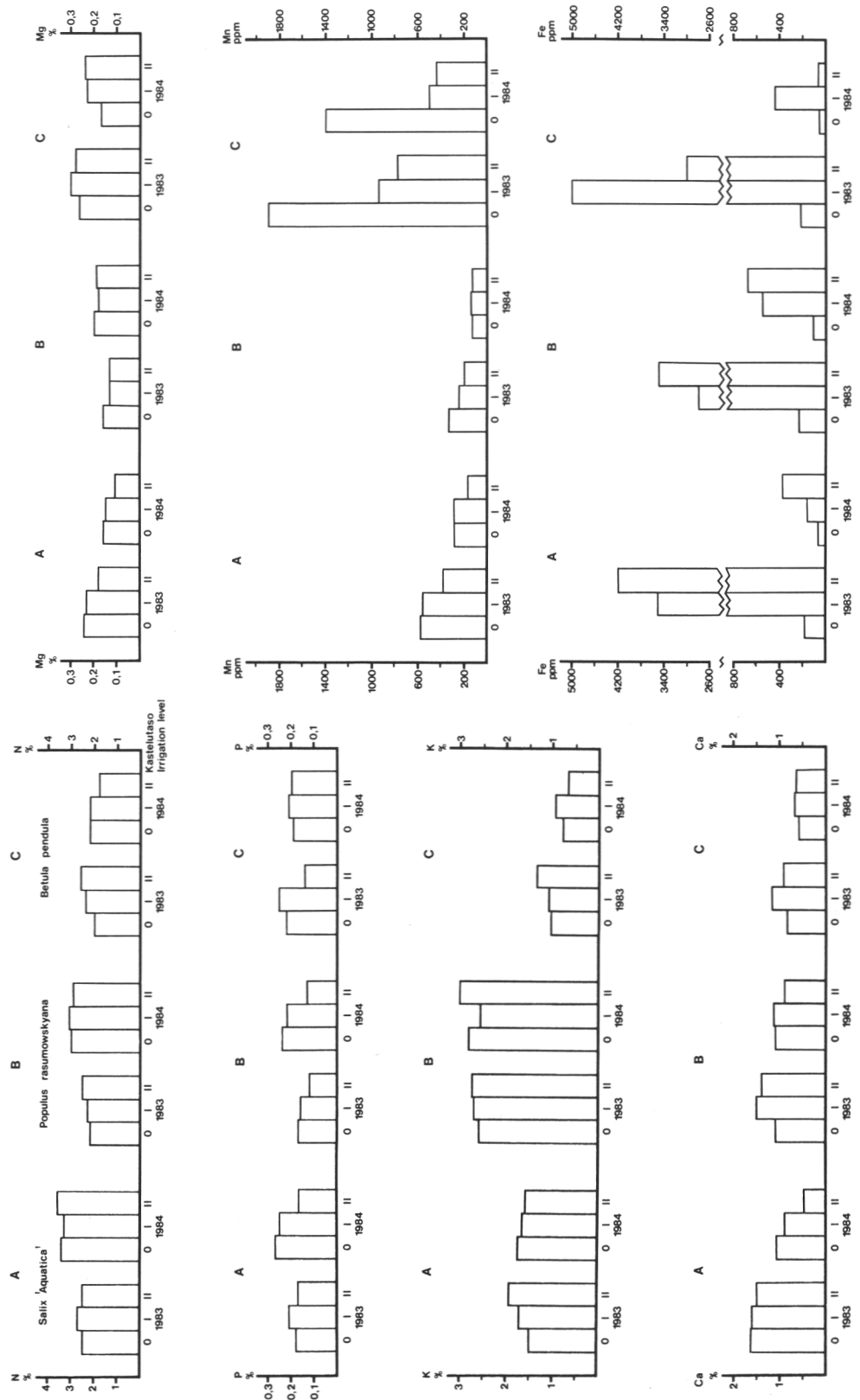
Lahden kaatopaikalla eri ikäisten vesi- ja koripajujen lehtien typpipitoisuus oli 3,0...3,7 % (kuva 17). Kastelutasojen välillä ei ollut tilastollisia eroja. Myöskään lehtien fosforipitoisuuteen kastelu ei näyttänyt vaikuttavan. Fosforipitoisuus vaihteli 0,20...0,39 %. Selvimmin kastelu vaikutti lehtien kalsiumpitoisuuteen. Varsinkin voimakas jätevesikastelu vähensi lehtien kalsiumpitoisuutta (kuva 17). Kaksivuotiaiden vesipajujen lehtien kalsium-

pitoisuus oli 0-käsittelyssä 1,24 %, I-kastelutasolla 0,85 % ja II-kastelutasolla 0,76 %. Koripajulle vastaavat arvot olivat 1,05, 0,89 ja 0,57 %. Kun kasvualustana käytettiin ohutta kuori-lietehumuskerrrosta, jäi lehtien kalsiumpitoisuus kaikissa käsittelyissä hyvin alhaiseksi (alle 1 %). Vuonna 1983 voimakas kastelu vähensi lehtien magnesiumpitoisuutta, mutta kohotti kaliumpitoisuutta (kuva 17). Lehtien mangaanipitoisuus vaihteli paljon ja vain kaksivuotiailla vesipajuilla kastelu vähensi tilastollisesti merkitsevästi lehtien mangaanipitoisuutta. Kummankin pajulajin kaksivuotiaissa kasvustoissa voimakas kastelu kohotti lehtien rautapitoisuutta.

Hollolan kaatopaikalla kastelu ei näyttänyt vaikuttavan lehtien typpi-, fosfori-, kalium-, kalsium- eikä magnesiumpitoisuuteen (kuva 18). Merkille pantavaa on vesipajun lehtien korkea typpipitoisuus (3,3...3,7 %) kolmannen kasvukauden syksyllä sekä ruhtinaanpoppelin muita puulajeja korkeampi lehtien kaliumpitoisuus. Toisen kasvukauden jälkeen kaikkien kasteltujen koejäsenien lehtien rautapitoisuus oli erittäin korkea. Se oli yli 2 000 ppm kaikilla puulajeilla ja rauduskoivulla jopa 5 000 ppm. Rauduskoivun lehtien mangaanipitoisuus oli korkeampi kuin muilla puulajeilla ja koivulla myös kastelu



Kuva 17. Vesi- (A) ja korpajun (B) lehtien ravinnepitoisuudet Lahden kaatopaikalla. 1- ja 2-vuotiaat kasvustot. Samalla kirjaimella merkitty ne keskiarvot, jotka eivät poikkea toisistaan 5 %:n merkitsevyystasolla.
 Fig. 17. Nutrient levels of leaves in *Salix 'Aquatika'* (A) and *S. viminalis* (B) on Lahiti sanitary landfill. 1- and 2-year-old stands. Means marked with the same letter do not differ from each other at the 5 % significance level.



Kuva 18. Vesipajun, rauduskoivuun ja ruhtinaanpoppelein lehtien ravinnepitoisuudet toisen (1983) ja kolmannen (1984) kasvukauden syyskuussa Hollolan kaatopaikalla. Fig. 18. Nutrient levels of leaves in *Salix 'Aquatica'* (A), *Populus rasumowskyana* (B) and *Betula pendula* (C) stands in September of the second (1983) and the third (1984) growing season on Hollola sanitary landfill.

näytti selvimmin vähentävän lehtien mangaanipitoisuutta.

Tutkimuksessa seurattiin vesipajun lehtien ravinteiden kasvukautista vaihtelua kolmannen kasvukauden aikana Hollolan kaatopaikalla. Lehtien typpipitoisuus nousi kaikissa käsittelyissä syksyllä alkukesän tasolle (kuva 19). Yleensä lehtipuilla (Ferm ja Markkola 1985) ja myös vesipajulla (Saarsalmi 1984) lehtien typpipitoisuus laskee selvästi kasvukauden loppua kohti. Fosforipitoisuuskään ei laskenut tässä tutkimuksessa kuin voimakkaimmin kastellussa käsittelyssä. Lehtien kaliumpitoisuus laski jyrkästi heinäkuun alkuun asti ja kohosi tämän jälkeen kesäkuun alun tasolle. Kalsium- ja magnesiumpitoisuus oli koko kesän ajan sekä mangaanipitoisuus loppukesän alhaisin II kastelutasolla (kuva 19).

Lahden kaatopaikalla oli keskikesällä 1984 nähtävissä voimakkaasta kastelusta johtuvia kasvuhäiriöitä toista kasvukauttaan kasvavissa kasvustoissa: kasvun pysähtymistä, lehtien käpertymistä ja nekroosia. Tuolloin otettujen lehtinäytteiden analyysitulokset on esitetty taulukossa 5. Pääravinteiden pitoisuuksissa ei ollut eri kastelukäsittelyjen välillä merkittäviä eroja. Sen sijaan varsinkin II kastelutason kasvustoissa oli lehtien natrium- ja kloridipitoisuus selvästi korkeampi kuin kastelemattomissa koeyäsenissä. Natriumia oli voimakkaasti kasteltujen puiden lehdissä jopa enemmän kuin kalsiumia. Kloridipitoisuus oli 6...12 kertaa korkeampi kastelluissa pajukoissa kuin kastelemattomissa. Lehtien rikkipitoisuus oli korkein kasvustoissa, joita ei kasteltu.

352. Rungon puuaine ja kuori sekä oksat

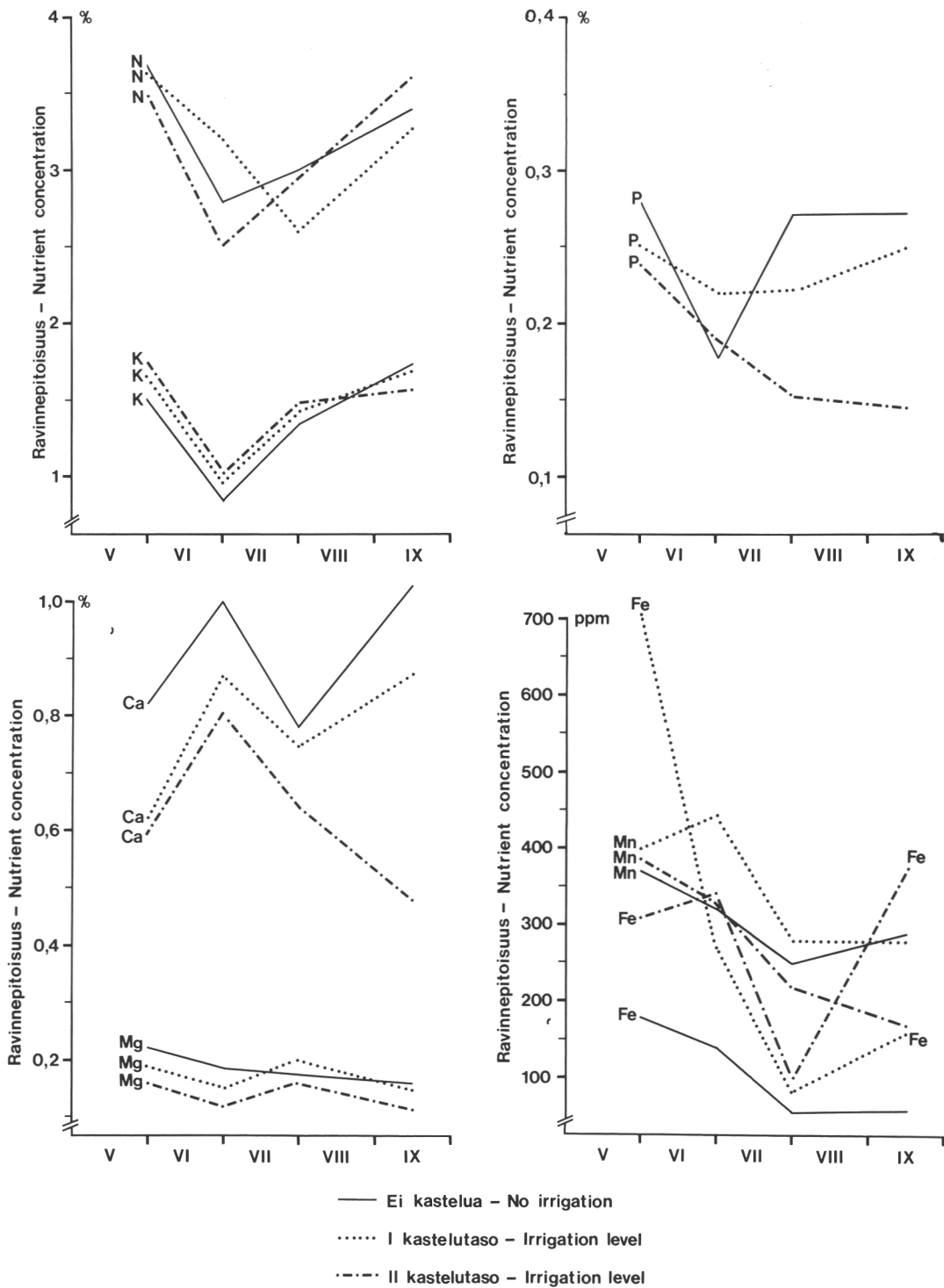
Rungon puuaineen typpipitoisuus oli Lahden kaatopaikalla pajulajista ja kastelukäsittelystä riippumatta kaksivuotiaissa pajuissa noin 0,3 % (kuva 20). Vesipajun rungon kuoren typpipitoisuus oli alle 1,0 % ja koripajun vastaavasti 1,0...1,3 %. Vesipajun rungon puuaineen ja kuoren sekä oksien fosforipitoisuudet olivat keskenään lähes yhtäsuuria eikä kastelu näyttänyt vaikuttavan niihin. Koripajun rungon kuoren fosforipitoisuus oli korkeampi kuin vesipajun. Kaliumpitoisuus oli molemmilla pajulajeilla selvästi korkein oksissa, suurimpien arvojen ollessa yli 0,8 %. Näin suuria kaliumpitoisuuksia on pidetty optimaalisena jopa lehtipuiden lehdille (esim. Miller 1983). Erityisen korkea oli kuitenkin rungon kuoren kalsiumpitoisuus, joka kaikissa tapauksissa oli yli 1 % (kuva 20). Korkein arvo (1,9 %) oli vesipajun I kastelutasolla. Jätevedellä kasteltujen pajujen kuoren kalsiumpitoisuus oli jopa korkeampi kuin lehtien kalsiumpitoisuus (vrt. kuva 17).

Hollolan kaatopaikalla vesipajun ravinnepitoisuudet olivat samansuuntaisia kuin Lahden kaatopaikan vuotta nuoremmissa kasvustoissa (kuva 21). Kaliumpitoisuus oli oksissa korkeampi kuin muissa osissa ja rungon kuoren kalsiumpitoisuus oli hyvin korkea, jälleen korkeampi kuin lehdissä. Merkille pantavaa on ruhtinaanpoppelin muita puulajeja selvästi korkeampi rungon kuoren kaliumpitoisuus sekä myös poppelilla havaittava korkeahko kuoren kalsiumpitoisuus. Rauduskoivun eri ravinteiden pitoisuudet olivat lähes poikkeuksetta pajua ja poppelia alhaisemmat.

Taulukko 5. Vesi- ja koripajun lehtien ravinnepitoisuudet toisen kasvukauden puolivälissä (16.7.1984) Lahden kaatopaikalla.

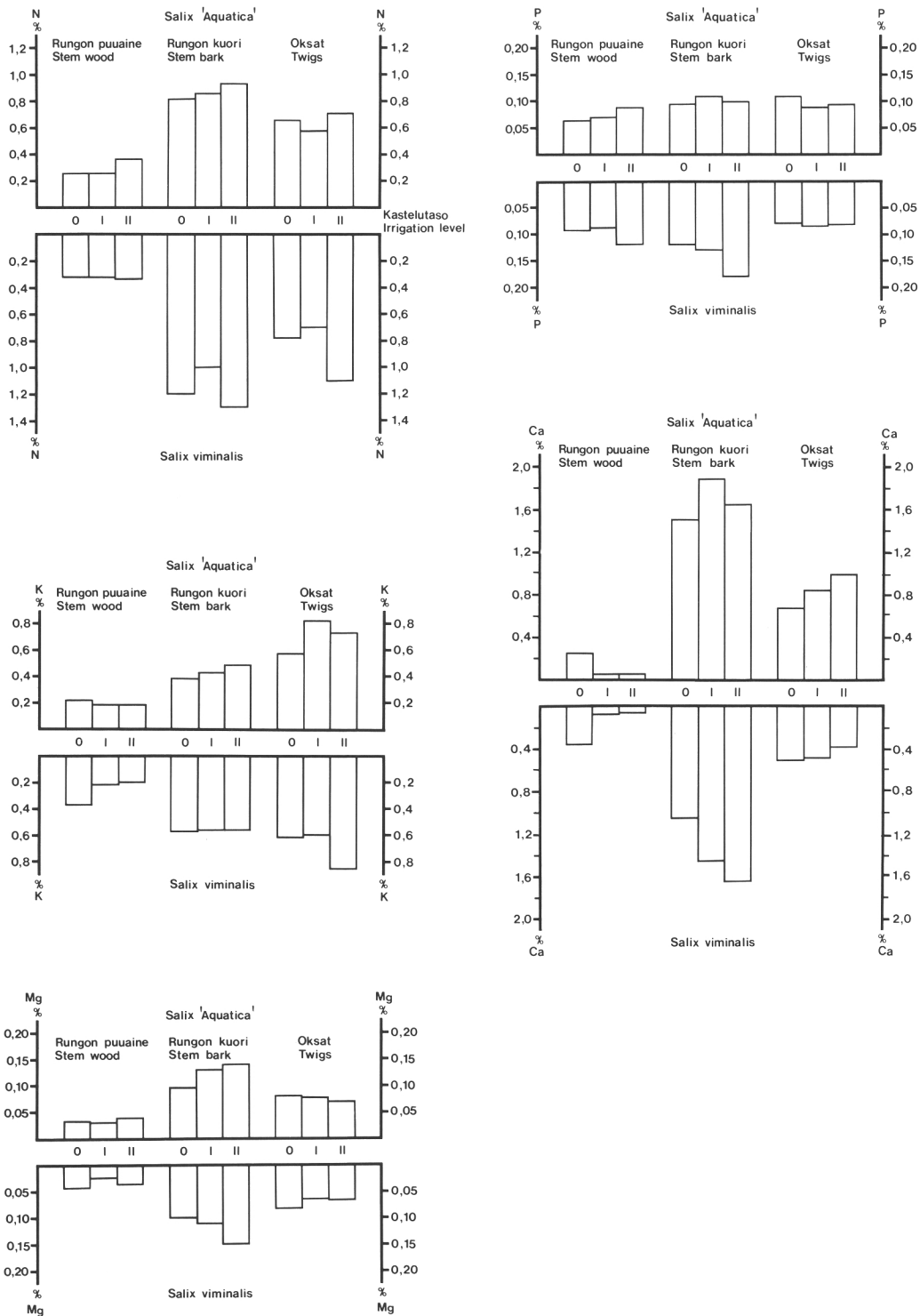
Table 5. Foliar nutrient contents of *Salix 'Aquatika'* and *S. viminalis* on Lahti sanitary landfill in the middle of the second growing season (16.7.1984).

Puulaji — Species	Kastelu- taso — Irrig- ation level	N %	P	K	Ca	Mg	Mn ppm	Fe	Na %	Cl	S
<i>S. Aq.</i>	0	2,8	0,17	1,04	1,32	0,33	400	74	0,03	0,06	0,74
<i>S. vim.</i>	0	2,6	0,20	1,07	1,17	0,23	420	120	0,30	0,08	0,72
<i>S. Aq.</i>	I	3,2	0,23	1,28	0,85	0,26	250	175	0,44	0,52	0,51
<i>S. Aq.</i>	II	3,1	0,21	1,67	1,06	0,28	215	375	1,07	0,73	0,45
<i>S. vim.</i>	II	3,1	0,24	1,10	0,78	0,28	200	270	1,12	0,51	0,39



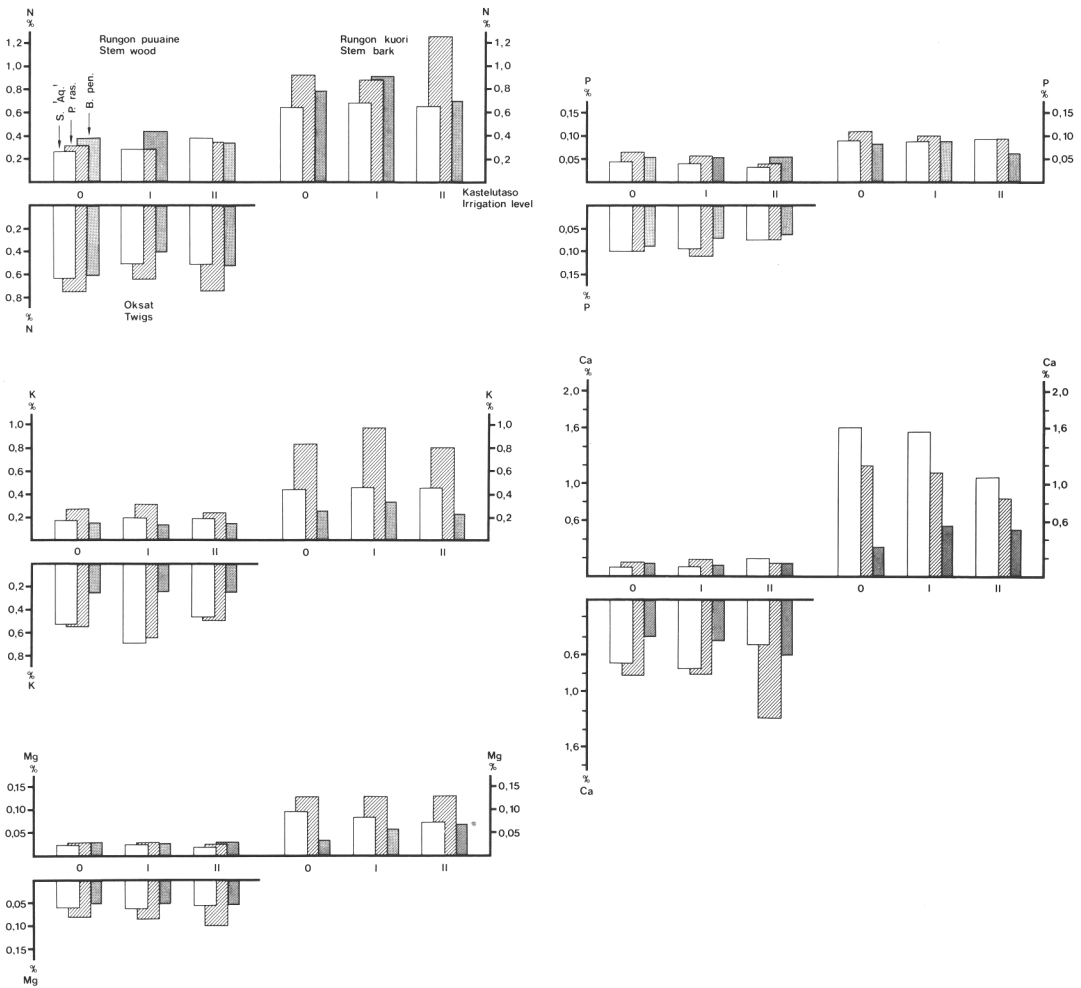
Kuva 19. Vesipajun (3. kasvukausi) lehtien pääravinnepitoisuuksien mangaani- ja rautapitoisuuden kasvukauden aikainen vaihtelu Hollolan kaatopaikalla.

Fig. 19. Variation of foliar macronutrient, manganese and iron levels in *Salix 'Aquatika'* (the 3rd growing season) during vegetation period on Hollola sanitary landfill.



Kuva 20. Vesi- ja koripajun rungon puuaineen ja kuoren sekä oksien pääravinnepitoisuudet toisen kasvukauden syyskuussa Lahden kaatopaikalla.

Fig. 20. Macronutrient contents in stem wood, stem bark and twigs of Salix 'Aquatica' in September of the second growing season on Lahti sanitary landfill.



Kuva 21. Vesipajun, ruhtinaanpoppelin ja rauduskoivun rungon puuaine ja kuoren sekä oksien pääravinnepitoisuudet kolmannen kasvukauden syyskuussa Hollolan kaatopaikalla.

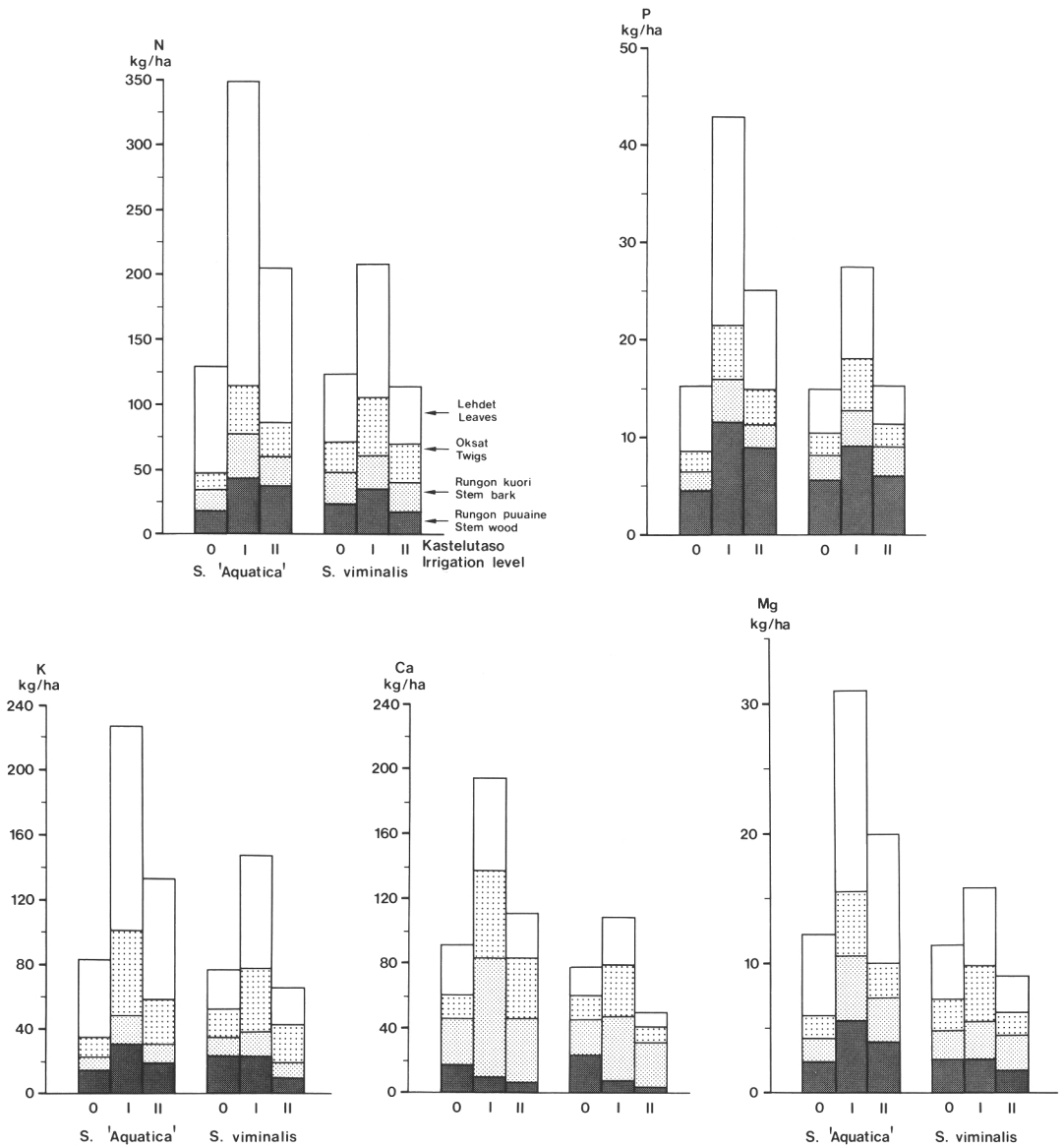
Fig. 21. Macronutrient contents in stem wood, stem bark and twigs of *Salix 'Aquatica'*, *Populus rasumowskyana* and *Betula pendula* in September of the third growing season on Hollola sanitary landfill.

36. Puustoon sitoutuneiden ravinteiden määrä

Kasvustoihin sitoutuneiden ravinteiden määrä laskettiin eri puunosien ravinnepitoisuuksien ja vastaavien puunosien kuivamassojen avulla. Tulokset esitetään ainoastaan Lahden kaatopaikan kaksivuotiaista pajukasvustoista (kuva 22). Erityisesti vesipajun parhaiten kasvanut koejäsen (I kastelutaso) oli sitonut merkittävän määrän ravinteita: tyypeä 350, fosforia 43, kaliumia 227, kalsiumia 195 ja magnesiumia 31 kg/ha eli suh-

teessa 100:12:65:56:9. Mainittakoon, että vastaavia ravinteita oli kasteluvessässä suhteessa 100:0,2:183:22:114 (vrt. liite 3). Kun edellmainituista sitoutuneiden ravinteiden määristä vähennetään verranteeseen sitoutuneiden ravinteiden määrät, saadaan kastelun aiheuttamaksi ”lisäsitoutumiseksi” tyypelle, fosforille, kaliumille, kalsiumille ja magnesiumille 220, 28, 114, 103 ja 19 kg/ha.

Suhteellisesti oli kaikkia muita ravinteita paitsi kalsiumia sitoutunut eniten lehtiin (kuva 22). Kalsiumia oli hyvin runsaasti rungon



Kuva 22. Vesi- ja koripajukasvustoihin sitoutuneiden ravinteiden määrä toisen kasvukauden lopussa Lahden kaatopaikalla.

Fig. 22. Amounts of nutrients bound into the *Salix 'Aquatica'* and *S. viminalis* stands on Lahti sanitary landfill in the end of the second growing season.

kuoressa. Myös rungon puuaineessa oleva fosforin suurehko suhteellinen osuus on syytä panna merkille.

Tuotettua kuiva-aineyksikköä kohti sitoutuneiden ravinteiden määrä vesipajun eri ikäisissä kasvustoissa on esitetty taulukossa 6, jossa vertailuna on myös poppelin 3-vuo-

tias kasvusto. Yhden kasvukauden ikäisiin pistokastaimiin oli biomassayksikköä kohti sitoutunut eniten kutakin ravinnetta kalsiumia lukuunottamatta. Nopeampikasvuisiin yksivuotiaisiin vesoihin oli sitoutunut eri ravinteita hieman vähemmän ja kaksi-kolmevuotiaissa pajuissa oli typpeä 9...10 kg/kui-

Taulukko 6. Vesipajukasvustoihin sitoutuneiden ravinteiden määrä kuiva-ai-
neyksikköä kohti (vertailuna ruhtinaanpoppelin 3-vuotias kasvusto).
Table 6. Nutrients per unit biomass produced by *Salix 'Aquatica'* stands of various
ages (3-year-old stand of *Populus rasumowskyana* as a comparison).

Puulaji — Species	Ikä (juuriston ikä) — Age (root age), a	Kastelu- taso — Irrigation level	N	P	K	Ca	Mg	
			kg/t					
<i>S. 'Aquatica'</i>	1 (1)	0	14,6	1,9	10,8	5,7	1,0	
		I	16,3	2,0	10,9	4,6	1,2	
	1 (2)	0	10,4	1,3	6,2	3,8	0,8	
		I	11,5	1,4	9,5	3,7	0,8	
	2 (2)	0	9,5	1,1	6,1	6,7	0,9	
		I	10,4	1,3	6,8	5,8	0,9	
		II	10,1	1,2	6,6	5,5	1,0	
	3 (3)	0	9,6	1,0	5,7	5,8	0,6	
		I	9,1	1,0	6,2	5,7	0,6	
		II	8,8	0,7	5,4	4,0	0,5	
	<i>P. rasumows.</i>	3 (3)	0	9,2	1,1	8,1	6,3	0,8
			I	8,1	1,0	7,7	6,0	0,8
II			9,2	0,7	7,6	6,9	0,8	

va-ainetonni sekä fosforia, kaliumia, kalsiumia ja magnesiumia 0,7...1,3, 5,4...6,8, 4,0...6,7 ja 0,5...1,0 kg/t. Luvut ovat kalsiumia lukuunottamatta alhaisempia kuin Saarsalmen (1984) lysimetrikokeen yksivuotiaille vesipajuille esittämät arvot. Erityisesti Saarsalmen esittämä kaliumin määrä biomassayksikköä kohti (13,6 g/kg) on huomattavan korkea verrattuna nyt saatuun tulokseen. Kolmevuotiaan vesipajun ja ruhtinaanpoppelin välillä biomassayksikköä kohti sitoutuneiden ravinteiden määrä poikkesi mainittavasti ainoastaan kaliumin suhteen, jota oli poppelissa enemmän.

37. Tuhot

Halla- ja pakkasvaurioita havaittiin pajuilla ja poppelilla vähän ja koivulla ei lainkaan. Kasvukauden alimmatkaan lämpötilat (-2 °C, 11.6. 1982 ja 1984) eivät oletettavasti aiheuttaneet jääkiteiden muodostumista esimerkiksi pajujen solukoissa (ks. Christersson ym. 1982). Ilmeisesti tutkimusalueiden ilmasto-

olot ovat eteläisillekin puualkuperille suotuisat, sillä koejakson aikana esimerkiksi Keski-Suomessa ja Pohjanmaalla (62 °00'...64 °30'N) sijaitsevia paju- ja poppeliviljelmiä kasvukauden hallat voittivat pahoin eikä talvenkestävyysskään ollut paras mahdollinen (esim. Lumme ym. 1984).

Vaikka erällä luonnonpajuilla oli kokeen aikana maassamme laaja ruostetartunta, mikä ruostepopulaatioista ei iskeytynyt tutkimuksen kasvustoihin. Esimerkiksi Kanuksessa vesipaju kärsi pahoin ruosteesta ja eräitä kasvustoja menehtyi siihen.

Lahden kaatopaikalla sattui mielenkiintoinen eläintuho talven 1983—84 aikana. Jänikset söivät kaikilta koeruuduilta koripajun talvibiomassasta vähintään neljänneksen, mutta ruutujen toisilla puolikkailla oleviin vesipajuihin ei käytännössä koskettu. Mahdollinen selitys koripajun maittavuuteen on sen sekundääriainekoostumuksessa, minkä on todettu olevan jäniksen kannalta suotuisampi kuin vesipajulla (Tahvanainen ym. 1985).

4. TULOSTEN TARKASTELU

Pelkkä, koneellisesti tiivistetty kaatopaikan pinta ei soveltunut tutkituille puulajeille. Kuitenkin melko ohutkin kerros saatavilla olevaa jätemaata oli sovelias kasvualusta. Peitemaan suuri orgaanisen aineen osuus ei osoittautunut metsittämisen kannalta välttämättömäksi, kuten Hollolan kaatopaikan tulokset osoittavat. Multamaa oli jopa heikompi kasvualusta kuin sorainen maa. Peitemaakerroksen paksuuden vaikutus kasvu-tulokseen jäi jonkin verran epäselväksi, joskin esimerkiksi kuori-lietehumusta käytettäessä 25 cm:n kerros oli parempi kuin 15 cm:n kerros.

Kun kasteluvetenä käytettiin liian toksista jättevettä, kuten Valkeakosken kaatopaikalla, ei kasvustojen perustaminen onnistunut. Suuret jät-vesiannostukset saattavat olla haitallisia erityisesti pistokkaiden juurtumiselle (Harrington ym. 1979). Toisaalta eräissä kaatopaikkametsityksissä ovat suuret taimet menestyneet heikommin (Gilman ym. 1981).

Tutkittujen kaatopaikkojen kasteluun käytetty jätvesi oli hyvin suolapitoista (3 000... 8 000 $\mu\text{S}/\text{cm}$). Tällöin maassa kalsium korvautuu helposti natriumilla. Näin ei kuitenkaan tapahtune, mikäli kalsiumia on kasteluvessä riittävästi, esimerkiksi 35 % kaikista alkalikationeista (Kelley 1963). Lahdessa ja Valkeakoskella tuo osuus oli vain 2...3 %, mutta Hollolassa yli 40 %. Hollolassa kastelu vaikutti maahan vain vähän, mihin veden koostumuksen lisäksi oli syynä maa-aineksen rakenne (sorainen hiekkamoreeni) ja epä-säännöllinen kastelu. Sen sijaan Lahden kaatopaikalla erityisesti maan natriumpitoisuus, mutta myös kaliumpitoisuus kohosivat suuresti kastelun vuoksi jo ensimmäisen kasvukauden aikana. Maa muuttui alkaliseksi. Maan vaihtuvan kalsiumin pitoisuus näytti vähenevän.

Kasvualustan suolapitoisuuden lisääntyminen ei ole suuri vaara, jos vedestä ei ole puutetta (Epstein 1972). Vaikka maan suolapitoisuus ja osmoottinen paine lisääntyisikin kastelun vuoksi, voi kastelun aiheuttama huuhtoutuminen estää haitalliset vaikutukset

kasvustoille (Kelley 1963). Sama vaikutus on sadevesillä, varsinkin jos vettä tunkeutuu riittävästi juurikerroksen alle. Kesäsateiden suolaisia kasteluvesiä huuhtova vaikutus voi olla huomattava. Eräässä kokeessa kastelu voitiin tehdä ilman haittavaikutuksia vedellä, jonka sähkönjohtavuus oli 16 000 $\mu\text{S}/\text{cm}$, mikäli sateita oli riittävästi, muutoin turvalliseksi rajaksi todettiin 8 000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (Mondal ja Sharma 1979). Jos tämän tutkimuksen kaltaista jät-vesikastelua tullaan harjoittamaan käytännössä, kastelu voidaan jonakin kasvukautena jättää tekemättä suojojen huuhtoutumista varten. Tällöin esimerkiksi kastelulla käynnistetty typen mineralisointiprosessi tyydyttää puiden typentarpeen (vrt. Ingestad ja Ågren 1984). Kastelu voidaan suorittaa myös vain silloin, kun puiden kasvu on suurimmillaan (keskikesällä).

Jäteveden sisältämät valtavatkaan typpimäärät eivät kohottaneet eri kasvosien typpipitoisuutta. Lahden kaatopaikalla maan nitraattitypen määrä lisääntyi kastelun lisääntyessä. Ammoniumtypen määrä pysyi samana käsittelystä riippumatta. Ammoniumtypen haihtuminen ammoniakkinä välittömästi kastelun yhteydessä on voinut olla huomattava (ks. Derome 1980). Kuitenkin maan ammoniumtyppivaraston muutoksiin lienee nitrifikaatio vaikuttanut eniten (ks. Nadelhoffer ym. 1984). Paras biomassatuotos oli kasvustoissa, joiden maassa ammonium- ja nitraattityppeä oli yhtä paljon. Eräiden lehtipuulajien on todettu ottavan mieluummin nitraattia kuin ammoniumia, mikäli molempia on saatavissa (Nadelhoffer ym. 1984).

Kastelu ei sanottavasti muuttanut eri kasvosien kalium- ja magnesiumpitoisuutta. Vaikka Lahden kaatopaikalla maan kaliumpitoisuus kohosi moninkertaiseksi kastelun johdosta, pajuissa ei havaittu merkkejä ylellisyysskulutuksesta. Kasteluvessä oli fosforia hyvin vähän. Kaiken kaikkiaan puut otivat tyyppiä, fosforia ja kaliumia siinä suhteessa kuin esimerkiksi koivun taimille on kirjallisuudessa esitetty (Ingestad 1971, 1974).

Vaikka kastelu vähensi puiden kalsiumpi-

toisuutta, ei tämä vaikuttanut Lahden 500 mm:n kastelukäsittelyn suureen biomassatuotokseen. Kasvien vähäinen kalsium yhdistyneenä korkeisiin natrium- ja kloridipitoisuuksiin aiheuttaa kasvun heikkenemistä ja lehtivaurioita (Lahaye ja Epstein 1971). Jos natriumia on paljon maassa, se yleensä kasautuu kasvien juuriin ja runkoon (Jacoby 1964, Lahaye ja Epstein 1971), mutta jos lisäksi kalsiumia on vähän, natriumia saattaa kasautua myös lehtiin aiheuttaen kasvuhäiriöitä (Lahaye ja Epstein 1969).

Puiden lehtien kalsiumpitoisuuden alenemisen ohella todettiin natrium- ja kloridipitoisuuden voimakas kohoaminen, mikä on todettu myös eräillä muilla lehtipuilla, kun niitä on kasteltu kaatopaikan jätevesillä (Menser ym. 1983). Tässä tutkimuksessa pitoisuudet kohosivat kuitenkin niin suuresti, esimerkiksi natriumpitoisuus nousi yli 1 %:iin, että havaitut kasvuhäiriöt, jopa kasvun loppuminen, johtuvat tästä. Pohjonen ja Näsi (1983) esittävät pajunlehtien natriumpitoisuudeksi 0,013 %. Eräiden hedelmäpuiden lehdet mustuivat, kun lehtien natriumpitoisuus oli 0,3...0,7 % (Ayers 1950, Brown ym. 1953). Vastaavaksi rajaksi lehtien kloridipitoisuudelle on esitetty 0,5 % (Ayers 1950, Brown ym. 1953, Bingham ym. 1968). Suhteellisen lyhyetkin altistumisajat voivat johtaa puiden kannalta haitallisen korkeisiin kloridipitoisuuksiin (Bingham ym. 1968). Kasvuauriot olivat pahimmillaan heinäkuun puolivälissä, hetkenä, jolloin vallitsi lämmin sääjakso ja ilman suhteellinen kosteus oli alhainen. Tällaisten sääolojen on todettu kohottavan kasvin kloridipitoisuuksia (Wyn Jones 1981).

Tutkitut lajit, erityisesti vesipaju ja ruhtinaanpoppeli osoittautuivat nopeakasvuiseksi ja ne käyttivät runsaasti ravinteita. Biomassan kertymä oli runsasta ja eri kasvosien ravinnepitoisuudet olivat korkeita. Lehtipuut ovatkin menestyneet kaatopaikkojen metsityksessä paremmin kuin esimerkiksi mänty (Peeters 1981). Lahden kaatopaikalta mitattu vesipajun kahden kasvukauden kuivamassatuotos 500 mm:n kastelulla, 34 t/ha on korkein tuotosarvio, joka on Suomessa puuvarteisille kasveille julkaistu. Tulos on saatu pienillä koeruuduilla, mutta huolellinen biomassamittauksen satunnaistaminen, reunavaikutuksen välttäminen, kasvustojen homogeenisuus ja toistojen vähäinen vaihtelu varmentavat tuotostason oikeellisuuden. Hytönen (1985a) on esittänyt kaksivuotiaille vesipajuil-

le turvetuotannon jättömaalla suoritettussa lannoituskokeessa biomassan määräksi 10...11 t/ha (ilman lehtiä). Pellolle perustetussa lietelannoituskokeessa oli vesipajun lehdetön, kaksivuotinen biomassa 5...7 t/ha ja kolmevuotinen 13...19 t/ha (Hytönen 1985b). Hollolan kaatopaikan kolmevuotiaiden vesipajujen biomassa oli parhaimmillaan 29 t/ha, mikä Lahden maksimitulokseen verrattuna selittyy heikommalla kasvualustalla, epäsuunnollisemmalla kastelulla ja alhaisemmalla kasvatustiheydellä. Poppelin biomassa oli kolmen kasvukauden jälkeen parhaimmillaan 15 t/ha. Koivu oli selvästi pajuja ja poppelia hidaskasvuisempi. Vesi- ja koripajun esimerkinomainen vesottaminen ensimmäisen kasvukauden jälkeen Lahden kaatopaikalla osoitti, että niiden tuotosta on mahdollista vielä lisätä vesomiselinvoimaa hyväksi käytämällä.

Puut kasvoivat kaatopaikalla ilman kastelua ja lannoitustakin edellyttäen, että pinnalle oli levitetty sopivaa peitemaata. Lahden kaatopaikalla vesipajun kahden kasvukauden tuotos ilman jätevesikastelua tai muuta lannoitusta oli 14 t/ha. Tulokseen vaikutti peitemaan korkea pH ja hyvä ravinnetilanne. Suomalaiset kokemukset pajunkasvatuksesta ovat aiemmin osoittaneet, että nopeakasvuiset puulajit eivät kasva kohtuullisesti ilman lannoitusta ja esimerkiksi turpeentuotannosta vapautuneilla soilla ne eivät kasva lainkaan ilman lannoitusta (Hytönen 1985a).

Tutkimuksessa on muunneltu tärkeimpiä mahdollisia ympäristötekijöitä, jotka vaikuttavat kasvien tuotokseen: ravinteiden ja veden saatavuutta sekä kasvatustiheyttä. Suuren lehtituotoksen ja -alan (lähes 10 m²/m²) kehittyminen maksimikasvustossa oli siten mahdollista. Hiilen sidonta on ollut mahdollista pitää tehokkaana pitkään, sillä suuri lehtiala mitattiin syyskuun puolivälissä ja mittaushetkellä myös mm. lehtien typpipitoisuus oli varsin korkea (yli 3 %). Epäselväksi jää, missä määrin vesi ja toisaalta ravinteet ovat vaikuttaneet tulokseen. Aridisissa olosuhteissa, esimerkiksi Australiassa jätevesikastelun *Pinus radiatan* kasvua lisäävä vaikutus johtui pelkästään vedestä (Cromer ym. 1982). Ilmeistä on, että ilman 700...800 mm:n vesimäärää (kastelu + sade) nyt saadut biomassatuotokset eivät olisi olleet mahdollisia. Varovaisesti arvioiden Lahden kaatopaikalla vesipajun toisen kasvukauden tuotos 500 mm:n kastelulla oli ainakin 20 t/ha, johon vettä tarvitaan 600...700 mm (vrt. Kau-

nisto 1983, Saarsalmi 1984). Tutkimuksen haihduntaan liittyvät tarkastelut on julkaistu toisaalla (Ettala 1985). Kastelu oli sitä tarpeellisempaa mitä vakiintuneempi ja varttuneempi kasvusto oli. Kastelemattomien kasvustojen kehitys pituustunnusten suhteen oli ensimmäisen kasvukauden jälkeen suurinpiirtein samalla tasolla kuin kasteltujen, mutta seuraavina vuosina kastelemattomat jäivät jälkeen. Lyhytkiertoisella vesipajulla voitiin kastelulla jopa ylläpitää muutoin loppuvaa pituuskasvua.

Kaatopaikka poikkeaa monin tavoin puiden tavallisista kasvupaikoista siitä huolimatta, vaikka välittömänä kasvualustana käytetään jotakin peitemaata. Kaatopaikkaan hiilidioksidipitoisuus saattaa olla 5...15 %, kun maan hiilidioksidipitoisuus on tavallisesti 0,04...2 % (Flower ym. 1978). Tästä voi olla hyötyäkin esimerkiksi vesipajulle, jonka kasvun on todettu lisääntyvän käytäessä ravinneliuoksessa 50- tai 100-kertaisia hiilidioksidipitoisuuksia ilman pitoisuuksiin verrattuna (Vapaavuori ja Pelkonen 1985).

Kahden vuoden ikäiseen vesipajukasvustoon oli parhaimmillaan sitoutunut typpeä 350, fosforia 43, kaliumia 20, kalsiumia 195 ja magnesiumia 31 kg/ha. Kutakin ravinnetta oli sitouneena puustoon enemmän kuin esimerkiksi varttuneessa, 40-vuotiaassa koi-vikossa (ks. Mälkönen 1977). Lehdissä oli

typpeä 67 %, kaliumista 56 %, fosforista ja magnesiumista puolet, mutta kalsiumista vain hiukan yli neljännes. Kalsiumia oli erityisen paljon rungon kuoressa. Biomassaan sitoutuneiden ravinteiden määrään on kuitenkin suhtauduttava varoen, sillä esimerkiksi lehtien ravinnepitoisuudet määritettiin vain latvuksen yläosien lehdistä. Vesipajun lehtien fosforipitoisuuden on todettu olevan korkeampi latvuksen yläosassa kuin alaosassa sekä vastaavasti kalium-, kalsium- ja magnesiumipitoisuuden alhaisempi (Kaakinen 1983). Rungon puuaineen ja kuoren ravinnemäärittäminen pyrittiin tekemään rungon keskimääräiskohdasta (ks. Hytönen ja Ferm 1984). Koska koepuiden koko kuitenkin vaihteli, kiinteän näytteenottokohdan valinta aiheutti virhettä, jonka suuruutta ei tunneta.

Tulokset osoittavat, että oloissamme on eräille kaatopaikoille mahdollista perustaa lyhytkiertoisia puustoja, joiden kasvua voidaan lisätä kaatopaikan valuma- ja suotovedellä. Kasvualustana käytetyn peitemaan laatuun ja paksuuteen sekä kasteluveden erikoisominaisuuksiin (toksiset pitoisuudet) ja anosteluun tulee jatkokutkimuksin kiinnittää huomiota. Erityisesti tulisi selvittää maassa ja puissa tapahtuvia fysikaalis-kemiallisia muutoksia jäteveden suuria suolapitoisuuksia silmällä pitäen.

5. TIIVISTELMÄ

Suomessa on käytössä yli 800 kaatopaikkaa. Kaatopaikkojen valuma- ja suotovesien käsittely on ongelmallista, kuten myös kaatopaikkojen käytöstä poistettujen osien maisemointi ja kasvittaminen.

Tutkimuksen tavoitteena oli kehittää kaatopaikan valuma- ja suotovesien käsittelymenetelmä, jossa täyttöalueelta purkautuvan veden määrää pienennetään käyttämällä vettä jätepenkereelle perustettujen nopeakasvuisten puuviljelmien biomassasidontaan. Tässä raportissa selostetaan kastelun vaikutuksia maahan ja perustettuihin kasvustoihin, puiden kasvua, biomassatuotosta sekä ravinnekysymyksiä. Haihduntaan liittyvät tarkastelut julkaistaan muualla.

Kokeet perustettiin kolmelle kaatopaikalle: vuonna 1982 Hollolaan (60°58'N, 25°30'E) sekä vuosina 1983 ja 1984 Lahteen (60°57'N, 25°45'E) ja Valkeakoskelle (61°16'N, 24°06'E). Jätepenkereen peitemaana käytettiin erilaisia maalaatuja: Hollolassa soraista hiekkamoreenia, Lahdessa kuori-lietehumusta ja Valkeakoskella soraista hiekkamoreenia sekä karkeata hiekkaa. Valitut puulajit olivat *Salix 'Aquatica'*, *S. viminalis*, *Populus rasumowskyana* ja *Betula pendula*. Kasvatustiheydet vaihtelivat 25 000...100 000 kpl/ha. Kastelutasoina käytettiin 0, 500 ja 1 000 mm anostellen jätevetä kasvustojen oletetun kasvukautisen veden- ja ravinnetarpeen mukaan. Kastelun anostelussa ei aina täysin onnis-

tuttu. Kastelu tehtiin letkusta tai jakokourusta valuttamalla tai sadettamalla.

Kasteluun käytetty jätevesi oli hyvin suolapitoista, sähkönjohtavuus vaihteli 3 000... 8 000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (taulukko 2). Erityisesti natrium-, kalium- ja kloridipitoisuudet olivat korkeita (liite 3). Myös tyypeä (ammoniumina) oli vedessä runsaasti. Valkeakoskella veden rikkipitoisuus oli hyvin korkea. Sen sijaan raskasmetallipitoisuudet olivat kaikilla kaatopaikoilla alhaisia (taulukko 4). Esimerkiksi Lahden kaatopaikalla jo 500 mm:n kastelu vastasi 700 kg tyypeä hehtaaria kohti, kaliumia yli 1 t/ha, natriumia yli 5 t/ha ja kloridia yli 2 t/ha (taulukko 3). Fosforin määräksi tuli vain noin 1,5 kg/ha.

Kastelu nosti lievästi maan pH:ta, joka jo ennestään oli korkeahko (kuva 4). Lahden kaatopaikalla maan natrium-, kalium- ja magnesiumipitoisuus nousi lähtötilanteeseen verrattuna moninkertaiseksi kahdessa vuodessa ja sitä enemmän mitä voimakkaampi oli kastelu (kuva 5). Natriumpitoisuus lisääntyi jopa kolmikymmenkertaiseksi suurimmalla kastelumäärällä. Maa muuttui alkaliseksi jo ensimmäisen kasvukauden jälkeen. Maan kalsiumpitoisuus näytti vähenevän kastelun seurauksena. Suolaisuuden ja alkalisuuden lisääntyminen ovat suurimmat potentiaaliset haitat kaatopaikkavesikastelun laajemmalle soveltamiselle. Kuitenkin kasvualustana käytetyn maa-aineksen valinnalla, vesimäärän optimoinnilla, kastelun ajoittaisella keskeyttämisellä ja tietyillä maanparannustoimilla (kipsi, ferrosulfaatti, rikki) ongelma on ratkaistavissa.

Valkeakosken kaatopaikalla pajut eivät menestyneet kumpanakaan koevuotena. Syyinä oli jäteveden toksisuus sekä lisäksi jätteenkoreen tiiviys ja peitemaana käytetty hiekkamateriaali. Hollolan ja Lahden kaatopaikoilla puut juurtuivat hyvin (kuvat 8 ja 9). Kuitenkaan pelkällä, tiivistetyllä kaatopaikkapohjalla puut eivät menestyneet. Hollolan kaatopaikalla vesipaju saavutti kolmen kasvukauden jälkeen kastelluilla koealoilla 4 m ja kastelemattomilla 3 m valtapituuden sekä ruhtinaanpoppeli noin 3 m valtapituuden kastelusta riippumatta (kuva 10). Rauduskoivu oli edellä mainittuja pistokkaista viljeltyjä puulajeja hidaskasvuisempi. Lyhytkierteisellä vesipajulla voitiin kastelulla jopa ylläpitää muutoin loppuvaa pituuskasvua. Lahden kaatopaikalla vesipajun valtapituus oli

yli 3 m jo kahden kasvukauden jälkeen (kuva 11). Koripaju jäi lyhyemmäksi, mikä erityisesti johtui jänistuhuosta.

Lahden kaatopaikalla kastelun vaikutus kahden kasvukauden biomassakertymään oli hyvin selvä. Vesipajun kahden kasvukauden biomassatuotos 500 mm:n kastelulla, 34 t/ha, on korkein tuotosarvio, joka puuvartisille kasveille on Suomessa julkaistu (kuva 14). Runsas veden ja ravinteiden saataavuus ja suuri kasvatustiheys (50 000 kpl/ha) aiheuttivat suuren lehtituotoksen ja -alan (lähes 10 m^2/m^2). Hiilen sidonta oli jatkunut pitkään kasvukauden loppupuolelle, sillä suuri lehtiala mitattiin syyskuun puolivälissä. Suuremmat kastelumäärät aiheuttivat kasvun taantumisen ja myrkytysoireita kasvustoissa. Hollolan kaatopaikalla kolmevuotiaiden vesipajujen suurin biomassa oli 29 t/ha ja poppelien 15 t/ha (kuva 16). Vesi- ja koripajun esimerkinomainen vesottaminen Lahden kaatopaikalla ensimmäisen kasvukauden jälkeen osoitti, että ainakin pajujen tuotosta on mahdollista lisätä kantovesoja hyväksi käyttäen (kuvat 14 ja 15).

Paras biomassatuotos oli kasvustoissa, joiden maassa ammonium- ja nitraattityyppiä oli suunnilleen yhtä paljon. Kastelu näytti edistävän nitrifikaatiota. Kuitenkaan jäteveden valtavatkaan tyyppimäärät eivät vaikuttaneet eri kasvosien tyyppipitoisuuksiin (kuvat 17–21). Myöskään eri puunosien fosfori-, kalium- ja mangesiumpitoisuudet eivät eronneet eri käsittelyjen välillä (kuvat 17–21). Kastelu kohotti puiden lehtien rautapitoisuutta sekä alensi mangaani- ja kalsiumpitoisuutta. Lehtien natriumpitoisuus oli yli 1 % kasvustoissa, joissa havaittiin kasvuvaurioita (taulukko 5). Lisäksi lehtien kloridipitoisuus oli näissä kasvustoissa arveluttavan korkea. Myrkytysoireet esiintyivät äkillisesti. On kuitenkin epävarmaa, johtuivatko ne kumulatiivisista vaikutuksista vai suorasadetuksista puiden lehdille, jota vielä edistivät myrkytykselle otolliset hydro-meteorologiset olosuhteet.

Erityisesti vesipaju käytti runsaasti ravinteita. Parhaimmillaan (2-vuotias) sitoutui tyypeä, fosforia, kaliumia, kalsiumia ja magnesiumia 350, 43, 230, 195 ja 31 kg/ha (kuva 22). Lehdissä oli tyypeä 67 %, kaliumista 56 %, fosforista ja magnesiumista puolet, mutta kalsiumista vain vähän yli neljännes. Kalsiumia oli erityisen paljon rungon kuoressa.

KIRJALLISUUS—REFERENCES

- Ayers, A. D. 1950. Salt tolerance of avocado tree grown in culture solution. Calif. Avocado Soc. Yearbook, 139—148.
- Bialkiewicz, F. 1978. Growth of trees irrigated with municipal sewage. Lysimetric and forest studies on the cleaning and productive utilization of municipal sewage. Warsaw. IBL, 80—93.
- Bingham, F. T., Fenn, L. B. & Oertli, J. J. 1968. A sand-culture study of chloride toxicity to mature avocado trees. Soil Sci. Am. Proc. 32: 249—252.
- Björklund, T. & Ferm, A. 1982. Pienikokoisen koivun ja harmaalepän biomassa ja tekniset ominaisuudet. Abstract: Biomass and technical properties of small-sized birch and grey alder. Folia For. 500: 1—37.
- Brown, J. W., Wadleigh, C. H. & Hayward, H. E. 1953. Foliar analysis of stone fruit and almond tree on saline substrates. Proc. Am. Soc. Hortic. Sci. 61: 49—55.
- Chapman, H. D. 1966. Alkali and saline soils. In: Chapman, H. D. (ed.) Diagnostic Criteria for Plants and Soils. Univ. California Div. Agric. Sciences. p. 510—532.
- Chian & Dewalle, F. 1976. Sanitary landfill leachates and their treatment. In: Proc. Am. Soc. Civil Engineers EE2 102: 411—431.
- Christersson, L., Fircks, H. & Sennerby-Forsse, L. 1982. Frost hardiness development and frost injuries of species of the genus *Salix*. A literature review. Manuscript. 22 p.
- Cromer, R. N., Tompkins, D. & Barr, N. J. 1982. Irrigation of *Pinus radiata* with waste-water: Tree growth in response to treatment. Aust. For. Res. 13: 57—65.
- David, M. B. & Struchtemeyer, R. A. 1982. Vegetation response to sewage effluent disposal on a hardwood forest. Can. J. For. Res. 12: 1013—1017.
- Derome, J. R. M. 1980. Urea hydrolysis and ammonia volatilization from the humus layer. Laboratory study. Commun. Inst. For. Fenn. 86 (7): 1—36.
- Epstein, E. 1972. Mineral nutrition of plants: Principles and perspectives. John Wiley and Sons, Inc. 412 p.
- Ettala, M. 1985. Kaatopaikkavesikastelun vaikutus biomassan tuotokseen ja haihduntaan jätepenkereellä. Summary. Lisensiaattityö. Rakennusinsinööri-osasto. Teknillinen korkeakoulu. Espoo. 103 s.
- & Ferm, A. 1982. Esitutkimus kaatopaikkavesien käytöstä biomassan tuotantoon. Vesitalous 23: 20—22.
- Ferm, A. & Markkola, A. 1985. Hieskoivun lehtien, oksien ja silmujen ravinnepitoisuuksien kasvukautinen vaihtelu. Abstract: Nutritional variation of leaves, twigs and buds in *Betula pubescens* stands during the growing season. Folia For. 613: 1—28.
- Flower, F. B., Leone, I. A., Gilman, E. F. & Arthur, J. J. 1978. A study of vegetation problems associated with refuse landfills. EPA Publ. 600/2-78-094. 130 p.
- FoU Avfall. 1983. Lakvatten tillförsel i markvegetations-system. Projekt 82: 4. 44 p.
- Gilman, E. F., Leone, I. A. & Flower, F. B. 1981. The adaptability of 19 woody species in vegetating former sanitary landfill. Forest Sci. 27 (1): 13—18.
- Halonen, O. & Tulkki, H. 1981. Ravinneanalyysien työohjeet. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 36: 1—23.
- Hansen, E. A., Dawson D. H. & Tolsted, D. N. 1980. Irrigation of intensively cultured plantations with paper mill effluent. Tappi 63 (11): 139—143.
- Harrington, C. A., Debell, D. S. & Strand, R. F. 1979. An experiment in biomass production: Results from three consecutive harvests of cottonwood and alder. In: Proc. of Solar 79, Northwest, August 1979, Seattle, Washington U. S., USDA For. Serv. s. 363—366.
- Hytönen, J. 1985a. Suitability of various phosphorus and nitrogen fertilizers for fertilizing willow stands on cut-over peatlands. In: Egneus, A. & Ellegård, A. BioEnergy 84, Volume 2: 114—118.
- 1985b. Teollisuusjätteellä lannoitetun vesipajun lehdetön maanpäällinen biomassatuotos. Abstract: Leafless aboveground biomass production of *Salix 'Aquatica'* fertilized with industrial sludge. Folia For. 614: 1—16.
- & Ferm, A. 1984. Vesipajun vesojen puuteknisiä ominaisuuksia. Abstract: On the technical properties of *Salix 'Aquatica'* sprouts. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 163: 1—20.
- Ingestad, T. 1971. A definition of optimum nutrient requirements in birch seedlings. I. Physiol. Plant. 23 (6): 1127—1138.
- 1974. Towards optimum fertilization. Ambio 3 (2): 49—54.
- 1979. Framtidens energiskog. Miljö-Framtid 8 (6): 24—27.
- & Ågren, G. 1984. Fertilization for long-term maximum production. In: Perttu, K. (ed.) Ecology and Management of Forest Biomass Production Systems. Dept. Ecol. & Environ. Res., Swed. Univ. Agric. Sci. Rep. 15: 115—129.
- Jacoby, B. 1964. Function of bean roots and stems in sodium retention. Plant. Physiol. 39: 445—449.
- Johansen, O. J. 1975. Treatment of leachates from sanitary landfills. Norwegian Institute for Water Research, PRA 2.9. 374 p.
- Jorgensen, J. B. 1984. Mængde og sammensætning af lossepladsperholat. Konferens om lakvatten från avfallsupplag. Nordiska Ministerrådet. Holte. 29 p.
- Kaakinen, S. 1983. Vesipajun lehtien ravinnepitoisuuden vaihtelusta turpeentuotannosta vapautuneilla soilla. Luk-tutkielma. Oulun yliopiston kasvitieteen laitos. 47 s.
- Kaunisto, S. 1983. Koripajun (*Salix viminalis*) biomassatuotos ja ravinteiden ja veden käyttö eri tavoin lannoitetuilla turpeilla kasvihuoneessa. Summary: Biomass production of *Salix viminalis* and its nutrient and water consumption of differently fertilized peats in greenhouse. Folia For. 551: 1—34.

- Kelley, W. P. 1963. Use of saline irrigation water. *Soil Sci.* 95: 385—391.
- Konold, W. & Zeltner, G.—H. 1981. Methods to characterize the conditions of plant growth of the covered sanitary landfill with wild plants and their importance for recultivation, 5. Europäisches Abwasser- und Abfallsymposium EAS. München. s. 859—870.
- Kurki, M. 1982. Suomen peltojen viljavuudesta III. Summary: On the fertility of Finnish tilled fields in the light of investigations of soil fertility carried out in the years 1955—1980. Viljavuuspalvelu Oy. Helsinki. 181 s.
- Lahaye, P. A. & Epstein, E. 1969. Salt toleration by plants: Enhancement with calcium. *Science* 166: 395—396.
- 1971. Calcium and salt toleration by bean plants. *Physiol. Plant.* 25: 213—218.
- Lehtonen, E. 1979. Kaatopaikkojen valumavedet ja niiden käsittelymahdollisuudet. *Vesihallituksen tiedotus* 182: 1—99.
- Lumme, I., Tikkanen, E., Huusko, A. & Kiukaanniemi, E. 1984. Pajujen lyhytkiertoviljelyn biologiasta ja viljelyn kannattavuudesta turpeentuotannosta poistuneella suolla Limingan Hirvinevällä. Abstract: On the biology and economical profitability of willow biomass production on an abandoned peat production area. Oulun yliopisto. Pohjois-Suomen tutkimuslaitos C54: 1—79.
- Menser, H. A., Winant, W. M. & Bennett, O. L. 1983. Spray irrigation with landfill leachate. *Biocycle* 24 (3): 22—25.
- Miller, H. G. 1983. Wood energy plantations — Diagnosis of nutrient deficiencies and the prescription of fertilizer applications in biomass production. IEA — Forestry Energy Agreement. Programme Group B. Biomass Growth and Production. Report 3: 1—20.
- Mondal, R. C. & Sharma, D. R. 1979. Effect of long-term use of saline irrigation water on wheat yield and soil salinity. *Indian J. Agric. Sci.* 49 (7): 546—550.
- Mälkönen, E. 1977. Annual primary production and nutrient cycle in a birch stand. *Commun. Inst. For. Fenn.* 91 (5): 1—35.
- Nadelhoffer, K. J., Aber, J. D. & Melillo, J. M. 1984. Seasonal pattern of ammonium and nitrate uptake in nine temperate forest ecosystems. *Plant and Soil* 80: 321—335.
- Peeters, J. P. 1981. Plantings made on refuse dump sites. *Groen* 4: 174—185
- Pohjonen, V. & Näsi, M. 1983. Wet biomass as animal feed — Fodder as a by-product from energy forests. IEA — Forestry Energy Agreement. Programme Group B. Biomass Growth and Production. Report 1: 1—22.
- Saarsalmi, A. 1984. Vesipajun biomassan tuotos sekä ravinteiden ja veden käyttö. Summary: Biomass production and nutrient and water consumption in *Salix 'Aquatica Gigantea'* plantation. *Folia For.* 502: 1—29.
- Smith, W. H., Post, D. M. & Adrian, F. W. 1979. Waste management to maintain or enhance productivity. In: Proc. Symposium on Impact of Intensive Harvesting on Forest Nutrient Cycling. Syracuse, N. Y. s. 304—320.
- Sopper, W. E. & Kerr, S. N. 1979. Maximizing forest biomass energy production by municipal wastewater irrigation In: Symp. on Energy from Biomass and Wastes. s. 115—133.
- Stewart, H. T. L. & Flinn, D. W. 1984. Establishment and early growth of trees irrigated with wastewater at four sites in Victoria, Australia. *For. Ecol. Manage.* 8: 243—256.
- Tahvanainen, J., Helle, E., Julkunen-Tiitto, R. & Lavola, A. 1985. Phenolic compounds of willow bark as deterrents against feeding by mountain hare. *Oecologia (painossa)*.
- Vapaavuori, E. M. & Pelkonen, P. 1985. HCO₃⁻ uptake through the roots and its effect on the productivity of willow cuttings. *Plant, Cell and Environment (painossa)*.
- Vic. Irrig. Res. Advis. Serv. Comm. 1980. Quality aspects of farm water supplies. 2nd edition. Melbourne, Vic. 52 p.
- Wyn Jones, R. G. 1981. Salt tolerance. In: Johnson, C. B. (ed.) *Physiological Processes Limiting Plant Productivity*. s. 271—292.
- Zavitkovski, J. 1981. Small plots with unplanted plot border can distort data in biomass production studies. *Can. J. For. Res.* 11: 9—12.

Total of 56 references

SUMMARY

Early growth and biomass production of some hardwoods grown on sanitary landfill and irrigated with leachate waste-water

There are over 800 sanitary landfills in Finland. Treatment of their leachate waste-water is difficult and expensive. Moreover, reclamation and revegetation of sanitary landfills have met difficulties, too. The aim of the study was to establish fast growing tree stocks on sanitary landfills and to diminish leachate reservoirs by irrigating tree stocks with the leachate.

The experiments were conducted on three sanitary landfills: in Hollola (60°58'N, 25°30'E) in 1982—1984, in Lahti (60°57'N, 25°45'E) in 1983—1984 and in Valkeakoski (61°16'N, 24°06'E) in 1983—1984. Different soil materials were used as topsoil: gravelly sand moraine in Hollola, bark humus and sludge in Lahti and both gravelly sand moraine and coarse sand in Valkeakoski. Tree species were *Salix 'Aquatika'* (Hollola, Lahti and Valkeakoski), *S. viminalis* (Lahti), *Populus rasumowskyana* (Hollola) and *Betula pendula* (Hollola). Planting densities were 25 000...100 000 cuttings or transplants (birch) per hectare. The amount of irrigation was 0, 500 or 1000 mm leachate during the growing season. The weekly doses of water were sprinkled or flown to the stands.

Irrigation water was very saline, electrical conductivity varying between 3 000...8 000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (Table 2). Particularly K, Na and Cl contents, but also N (as ammonium) content were high (App. 3). Total S content in Valkeakoski leachate was exceptionally high. On the other hand, heavy metal contents were low in all leachates (Table 4). Irrigation of 500 mm in Lahti corresponded to 700 kg N per ha and more than 1 000 kg K, 5 000 kg Na and 2 000 kg Cl per ha, respectively (Table 3). The amount of P in water corresponded only to 1,5 kg P per ha.

Irrigation raised slightly soil pH (Fig. 4). Soil Na, K and Mg contents increased manifold due to irrigation in Lahti sanitary landfill (Fig. 5). Na content increased 30-fold with the highest irrigation level. The soil turned on alkaline already during the first growing season. Soil Ca content was decreasing as a result of irrigation. Alkalinity and salinity are among the greatest problems for a wider application of leachate irrigation. However, with a careful selection of topsoil material, with optimization of irrigation doses, with periodical interruption of irrigation and with certain amendments (gypsum, ferrosulfate, sulfur) these problems could be overcome.

Willows did not survive on Valkeakoski landfill because of the toxic waste-water, the compactness of the landfill and the quality of the topsoil (sand). The trees survived well in Lahti and in Hollola, if some topsoil material was used (Figs. 8 and 9). The

dominant height of *Salix 'Aquatika'* in Lahti was more than 3 m already after two growing seasons (Fig. 11). *S. viminalis* was partly destroyed by hares. When irrigated the dominant height of *S. 'Aquatika'* in Hollola was 4 m after three growing seasons and 3 m without irrigation (Fig. 10). *Populus rasumowskyana* reached the dominant height of 3 m irrespective of irrigation. *Betula pendula* grew more slowly than willows or poplars.

The biomass production of trees, particularly in Lahti, was greatly affected by irrigation. The highest dry matter production with *S. 'Aquatika'* in two years, 34 t/ha, was achieved by 500 mm irrigation (Fig. 14). This is amongst the highest production figures for woody plants in Finland. Availability of abundant amounts of nutrients and water together with high stocking density (50 000 stems/ha) contributed to a great leaf mass and LAI (nearly 10 m^2/m^2). High LAI measured in mid-September indicated that carbon assimilation was efficient almost till the end of the growing season. The production of willows can still be increased by coppicing. Irrigation of 1 000 mm leachate in Lahti brought about decrease in growth and symptoms of toxicity in willow stands. The biomass production was lower in Hollola than in Lahti: willows produced 29 t/ha during three growing seasons and poplars 15 t/ha, respectively (Fig. 16).

The highest biomass production (in Lahti) was in stands with equal proportions of ammonium and nitrate in soil. Irrigation seemed to increase nitrification. However, high contents of N in waste-water did not have an effect on N content of different parts of the trees (Figs. 17—21). P, K and Mg contents of trees were similar in different irrigation treatments, too (Figs. 17—21). Irrigation increased foliar Fe, and decreased foliar Mn and Ca. Foliar Na was more than 1 % in stands where dieback and toxicity symptoms were observed (Table 5). Moreover, foliar chloride content was high, too. Toxicity symptoms appeared suddenly. It is not certain whether this was due to cumulative effects or to direct sprinkling on the leaves, the effects of which were further promoted by suitable hydro-meteorological circumstances for toxicity.

Particularly *Salix 'Aquatika'* had a high nutrient consumption. At its maximum 350, 43, 230, 195 and 31 kg/ha of N, P, K, Ca and Mg respectively were bound into the two-year-old thickets (Fig. 22). Leaves contained 67 %, 50 %, 56 % and 50 % out of the total N, P, K and Mg but only one quarter of the total Ca. Stem bark had especially high amounts of Ca.

Liite 1. Toteutuneet kastelumäärät, mm.
Appendix 1. Accomplished irrigation amounts.

Paikka Location	Kaste- lutaso Irrig- ation level	Vuosi Year	Viikot/Weeks																
			21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	21—35	
Hollola	II	1982	—	70	70	70	70	—	—	70	70	70	70	70	70	—	—	700	
		1983	—	—	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	—	840	
		1984	36	72	36	72	36	36	36	—	—	—	36	72	—	36	—	468	
	I	1982	—	35	35	35	35	—	—	35	35	35	35	35	35	—	—	350	
		1983	—	—	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	—	420	
		1984	18	36	28	36	18	18	18	—	—	—	18	36	—	18	—	234	
Lahti	II	1983	—	40	85	115	90	100	120	130	100	80	90	50	40	—	—	1040	
		1984	27	42	77	20	101	130	130	130	130	—	—	—	130	130	111	1028	
		1984	69	109	200	52	101	130	130	130	—	—	—	—	130	130	111	1292	
	I	1983	—	20	42	58	45	50	60	65	50	40	45	25	20	—	—	520	
		1984	8	29	35	—	50	65	65	65	—	—	13	39	—	155	13	537	
		1984	22	74	91	—	50	65	65	65	—	—	13	39	—	155	13	652	
		1984 ¹⁾	28	23	84	80	50	50	50	50	10	—	—	20	50	50	50	595	
		I	1983	44	32	32	32	44	44	44	44	44	44	24	24	24	24	—	500
			1984	40	40	40	40	40	40										

¹⁾ Kastelu valuttamalla
Irrigation by hose

Liite 2. Vuoden 1984 koepuuaineisto ja kuivamassayhtälöt. Yhtälöt ovat muotoa $Y = aX^b e$, $Y =$ kuivamassa (g), $x = D^2H$, $D =$ mm, $H =$ cm.
 Appendix 2. The sample trees and the biomass equations in 1984. Form of equations is $Y = aX^b e$, $Y =$ dry mass (g), $x = D^2H$, $D =$ mm, $H =$ cm.

Puulaji — Species	Hollola			Lahti			Kaatopaikka — Sanitary landfill		
	S. Aq. (3a)	B. pen. (5a)	P. ras. (3a)	S. Aq. (2a)	S. Aq. (1a)	S. Aq. (1a)	S. vim. (2a)	S. vim. (1a)	S. vim. (1a)
N. kpl	16	15	15	54	20	20	52	20	20
D:n vaihteluväli — Range, mm	20—48	17—28	16—32	12—36	11—24	9—19	6—24	8—18	7—13
H:n vaihteluväli — Range, cm	278—440	172—255	182—346	155—390	200—350	119—216	97—340	180—300	140—200
Biomassaosite/Yhtälön — Component/In the equation									
— Rungon puuaine	0,00682	0,01300	0,00716	0,00504	0,00561	0,03589	0,00287	0,00374	0,02272
b	0,86259	0,80606	0,85727	0,88283	0,87045	0,67230	0,94894	0,92746	0,73813
R ²	0,92	0,91	0,94	0,95	0,95	0,82	0,95	0,88	0,64
V %	16	11	14	17	12	15	20	20	24
— Rungon kuori	0,01090	0,00202	0,01672	0,00518	0,00326	0,01870	0,00673	0,00090	0,01392
b	0,68445	0,83269	0,66388	0,74381	0,77068	0,60099	0,73438	0,90687	0,65514
R ²	0,82	0,33	0,84	0,90	0,93	0,67	0,82	0,78	0,48
V %	21	57	18	21	12	20	22	28	29
— Oksat	0,00027	0,00020	0,00086	0,00001	0,000002	0,000002	0,00004	0,00023	0,00023
b	1,07474	1,10709	0,98327	1,29631	1,38564	1,46729	1,26310	1,02778	1,02778
R ²	0,79	0,76	0,83	0,84	0,30	0,37	0,78	0,20	0,20
V %	37	27	28	50	178	108	56	141	141
— Lehdet	0,00131	—	0,05404	0,00004	0,00132	0,00455	0,00008	0,00075	0,00252
b	0,90562	—	0,57872	1,19608	0,90618	0,83778	1,14499	0,96058	0,87413
R ²	0,89	—	0,60	0,83	0,87	0,73	0,79	0,81	0,82
V %	21	—	29	48	21	23	54	27	17
— Kokon.	0,00554	0,00490	0,01325	0,00240	0,00539	0,01751	0,00142	0,00346	0,00814
a	0,92978	0,92508	0,85562	0,98241	0,90719	0,80547	1,05884	0,96652	0,88529
b	0,95	0,94	0,93	0,94	0,93	0,81	0,93	0,91	0,79
R ²	13	10	15	20	14	18	24	17	19
V %	—	—	—	—	—	—	—	—	—

Liite 3. Kasteluun vuonna 1984 käytetyn jäteveden ominaisuuksia.
Appendix 3. Characteristics of leachates in 1984.

Kaato- paikka — Sanitary landfill	Sähkön- johta- vuus — Electrical conduct- ivity $\mu\text{S}/\text{cm}$	pH	COD BOD mgO_2/l	Kiinto- aine — Solids mg/l	Alkali- teetti — Alkalinity mekv/l	Koko- nais- typpi — Total N	NH ₄ ⁺	Koko- nais- fos- fori — Total P	K	Ca	Mg	Na	Koko- nais- rikki — Total S	Mn	Fe	Klori- di — Chlo- ride	B
						mg/l											
Hollola	3150	6,6	128 901	205	27	128	128	0,7	109	235	44	155	5	4,2	218	217	1,9
Lahti	4600	8,1	86 27	55	55	140	120	0,3	257	31	160	1083	5	0,3	9	460	2,7
Valkea- koski	7810	8,2	225 51	43	43	51	46	1,6	118	72	*	2325	212	0,7	44	408	0,7

* puuttuu
missing

ODC 176.1 + 181.525 + 232.322.4 + 237.6
ISBN 951-40-0722-0
ISSN 0015-5543

FERM, A. 1985. Jätevedellä kasteltujen lehtipuuden alkukehitys ja biomassatuotos kaatopaikalla. Summary: Early growth and biomass production of some hardwoods grown on sanitary landfill and irrigated with leachate waste-water. *Folia For.* 641: 1—35.

Fast growing tree stocks (*Salix 'Aquatica'*, *Salix viminalis*, *Populus rasmusowskyana* and *Betula pendula*) were established on three sanitary landfills located in southern Finland. The aim was to diminish leachate reservoirs of the landfills by irrigating tree stocks with the leachate (500 and 1 000 mm/growing season). Trees did not survive on one landfill but grew well on the other two landfills. Very high growth figures were achieved, even 34 t/ha dry matter in two years with *Salix 'Aquatica'* and with 500 mm irrigation of saline leachate. Too heavy irrigation brought about growth disturbances. Nutrient relations in soil and growth and nutrient relations in trees were studied.

Author's address: The Finnish Forest Research Institute, Kannus Research Station, PL 44, 69101 Kannus, Finland.

ODC 176.1 + 181.525 + 232.322.4 + 237.6
ISBN 951-40-0722-0
ISSN 0015-5543

FERM, A. 1985. Jätevedellä kasteltujen lehtipuuden alkukehitys ja biomassatuotos kaatopaikalla. Summary: Early growth and biomass production of some hardwoods grown on sanitary landfill and irrigated with leachate waste-water. *Folia For.* 641: 1—35.

Fast growing tree stocks (*Salix 'Aquatica'*, *Salix viminalis*, *Populus rasmusowskyana* and *Betula pendula*) were established on three sanitary landfills located in southern Finland. The aim was to diminish leachate reservoirs of the landfills by irrigating tree stocks with the leachate (500 and 1 000 mm/growing season). Trees did not survive on one landfill but grew well on the other two landfills. Very high growth figures were achieved, even 34 t/ha dry matter in two years with *Salix 'Aquatica'* and with 500 mm irrigation of saline leachate. Too heavy irrigation brought about growth disturbances. Nutrient relations in soil and growth and nutrient relations in trees were studied.

Author's address: The Finnish Forest Research Institute, Kannus Research Station, PL 44, 69101 Kannus, Finland.

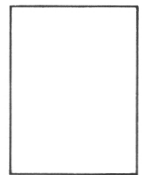
Tilaa kortin kääntöpuolelle merkitsemäni julkaisut (julkaisun numero mainittava).

Please send me the following publications (put number of the publication on the back of the card).

Nimi
Name _____

Osoite
Address _____

Metsäntutkimuslaitos
Kirjasto/Library
Unioninkatu 40 A
SF-00170 Helsinki 17
FINLAND



Folia Forestalia _____

Communications Institui Forestalis Fenniae _____

Huomautuksia

Remarks _____

METSÄNTUTKIMUSLAITOS

THE FINNISH FOREST RESEARCH INSTITUTE

Tutkimusosastot — *Research Departments*

Maantutkimusosasto
Department of Soil Science

Suontutkimusosasto
Department of Peatland Forestry

Metsänhoidon tutkimusosasto
Department of Silviculture

Metsänjalostuksen tutkimusosasto
Department of Forest Genetics

Metsänsuojelun tutkimusosasto
Department of Forest Protection

Metsäteknologian tutkimusosasto
Department of Forest Technology

Metsänarvioimisen tutkimusosasto
Department of Forest Inventory and Yield

Metsäekonomian tutkimusosasto
Department of Forest Economics

Matemaattinen osasto
Department of Mathematics

Metsäntutkimusasemat — *Research Stations*

Parkanon tutkimusasema
Parkano Research Station
Os. — *Address:* 39700 Parkano, Finland
Puh. — *Phone:* (933) 2912

Muhoksen tutkimusasema
Muhos Research Station
Os. — *Address:* Kirkkosaarentie, 91500 Muhos, Finland
Puh. — *Phone:* (981) 431 404

Suonenjoen tutkimusasema
Suonenjoki Research Station
Os. — *Address:* 77600 Suonenjoki, Finland
Puh. — *Phone:* (979) 11 741

Punkaharjun jalostuskoelasema
Punkaharju Tree Breeding Station
Os. — *Address:* 58450 Punkaharju, Finland
Puh. — *Phone:* (957) 314 241

Ojajoen koelasema
Ojajoki Experimental Station
Os. — *Address:* 12700 Loppi, Finland
Puh. — *Phone:* (914) 40 356

Kolarin tutkimusasema
Kolari Research Station
Os. — *Address:* 95900 Kolari, Finland
Puh. — *Phone:* (9695) 61 401

Rovaniemen tutkimusasema
Rovaniemi Research Station
Os. — *Address:* Eteläranta 55
96300 Rovaniemi, Finland
Puh. — *Phone:* (960) 15 721

Joensuun tutkimusasema
Joensuu Research Station
Os. — *Address:* PL 68
80101 Joensuu, Finland
Puh. — *Phone:* (973) 28 331

Kannuksen tutkimusasema
Kannus Research Station
Os. — *Address:* PL 44
69101 Kannus, Finland
Puh. — *Phone:* (968) 71 161

Ruotsinkylän jalostuskoelasema
Ruotsinkylä Tree Breeding Station
Os. — *Address:* 01590 Maisala, Finland
Puh. — *Phone:* (90) 824 420

1985

- No 619 Kaunisto, Seppo: Alustavia tuloksia metsän tehoviljelykokeista turvemilla.
Preliminary results from high efficiency forest regeneration experiments on-peatlands.
- No 620 Metsätilastollinen vuosikirja 1984.
Yearbook of Forest Statistics, 1984.
- No 621 Salo, Kauko: Luonnonmarjojen ja sienten poiminta Suomussalmella ja eräissä Pohjois-Karjalan kunnissa.
Wild-berry and edible-mushroom picking in Suomussalmi and in some North Karelian communes, Eastern Finland.
- No 622 Metsäntutkimuslaitoksen päätös havupuutukkien, lehtipuutukkien, mäntypylväiden ja ratapölkkyyaihioiden mittauksessa käytettävistä yksikkötilavuusluvuista.
Skogsforskningsinstitutets beslut gällande enhetsvolymtal för användning vid mätning av barrtimmer, löv-timmer, tallstolpar och sliperstimmer.
- No 623 Hämäläinen, Jouko, Paavilainen, Eero, Salminen, Olli & Heinonen, Riitta: Tuloksia ojitettujen korpikuusi-koiden lannoituksesta.
The growth response to and profitability of fertilization in drained spruce swamp stands.
- No 624 Hakila, Pentti (toim.-ed.): Metsäenergian mahdollisuudet Suomessa. PERA-projektin väliraportti.
The potential of forest energy in Finland. Interim report of PERA project.
- No 625 Kaunisto, Seppo & Päivänen, Juhani: Metsänuudistaminen ja metsittäminen ojitetuilla turvemilla. Kirjallisuuteen perustuva tarkastelu.
Forest regeneration and afforestation on drained peatlands. A literature review.
- No 626 Repo, Seppo & Löyttyniemi, Kari: Lähiympäristön vaikutus männyn viljelytaimikon hirvivahinkoalttiuteen.
The effect of immediate environment on moose (*Alces alces*) damage in young Scots pine plantations.
- No 627 Rikala, Risto: Paakkutaimien kastelutarpeen määrittäminen haihdunnan perusteella.
Estimating the water requirements of containerized seedlings on the basis of evapotranspiration.
- No 628 Saarsalmi, Anna, Palmgren, Kristina & Levula, Teuvo: Leppäviljelmän biomassan tuotos sekä ravinteiden ja veden käyttö.
Biomass production and nutrient and water consumption in an *Alnus incana* plantation.
- No 629 Moilanen, Mikko: Lannoituksen ja harvennuksen vaikutus hieskoivun kasvuun ohutturpeisilla ojitetuilla rämeillä.
Effect of thinning and fertilization on the growth of birch (*Betula pubescens*) on the drained mires with thin peatlayer.
- No 630 Aarnio, Jukka: Suometsiköiden kasvatuksen yksityistaloudellinen edullisuus.
The profitability of timber growing on peatlands from the standpoint of the private forest owner.
- No 631 Pohtila, Eljas & Valkonen, Sauli: Varttuneiden viljelytaimikoiden tila Lapin piirimetsälautakunnan alueen yksityismetsissä.
Development and condition of artificially regenerated pine and spruce sapling stands in the privately owned forests of Finnish Lapland.
- No 632 Norokorpi, Yrjö & Kärkkäinen, Sirpa: Maaston korkeuden vaikutus puusto- ja kasvupaikkatunnuksiin sekä tykkytuhoihin Kuusamossa.
The effect of altitude on stand and site characteristics and crown snow-load damages in Kuusamo in northern Finland.
- No 633 Silfverberg, Klaus & Huikari, Olavi: Tuhkalannoitus metsäojitetuilla turvemilla.
Wood-ash fertilization on drained peatlands.
- No 634 Yli-Kojola, Hannu: Metsän ikärakenteen kehitys.
The development of age-class composition.
- No 635 Metsäntutkimuslaitoksen julkaisut 1984.
Abstracts of publications of the Finnish Forest Research Institute, 1984.
- No 636 Vuokila, Yrjö: Puuston määrän vaikutus istutuskuusikon kehitykseen, kasvuun ja tuotokseen.
The effect of growing stock level on the development, growth and yield of spruce plantations in Finland.
- No 637 Räsänen, Pentti K., Pohtila, Eljas, Laitinen, Esko, Peltonen, Antti & Rautiainen, Olavi: Metsien uudistaminen kuuden eteläisimmän piirimetsälautakunnan alueella. Vuosien 1978—1979 inventointitulokset.
Forest regeneration in the six southernmost forestry board districts of Finland. Results from the inventories in 1978—1979.
- No 638 Ihalainen, Ritva: Opintojen keskeyttäminen metsäalan ammatillisessa koulutuksessa.
The abandonment of studies in vocational training in forestry.
- No 639 Uotila, Antti: Siemenen siirron vaikutuksesta männyn versosyöpäalttiuteen Etelä- ja Keski-Suomessa.
On the effect of seed transfer on the susceptibility of Scots pine to *Ascochyx abietina* in southern and central Finland.
- No 640 Repo, Seppo: Suomen puunkäyttö, poistuma ja metsätase 1983—1985.
Wood consumption, total drain and forest balance in Finland, 1983—1985.
- No 641 Ferm, Ari: Jätevedellä kasteltujen lehtipuiden alkukehitys ja biomassatuotos kaatopaikalla.
Early growth and biomass production of some hardwoods grown on sanitary landfill and irrigated with leachate waste-water.

Metsäntutkimuslaitoksen julkaisusarjoja, Communicationes Institutii Forestalis Fenniae ja Folia Forestalia, koskevat yksittäiskappaletilaukset ja vaihtotarjoukset osoitetaan laitoksen kirjastolle. Tiedonantomoneista koskevat pyynnöt osoitetaan ao. tutkimusosastolle tai -asemalle.
Subscriptions concerning single copies of the publications, as well as exchange offers, can be addressed to the Library of the Institute.

Myynti: Valtion painatuskeskus, Annankatu 44, 00100 Helsinki 10, puh. (90) 17 341

ISBN 951-40-0722-0
ISSN 0015-5543