

TUTKIMUKSIA PUIDEN VÄLISISTÄ
ELIMELLISISTÄ JUURIYHTEYKSISTÄ
MÄNNIKÖISSÄ

PAAVO YLI-VAKKURI

*UNTERSUCHUNGEN ÜBER ORGANISCHE
WURZELVERBINDUNGEN ZWISCHEN BÄUMEN
IN KIEFERNBESTÄNDEN*

REFERAT

HELSINKI 1953

Alkusanat

Tämä tutkimus liittyy osana metsäpuidemme juuristojen yhä monipuolistuvaan tutkimukseen. Tutkimustyöni suuntautumisen juuristojen koskevaan katson kunnioitetun opettajani professori Erkki Laikarin ansioksi. Hän on myös kiinnostuneena seurannut työtäni ja ollut aina valmis antamaan arvokasta apuaan. Kaikesta tästä olen hänelle syvästi kiitollinen. Tutkimustyöni päätökseen saattamiseen on ratkaisevasti vaikuttanut esimieheni pääjohtaja, professori N. A. Osaran myönteinen suhtautuminen. Häneltä saamastani tuesta olen erityisen kiitollinen. Kiitollisuuteni kohdistuu myös Suomen Akatemian jäsenen, professori Yrjö Ilvessaloon, joka on merkittävällä tavalla kannustanut minua työssäni.

Auliita neuvoja ovat antaneet erityisesti työni viimeistelyvaiheessa professori Onni Pohjakallio sekä tohtorit Erkki K. Kalela, Peitsa Mikola ja Risto Sarvas. Heitä kaikkia kiitän sydämellisesti saamastani avusta.

Metsänhoitajat Pentti Launonen, Allan Nousia ja Matti Palmroth ovat eri aikoina avustaneet minua aineiston keruussa ja sen käsittelyssä. Heidän taitava ja tunnollinen työnsä ansaitsee kaiken kiitoksen. Tohtori Marta Römeriä kiitän selostuksen saksantamisesta.

Kunnioittavat kiitokseni lausun myös Helsingin yliopistolle, Valtion luonnontieteelliselle toimikunnalle, Alfred Kordelinin säätiölle ja Emil Aaltosen säätiölle saamistani apurahoista sekä Keskusmetsäseura Tapiolle siitä tuesta, jota se on antanut minulle myöntämällä käytettäväkseni tutkimusapulaisia.

Tutkimustyötä on tuntuvasti helpottanut se, että lukuisat yksityiset, valtio ja kunnat ovat auliisti luovuttaneet sopivia metsiköitä tutkimuksen kohteiksi.

Suomen Metsätieteellinen Seura on auttanut työtäni ottamalla tämän tutkimuksen julkaisusarjaansa.

Helsingissä maaliskuun 23. päivänä 1953.

Paavo Yli-Vakkuri

Sisällys

	Sivu
Johdanto	7
Aikaisemmat tutkimukset	9
Tutkimusmenetelmä	14
Näytealojen ja näytepuiden valinta	14
Näytepuiden tutkiminen	16
Muut näytealoilla suoritettut tutkimukset	19
Tutkimusaineisto	21
Juuriyhteyksien esiintyminen	29
Juuriyhteyksien esiintyminen eri ikäkausina	29
Juuriyhteyksien esiintyminen eri latvuserrosten puilla	31
Puiden välisen etäisyyden vaikutus juuriyhteyksien esiintymiseen	32
Juuriyhteyksien morfologia	36
Puuparin juuriyhteydet	36
Puuryhmän juuriyhteydet	44
Juuriyhteyksien syntyminen	50
Juurten välinen kosketus	50
Juurten yhteen kasvettuminen	51
Juuriyhteyksien fysiologisia seuraamuksia	56
Juuriyhteys elävien puiden yhdistäjänä	56
Veden kulkeutuminen elävien puiden yhteen kasvettuneissa juurissa	56
Ravinteiden kulkeutuminen elävästä puusta toiseen	63
Kaadettujen ja pystykuivien puiden juuristojen eloon jääminen ja toiminta	66
Kantojen eloon jääneet juuristot	66
Esiintyminen	66
Terveystila	69
Toiminta	78
Pystykuivien puiden eloon jääneet juuristot	86
Esiintyminen ja terveystila	86
Toiminta	87
Metsänhoidollisia sovellutuksia	92
Yhdistelmä	95
Kirjallisuusluettelo	97
<i>Referat</i>	103

Johdanto

Suomen metsätieteellinen tutkimus on johdonmukaisesti pyrkinyt selvittämään metsiköiden sisäistä kehitystä ja siihen liittyviä ilmiöitä hyvin tietäen sen tosiasian, että korkeatasoinen metsänhoitotekniikka voi rakentua vain näin luodulle pohjalle. Tällaisille perustavaa laatua oleville selvittelyille on Suomessa ollut hyvät edellytykset ennen kaikkea sen vuoksi, että tutkimusten tarpeita varten on ollut käytettävissä luonnonvaraisia metsiköitä ja A. K. C a j a n d e r i n työn tuloksena selvä kasvupaikkojen luokittelu. Metsiköiden sisäistä kehitystä on näin ollen voitu tutkia mahdollisimman puhtaana.

Tälle pohjalle rakentuneiden tutkimusten tuloksina meillä onkin varsin monipuolinen kuva tärkeimpien metsikkölajiemme puuston maanpäällisten osien kehityksestä (vrt. Y r j ö I l v e s s a l o 1920 a, b, 1937, L ö n n r o t h 1925, L a p p i - S e p p ä l ä 1930, M i e t t i n e n 1932, K a l e l a 1936, 1939). Näiden tutkimusten rinnalla, osittain niiden yhteydessäkin, on pyritty selvittämään myös yksityisten puiden ja metsiköiden maansisäisen kehityksen pääpiirteitä (vrt. A a l t o n e n 1920, 1942, H e i k i n h e i m o 1920, M u l t a m ä k i 1923, K o k k o n e n 1923, P ö n t y n e n 1929, L a i t a k a r i 1927, 1934, H e r t z 1935, K a l e l a 1936, 1942, 1946, 1948, 1949, S i r é n 1948, 1950). Näihin tutkimuksiin on johdannut erityisesti tarve saada tietoja puiden välisestä vuorovaikutuksesta, josta metsikön kehityksen monet olennaiset piirteet aiheutuvat ja joka sen vuoksi on monella tavalla otettava huomioon metsien hoidossa.

Mainitut näkökohdat ovat antaneet suunnan myös tälle tutkimukselle. Tarkoituksena on niiden mukaisesti selvittää m ä n n i k ö i s s ä t a v a t t a v i a p u i d e n v ä l i s i ä e l i m e l l i s i ä j u u r i y h t e y k s i ä, niiden yleisyyttä, morfologiaa ja fysiologiaa. Juuriyhteyteen kuuluviksi luetaan yhteyttä välittävät juuret sekä juurten yhteenkasvettuma. Yhteenkasvettuman on katsottu syntyneen silloin, kun toistensa kanssa kosketuksiin joutuneiden juurten välille on muodostunut yhtenäistä puuta. Juurten välisiä mekaanisia yhteenliittymiä ei tutkimuksessa käsitellä, ei myöskään tietyn puuyksilön omien juurten välisiä yhteenkasvettumia.

Ennen tämän tutkimuksen aineiston keruuta on suoritettu muutamia esitutkimuksia (Yli-Vakkuri 1938, 1939, 1945). Ne ovat olleet suuren apuna tätä työtä suunniteltaessa. Niihin sisältyvät tiedot varmistavat lisäksi tämän tutkimuksen tuloksia ja tekevät mahdolliseksi olla puuttumatta eräisiin jo selvitettyihin erikoispiirteisiin. Esitutkimukset ovat myös antaneet aikaisempia tietoja (Laitakari 1927) varmentavan viitteen siitä, että puiden väliset juuriyhteydet ovat meikäläisissä männiköissä ilmeisesti siksi yleisiä, että niiden entistä perusteellisempi selvittäminen on aiheellista.

Tutkimuksessa käytetään puun juuriston eri osista Laitakarin (1927) vakiinnuttamia nimityksiä.

Aikaisemmat tutkimukset

Varhaisimmat tiedot puiden välisistä juuriyhteyksistä ovat viime vuosisadan alkupuolelta. Ilmiöön kiinnitettiin tällöin huomiota tutkittaessa havupuiden kantojen elossa pysymistä ja kantoleikkausten kyljestymistä.

Reum (1826) lienee ollut ensimmäinen, joka on esittänyt tämän aiheutuvan siitä, että kaadettujen puiden juuret ovat yhteydessä elävien puiden juurten kanssa. Tämä selitys on samalla alkuna pitkäaikaiselle kiistalle kyljestyneiden kantojen muodostumisedellytyksistä. Rassman (1827 a, b) asettuu nimittäin vastustamaan Reumin esittämää kantaa väittäen, että on löydetty täysin erillään olevia eläviä kantoja ja että niitä yleensä voi esiintyä ilman juuriyhteyksiä eläviin puihin. Tämä käsitys on saanut muitakin kannattajia. Erityisen innokkaasti sitä puolustaa Hartig (1844, 1846, 1878, s. 263), joka katsoo, että kannot voivat pysyä elossa vararavintovarastojen turvin. Reumin käsitystä puolestaan asettuvat kannattamaan v. Berg (1831, 1844, 1845), Göppert (1842, 1846), Stintzel (1843 a, b), Pfeil (1860, s. 473), Franke (1881) ja Blomqvist (1883, s. 25). Voitto kallistuikin tässä kiistassa jo viime vuosisadalla Reumin puolelle. Myöhemmät tutkimukset ovat sitä jatkuvasti varmistaneet.

Tämän viime vuosisadalla käydyn kiistan yhteydessä kävi selväksi, että juuriyhteyksiä esiintyy Keski-Euroopassa yleisesti kuusi- ja jalokuusi- sekä pyökkimetsiköissä. Juuriyhteyksien esiintyminen mäntyjen välillä myös tunnettiin (Göppert 1846). Yhteenkasvettumien anatominen puoli, johon tutkimuksissa toistuvasti kiinnitettiin huomiota, tuli jo tällöin varsin monipuolisesti valaistuksi.

Erityisesti Göppertin ja Franken tutkimukset valaisevat myös yhteenkasvettumien syntymistä. Yhteenkasvettumien muodostumisen perusedellytyksenä pitää Franke yhtyvien osien välistä puristusta, niiden kuulumista samaan lajiin, liittymistä yhteen jollakin liimavalla aineella ja jakaantumiskykyisten solukoiden esiintymistä yhtymäkohdassa. Poikkeuksena edellä olevasta säännöstä hän mainitsee Göppertin tapaaman kuusen ja Keski-Euroopan jalokuusen juurten yhteenkasvettu-

man. Molempien tutkijoiden otaksumien mukaan nestevirtaukset puusta toiseen ovat mahdollisia. Myös Berg (1844) arvelee, että heikko puu saa jo elinaikanaan juuriyhteyden turvin ravintoa vahvemmalta naapuriltaan ja että syrjäytyneet puut tämän vuoksi säilyvät havumetsissä kauan elossa. Hän myös toteaa, että yhtenäinen, laajalle haaroittunut juurikudos antaa tukea siihen kuuluville puille ja että juurten yhteenkasvettumien suoma tuki säilyy hakkuun jälkeenkin, koska kannot tai ainakin yhteen kasvettuneet juuret säilyvät elossa, jos kannot jätetään rai-vaamatta.

Keski-Euroopassa on kiinnitetty juurten yhteenkasvettumiin huomiota myös tämän vuosisadan puolella. Niinpä Neeff (1922) on tutkinut juurten ja runkojen yhteenkasvettumia sekä eläviä kantoja pyrkies-ään syventämään oppia solujen navallisuudesta. Hänen havaintonsa koskevat lehmusta, pyökkiä ja jalokuusta. Tutkimuksessa selvitetään perusteellisesti syiden kulkua yhteen kasvettuneissa juurissa ja todetaan, että solut eivät yhdy mielivaltaisesti, vaan navallisuutta noudattaen. Neeff päättelee syiden kulusta yhteenkasvettumissa, että ravintoaineiden vaihto on mahdollista yhteen kasvettuneiden juurten välillä.

Wichmann (1925) esittää joukon havaintoja ja olettamuksia juurten yhteenkasvettumista, niiden muodostumiseen vaikuttavista tekijöistä ja seurauksista. Hän on todennut puiden välisiä juuriyhteyksiä esiintyvän kuusella ja useilla muilla havupuilla. Hän korostaa keskenään juuriyhteydessä olevien puiden fysiologista yhteenkuuluvuutta ja mainitsee juurten yhteenkasvettumien vaikuttavan lahon leviämiseen ja salamavahinkojen luonteeseen. Hänen mukaansa juuret ovat savimaalla pinnallisia ja juurten yhteenkasvettumat sen vuoksi yleisiä. Kantojen juuristo-
tojen, jotka jäävät hakkuussa eloon, hän otaksuu vaikuttavan suotuisasti jäljelle jäävien puiden kasvuun.

Liesen (1926) tutkimuksissa sivutaan myös männyn juurten yhteen kasvettumista. Hän pitää nimittäin männyn juurten aikaisin alkavaa kaarnan muodostumista syynä siihen, että yhteenkasvettumia ei muodostu, vaikka juuret koskettavatkin toisiaan. Vain lähellä puun tyveä yhteenkasvettumia syntyy juurten paksuuskasvun aiheuttaman ankaran puristuksen vuoksi. Hänen mukaansa sellaisilla puilla, joilla kaarnan muodostuminen alkaa myöhään, kuten koivulla ja douglaskuusella, juurten yhteenkasvettumia sen sijaan esiintyy usein.

Fabricius (1927) esittää kuusen, jalokuusen, douglaskuusen ja lehtikuusen kantojen kyljestymistä koskevien havaintojen yhteydessä tietoja myös juurten yhteenkasvettumista. Esitykseen liittyy lisäksi viit-
tauksia aikaisempiin tutkimuksiin.

Männyn juuriston kehitystä koskevan tutkimuksensa yhteydessä Waggenhoff (1938) on todennut eri yksilöiden juurten kyllä koskettavan toisiaan ja olevan kosketuskohdassa litistyneitä, mutta ei ole tavannut yhteenkasvettumia. Näiden havaintojen perusteella hän pitää ilmiötä harvinaisena. Kun aineistona on vain neljä mäntyä, päätelmät lienevät liian rohkeita. Selostaessaan myöhemmin mainittavia Laitakarin tutkimuksia Waggenhoff näyttää käsittäneen näytealojen määrän näytepuiden luvuksi ja esittää sen vuoksi Laitakarin tutkimustulok-
sen virheellisesti.

Venäjällä on juuriyhteyksien esiintyminen ollut viime aikoina vilkkaan huomion kohteena. Niinpä Junovidov (1950, 1951) on tehnyt havain-
toja nimenomaan männyn juuristojen yhteen kasvettumisesta Länsi-Siperiassa, Borovojen luonnonsuojelualueella, jossa mänty esiintyy metsäsaarekkeina suola-arolla. Tutkimuksissaan hän toteaa, mainitsematta tarkemmin havaintojensa laatua, että juurten yhteen kasvettuminen on männiköissä hyvin yleistä. Maan hienojakoisuuden ja kivisyyden hän katsoo lisäävän yhteenkasvettumien muodostumisedellytyksiä. Hän mainitsee myös kasvavien männyn kantojen runsaasta esiintymisestä ja esittää tiedon kokeesta, jossa kaulattu mänty säilyi elossa kaatoon asti eli 12 vuotta ollessaan juuriyhteydessä elävän puun kanssa. Hakkuissa jäljelle jäävien puiden kasvun hän arvelee lisääntyvän siitä, että niiden käyt-
töön siirtyy kaadettujen puiden juuristoja.

Mielenkiintoisia tietoja juuriyhteyksien esiintymisestä ja muodostumisesta esittää myös Rubtsov (1950), joka on tutkinut ilmiötä Kasanin rautatien varrelle perustetuissa, kinostamiseen tarkoitetuissa metsäkaistaleissa. Tutkimus koskee pääasiallisesti koivua ja eräitä muita lehtipuita, vähemmässä määrin kuusta, lehtikuusta ja mäntyä. Hänen käsityksensä mukaan yhteenkasvettumia esiintyy yleisesti, mutta niiden syntyminen ei ole yhtä helppoa kaikilla puulajeilla. Juuriyhteyksien syntyä Rubtsov kuvaa yksityiskohtaisesti. Niiden merkityksestä hän esittää samanlaisia käsityksiä kuin Junovidov.

Pogrebniak (1950) ja Nikitenko (1951) mainitsevat juuriyhteyksien esiintymisestä tammien taimiryhmissä, jotka ovat peräisin niin sanotusta pesäkekylvöstä, jossa 10—15 terhoa sijoitetaan tavallisesti viiteen reikään 1 m²:n suuruiseen ruutuun. Nikitenko, joka on tutkinut Keski-Venäjällä tällaisesta kylvöstä noussutta, 25-vuotiasta tammi-
metsikköä, on havainnut, että juuriyhteyksiä alkaa muodostua jo taimis-
ton toisella ikävuodella. Myöhemmin juuriyhteyksien määrä lisääntyy, niin että pesäke muodostaa ikään kuin yhden ainoan elimistön. Luontai-
nen harventuminen on tällaisissa ryhmissä hänen käsityksensä mukaan

voimakasta sen vuoksi, että elinvoimaisimmat taimet riistävät ravinnon syrjäytyneiltä taimilta. N i k i t e n k o n mukaan pesäkemenetelmää käyttäen saadaan syntymään kestäviä suojaistutuksia. Pesäkekylvö onkin hyväksytty tammen viljelyn päämenetelmäksi arojen metsityksissä (B o r o v 1951, s. 197, L y s e n k o 1951).

Myös Pohjois-Amerikassa on suoritettu juuriyhteyksiä koskevia tutkimuksia. P e m b e r t o n (1921) on Kanadassa tekemiensä havaintojen perusteella selviteltyt ilmiötä erityisesti douglaskuusen ja jättiläisjalo-kuusen (grand fir) osalta. Tutkiessaan suomaalla kasvavien pohjoisamerikkalaisten puiden juuristoja R i g g ja H a r r a r (1931) eivät ole tavanneet eri yksilöiden välisiä juurten yhteenkasvettumia. Tietyn puun omien juurten välisiä yhtymiä he kyllä ovat todenneet. L a R u e (1934) sen sijaan on havainnut eri yksilöiden väliset juurten yhteenkasvettumat yleisiksi. Tutkimusaineistona hän on käyttänyt kantoja, joista oli tehty aita. Myöhemmin (1952) hän on tavannut juuriyhteyksiä myös lukuisilla Keski-Amerikan trooppillisilla puilla.

Yhdysvalloissa on kiinnitetty tammimetsiköissä esiintyviin juuriyhteyksiin huomiota erityisesti sen jälkeen, kun M c N e w ja Y o u n g (1948) mainitsivat, että eräs tammien vaarallinen tuhosiini (*Chalara quercina*) voi levitä puusta toiseen juurten yhteenkasvettumien kautta. Selvitellessään tämän sienien biologiaa ja torjuntaa yksityiskohtaisemmin K u n t z ja R i k e r (1950 a, b, 1951) sekä B e c k m a n ja K u n t z (1951) ovat todenneet tammimetsiköissä runsaasti juuriyhteyksiä. Nämä tutkimukset ovat myös metodinsa puolesta mielenkiintoisia, sillä juurten esiin kaivamisen ja vesisuihkulla paljastamisen ohella käytettiin juuriyhteyksien toteamiseen myrkkijä ja väriaineita sekä radioaktiivisia isotooppeja.

Suomessa on L a i t a k a r i ensimmäisenä tutkinut puiden välisiä juuriyhteyksiä. Männyn juuriston morfologisia piirteitä selvittävässä perusteellisessa tutkimuksessaan hän (1927) esittää niistä joukon esimerkkejä ja mainitsee myöhemmin (1929), että ne ovat varsin yleisiä männiköissä, joskaan eivät ehkä niin yleisiä kuin kuusikoissa. Edelleen hän on todennut (1934) myös koivuyksilöiden välisiä juurten yhteenkasvettumia ja pitää varmana, että niitä koivulla on yhtä runsaasti kuin männyllä. Juuristoja koskevien tutkimustensa tuloksena hän huomauttaa, että kaadettujen puiden juuristojen siirtyminen joko kokonaan tai osittain jäljelle jäävien puiden palvelukseen on otettava huomioon arvosteltaessa hakkausten ja erityisesti kasvatushakkausten vaikutusta jäljelle jäävän puuston kasvuun.

Myös tämän kirjoittaja on aikaisemmin selviteltyt erityisesti elävien kantojen perusteella juuriyhteyksien esiintymistä männiköissä ja kuusi-

koissa ja saavuttanut tällöin L a i t a k a r i n tutkimusten mukaisia tuloksia (Y l i - V a k k u r i 1938, 1939, 1945).

Juuriyhteyksiin on kiinnittänyt jonkin verran huomiota myös K a n g a s (1940, 1946, 1952) maannousemaa ja kuusikoiden kuivumista koskevissa tutkimuksissaan.

Katsaus juuriyhteyksiä koskevaan kirjallisuuteen osoittaa, että ilmiö on kiinnostanut tutkijoita yli sadan vuoden ajan. Mielenkiinto ei ole kuitenkaan kohdistunut erityisen tasapuolisesti eri puulajeihin. Niinpä juuriyhteyksien esiintyminen männiköissä on jäänyt suhteellisen vähäisen selvittelyn varaan. Tämä johtuu ilmeisesti siitä, että männiköissä ei ole tavattu tutkijain mielenkiintoa herättäneitä kyljestyneitä kantoja.

Yleensä koostuu juuriyhteyksiä koskeva tietämys lukuisista erillisistä havainnoista. Kokonaiskuvaa ilmiöstä on niiden perusteella vaikea saada minkään puulajin osalta.

Vaikeuksia tuottaa jo käsityksen saaminen ilmiön yleisyydestä, sillä juuriyhteyksien esiintymisestä on käytettävissä enimmäkseen vain subjektiivisia lausumia. Näin ollen on paikallaan pyrkiä ilmiön tilastolliseen selvittelyyn.

Juuriyhteyksien fysiologiseen puoleen on aikaisemmissa tutkimuksissa kiinnitetty paljon huomiota ja esitetty lukuisia olettamuksia. Niitä varmentavia kokeita on sen sijaan suoritettu vähän. On näin ollen aiheellista tutkia ilmiötä myös kokeellisesti, jotta voitaisiin entistä varmemmin arvioida sen käytännöllistä merkitystä. Tällöin on tarpeellista saada tietoja erityisesti elävien kantojen juuristojen toiminnasta ja yleensä siitä, missä määrin keskenään juuriyhteydessä olevia puita voidaan pitää ravitsemuksensa puolesta yhteen kuuluvina.

Tutkimusmenetelmä

Näytealojen ja näytepuiden valinta

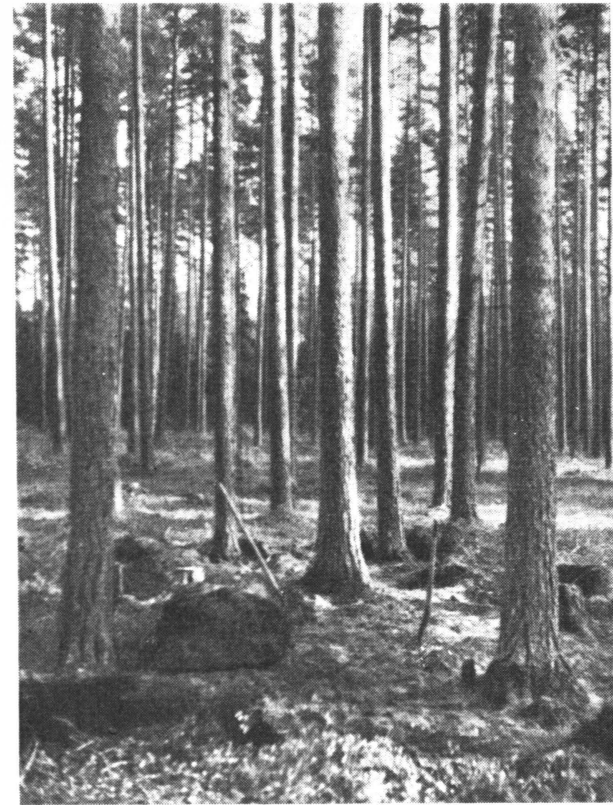
Tutkimuksia varten otettiin kolmenlaisia näytealoja. Pääosa valittiin edustamaan luontaisesti syntyneitä männiköitä. Vertailun vuoksi otettiin muutamia näytealoja myös kylvömänniköistä. Fysiologisia kokeita varten tarvittiin lisäksi eräitä tutkimusmetsiköitä.

Luontaisesti syntyneitä metsiköitä edustavat näytealat pyrittiin valitsemaan siten, että ne muodostaisivat sarjan taimistoista aina vanhoihin metsikköihin asti. Näytealojen muodostama sarja pyrittiin edelleen saamaan mahdollisimman yhtenäiseksi. Tämän vuoksi tutkimus keskitettiin vain puolukkatyyppin männikköjä koskevaksi. Kun puolukkatyyppiä kuitenkin esiintyy erilaisilla maalajeilla (Aaltonen 1941) ja kun maalaji puolestaan vaikuttaa männyn juuriston rakenteeseen (Laitakari 1927), rajoitettiin tutkimusta maalajiinkin nähden siten, että näytealojen paikoiksi valittiin mahdollisimman kivettömiä, tasaisia hiekkamaita. Puustonsa puolesta tutkimuksen kohteiksi pyrittiin saamaan sellaisia metsiköitä (kuva 1), jotka olisivat mahdollisimman puhtaita, säännöllisesti kehittyneitä, täysi- tai lähes täysitiheitä ja luonnonvaraisia tai enintään vain lievähköillä, pääasiallisesti syrjäytyneisiin puihin kohdistuneilla hakuilla käsiteltyjä.

Kylvötaimituppaiden juuriyhteyksiä pyrittiin selvittämään säännöllisesti kehittyneissä puolukkatyyppin taimistoissa (kuva 2) kivettömällä hiekka- ja hietamailla.

Luontaisesti syntyneitä ja kylvömänniköitä edustavat näytealat merkittiin maastoon seivästämällä. Näytealan suuruus vaihteli metsikön kehitysvaiheen mukaan. Tukkimetsissä se oli 0.20—0.25 ha, riukumetsissä 0.05—0.20 ha sekä tiheiköissä ja taimistoissa 0.01—0.05 ha. Metsikön kehitysvaiheiden rajat määritettiin Sarvaksen (1940) ehdottamalla tavalla.

Juuriyhteyksien selvittelyä varten valittiin luontaisesti syntyneitä männiköitä edustavilta näytealoilta yleensä 9 näytepuuta, eräissä tapauksissa 5 tai 7, taimistoista ja tiheiköistä enemmän, 7—25 näytepuuta.



K u v a 1. Tutkimuksen kohteena ollut 122-vuotias männikkö. Näyteala 28, Lammi.
A b b. 1. Ein 122jähriger Untersuchungsbestand. Probefläche 28, Lammi.

Valinta tapahtui siten, että maastoon mitattiin ja merkittiin kuvan 3 osoittamalla tavalla näytepuiden lukua vastaava määrä apupisteitä ja kunkin pisteen lähin puu otettiin tutkittavaksi.

Kylvötaimistoissa selvitettiin juuriyhteyksien esiintymistä pääasiallisesti sellaisissa taimituppaissa, joita taimistoissa oli runsaimmin. Tutkittavaksi otettiin taimiluvultaan kulloinkin vaatimukset täyttävä taimitupasnäytealan tai tarvittaessa sen lähiympäristön taimiriveistä. Umpimähkäisyys näytteiden otossa saavutettiin siten, että edettiin näytealan jostakin laidasta lähtien taimirivejä pitkin siksi, kunnes taimiluvultaan halutunlainen tupas löydettiin. Näytepuuksi valittiin tuppaan kookkain taimi.

Fysiologisten tutkimusten kohteiden valinnan määräsi kulloisenkin kokeen laatu ja tarkoitus.



K u v a 2. Tutkimuksen kohteena ollutta 17-vuotiasta kylvömännikköä. Näyteala 12, Alajärvi.

A b b. 2. Ein 17jähriger aus Saat hervorgegangener Untersuchungsbestand. Probefläche 12, Alajärvi.

Näytepuiden tutkiminen

Luontaisesti syntyneitä männiköitä edustavista näytepuista mitattiin läpimitta rinnan- ja kannonkorkeudelta sekä pituus, todettiin kairauksella ikä ja määritettiin puuluokka L a u r i I l v e s s a l o n (1929) luokitusta käyttäen. Kannonkorkeutena pidettiin alinta ajateltua katkaisukohtaa (vrt. Y r j ö I l v e s s a l o 1951, s. 35). Myös näytepuiden lähipuista mitattiin läpimitta rinnan- ja kannonkorkeudelta. Lähikannoista mitattiin samoin läpimitta ja selvitettiin tai arvioitiin hakkuusta kulunut aika. Nämä mittaukset ulotettiin metsikön kehitysvaiheen mukaan näytepuun keskipisteestä 1—4 m:n säteelle (nuorimmassa taimistossa 0.25 m:n säteelle). Mittauksia suoritettaessa käytettiin seuraavia etäisyysluokkia: 0—25.0, 25.1—50.0, 50.1—100.0, 100.1—200.0 cm jne.

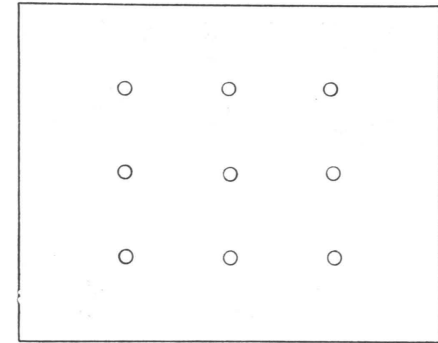
Kunkin näytepuun juuristo kaivettiin esiin, jotta voitiin todeta sen mahdolliset elimelliset yhteydet muihin juuristoihin. Tätä varten poistettiin ensin kangashumus näytepuun lähiympäristöstä. Usein se voitiin vetää

sivuun yhtenäisinä mattomaisina suikaleina. Sen jälkeen alkoi usein hyvin vaivalloinen ja aikaa vievä työ juurten paljastamiseksi (kuva 4).

Juurten esiin kaivaminen aloitettiin yleensä näytepuun tyveltä. Työssä käytettiin apuna erilaisia puutarhatyövälineitä, kuten istutuskauhoja, pikku haroja sekä kuokkia ja lapiota. Usein kaivettiin juurten väliin puun tyvelle kuoppa ja valutettiin siihen pienillä työvälineillä ja käsin hiekkaa. Kun oli saatu kaivetuksi esiin näytepuun keskusjuuristo, otettiin vuoron perään selvitetäväksi ulommas suuntautuvat pintajuuret. Kaivutyön tarkkuudesta on mainittava, että joskus oli vaikeata seurata alle 0.5 cm:n paksuisen juuren kulkua sen katkettua kaivutyön yhteydessä. Milloin jokin juuri selvästi suuntautui alueelle, jossa sillä, saavutetun kokemuksen mukaan, ei ilmeisesti ollut mahdollisuutta yhteen kasvettumiseen, sitä ei seurattu loppuun asti. Näin meneteltiin erityisesti suurten puiden ollessa kyseessä. Järeiden puiden syvälle ulottuvaa keskusjuuristoa ei myöskään aina voitu seurata juurten kärkiin asti.

Tavatut juuriyhteydet tutkittiin yksityiskohtaisesti. Muistiin merkittiin tällöin mm. yhteen kytkeytyneiden puiden välinen etäisyys, yhteen kasvettuneiden juurten laatu ja niiden paksuus yhtymäkohdan molemmin puolin sekä yhteenkasvettuman laatu ja sen etäisyys näytepuusta ja siihen liittyneestä puusta (kannosta). Juuriyhteyden olemassaolo tarkistettiin poistamalla juurista kuorta, tarvittaessa leikkaamalla juuret poikki yhtymäkohdan paikkeilta. Pintajuurten paksuus mitattiin pystysuunnassa. Mittauskohdat valittiin sellaiselta etäisyydeltä yhteenkasvettumasta, että siitä aiheutuneet epäsäännöllisyydet eivät enää tuntuneet. Juuriyhteyksiä havainnoitaessa laskettiin etäisyydet puiden ulkopinnasta. Yhteenkasvettumista otettiin usein näytteitä tarkempaa selvittelyä varten. Yhteen liittyneistä juuristoista piirrettiin karttaluonnos.

Kylvötaimistojen näytetuppaista mitattiin kaikkien taimien läpimitta tyvestä, yli 1.3 m:n pituisten myös rinnankorkeudelta, samoin taimien pituus ja etäisyys näytepuusta, sekä selvitettiin, oliko niillä yhteys näyte-



K u v a 3. Kaaviokuva näytealasta ja näytepuiden umpimähkäistä valintaa varten mitatuista apupisteistä.

A b b. 3. Schematisches Bild von der Probefläche und der für die willkürliche Wahl der Probebäume vermessenen Hilfspunkte.



Kuva 4. Kaivutyö käynnissä. Juupajoki.
Abb. 4. Bei der Grabungsarbeit. Juupajoki.

puuhun tai johonkin muuhun tuppaan taimeen. Tuppaan taimien sijainnista ja niiden välisistä yhteyksistä piirrettiin kaaviokuva.

Kasvifysiologisten kokeiden yhteydessä tutkittiin puut (kannot), niiden juuristot ja juuristojen väliset yhteydet pääasiallisesti samalla tavalla kuin luontaisesti syntyneiden männiköiden näytepuita huomioitaessa. Kulloinkin havainnoidut seikat ilmenevät myöhemmin esitettävistä kokeiden selostuksista. Kokeilla pyrittiin selvittämään lähinnä seuraavia kysymyksiä.

1. Missä määrin kasvavat puut voivat käyttää vedenotossaan niiden kanssa elimellisessä yhteydessä olevien kaadettujen tai pystykuivien puun juuristoja tai niiden osia?

2. Tapahtuuko kasvavien puiden yhteen liittyneissä juuristoissa isännän vaihtoa, toisin sanoen jonkin juuren tai sen osan siirtymistä kokonaan toisen puun käyttöön?

3. Voiko kivennäisravinteita siirtyä juuriyhteyksien kautta puusta toiseen?

Kahta ensimmäistä kysymystä tutkittiin siten, että seurattiin väriaineita käyttäen nesteiden kulkeutumista yhteen kasvettuneissa juurissa. Kivennäisravinteiden siirtymistä puusta toiseen selvitettiin radioaktiivisen fosfaattiliuoksen avulla. Kokeiden suoritustapa on selostettu tutkimustulosten esittelyn yhteydessä.

Muut näytealoilla suoritettut tutkimukset

Näytealan puuston selvittämiseksi luettiin kaikki puut ja mitattiin niiden paksuus rinnankorkeudelta kuoren päältä käyttäen tasaavaa 2 cm:n luokkavälistä käyräkaulainta. Lisäksi tehtiin 16—26 puusta pituus- ja kapenemismittauksia. Metsikön kuutioiminen voitiin tämän jälkeen suorittaa Yrjö Ilvessalon (1947) taulukoiden avulla. Pystykuivat ja elävät puut käsiteltiin erikseen. Pystykuivat puut ryhmiteltiin sen mukaan, oliko jälsi niiden tyvässä elossa (yhteydessä elävän puun kanssa) vai kuollut (ei yhteyttä). Puuston ikä määritettiin suorittamalla vähintään viisi kairausta. Metsikön tiheys arvioitiin silmämääräisesti sen mukaan, missä määrin kasvuala näytti olevan puuston hallussa (vrt. Yrjö Ilvessalo 1951, s. 22). Metsikön valtapituus laskettiin pituusmittausten perusteella. Valtapituutena pidettiin hehtaarin suuruiseksi ajatellun näytemetsikön sadan pisimmän puun keskipituutta. Toimitetuista hakkuista pyrittiin saamaan selkoa asiakirjoista sekä suorittamalla tiedusteluja ja havainnoimalla kantoja. Edelleen merkittiin muistiin metsikön terveydentila ja elinvoimaisuus sekä synty tapa.

Kylvötaimistojen tupaat ryhmiteltiin puiden luvun yhteydessä sen mukaan, miten paljon niissä esiintyi taimia.

Näytealoilta luettiin myös kaikki männyn kannot, mitattiin niiden läpimitta sekä etäisyys lähimmästä puusta ja määritettiin hakkuuvuosi sekä todettiin, olivatko kannot kuolleita vai eläviä. Näin meneteltiin sen vuoksi, että saataisiin tietää, miten yleisesti hakkuussa poistetuilla puilla oli juuriyhteyksiä jäljelle jääneiden puiden kanssa. Kantojen läpimitta mitattiin 5 cm:n luokkavälistä tasaavaa asteikkoa käyttäen välittömästi juuren niskan yläpuolelta. Lähimmästä puusta mitatun etäisyyden mukaan ryhmiteltiin kannot seuraaviin luokkiin: 0—25.0, 25.1—50.0, 50.1—100.0, 100.1—200.0 cm jne. Etäisyys laskettiin tällöin kannon ulkopinnasta puun ulkopintaan.

Kantojen luokittelu hakkuuvuosien mukaan tapahtui ensi sijassa lahoamisasteen perusteella. Luokituksessa käytettiin apuna Sarvasen (1944, s. 34) lahoisuusasteluokitusta ja siihen liittyvää hakkuuvuosiasteikkoa sekä hänen kantojen havainnoimiseen liittyviä muita kokemukseja. Luokituksen varmentamiseksi tehtiin havaintoja Metsätieteellisen tutkimuslaitoksen pysyvillä näytealoilla, joissa suoritetuista hakkuista on tarkat tiedot käytettävissä. Luokitusta helpotti eräissä tapauksissa se, että kaatotapa, kannon korkeus ja poistettu puutavaralaji olivat hakkuusta toiseen vaihdelleet, samoin kuin se, että tutkimuskohteiksi valittiin yleensä hakkuilta säästyneitä tai säännöllisen hakkuutoiminnan piiriin kuuluneita

metsiköitä. Luontaisesti kuolleiden puiden kannot vietiin siihen hakkuuvuosiluokkaan, mihin ne lahonneisuusasteensa perusteella näyttivät kuuluvan.

Niillä näytealoilla, joilla suoritettiin vain kasvifysiologisia kokeita, tyydyttiin puuston osalta silmävaraisen tarkastelun perusteella laadittuun yleiskuvaukseen. Metsikön ikä määritettiin näilläkin näytealoilla kairaus-ten avulla.

Näytealatöiden yhteydessä tai niistä riippumatta kaivettiin joidenkin puuryhmien kaikki juuret esiin, jotta voitiin todeta, miten monta puuta käsittäviä juuriverkkoja esiintyi.

Osa elävistä kannoista samoin kuin pystykuivista puista tutkittiin myös yksityiskohtaisesti. Näissä tutkimuksissa kiinnitettiin erityistä huomiota juuristojen terveydentilaan.

Maatutkimuksia varten kaivettiin näytealan keskipisteeseen 0.5 m:n syvyinen kuoppa. Tällaisen pistokokeen katsottiin riittävän, koska näin saatua käsitystä oli mahdollisuus tarkistaa näytepuiden juuristoja esille kaivettaessa. Maasta merkittiin muistiin maalaji sekä mitattiin humuksen ja A- ja B-horisontin paksuus. Maata koskevilla merkinnöissä käytettiin maaperäsanaston ja maalajien luokituksen tarkistuksessa vuonna 1949 hyväksyttyä maalajien luokitusta (Aaltonen ym. 1949). Maalajia määritettäessä käytettiin apuna mainitun luokituksen mukaisia näytteitä. Lisäksi otettiin maasta näyte, jonka nojalla asiantuntija¹ tarkisti määrityksen. Kivettömyyden toteamiseksi »rassattiin» näytealat metrin pituisella ja 1.0 cm:n paksuisella terästangolla samaan tapaan, kuin Viro (1947, 1952) on tehnyt kivisyystutkimuksissaan. Terästangon keskimääräistä painumaa nimitetään tässä tutkimuksessa syvyysindeksiksi.

Näytealan tutkiminen vaati metsikön kehitysvaiheesta ja tutkimusten luonteesta riippuen 1—10 työpäivää. Keskimäärin kului näytealaa kohden 4 työpäivää.

¹ Tarkistuksen suoritti tohtori P. J. Viro Metsätieteellisessä tutkimuslaitoksessa.

Tutkimusaineisto

Tutkimuksen pääaineisto kerättiin kesällä 1951. Sitä aikaisemmin, kesäkausina 1946 ja 1950, tehtiin eräitä alustavia kokeita ja selvitettiin tutkimusmetodiin liittyviä kysymyksiä. Aineisto, erityisesti sen vertaileviin tutkimuksiin tähtäävä osa, kerättiin jokseenkin suppealta alalta Etelä-Suomen länsipuoliskolta (kuva 5).

Tämän tutkimuksen kannalta voitaneen aluetta pitää metsien kasvusuhteiden puolesta kutakuinkin yhtenäisenä (vrt. Blomqvist 1872, Yrjö Ilvessalo 1920 a, Lönnroth 1925, Laitakari 1927, Miettinen 1932, Kujala 1936, Aaltonen 1941, Sarvas 1944, 1948, 1951). Toisaalta jo esitutkimuksissa (Yli-Vakkuri 1945) kävi selville, että kysymyksessä ei ole vain tälle alueelle keskittynyt paikallinen ilmiö.

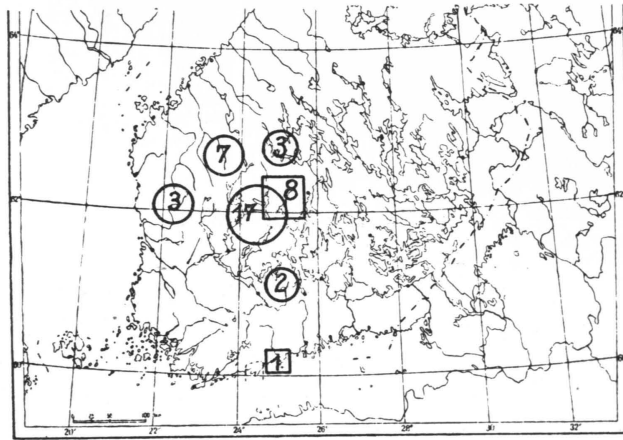
Tutkimuksia suoritettiin kaikkiaan 41 metsikössä. Metsiköiden jakaantuminen niissä tehtyjen tutkimusten mukaan ilmenee seuraavasta asetelmasta.

Yksityiskohtaisesti tutkittuja näytealoja	32 kpl
Metsiköitä, joissa suoritettiin vain kokeita	9 »
Tutkimusmetsiköitä yhteensä	41 kpl

Yksityiskohtaisesti tutkituista näytealoista, jotka muodostavat tutkimuksen pääaineiston, edustaa 28 luontaisesti syntyneitä männiköitä ja 4 kylvötaimistoja. Edellisiä koskevat havainto- ja mittaustulokset on koottu taulukkoon 1. Taulukon lukusarakkeissa on käytetty seuraavia lyhennyksiä: Δ = vähän, — = puuttuu, . = ei tutkittu. Metsiköiden kuutiomäärissä on tässä taulukossa, kuten myöhemminkin, kuori mukaan luettuna.

Taulukosta ilmenee, että luontaisesti syntyneitä männiköitä edustavat näytealat ja näytepuut jakaantuvat jotakuinkin tasaisesti eri ikäluokkiin. Vielä selvemmin se käy ilmi seuraavasta asetelmasta.

Metsikön ikä v	1—20	21—40	41—60	61—80	81—100	101—120	121—	Yht.
Näytealoja kpl	2	4	5	6	5	4	2	28
Näytepuuta kpl	50	42	39	44	39	32	18	264



Kuva 5. Näytealojen sijainti ja lukumäärä. Neliöt numeroineen osoittavat näytealoja, joissa suoritettiin kokeita, ja ympyrät vastaavasti muita näytealoja.
Abb. 5. Lage und Anzahl der Probestflächen. Die Vierecke bezeichnen die Probestflächen, auf denen nur Versuche angestellt worden sind, und die Kreise sonstige Probestflächen.

Tutkitut männiköt muodostavat siis ikänsä puolesta sarjan taimistoista vanhoihin metsikköihin asti. Ikäluokassa 1—20 vuotta korvattiin näytealojen vähäistä määrää ottamalla vastaavasti runsaammin näytepuita. Tutkimuksen kannalta olisi tietenkin ollut hyödyllistä saada aineistoon enemmän yli 120-vuotiaita metsiköitä. Tutkimusalueelta oli kuitenkin vaikea löytää sellaisia tämän ikäisiä metsiköitä, jotka kaikissa suhteissa olisivat täyttäneet vaatimukset.

Myös tiheydensä puolesta näytemetsiköt vastaavat asetettuja vaatimuksia. Tutkituista männiköistä olivat 65-vuotiaat ja sitä nuoremmat kaikki täysitiheitä, 65 vuotta vanhemmille oli tunnusomaista tiheysaste 0.9.

Näytealojen puuston valtapituudet ilmenevät havainnollisesti kuvasta 6. Mainittujen valtapituuksien perusteella piirretty käyrä yhtyy jokseenkin täydellisesti siihen käyrään, jonka Viro (1947) on saanut analysoimalla valtapuiden kehitystä yli 50-vuotiaissa puolukkatyyppin männiköissä, jotka kasvoivat hiekka- ja soramailla. Yrjö Ilvessalon (1920 b) esittämien kehityssarjojen mukaan arvostellen mainittu käyrä sen sijaan asettuu puolukka- ja kanervatyyppin välimaille noudattaen hyvin Ilvessalon käyrien edustamaa kehityssuuntaa. Jokseenkin samanlaisen tulokseen johtaa vertailu Lönnrothin (1925) esittämiin

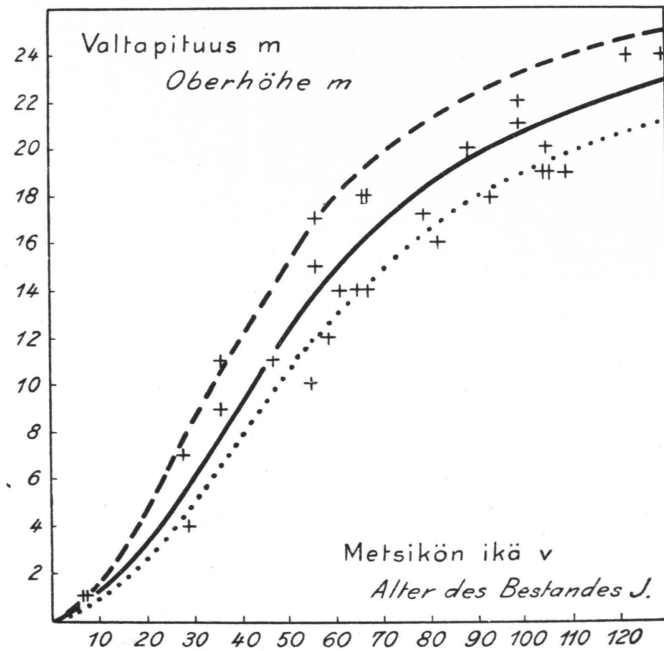
Taulukko 1. Mittaustuloksia näytemetsiköistä.
Luontaisesti syntyneet männiköt.

Table 1. Messungsergebnisse aus den Probeständen.
Natürlich entstandene Kiefernbestände.

Näytealan n:o Probestfläche Nr.	Kunta Gemeinde	Maatala 1 Bodenart 1	Maatala 2 Tiefenindex 2 cm	SYVYYS- indeksi 2 cm Tiefenindex 2 cm	Ikä v Alter J.	Tiheys Dichte	Valtapitus m Oberhöhe m	Eläviä puita Lebende Bäume		Pystyk. puita Auf dem Stock verdorrtte Bäume		Kantoloja kpl/ha Stüben St./ha	Näytepuita kpl Probestäume St.
								kpl/ha St./ha	m ³ /ha fm/ha	kpl/ha St./ha	m ³ /ha fm/ha		
31	Orivesi	HHk	51	7	1.0	1	57 600	△	.	.	—	25	
32	Orivesi	HHk	57	7	1.0	1	63 600	△	.	.	—	25	
14	Alavus	HHk	59	28	1.0	7	21 100	89	600	△	—	9	
16	Kauhajoki	HHk	48	29	1.0	4	46 800	61	1300	△	—	17	
10	Saarijärvi	HHk	23	36	1.0	11	5 200	177	50	△	2 750	7	
18	Kuortane	HHk	48	36	1.0	9	7 480	99	60	△	3 580	9	
13	Alavus	HHk	52	47	1.0	11	6 000	161	240	1	4 460	9	
26	Kuorevesi	HHk	44	55	1.0	10	5 400	122	100	△	2 170	9	
25	Kuorevesi	HHk	42	56	1.0	15	3 080	184	30	1	2 450	7	
3	Orivesi	HHk	47	59	1.0	12	4 910	183	560	5	830	5	
15	Kauhajoki	HHk	56	61	1.0	14	3 343	179	457	7	429	9	
4	Orivesi	HHk	45	65	1.0	14	1 900	154	100	3	1 750	5	
8	Saarijärvi	HHk	42	66	0.9	18	980	153	—	—	550	7	
17	Honkajoki	HHk	45	67	1.0	18	885	193	—	—	1 075	9	
30	Orivesi	HHk	52	67	1.0	14	2 420	202	240	4	1 340	9	
1	Ruovesi	Sr	42	79	0.9	17	1 213	238	—	—	887	5	
20	Ruovesi	KHk	46	82	0.9	16	1 490	167	10	△	1 440	9	
19	Ruovesi	KHk	40	88	1.0	20	1 070	296	5	1	405	9	
22	Ruovesi	KHk	39	93	0.9	18	810	188	—	—	930	9	
2	Ruovesi	KHk	45	99	0.9	22	820	250	70	3	335	5	
9	Saarijärvi	HHk	54	99	1.0	21	635	250	—	—	935	7	
5	Kuortane	HHk	51	105	0.9	20	1 055	238	30	1	1 645	7	
7	Kuortane	HHk	49	105	0.9	19	725	250	—	—	1 035	7	
24	Kuorevesi	HHk	45	105	0.9	19	976	237	108	3	780	9	
23	Ruovesi	HHk	49	109	0.9	19	940	236	20	1	900	9	
28	Lammi	KHk	41	122	0.9	24	376	248	—	—	676	9	
29	Lammi	KHk	37	130	0.9	24	368	300	—	—	428	9	

¹ Sr = sora — Grus, KHk = karkea hiekka — grober Sand, HHk = hieno hiekka — feiner Sand, KHt = karkea hieta — grober Feinsand, HHT = hieno hieta — feiner Feinsand.

² Selostettu sivulla 20. — Siehe S. 105.

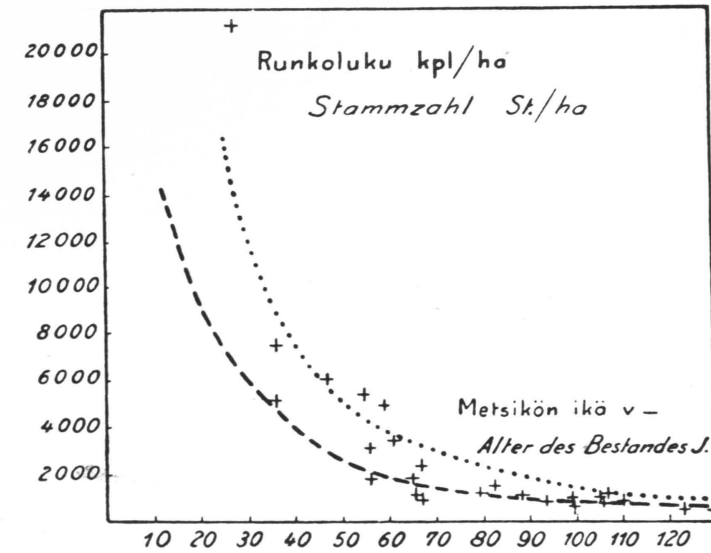


Kuva 6. Näytemetsiköiden valtapituudet (ristit) ja niiden perusteella piirretty käyrä (yhtenäinen viiva). Katkoviiva kuvaa kasvu- ja tuottotaulukoiden mukaista valtapituuden kehitystä puolukkatyypissä ja pisteiviiva kanervatyypissä.
 Abb. 6. Die Oberhöhen (Kreuze) der Probebestände und die auf ihrer Grundlage gezeichneten Kurven (ausgezogene Linie). Die gestrichelte Linie bezeichnet die den Zuwachs- und Ertragstabellen (vgl. Yrjö Ilvessalo 1920 b) entsprechende Entwicklung beim Vaccinium-Typ und die gepunktete Linie beim Calluna-Typ.

kehityssarjoihin. Edellä olevan perusteella voitaneen todeta, että näytealat edustavat jokseenkin yhtenäisesti karunlaista puolukkatyyppiä.

Valtapiuuksien tarkastelun perusteella ei näytealoja aineistosta karstittu siitä huolimatta, että eräiden metsiköiden valtapiisuus poikkesi varsin paljon yleisestä tasosta.

Runkolukunsa perusteella näytemetsiköt muodostavat iän mukaisessa järjestyksessä sarjan, joka pääosiltaan pysyttelee puolukka- ja kanervatyypin kehityssarjojen välimailloilla (kuva 7). Vanhimpien metsiköiden pienhköön runkolukuun ovat syynä etupäässä hakkuut. Kun aineistoon kuuluu toisaalta luonnontilaisia tai melkein luonnontilaisia ja toisaalta hakkuutoiminnan piiriin joutuneita metsiköitä, on ymmärrettävää, että runkoluvussa esiintyy melkoista vaihtelua samaakin kehitysvaihetta edustavien metsiköiden kesken. Kun osa kaadettujen puiden juuristoista kui-



Kuva 7. Näytemetsiköiden runkoluvut on ilmaistu kuvassa ristein. Katkoviiva kuvaa kasvu- ja tuottotaulukoiden mukaista runkoluvun kehitystä puolukkatyypissä ja pisteiviiva kanervatyypissä.

Abb. 7. Die Stammzahlen der Probebestände sind auf der Abbildung mit Kreuzen angegeben. Die gestrichelte Linie bezeichnet die den Zuwachs- und Ertragstabellen entsprechende Entwicklung der Stammzahl beim Vaccinium-Typ und die gepunktete Linie beim Calluna-Typ.

tenkin jää juuristojen välisten yhteyksien varassa eloon, on näytesarja elossa olevien juuristojen osalta ilmeisesti tasaisempi ja iän mukana hitaammin laskeva kuin runkoluvun muodostama sarja.

Näytemetsiköiden kuutiomäärä ja läpimittaluokkiin jakaantuminen osoittavat yleensä myös luonnon normaalin puolukkatyyppin ja kanervatyypin välimaille viittaavia piirteitä. Vanhimmissa metsiköissä voidaan todeta hakkuiden kuutiomäärää vähentänyt vaikutus.

Aineistoa kerätessä pyrittiin siihen, että metsiköt olisivat luonnontilaisia tai vain lieväpuoleisilla, pääasiallisesti syrjäytyneeseen puustoon kohdistuneilla hakkuilla käsiteltyjä. Taulukosta 1 voidaan jo todeta, että kaikkia yli 30-vuotiaita, luontaisesti syntyneitä männiköitä on hakattu. Vain eräissä vanhimmissa metsiköissä oli vanhoja, luultavasti 1920-luvulta peräisin olevia kantoja. Muilla näytealoilla oli hakkuita suoritettu kuluvan tai parin sitä edeltäneen vuosikymmenen aikana, alle 50-vuotiaissa metsiköissä vain viimeksi kuluneen vuosikymmenen aikana. Kannoista päätellen oli alle 90-vuotiaissa metsiköissä suoritettu enintään kaksi hakkuuta.

Eräissä näitä vanhemmissa metsiköissä hakkuita todettiin suoritettuna kolmekin. Niiden merkintöjen perusteella, joita hakkuiden laadusta tehtiin näytealojen tutkimuksen yhteydessä, havaittiin, että hakkuut yleensä olivat kohdistuneet pääasiassa syrjäytyneeseen puustoon. Näin oli laita erityisesti alle 90-vuotiaiden metsiköiden; näitä vanhemmissa metsiköissä sen sijaan syrjäytyneen puuston poiston rinnalla voitiin todeta myös tukkipuiden harsinnan jälkiä.

Jotta näytemetsiköt olisivat kaikissa suhteissa mahdollisimman yhtenäisiä, pidettiin edelleen vaatimuksena, että niiden tuli olla säännöllisesti kehittyneitä. Tämän vuoksi ei esimerkiksi kulojen ja muiden tuhojen vaurioittamia metsiköitä hyväksytty tutkimuskohteiksi, ei myöskään sellaisia metsiköitä, jotka olivat aikaisemmin ilmeisesti olleet harvoja.

Näytealan aikaisemmasta kehityksestä pyrittiin saamaan selvyyttä metsikön yleisen ulkonäön, kasvusuhteiden ja kannoston perusteella. Mitä nuorempia metsiköt olivat, sitä varmempaa oli tällainen selvittely. Vanhoista, yli 90-vuotiaista metsiköistä oli jo vaikeata varmasti arvioida aikaisempaa kehitystä. Alle 90-vuotiaista metsiköistä tehdyille merkinnöille voitaneen sen sijaan antaa arvoa. Niiden mukaan pääosa näytemetsiköistä lienee kehittynyt alusta asti tiheänä. Vain kolmesta näytealasta (näytealat 1, 8 ja 19) on merkintä, että ne eivät olisi kehittyneet erityisen tiheinä. Tarkastettaessa näiden näytealojen runkolukuja ja kantojen määrää taulukosta 1 voidaan erityisesti näytealan 8 osalta pitää aikaisempaa kehitystä koskevia epäilyjä aiheellisina.

Maalajin puolesta näytealat olivat jokseenkin yhdenmukaisia, erästä soramaalta valittua näytealaa lukuun ottamatta hiekkamaita edustavia. Vallitsevana oli hieno hiekka, kuten taulukosta 1 voidaan todeta. Näytealoilla 10, 13 ja 29 maalaji kävi syvempänä karkeammaksi. Ensiksi mainitulla näytealalla esiintyi syvempänä myös tuntuvaa kivisyyttä. Sen vaikutus ilmeni syvyysindeksissäkin. Yleensä näytealat olivat kivettömiä. Näytealan 10 lisäksi todettiin yksittäisten pikku kivien vähäistä esiintymistä vain näytealoilla 1, 2, 17, 19 ja 22. Humuksen paksuus vaihteli 2—5 cm. Keskimäärin se oli 3.1 cm. Valkomaan paksuuden vaihtelu oli vastaavasti 0—8 cm ja keskimäärä 3.2 cm. Saadut tulokset ovat sopusoinnussa Aaltoosen (1941) esittämien lukujen kanssa. Maastonsa puolesta näytemetsiköt olivat tasaisia, lukuun ottamatta näytealaa 8, joka valittiin noin 15°:n kulmassa viettävältä rinteeltä.

Juuristojen välisten elimellisten yhteyksien selvittelyä varten tutkittiin luontaisesti syntyneitä männiköitä edustavilla näytealoilla kaikkiaan 264 näytepuuta juuristoinen. Taimistovaiheen sivuuttaneiden, sulkeutuneiden metsiköiden näytepuusta oli pääosa, runsas kaksi kolmannesta, val-

litsevaan latvuserrokseen kuuluvia. Näytepuiden juuristoista oli 44 elimellisesti liittynyt toisten puiden juuristoihin. Kaikki havaitut juuriyhteydet tutkittiin yksityiskohtaisesti.

Kannoista, joita tutkittiin kaikkiaan 3795, näytti 441 olevan elossa. Kantojen juuristojen rappeutumisen selvittämiseksi tutkittiin yksityiskohtaisesti 36 kannon juuristot. Vastaavia selvityksiä tehtiin tutkimusmetsiköissä myös pystykuivista puista.

Aineiston täydentämiseksi paljastettiin viidessä tapauksessa kokonaisten puuryhmien juuristot. Tällöin kaivettiin esiin kaikkiaan 39 puun ja 37 kannon juuristot.

Kylvötaimistoja edustavien näytealojen yleinen luonne selviää taulukosta 2.

T a u l u k k o 2. Mittaustuloksia näytemetsiköistä. Kylvömänniköt.
T a b e l l e 2. Messungsergebnisse aus den Probebeständen. Aus Saat hervorgegangene Kiefernbestände.

Näytealan n:o Probefläche Nr.	Kunta Gemeinde	Maalaji ¹ Bodenart ¹	SYVYYS- indeksi ² cm Tiefenindex ² cm	Ikä v Alter J.	Tiheys m Dichte	Vallapituus m Oberhöhe m	Eläviä taimia Lebende Pflanzen		Kuolleita taimia Abgestorbene Pflanzen St./ha	Kantoja kpl/ha Stüben St./ha	Näytetainta kpl Probepflanzen St.
							kpl/ha St./ha	m ³ /ha fm/ha			
27	Kuorevesi	KHt	42	15	1.0	2	27 700	10	2 700	—	7
21	Ruovesi	KHt	60	16	1.0	5	19 500	46	1 200	—	9
12	Alajärvi	KHk	45	17	1.0	4	28 100	36	300	—	14
11	Ruovesi	HHt	56	20	1.0	9	3 430	77	30	4 410	21

^{1, 2} Vrt. taulukko 1. — Vgl. Tabelle 1.

Tutkitut kylvömänniköt olivat kaikki nuoria ja vanhinta lukuun ottamatta koskemattomina kehittyneitä. Viimeksi mainitun näytealan taimisto oli peräisin ruutukylvöstä, muiden sen sijaan vako-ruutukylvöstä. Maa oli kaikissa tutkimuskohteissa kivetöntä.

Kasvifysiologisin kokein selvitettiin veden kulkeutumista yhteen kasvettuneissa juuristoissa 36 yhdysparin osalta. Tutkituissa yhdyspareissa oli toisena osapuolena aina elävä puu, toisena kanto 21, pystykuiva puu 5 ja elävä puu 10 tapauksessa. Kokeilut radioaktiivisella fosfaattiliuoksella käsittivät kaksi elävien puiden välistä yhdysparia. Metsiköt, joissa kokeet suoritettiin, olivat puhtaita puolukkatyyppin männiköitä. Niiden muut tunnuksukset selviävät taulukosta 3. Yhdyspariksi on tutkimuksessa nimitetty kahta puuta (myös puuta ja kantoa), joiden välillä on juuriyhteyksiä.

Veden kulkua valaisevista kokeista esitetään myöhemmin eri yhteyksissä kulloinkin vain muutamia tyypillisiä tapauksia. Mukaan on tällöin otettu aineistoa niin, että kaikki kokeiden esiin tuomat seikat saavat valaistusta.

Taulukko 3. Mittaustuloksia metsiköistä, joissa tehtiin kokeita.

Tabelle 3. Messungsergebnisse aus den Beständen, in denen physiologische Versuche angestellt worden sind.

Näytemetsikön n:o Probebestand Nr.	Kunta Gemeinde	Maalaji ¹ Bodenart ¹	Ikä v Alter J.	Tiheys Dichte	Valtapituus m Oberhöhe m	Tutkittuja yhdyspareja kpl Untersuchte Verbindungs-paare St.
I	Juupajoki	HHk	85	0.9	21	11
II	Ruovesi	KHk	85	0.9	20	3
III	Ruovesi	HHk	95	0.8	19	5
IV	Ruovesi	KHk	85	0.8	16	4
V	Ruovesi	Sr	105	0.7	16	1
VI	Kuorevesi	HHk	105	0.9	19	8
VII	Kuorevesi	HHk	55	1.0	15	2
VIII	Kuorevesi	HHk	55	1.0	10	2
IX	Tuusula	HHk	35	1.0	7	2

¹ Vrt. taulukko 1. — Vgl. Tabelle 1.

Kokonaisuudessaan aineistoa voitaneen pitää tarkoitukseensa riittävänä ja muutoinkin laadultaan sellaisena, että se tekee käsiteltävänä olevan kysymyksen kriittillisen tarkastelun mahdolliseksi.

Juuriyhteyksien esiintyminen

Juuriyhteyksien esiintyminen eri ikäkausina

Juuriyhteyksien esiintymistä valaistetaan seuraavassa tutkimalla näyteaineiston perusteella, miten yleisesti puut juuristojensa välityksellä ovat yhteydessä jonkin toisen elävän juuriston (elävän puun, kannon tai pystykuivan puun juuriston) kanssa. Käytettävissä olevan aineiston perusteella voidaan samalla selvittää, missä määrin tällaisten puiden runsaus vaihtelee metsikön iän (taulukko 4) ja puiden välisen etäisyyden mukaan. Lisäksi saadaan selville mainitunlaisten puiden esiintyminen eri latvuseroissa.

Taulukko 4. Toisiin puihin juuriyhteyksiin liittyneiden puiden esiintyminen eri ikäkausina.

Tabelle 4. Das Auftreten der wurzelverbundenen Bäume in verschiedenen Altersperioden.

Metsikön ikä v Alter des Bestandes J.	Näytepuita kpl Probepaare St.	Näytepuita, joilla juuriyhteyksiä Probepaare mit Wurzelverbindungen	
		kpl — St.	%
— 20	50	—	—
21— 40	42	1	2
41— 60	39	10	26
61— 80	44	11	25
81—100	39	8	21
101—120	50	14	28

Edellä oleva taulukko koskee vain luontaisesti syntyneitä männiköitä. Sitä laadittaessa on kahden vanhimman näytemetsikön puut viety ikäluokkaan 101—120 v. Taulukosta havaitaan, että tutkituissa männiköissä alkoi esiintyä sellaisia puita, joilla oli juuriyhteyksiä toisiin puihin (kantoihin), vasta ikäluokassa 21—40 v. Kun nuorin metsikkö, jossa juuriyhteyksiä tavattiin, oli 36-vuotias, voitaneen otaksua, että juuriyhteyksiä puolukkatyyppin männiköissä syntyy yleensä vasta sitten, kun metsikkö on selvästi sivuuttanut taimistovaiheen.

Tässä havaittu kehitys rinnastuu hyvin puolukkatyyppin männikön yleiseen kehitykseen, sellaisena kuin se esiintyy puolukkatyyppin puuston maanpäällisten osien ja juuristojen aikaisemmissa selvittelyissä (Yrjö Ilvessalo 1920 a, b, Lönnroth 1925, Laitakari 1927, Kalela 1949). Taimistovaiheen jälkeen seuraavaa voimakasta kehitysvaihetta, joka ilmenee metsikön kuutiomäärän ja erityisesti myös juuriston kuutiomäärän ja pituussumman ripeänä lisääntymisenä, vastaa tässä juuriyhteyksin toisiin puihin liittyneiden puiden voimakas lisääntyminen samana aikana.

Kuten taulukosta ilmenee, on niiden puiden osuus, joilla on juuriyhteyksiä toisiin puihin (kantoihin), varttuneissa metsiköissä varsin huomattava eli 21—28 prosenttia koko puuluvusta.

Saatua tulosta voidaan tarkistaa jossain määrin Laitakarin (1927) aineiston perusteella. Jos nimittäin valitaan hänen aineistostaan metsätyyppistä välittämättä kaikki sellaiset yli 40-vuotiaita metsiköitä edustavat näytealat (III, IV, V, IX, XI, XV, XVII, XIX, XX ja XXIII), joissa metsiköt ovat kutakuinkin säännöllisiä männiköitä, ja tarkastetaan niiden näytepuita koskevat merkinnät, havaitaan, että näytealoilla tutkituista 28 puusta on 7 eli neljännes ollut yhteydessä jonkin toisen puun kanssa. Tulos, tosin vähäiseen aineistoon perustuva, on siis yhdenmukainen edellä esitetyn kanssa.

Venäjällä tehty havainto juuriyhteyksien esiintymisestä kuusikoissa on tässä yhteydessä vertailun vuoksi mielenkiintoinen. Rubtsov in (1950) mukaan on Šiškov nimittäin todennut, että vähintään 30 % tiheän kuusikon puista on kasvettunut juuristaan yhteen.

Tämän kirjoittaja on pyrkinyt aikaisemmin selvittämään juuriyhteyksien esiintymistä metsiköissä elävien kantojen suhteellisen esiintymisrunsauden perusteella (Yli-Vakkuri 1945) ja saanut tällöin tämän tutkimuksen mukaisia tuloksia. Eräissä tapauksissa kantoja havainnoiden saatua aineisto ilmeisesti voikin kuvata juuriyhteyksien esiintymistä varsin hyvin. Kantoihin perustuvaan menetelmään kätkeytyy kuitenkin useita virhelähteitä. Saatua tulos riippuu näet, paitsi tutkimusmetsiköstä, ennen muuta niistä hakkauksista, joilla metsikköä on käsitelty. Koko metsikköä edustavaa aineistoa kertyisi ilmeisesti lähinnä sellaisen hakkauksen kannostosta, jossa puita on poistettu tasaisesti kaikista latvuserroksista. Epävarmaksi tekee elävien kantojen prosentuaalisen osuuden määrittämisen vanhoista kannostoista kantojen lahoaminen ja maatumisen sekä peittyminen pintakasvillisuuteen. Kantoihin perustuvan menetelmän epävarmuutta lisää vielä sekin, että kanto saattaa juuriyhteyksistään huolimatta kuolla ainakin silloin, kun yhdyspuu kaadetaan. Koska menetel-

mässä on tällaisia heikkouksia, ei sen perusteella voida suoranaisesti tarkistaa tässä tutkimuksessa saatuja tuloksia. Tämä on ymmärrettävää erityisesti siksi, että näytemetsiköistä oli poistettu etupäässä syrjäytyneitä puustoa, johon kuuluvat puut puolestaan ovat harvemmin juuriyhteydessä toisten puiden kanssa kuin valtapuut, kuten tuonnempana osoitetaan.

Kun näytealat edustavat säännöllisesti kehittyneitä metsiköitä, on luonnollista, että juuriyhteyksien esiintymisen riippuvuudessa metsikön kuutiomäärästä havaitaan samoja piirteitä, jotka tulivat esiin jo iän mukaisessa selvittelyssä.

Juuriyhteyksien esiintyminen eri latvuserrosten puilla

Juuriyhteyksin toisiin puihin liittyneiden puiden runsaus vaihtelee latvuserroksen mukaan. Se voidaan todeta taulukosta 5, jota laskettaessa on otettu mukaan kaikki yli 30-vuotiaat näytemetsiköt.

T a u l u k k o 5. Toisiin puihin juuriyhteyksin liittyneiden puiden esiintyminen eri latvuserroksissa.

Tabelle 5. Das Auftreten der wurzelverbundenen Bäume in den verschiedenen Kronenschichten.

Näytepuita kpl Probäume St.	Näytepuita, joilla juuriyhteyksiä Probäume mit Wurzelverbindungen	
	kpl — St.	%
Vallitseva latvuserros — Herrschende Kronenschicht		
133	41	31
Vallittu latvuserros — Beherrschte Kronenschicht		
55	3	5

Taulukosta ilmenee selvästi, että tutkituissa männiköissä vallitsevan latvuserroksen puut olivat juuriyhteydessä toisiin puihin paljon yleisemmin kuin vallitun latvuserroksen puut. Samansuuntaisia eroavuuksia todettiin myös pää- ja lisävaltapuiden välillä vallitsevassa latvuserroksessa. Yhdistettäessä kaikki yli 30 vuotta vanhat näytemetsiköt havaittiin nimittäin, että päävaltapuista oli juuriyhteydessä jonkin toisen puun kanssa 35 %, lisävaltapuista taas 25 %. Kun puut ovat yleensä sitä kookkaampia, mitä vallitsevampi niiden asema metsikössä on, on lähellä olettamus, että juuriyhteyksien yleisyys vallitsevassa latvuserroksessa ilmentäisi etupäässä sitä vaikutusta, mikä puiden koolla on yhteyksien muodostumisedellytyksiin. Yksityiskohtaisessa tarkastelussa ainakin voi-

tiin todeta puiden, joilla oli juuriyhteyksiä, olleen keskimäärin niitä kookkaampia, joilla yhteyksiä ei ollut. Yhtä perusteltua on tietenkin olettaa, että juuriyhteydet olisivat syynä puiden suureen kokoon. Tätä ajatusta vastaan sotii kuitenkin toteamus, että puu saattaa kuulua vallitsevaan latvuserrokseen myös ilman tällaisia yhteyksiä. Varmuudella voitaneen näin ollen todeta vain, että vallitsevan latvuserroksen puut ovat yleisesti juuriyhteydessä toisten puiden kanssa ja että juuriyhteyksien olemassaolo ei ilmeisesti ainakaan vaaranna puiden asemaa metsikössä.

Puiden välisen etäisyyden vaikutus juuriyhteyksien esiintymiseen

Puiden välinen etäisyys vaikuttaa selvästi juuriyhteyksien muodostumisedellytyksiin. Se ilmenee hyvin taulukosta 6. Taulukkoa laskettaessa on otettu mukaan yli 40-vuotiaista näytemetsiköistä kaikki vallitsevaan latvuserrokseen kuuluneiden näytepuiden lähiympäristössä (3 m:n säteellä) tavatut puut ja kannot ryhmitellen ne näytepuun keskipisteestä mitattuihin etäisyysryhmiin taulukon osoittamalla tavalla. Näissä ryhmissä on sitten laskettu niiden puiden ja kantojen määrä, joilla on ollut juuriyhteyksiä näytepuiden kanssa.

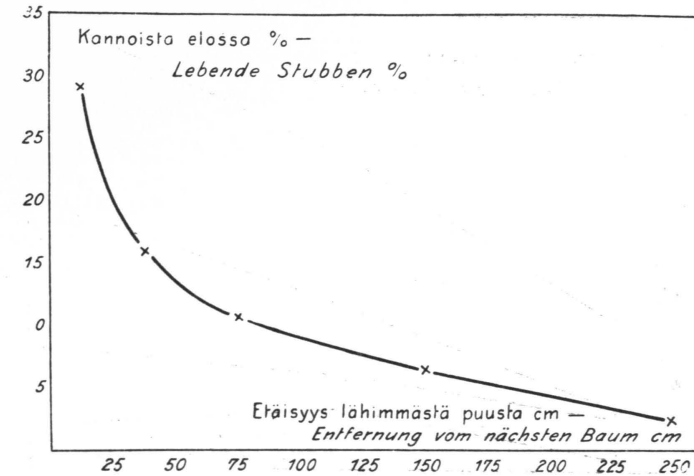
Taulukko 6. Näytepuihin juuriyhteyksin liittyneiden lähipuiden ja -kantojen suhteellinen esiintyminen.

Tabelle 6. Das relative Auftreten der mit den Probebäumen in Wurzelverbindung stehenden Nachbarbäume und -stubben.

Etäisyys näytepuusta cm Entfernung vom Probebaum cm	Lähiympäristössä puita ja kantoja kpl Bäume und Stubben in nächster Umgebung St.	Lähiympäristön puista ja kannoista yhteydessä näytepuiden kanssa Von den Bäumen und Stubben der nächsten Umgebung stehen mit den Probebäumen in Wurzelverbindung	
		kpl — St.	%
— 25.0	14	4	29
25.1—100.0	121	20	17
100.1—200.0	314	7	2
200.1—300.0	515	7	1
Yhteensä / keskim. Zusammen / durchschn.	964	38	4

Taulukon perusteella voidaan todeta, että juuriyhteyksien syntyminen on ilmeisesti sitä herkempää, mitä lähempänä toisiaan puut kasvavat, ja että juuriyhteyksien esiintyminen puiden välillä, jotka ovat toisistaan alle metrin etäisyydellä, on varsin yleistä.

Saatua tulosta voidaan tarkistaa jossain määrin kantoaineiston perus-



Kuva 8. Elävien kantojen esiintymisrunsauden riippuvuus lähimmästä puusta mitatusta etäisyydestä.

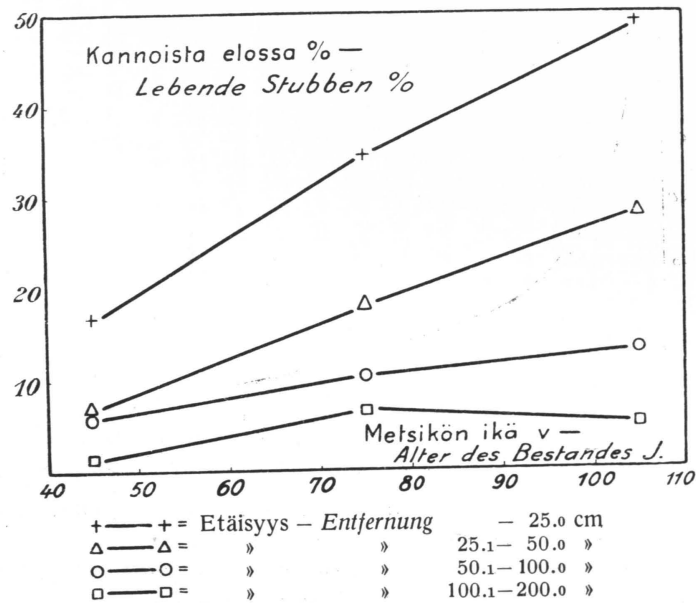
Abb. 8. Die Abhängigkeit der Frequenz lebender Stubben von dem vom nächsten Baume gemessenen Abstand.

teella (kuva 8), koska näytealoilta luettiin erikseen elävät ja kuolleet kannot ja mitattiin niiden etäisyys lähimmästä puusta. Vertailua varten tarvitsee vain olettaa, että kannot todella ovat olleet yhteydessä lähimmän puun kanssa. Sen perusteella, mitä jo edellä on esitetty puiden välisen etäisyyden merkityksestä juuriyhteyksien muodostumisedellytyksiin, lie-nee tällainen olettamus oikeutettu.

Voidaan helposti todeta, että puiden välisen etäisyyden vaikutus esiintyy kuvassa 8 hyvin samansuuntaisena kuin taulukossa 6. Vertailua suoritettaessa on syytä muistaa, että taulukossa 6 etäisyys on laskettu näytepuun keskipisteestä, kantoaineistossa taas puun ulkopinnasta kannon ulkopintaan.

Puiden välisen etäisyyden vaikutus juuriyhteyksien esiintymiseen on erilainen eri kehitysvaihetta edustavissa metsiköissä. Tämä käy ilmi kuvasta 9. Kuvaa piirrettäessä on otettu mukaan vain enintään 15 vuotta vanhat kannot, joiden läpimitta on 20 cm tai sitä pienempi. Näin on menetelty sen vuoksi, ettei tuloksen voitaisi katsoa aiheutuvan kantojen iän ja koon mahdollisesta jyrkästä erilaisuudesta eri ikäluokissa. Mainittakoon, että Sarvaksen (1951, s. 58) mukaan voidaan noin 15-vuotiaat ja sitä nuoremmat kannot maastossa vielä jotakuinkin varmasti todeta.

Kuten murtoviivat kuvassa 9 osoittavat, lähekkäisten puiden mahdollisuus olla keskenään yhteydessä on sitä suurempi, mitä vanhempia



Kuva 9. Elävien kantojen esiintymisrunsauden riippuvuus metsikön iästä eri etäisyyksillä lähimmästä puusta.

Abb. 9. Die Abhängigkeit der Frequenz lebender Stubben vom Alter des Bestandes bei verschiedenen Abständen vom nächsten Baum.

metsiköt ovat. Erityisen selvästi tämä on havaittavissa sellaisten puiden kesken, jotka kasvavat enintään 50 cm:n päässä toisistaan. Kuvan perusteella voidaan myös todeta, että lähekkäiset puut vanhanpuoleisissa metsiköissä ovat todella hyvin yleisesti juuriyhteyksiin toisiinsa kytkeytyneet.

Tässä on mielenkiintoista tarkastella myös kylvötaimiryhmiä ja erityisesti juuriyhteyksien esiintymistä niissä (taulukko 7).

Taulukko 7. Juuriyhteyksien esiintyminen kylvötaimituppaissa.

Tabelle 7. Das Auftreten von Wurzelverbindungen bei Saatzpflanzengruppen.

Näytemetsikkö Probebestand			Näyte- tuppaita kpl Probe- gruppen St.	Eläviä taimia keskim. tuppaissa Lebende Pflanzen durchschn. in den Gruppen St.	Tutkittuja taimia yht. Unter- suchte Pflanzen zus.	Taimia, joilla juuri- yhteyksiä Pflanzen mit Wurzelverbindung	
Ikä v Alter J.	m ² /ha fm/ha	Valta- pituus m Oberhöhe m				kpl St.	%
15	10	2	7	9	70	13	19
16	46	5	9	6	40	16	40
17	36	4	14	5	66	36	55

Kuten edellä esitettiin, ei luonnonvaraisesti syntyneissä taimistoissa tavattu taimien välisiä juuriyhteyksiä lainkaan. Sen sijaan kylvötaimistoissa, joissa taimet ensi vuosistaan lähtien joutuvat toistensa kanssa läheiseen kosketukseen, juuriyhteydet taimien välillä näyttivät olevan jo alle 20 vuoden iällä erittäin yleisiä. Tämä puolestaan vahvistaa käsitystä, että puiden välimatka vaikuttaa hyvin ratkaisevasti juuriyhteyksien muodostumismahdollisuuksiin.

Edellä todetun perusteella voidaan niin ikään otaksua, että luonnonvaraisillekin metsille luonteenomainen puiden ryhmittäinen esiintyminen (vrt. Lönnroth 1925, s. 167) huomattavalla tavalla edistäisi puiden välisten juuriyhteyksien muodostumista. Junoviov (1951) puolestaan otaksuu, että juuristojen yhteen kasvettuminen olisi syynä puiden ryhmittäiseen esiintymiseen hoitamattomissa metsiköissä.

Juuriyhteyksien morfologia

Puuparin juuriyhteydet

Puuparien juuriyhteyksien selvittelyyn käytetään seuraavassa sitä umpimähkäisesti valittua aineistoa (taulukko 8), joka saatiin kaivettaessa esiin näytepuiden ja niiden yhdyskumppanien juuristoja. Tutkimuksessa on nimitetty jonkin puun yhdyskumppaneiksi (yhdyspuiksi) tämän kanssa juuriyhteydessä olevia puita ja kantoja. Aineistoa esittävässä taulukossa on yksi pystykuiva puu merkitty kannoksi. Taulukossa käytetty lyhennys D_0 merkitsee puun tai kannon läpimittaa kannonkorkeudelta.

Taulukko 8. Näytepuiden ja yhdyskumppanien määrä ja keskimääräinen koko eri ikäluokissa.

Tabelle 8. Menge und durchschnittliche Grösse der Verbindungspartner der Probestämme in verschiedenen Altersklassen.

Metsikön ikä v Alter des Bestandes J.	Näytepuita Probestämme		Näytepuiden yhdyskumppanit Verbindungspartner der Probestämme			
			Eläviä puita Lebende Bäume		Kantoja Stubben	
	kpl St.	D_0 keskim. cm D_0 durchschn. cm	kpl St.	D_0 keskim. cm D_0 durchschn. cm	kpl St.	D_0 keskim. cm D_0 durchschn. cm
31—60	11	15	6	11	5	8
61—90	14	23	9	23	11	10
91—	19	33	9	35	11	13
Yhteensä / keskim. Zusammen / durchschn.	44	25	24	24	27	11

Taulukosta ilmenee, että näytepuiden yhdyskumppaneista on suunnilleen puolet ollut eläviä puita, puolet kantoja. Yhdyskumppaneista ovat elävät puut olleet järeydeltään keskimäärin näytepuihin verrattavia. Kantojen edustamat puut ovat sitä vastoin olleet keskimäärin pienempiä kuin näytepuut havaintohetkellä mitattuina. Suhde on tietenkin ollut toisenlainen kantojen syntyessä.

Juuriyhteyksiä koskeva aineisto on myöhemmässä esityksessä käsitelty yhdessä riippumatta siitä, onko yhdyskumppanina ollut elävä puu vai kanto. Lyhyiden vuoksi on yhdyskumppania tällöin sanottu puuksi siinäkin tapauksessa, että tosiasiallisesti on ollut kysymyksessä kanto. Kun näytepuista 37 oli suoranaudessa juuriyhteydessä vain yhden ja loput 7 kahden puun kanssa, muodostui tutkittuja puupareja yhteensä 51.

Tutkituista yhdyspareista oli suunnilleen puolet sellaisia, joissa puiden välinen etäisyys oli ≤ 1 m, puolet taas sellaisia, joissa puiden välimatka oli > 1 m. Aineiston yksityiskohtainen tarkastelu osoitti, että keskenään elimellisessä yhteydessä olevat puut saattoivat olla sitä kauempina toisistaan, mitä vanhempia metsiköt olivat. Tähän samaan päätelmään johti myös kantoaineiston tarkastelu. Suurin etäisyys, 566 cm, esiintyi eräessä 130-vuotiaassa männikössä (näyteala 29). Keskenään yhteydessä olleiden puiden rinnankorkeusläpimitat olivat 36 cm ja 26 cm ja pituudet vastaavasti 27 m ja 24 m.

Kun lähemmin tarkasteltiin puiden juuristojen välisiä yhteyksiä, havaittiin, että niiden muodostamiseen osallistuivat puiden juurista vain muutamat (taulukko 9). Näitä juuria nimitetään tutkimuksessa yhdysjuuriksi.

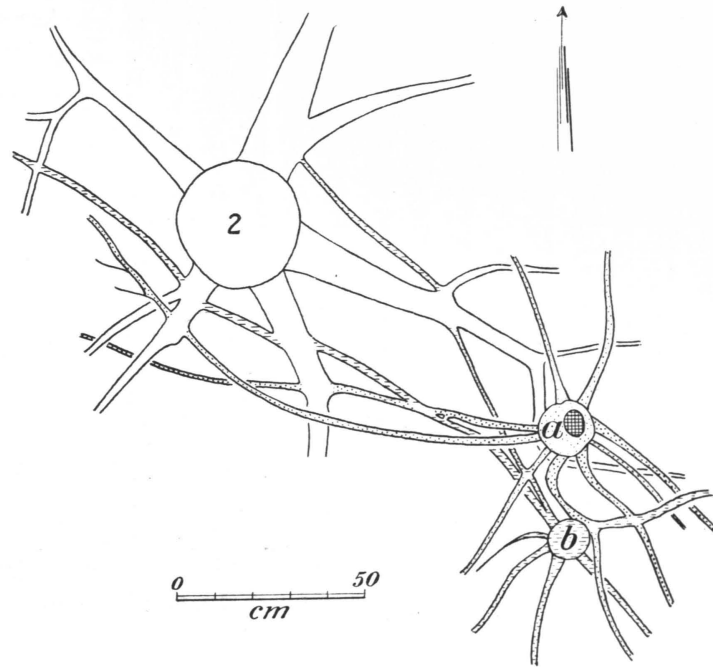
Taulukko 9. Näytepuiden ja niiden yhdyskumppanien jakaantuminen sen mukaan, miten paljon niillä on yhdysjuuria.

Tabelle 9. Verteilung der Probestämme und ihrer Verbindungspartner nach der gefundenen Anzahl von Verbindungswurzeln.

Yhdysjuuria puilla kpl Verbindungswurzeln bei den Bäumen St.				Yhteensä Zusammen
1	2	3	4 +	
Puita kpl — Bäume St.				
53	26	11	5	95
Puita % — Bäume %				
56	27	12	5	100

Tutkituissa tapauksissa välitti yhteyttä vieraaseen puuhun tavallisesti yksi tai kaksi juurta, harvemmin kolme tai sitä useampia. Yhdysjuurten määrässä ei havaittu metsikön iästä riippuvaa vaihtelua. Eniten yhdysjuuria, yhteensä 8 kpl, todettiin eräessä 79-vuotiaan metsikön kaadetussa puussa, jonka läpimitta kannonkorkeudelta oli 5 cm.

Yhdysjuuret kasvoivat toistensa kanssa yhteen joko yhdessä tai useammassa kohdassa. Näin ollen saattoi myös juurten yhteenkasvettumia muo-



Kuva 10. Lukuisasti erilaisia yhteenkasvettumia elävän puun (2) ja kahden elävän kannon (a, b) juuristojen välillä. Puun ikä on 75 vuotta. Kantojen syntymisestä on kulunut 12 vuotta. Kannossa a esiintynyt pehmeä laho on merkitty ristiviivoitteen. Piirroksesta on selvyuden vuoksi jätetty pois eräs kantoja yhdistänyt juuri. Näyteala 30, Orivesi.

Abb. 10. Zahlreiche verschiedene Verwachsungen zwischen den Bewurzelungen eines lebenden Baumes (2) und zweier lebenden Stubben (a, b). Der Baum ist 75jährig. Seit der Fällung sind 12 Jahre vergangen. Die in Stubbe a vorgekommene weiche Fäulnis ist durch Kreuzschraffen bezeichnet. Der Klarheit halber ist eine die Stubben verbindende Wurzel nicht mit in die Zeichnung aufgenommen worden. Probefläche 30, Orivesi.

dostua keskenään yhteydessä olevien puiden välille useita (kuva 10). Tavallisimmin tällaisia yhteenkasvettumia esiintyi kuitenkin yhdysjuurten mukaisesti vain yksi tai kaksi (taulukko 10).

Yhdyskumppanien juurten välisten yhteenkasvettumien määrässä ei myöskään havaittu metsikön iästä riippuvaa vaihtelua. Suurin todettu yhteenkasvettumien määrä kahden puun juuristojen välillä oli viisitoista. Tällainen yhdyspari tavattiin erikoistutkimusten yhteydessä. Kyseiset puut olivat 25 cm ja 28 cm paksuja rinnankorkeudelta ja kasvoivat 90 cm:n päässä toisistaan.

Yhteenkasvettumiin näyttivät osallistuvan sekä pinta- että syväjuuret (taulukko 11).

Taulukko 10. Yhdysparien jakaantuminen niissä esiintyneiden yhteenkasvettumien määrän mukaan.

Tabelle 10. Verteilung der Verbindungspaare nach der Menge der gefundenen Wurzelverwachsungen.

Juurten yhteenkasvettumia yhdysparissa kpl Wurzelverwachsungen je Verbindungspaar St.								Yhteensä Zusammen
1	2	3	4	5	6	7	8	
Yhdyspareja kpl — Verbindungspaare St.								
21	17	6	4	1	1	—	1	51
Yhdyspareja % — Verbindungspaare %								
41	33	12	8	2	2	—	2	100

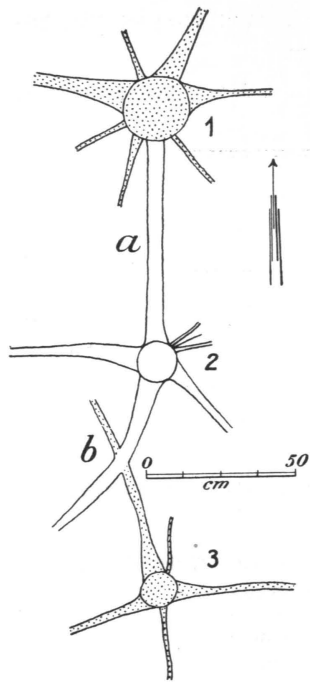
Taulukko 11. Yhteenkasvettumien jakaantuminen yhtyneiden juurten laadun mukaan.

Tabelle 11. Verteilung der Wurzelverwachsungen nach der Art der Wurzeln.

Metsikön ikä v Alter des Bestandes J.						Yhteensä Zusammen
31—60		61—90		91—		
Yhteenkasvettumia — Wurzelverwachsungen						
kpl-St.	%	kpl-St.	%	kpl-St.	%	kpl-St. %
Pintajuuri + pintajuuri Oberflächenwurzel + Oberflächenwurzel						
21	95	40	75	22	67	83 77
Pintajuuri + syväjuuri Oberflächenwurzel + Tiefenwurzel						
1	5	13	25	11	33	25 23
Yhteensä — Zusammen						
22	100	53	100	33	100	108 100

Aineistossa esiintyi joko pelkkiä pintajuurten tai toisaalta pintajuurten ja syväjuurten välisiä yhteenkasvettumia. Yhteenkasvettumien koko määrästä oli edellisiä $\frac{3}{4}$, jälkimmäisiä $\frac{1}{4}$. Yhteenkasvettumien jakaantuminen oli erilaista eri ikäluokissa. Erilaisuus ilmeni pinta- ja syväjuurten välisten yhteenkasvettumien suhteellisen osuuden selvänä lisääntymisenä siirryttäessä nuoremmista ikäluokista vanhempiin.

Pinta- ja syväjuurten välisissä yhteenkasvettumissa oli pintajuuri kasvattanut kiinni joko kannon alukseen tai paalujuureen. Tällaisissa yhteenkasvettumissa olivat kannon alus ja paalujuuri yhtä yleisiä osapuolia.



Kuva 11. Siltajuuri (a) ja ristikkäinen juurten yhteenkasvettuma (b) kytkevät yhteen kolme mäntyä (1, 2, 3). Näyteala 15, Kauhajoki.

Abb. 11. Brückenwurzel (a) und kreuzweise Wurzelverwachsung (b) verbinden drei Kiefern (1, 2, 3) miteinander. Probestfläche 15, Kauhajoki.

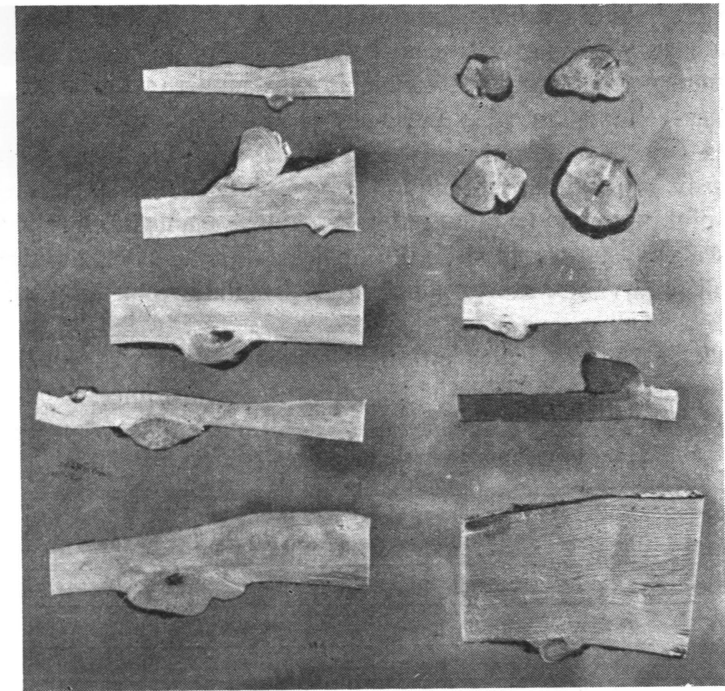
Pääosa (78 %) kaikista yhteenkasvettumista oli ensiasteisten juurten välisiä. Ensi- ja toisasteisten juurten yhteenkasvettumia esiintyi niin ikään jonkin verran (18 %); sitä vastoin toisasteisten juurten yhtymät olivat harvinaisia (3 %) samoin kuin ensi- ja kolmasasteisten juurten väliset yhteenkasvettumat (1 %). Kannon alusta ja paalujuurta pidettiin tässä tarkastelussa ensiasteisina juurina. Pääosa (63 %) tutkittujen puiden välisistä juuriverkoista oli sellaisia, joissa yhteenkasvettumat olivat pelkästään pintajuurten välisiä, noin viidesosa (21 %) sellaisia, että niissä esiintyi pelkästään pinta- ja syväjuurten välisiä yhteenkasvettumia, ja loput (16 %) sellaisia, joissa oli sekä pintajuurten että niiden ja syväjuurten välisiä yhteenkasvettumia.

Juuret voivat tietysti yhtyä hyvin erilaisissa keskinäisissä asennoissa. Jakamalla tutkitut tapaukset kahteen päätyyppiin, ristikkäisiin ja siltajuuritapauksiin, saadaan näiden yhteenkasvettumatyypin esiintymisestä taulukon 12 mukainen kuva. Siltajuuritapauksiksi on taulukkoa laadittaessa luettu sellaiset yhteenkasvettumat, joissa jonkin puun yhdysjuuri näyttää päättyneen juurten yhteenkasvettumakohtaan (kuva 11).

Ristikkäinen juurten yhtyminen oli tutkituissa tapauksissa yleisintä. Tämä oli ominaista erityisesti pintajuurten välisille yhteenkasvettumille. Pinta- ja syväjuurten välisissä yhteenkasvettumissa oli siltajuuritapausten osuus sen sijaan huomattava.

Erikoiskysymysten selvittelyjen yhteydessä tavattiin myös pitkittäistä juurten yhtymistä. Pitkittäin yhteen kasvettuneet juuret olivat joko samansuuntaisia tai vastakkaisuuntaisia ja kasvettuneet yhteen joko vierekkäin tai päällekkäin. Kuvassa 12 nähdään muutamia leikkauksia ristikkäin ja pitkittäin yhteen kasvettuneista juurista. Myös Rubtsov (1950) on tavannut eri puolajaja koskevien tutkimustensa yhteydessä juurten ristikkäisen yhtymisen ohella pitkittäistä yhteen kasvettumista.

Lähellä puiden tyveä näytti olevan parhaat mahdollisuudet erilaisten



Kuva 12. Leikkauksia ristikkäin ja pitkittäin yhteen kasvettuneista juurista. Yhteenkasvettumien keskustassa näkyvät tummat läikät ovat kaarnaa.
Abb. 12. Schnitte von den Kreuz- und Längsverwachsungen der Wurzeln. Die in der Mitte der Verwachsungen zu sehenden dunklen Flecke sind Borke.

Taulukko 12. Eri yhteenkasvettumatyypin yleisyys.

Tabelle 12. Häufigkeit der verschiedenen Verwachsungstypen.

Pintajuurten väliset yhteenkasvettumat Verwachsungen zwischen Oberflächenwurzeln		Pinta- ja syväjuurten väliset yhteenkasvettumat Verwachsungen von Oberflächenwurzeln mit Tiefenwurzeln		Yhteensä Zusammen	
kpl - St.	%	kpl - St.	%	kpl - St.	%
Ristikkäiset yhteenkasvettumat - Kreuzverwachsungen					
81	98	15	60	96	89
Siltajuuritapaukset - Fälle von Brückenwurzeln					
2	2	10	40	12	11
Yhteensä - Zusammen					
83	100	25	100	108	100

yhteenkasvettumien muodostumiseen. Siihen viittaa taulukosta 13 ilmevä juurten yhteenkasvettumien keskittyminen tälle alueelle. Männyllä usein esiintyvä paalujuuri ja voimakas keskusjuuristo ilmeisesti lisäävät yhteenkasvettumien muodostumismahdollisuuksia puun tyvellä.

Puun tyvellä pintajuuret olivat kasvaneet kiinni kannon alukseen sitä sivutessaan ja paalujuureen pujotellessaan pintajuurten alitse ja välitse. Jonkin pintajuuren ja paalujuuren muodostama »kainalo» oli tällöin hyvin tavallinen yhdysjuuren kulkutie. Pujotellessaan puun tyvellä pintajuurten ylitse, alitse ja välitse saattoi juuri yhtyä samalla useaan juureen.

Taulukko 13. Yhteenkasvettumien jakaantuminen sen mukaan, millä etäisyydellä ne ovat lähimmästä yhteyteen osallistuneesta puusta.

Tabelle 13. Verteilung der Wurzelverwachsungen nach dem Abstand zum nächsten an der Wurzelverbindung beteiligten Baum.

Etäisyys lähimmästä yhdyspuusta cm Abstand vom nächsten Verbindungsbaum cm					Yhteensä Zusammen
—25.0	25.1—50.0	50.1—75.0	75.1—100.0	100.1—125.0	
Yhteenkasvettumia kpl — Verwachsungen St.					
91	13	1	1	2	108
Yhteenkasvettumia % — Verwachsungen %					
84	12	1	1	2	100

Tutkittujen tapausten perusteella näyttää siltä, että juurten yhteenkasvettumia muodostuu melkein yksinomaan vain silloin, kun juurten kosketuskohta on enintään 25—50 cm:n päässä lähimmästä puusta. Yhteenkasvettuman etäisyys toisesta yhteyteen osallistuneesta puusta saattaa sen sijaan olla useita metrejä, mutta yleensä yhteenkasvettumat ovat samalla lähellä molempia yhdyspuita.

Yhdysjuurten tehtäviä palvelevat pintajuuret olivat, kuten taulukosta 14 ilmenee, pääasiassa sellaisia, joiden paksuus yhteenkasvettumakohdassa tutkimusajankohtana mitattuna oli korkeintaan 10 cm. Vastavat syväjuuret olivat sen sijaan tuntuvasti järeämpiä. Ohuimman yhdysjuurena esiintyneen pintajuuren vahvuus oli 0.4 cm, paksuimman 28.0 cm. Yhdysjuurina esiintyneistä syväjuurista oli vastaavasti ohuin 2.3 cm:n ja järein 45.0 cm:n paksuinen. Keskimäärin oli kysymyksessä olevien pintajuurten paksuus 4.6 cm ja syväjuurten 13.6 cm. Vanhempiin ikäluokkiin kuuluneissa metsiköissä oli yhdysjuurten paksuus keskimäärin suurempi kuin nuoremmissa. Pinta- ja syväjuurten välisissä yhteenkasvettumissa oli

Taulukko 14. Yhdysjuurten jakaantuminen eri paksuusluokkiin.

Tabelle 14. Verteilung der Verbindungswurzeln nach ihrer Dicke.

Yhdysjuuren paksuus cm Dicke der Verbindungswurzel cm	Pintajuuret Oberflächenwurzeln		Syväjuuret Tiefenwurzeln		Kaikki juuret Alle Wurzeln	
	kpl — St.	%	kpl — St.	%	kpl — St.	%
— 5.0	136	71.2	3	12	139	64.4
5.1—10.0	38	19.9	9	36	47	21.7
10.1—15.0	8	4.2	5	20	13	6.0
15.1—20.0	7	3.7	3	12	10	4.6
20.1—25.0	1	0.5	2	8	3	1.4
25.1—30.0	1	0.5	2	8	3	1.4
30.1—	—	—	1	4	1	0.5
Yhteensä Zusammen	191	100.0	25	100	216	100.0

pintajuuren paksuus keskimäärin pienempi kuin pelkissä pintajuurten välisissä yhteenkasvettumissa. Tavatuista yhteenkasvettumista oli yhdysjuurtensa puolesta hennoin se, jossa toinen yhdysjuuri oli 0.7 cm ja toinen 0.8 cm paksu.

Keskenään yhtyneiden juurten paksuserot, joihin mm. Laikari (1927) on aikaisemmin kiinnittänyt huomiota, selviävät taulukosta 15.

Taulukko 15. Yhteenkasvettumien jakaantuminen yhdysjuurten paksuserojen mukaan.

Tabelle 15. Verteilung der Wurzelverwachsungen nach dem Dickenunterschied der Verbindungswurzeln.

Yhdysjuurten paksusero cm Dickenunterschied der Verbindungswurzeln cm	Pintajuurten yhteenkasvettumat Verwachsungen zwischen Oberflächenwurzeln		Pinta- ja syväjuurten yhteenkasvettumat Verwachsungen zwischen Oberflächenwurzeln und Tiefenwurzeln		Kaikki yhteenkasvettumat Alle Verwachsungen	
	kpl — St.	%	kpl — St.	%	kpl — St.	%
— 5.0	57	69	8	32	65	60
5.1—10.0	15	18	7	28	22	20
10.1—15.0	3	4	4	16	7	7
15.1—20.0	6	7	1	4	7	6
20.1—25.0	1	1	4	16	5	5
25.1—30.0	1	1	—	—	1	1
30.1—	—	—	1	4	1	1
Yht. — Zusammen	83	100	25	100	108	100

Yhdysjuurten eripaksuisuutta tavattiin erityisesti pinta- ja syväjuurten välisissä yhteenkasvettumissa. Pintajuurten välisissä yhteenkasvettumissa paksuuserot eivät sen sijaan yleensä olleet kovinkaan silmäänpestäviä.

Tutkitut yhteenkasvettumat olivat kehitysasteeltaan erilaisia. Hyvin täydellisten yhteenkasvettumien ohella saattoi nimittäin tavata aivan muodostumassa olevia ja hiljattain muodostuneita (vrt. kuva 12). Varsin usein esiintyi juurten välillä myös niin voimakkaasti kehittyneitä salvosmaisia mekaanisia yhtymiä, että vain kuorta poistamalla tai leikkaamalla juuret poikki voitiin todeta elimellisen yhteyden puuttuminen. Yhteenkasvettumien kohdalla saattoivat juuret olla joskus hyvinkin voimakkaasti paisuneita (kuva 45).

Puuryhmän juuriyhteydet

Jo näytepuiden juuristojen esiinkaivun yhteydessä saatiin viitteitä siitä, että metsiköissä tavattavissa puuryhmissä saattaisi esiintyä useiden puiden välisiä yhtenäisiä juuriverkkoja. Tämän vuoksi oli mielenkiintoista tutkia perusteellisesti muutamien puuryhmien juuristot. Näitä aikaa vieviä tutkimuksia suoritettiin kaikkiaan viidessä metsikössä. Tutkimuskohteet ja -tulokset ilmenevät seuraavista selostuksista. Kohteissa 1—3 pyrittiin selvittämään tietyn puuryhmän juuristot ja niiden väliset yhteydet; tutkimuskohteissa 4 ja 5 sen sijaan tutkittiin vain tietty yhtenäinen juuriverkko. Puuryhmät 1—5 sijaitsivat kaikki luontaisesti syntyneissä männiköissä.

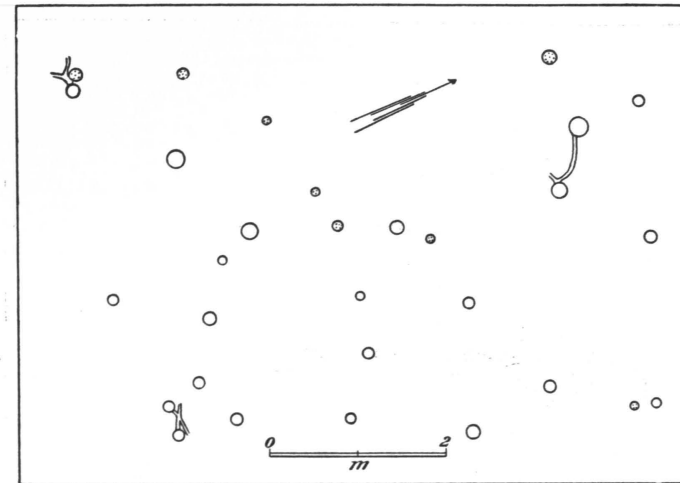
Puuryhmä 1. Tutkimukset suoritettiin Metsä-Saramäessä Korkeakosken hoitoalueella Oriveden pitäjässä kesällä 1946. Tutkimusmetsikkö oli 55-vuotias, täysitiheä puolukkatyyppin männikkö. Maalaji oli kohteessa hienoa hiekkaa.

Tutkitussa puuryhmässä (kuva 13) oli kaikkiaan 23 kasvavaa puuta ja 7 kantoa. Esiin kaivetuista juuristoista oli 6 parittain liittynyt yhteen. Eräässä näin muodostuneessa yhdysparissa oli toisena osapuolena elävä kanto.

Puuryhmä 2. Tutkimukset suoritettiin Lapinkankaalla Korkeakosken hoitoalueella Juupajoen pitäjässä kesällä 1946. Tutkimusmetsikkö oli 75-vuotias, jokseenkin täysitiheä puolukkatyyppin männikkö. Maalaji oli tutkimuskohdassa karkeaa hiekkaa.

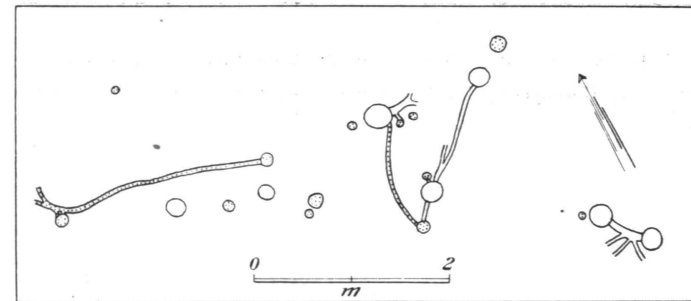
Tutkitussa puuryhmässä (kuva 14) oli kaikkiaan 7 kasvavaa puuta ja 13 kantoa, joten selvittelyn alaiseksi joutui kaikkiaan 20 juuristoa. Tutkimus osoitti, että juuristoista oli puolet yksittäisiä, puolet toisiin juuristoihin liittyneitä. Jälkimmäisissä puolestaan oli erotettavissa kolme erillistä ryhmää, nimittäin kaksi juuristoparia, joista toinen kantojen, toinen kasvavien puiden muodostama, sekä eräs juuristoverkko, johon kuuluivat kolmen kasvavan puun ja yhtä monen elävän kannon juuristot.

Puuryhmä 3. Tutkimukset suoritettiin Lapinkankaalla Korkeakosken hoitoalueella Juupajoen pitäjässä kesällä 1946. Tutkimusmetsikkö oli 85-vuotias, täysitiheä puolukkatyyppin männikkö. Maalaji oli tutkimuskohdassa karkeaa hiekkaa.



Kuva 13. Puuryhmä 1. Kannot on merkitty pistein.

Abb. 13. Baumgruppe 1. Die Stubben sind durch Punkte bezeichnet.



Kuva 14. Puuryhmä 2. Kannot on merkitty pistein.

Abb. 14. Baumgruppe 2. Die Stubben sind durch Punkte bezeichnet.

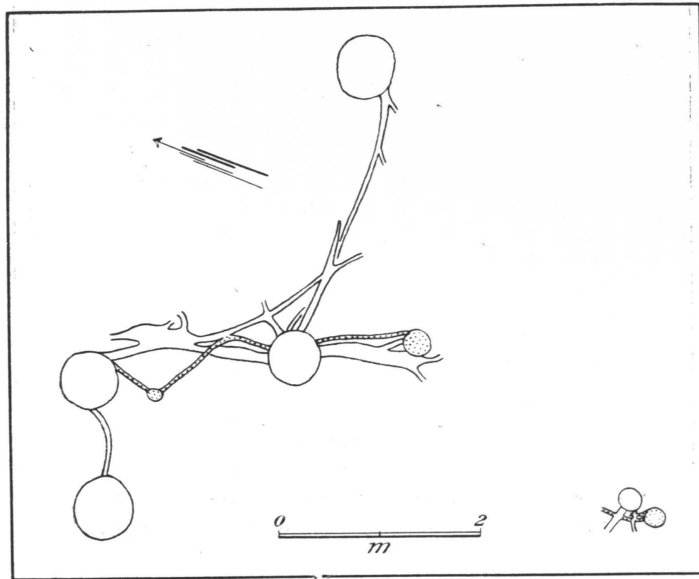
Tutkitussa puuryhmässä (kuva 15) oli 5 elävää puuta ja 3 kantoa, jotka olivat yhteydessä toisiinsa siten, että muodostui kaksi juuristoryhmää, joista toiseen kuului elävä puu ja kasvava kanto ja toiseen neljä kasvavaa puuta ja kaksi elävää kantoa.

Puuryhmä 4. Tutkimukset suoritettiin Porraslammien tilalla Kuortaneen pitäjässä kesällä 1951. Tutkimusmetsikkö oli 36-vuotias, täysitiheä puolukkatyyppin männikkö (näyteala 18). Maalaji oli tutkimuskohdassa hienoa hiekkaa.

Kohteessa kaivettiin esiin kahden kasvavan puun ja viiden elävän kannon juuristojen muodostama yhtenäinen verkko (kuva 16).

Puuryhmä 5. Tutkimukset suoritettiin lähellä metsäkoulua Evon hoitoalueella Lammin pitäjässä kesällä 1951. Tutkimusmetsikkö oli 122-vuotias, lähes täysitiheä puolukkatyyppin männikkö (näyteala 28). Maalaji oli tutkimuskohdassa karkeaa hiekkaa.

Tutkimuskohteessa kaivettiin esiin kahden kasvavan puun ja yhdeksän kannon juuristojen muodostama yhtenäinen verkko (kuva 17).

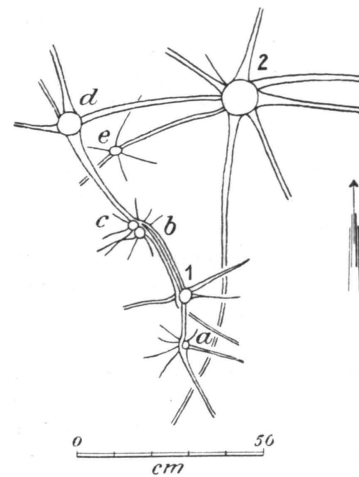


K u v a 15. Puuryhmä 3. Kannot on merkitty pistein.

Ab b. 15. Baumgruppe 3. Die Stubben sind durch Punkte bezeichnet.

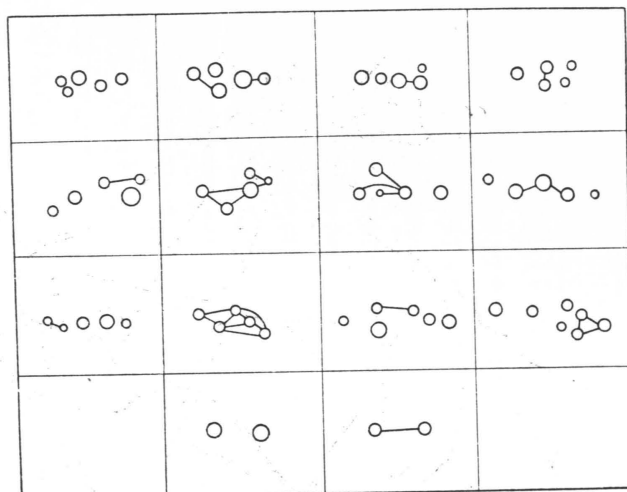
K u v a 16. Puuryhmä 4. Kasvat puut on merkitty numeroin ja kannot kirjaimin.

Ab b. 16. Baumgruppe 4. Die wachsenden Bäume sind durch Ziffern und die Stubben durch Buchstaben bezeichnet.



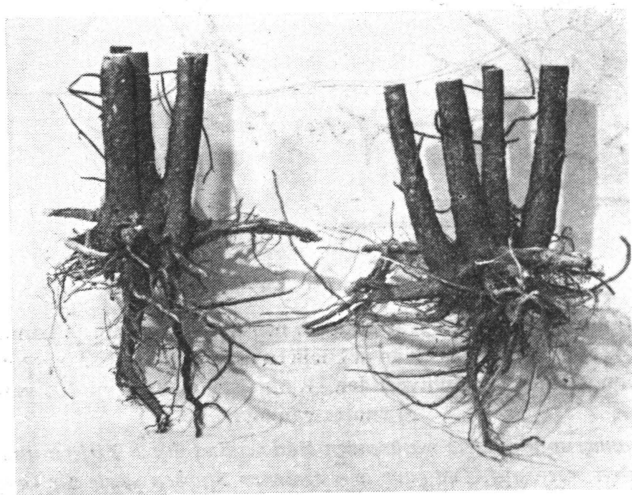
K u v a 17. Puuryhmä 5. Kasvat puut on merkitty numeroin ja kannot kirjaimin. Kokonaan kuoleet kannot sekä elävän ja kuoleen osan raja juurissa on osoitettu ristein. Pehmeä laho on merkitty ristiviivoittain. Kannoista on b 5 vuotta vanha ja muut 25 vuotta vanhoja.

Ab b. 17. Baumgruppe 5. Die wachsenden Bäume sind durch Ziffern und die Stubben durch Buchstaben bezeichnet. Die ganz abgestorbenen Stubben sowie die Grenze zwischen lebendem und abgestorbenem Teil in den Wurzeln sind durch Kreuze angegeben. Weiche Fäule ist durch Kreuzschraffen vermerkt. Von den Stubben ist b 5 Jahre alt, und die übrigen sind 25 Jahre alt.



Kuva 18. Kaaviokuvia kylvötaimiryhmistä ja niissä esiintyneistä yhteyksistä 17-vuotiaassa taimistossa. Piirroksissa on taimet merkitty ympyröillä. Keskenään yhteydessä olleet taimet on yhdistetty viivalla. Näyteala 12, Alajärvi.

Abb. 18. Schematische Bilder von Saatpflanzengruppen und den in ihnen vorkommenden Verbindungen in 17jährigem Jungwuchs. In den Figuren sind die Pflanzen durch Kreise bezeichnet. Die miteinander in Verbindung stehenden Pflanzen sind durch eine Linie verbunden. Probestfläche 12, Alajärvi.



Kuva 19. Taimiryhmien juuristokimppuja 17-vuotiaasta kylvötaimistosta. Näyteala 12, Alajärvi.

Abb. 19. Wurzelwerkbindel von Pflanzengruppen aus 17jährigem aus Saat erwachsenem Jungwuchs. Probestfläche 12, Alajärvi.

Puuryhmien juuristojen tutkiminen osoittaa, että 2—3 puun välisten juuriverkkojen ohella saattaa esiintyä sellaisia tapauksia, joissa yhdyskumppaneita (puita ja kantoja) on 4—7, jopa 11.

Männyllä on usean puun juuristojen välisiä elimellisiä yhteyksiä tavattu aikaisemminkin. Niinpä Laitakari (1927) esittää maininnan mm. neljän männyn välisestä juuriverkosta. Myös tämän kirjoittaja on aikaisemmissa tutkimuksissaan (Yli-Vakkuri 1945) tavannut 4—5 puun juuriston välisiä yhteyksiä.

Muilla puulajeilla havaitsemistaan laajoista yhtenäisistä juuriverkoista puhuvat useat tutkijat, kuten v. Berg (1844), Hartig (1844 ja 1878, s. 263), Pfeil (1860, s. 473), Pemberton (1921), Büsgen ja Münch (1927, s. 355), La Rue (1934) sekä Beckman ja Kuntz (1951).

Kuten aikaisemmin jo todettiin, taimien juuristojen välisiä yhteenliittymiä muodostuu runsaasti kylvötaimituppaissa. Kun taimet tuppaisa kasvavat lähellä toisiaan, saattaa tietty taimi olla yhteydessä samanaikaisesti usean taimen kanssa (kuva 18). Taimien juuristoista muodostuu näin useinkin yhtenäinen taimituppaan juuristo, jossa tietyn taimen juurien toteaminen on jo työlästä (kuva 19).

Juuriyhteyksien syntyminen

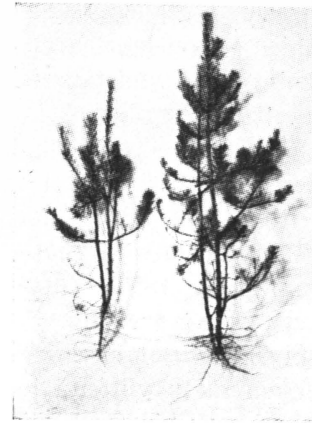
Juurten välinen kosketus

Jotta juuriyhteyksiä ylipäänsä voisi muodostua, täytyy eri puuyksilöiden juurten joutua toistensa kanssa kosketuksiin. Tällainen kosketus syntyykin männikössä jo varsin varhaisessa vaiheessa. Se todettiin mm. tämän tutkimuksen yhteydessä. Tutkittaessa eräässä 7-vuotiaassa tiheässä taimistossa (näytealat 31 ja 32) 50 umpimähkään valittua tainta havaittiin nimittäin, että näistä 38:n juuret olivat välittömässä kosketuksessa yhden tai useamman naapuritaimen juurten kanssa. Yhteenkasvettumia ei tällöin tavattu, vaikka eräät yksilöt olivatkin kiinteässä kosketuksessa toisiinsa (kuva 20).

Yleensä taimisto juuriston puolesta sulkeutuu nopeammin kuin latvusten osalta (Aaltosen 1934, 1948, s. 378). Sen tekee mahdolliseksi juurten nopea pituuskasvu (Nobbe 1875, Laitakari 1927, 1934). Kalelan (1949) mukaan vaakasuorat juuret sekä männikössä että kuusikossa leviävät jo 10—20 vuodessa kaikkiin niihin maakerroksiin, joissa niitä vanhoissakin metsiköissä tavataan. Männyn juuriston morfologiassa selvittelyssä Laitakari (1927) puolestaan havaitsi kaikkien tutkittujen puiden juuristojen ulottuvan kauas latvusprojektion ulkopuolelle. Samaan seikkaan viittaavat myös mm. Hilf (1927, s. 92), Kurdiani (1934, s. 106) ja Waghoff (1938).

Puiden juurten mahdollisuutta joutua toistensa kanssa kosketuksiin lisää se, että ne sijaitsevat pääasiallisesti aivan maan pintaosassa. Männyn osalta Suomen olosuhteissa tämä käy yhtäpitävästi selville Aaltosen (1920), Laitakarin (1927) ja Kalelan (1949) tutkimuksista. Kalelan mukaan puolukkatyyppin männikön vaakasuorista juurista 67—82 % leviää, humus huomioon otettuna, enintään 10 cm:n syvyyteen.

Puiden juuristoja esiin kaivettaessa todettiin toistuvasti, että puiden tyven läheisyydessä risteili useinkin runsaanlaisesti naapuripuiden juuria (kuva 21). Myös Laitakari (1927) on tutkimuksessaan todennut, ettei männyn pintajuuristo erityisemmin karta lähellä olevia puita tai puuryhmiä.



K u v a 20. Juuriyhteyksiä vailla olevia lähekkään kasvaneita taimia luontaisesti syntyneestä 7-vuotiaasta taimistosta. Näyteala 31, Orivesi. *Abb. 20. Ohne Wurzelverbindungen nahe beieinander gewachsene Pflanzen aus 7jährigem Anflug. Probefläche 31, Orivesi.*



K u v a 21. Esimerkki siitä, että puun juuret eivät erityisemmin karta naapuripuiden tyven läheisyyttä. Elimellistä yhteyttä ei tässä tapauksessa esiintynyt. Näyteala 20, Ruovesi.

Abb. 21. Ein Beispiel dafür, dass die Wurzeln eines Baumes die Nähe des unteren Stammes benachbarter Bäume nicht besonders meiden. Ein organischer Zusammenhang ist in diesem Falle nicht vorgekommen. Probefläche 20, Ruovesi.

Jotta saataisiin selville, esiintyykö metsiköissä yleensä lainkaan sellaisia puita, joiden juuret eivät koskettaisi naapuripuiden juuristoja, tehtiin erityisiä havaintoja juuristojen esiin kaivun yhteydessä yhteensä 77 puusta männiköissä, joiden ikä oli 55—130 vuotta. Tarkastelu koski juuria, joiden paksuus oli 0.5 cm tai sitä suurempi, ja se osoitti, että tutkituista puista oli vain yksi syrjäytynyt puu vailla välitöntä kosketusta naapuripuiden juuriin. Metsiköissä näyttää siis eri puiden juurilla olevan suuret mahdollisuudet joutua toistensa kanssa kosketuksiin.

Juurten yhteen kasvettuminen

Juurten välisen kosketuksen muodostuminen on ensimmäinen vaihe juurten yhteen kasvettumisessa. Jos olosuhteet ovat suotuisat, kehittyvästä kosketuksesta vähitellen elimellinen yhteys. Tutkittaessa lukuisia yhteenkasvettumia havaittiin, että juurten yhtyminen ei kuitenkaan tapahdu yleensä niiden ensimmäisessä kosketuskohdassa, vaan aikaa myöten muodostuvien laajempien kosketuspintojen laittamalla (vrt. kuva 12),

jonne usein syntyy kallusmaisia paisumia aivan kuin haavojen reunamille. Rubtsov (1950) on pannut merkille saman seikan juurten yhteenkasvettumia tutkiessaan. Tästä juurten erikoisesta yhtymistavasta myös johtuu, että yhteenkasvettuman sisään monesti jää kuorikerroksia.

Yhteenkasvettuman muodostuessa saattaa ensimmäinen elävien solujen välinen kosketus tietenkin tapahtua jo kuorikerroksissa. Täydelliseksi yhteenkasvettuma muodostuu kuitenkin vasta sitten, kun jälsisolukot joutuvat vastakkain, yhtyvät ja rupeavat muodostamaan yhteisiä vuosilustoja (Göppert 1846, Franke 1881, Rubtsov 1950). Yhtyvien osien väliin mahdollisesti jääneen tyhjän tilan täyttää Franken (1881) mukaan ydinsädesolukosta syntynyt yhdistävä kasvusolukko.

Olosuhteista, joissa juuriyhteyksiä muodostuu, on saatu viitteitä jo selvitettyä juuriyhteyksien esiintymistä erilaisissa metsiköissä. Lisää valaistusta tähän kysymykseen saadaan tutkimalla taannehtivasti, minkälaisissa olosuhteissa tietyt juuriyhteydet ovat muodostuneet.

Tutkimuksen yhteydessä selvitettiin tässä mielessä yksityiskohtaisesti kaikkiaan 22 yhteenkasvettumaa. Tutkituista yhteenkasvettumista, jotka kaikki olivat ristikkäisiä, oli pintajuurten välisiä 20 ja pinta- ja syväjuurten välisiä 2. Kyseiset näytteet oli otettu umpimähkään jokseenkin tasaisesti eri ikäluokkiin kuuluvista metsiköistä, joiden ikä oli vaihdellen 41—130 vuotta. Tutkimuksia varten saatiin kertyneet yhteenkasvettumat halki jonkin juuren suuntaan. Näin käsitellyistä näytteistä oli melko helppo mitata juurten paksuus niiden yhteenkasvettumisvaiheessa. Mikroskooppia apuna käyttäen voitiin todeta myös lustot.

Näytteiden tutkiminen paljasti eräitä varsin mielenkiintoisia seikkoja mm. juurten paksuudesta niiden yhteen kasvettuessa (taulukko 16).

T a u l u k k o 16. Juurten paksuus niiden yhteen kasvettuessa.

Tabelle 16. Die Dicke der Wurzeln zur Zeit ihres Verwachsens.

Juurten paksuus yhteen kasvettuessa cm Dicke der Wurzeln zur Zeit ihres Verwachsens cm				Yhteensä Zusammen
—1.0	1.1—2.0	2.1—3.0	3.1—	
Juuria kpl — Wurzeln St.				
11	24	8	1	44
Juuria % — Wurzeln %				
25	55	18	2	100

Yleensä tutkitut juuret ovat yhteen kasvettuessaan olleet varsin ohuita (≤ 3 cm). Herkimpiä yhteen kasvettumaan näyttävät olleen 1—2 cm:n

paksuiset juuret, vähemmän herkkiä sitä ohuemmat ja sitä paksummat juuret. Näytteiden ohuimman juuren paksuus yhteen kasvettuessa oli 0.7 cm, paksumman 9.0 cm.

Tutkittujen juurten lustomäärät yhteenkasvettumishetkellä selviävät taulukosta 17.

T a u l u k k o 17. Juurten lustomäärä niiden yhteen kasvettuessa.

Tabelle 17. Die Jahrringzahl der Wurzeln zur Zeit ihres Verwachsens.

Juurten lustomäärä kpl — Anzahl der Jahrringe St.								Yhteensä Zusammen
11—20	21—30	31—40	41—50	51—60	61—70	71—80	81—	
Juuria kpl — Wurzeln St.								
3	9	23	2	3	2	1	1	44
Juuria % — Wurzeln %								
7	20	52	5	7	5	2	2	100

Tutkituissa tapauksissa näytti juurten yhtyminen olleen yleisintä silloin, kun juurissa oli 20—40 lustoa. Pienin lustomäärä oli 15, suurin 105. Aivan vähälustoisten juurten puuttuminen aineistosta viittaa siihen, että hyvin nuoret juuret eivät yleensä kasvetu yhteen.

Vähentämällä yhteenkasvettumiin osallistuneiden puiden iästä yhteenkasvettumassa tavatut yhteiset vuosilustot pyrittiin saamaan selvyttä puiden iästä yhteenkasvettumien muodostumishetkellä (taulukko 18). Vuosilustojen epäsäännöllisen muodostuksen vuoksi kätkeytyy menetelmään tosin virhemahdollisuuksia, mutta kun menetelmä perustuu lähellä runkoa olevien, suhteellisen selvälustoisten juurten analysointiin, ei virhe voine olla haitallisen suuri pyrittäessä vain suuntaa osoittaviin lukuihin.

Yhteenkasvettumiin osallistuneiden puiden voimakas keskittyminen ikäluokkiin 31—60 vuotta on merkille pantavaa. Tarkasteltaessa aikaisemmin juuriyhteyksien esiintymistä näytepuiden perusteella (vrt. s. 28)

T a u l u k k o 18. Puiden ikä juurten yhteen kasvettuessa.

Tabelle 18. Das Alter der Bäume beim Verwachsen der Wurzeln.

Puiden ikä juurten yhteen kasvettuessa v Alter der Bäume beim Verwachsen der Wurzeln J.								Yhteensä Zusammen
31—40	41—50	51—60	61—70	71—80	81—90	91—100	101—110	
Puita kpl — Bäume St.								
8	14	10	2	3	1	3	3	44
Puita % — Bäume %								
18	32	23	4	7	2	7	7	100

havaittiin sama ajankohta metsikön kehityksessä juuriyhteyksien voimakkaaksi muodostumiskaudeksi. Sekä näytemetsiköitä tutkittaessa että yhteenkasvettumia selvitetessä on lisäksi sama ikäkausi taitekohtana, jota ennen yhteenkasvettumia ei tavattu. Todettu yhdenmukaisuus lisää mainittujen tulosten luotettavuutta.

Tutkittaessa lähemmin edellä saatuja tuloksia kiintyy huomio siihen, että toisiaan koskettavat juuret kasvettuvat yhteen yleisimmin vasta sitten, kun ne ovat saavuttaneet noin 1 cm:n paksuuden. Tämä viittaa siihen, että on olemassa jokin erityinen yhteen kasvettumista edistävä tekijä, joka tällöin alkaa vaikuttaa.

Tämä tekijä on ilmeisesti puristus, joka syntyy toisiaan koskettavien juurten välille niiden kasvaessa paksuutta. Puristuksen osuutta juurten yhteenkasvettumien muodostumisessa tähdentävätkin useat tutkijat, kuten Liese (1926), Fabricius (1927), Laitakari (1927), Junovidov (1950) ja Rubtsov (1950). Pfefferin (1904, s. 144) mukaan mainittu puristus voi olla 4.3—15.0 ilmakehää.

Tarkasteltaessa aikaisemmin yhteenkasvettumien muodostumista havaittiin, että se ei tapahdu juurten ensimmäisessä kosketuskohdassa, vaan kosketuskohdan reunamilla. Otaksuttavasti puristus saakin aluksi aikaan vain sen, että normaali kasvu estyy juurten kosketuskohdassa ja että sen reunamille syntyy palteet, joiden välinen puristus sitten rikkoo yhtymisen esteenä olevat kuorikerrokset.

Kun juurten paksuuskasvu on voimakkainta lähellä runkoa, missä juuret joutuvat huomattavan mekaanisen rasituksen alaisiksi (vrt. Liese 1926, Büsgen ja Münch 1927, Wretling 1936, Riedl 1937), on ymmärrettävää, että juurten yhteenkasvettumat keskittyvät puiden tyville. Juurten epäkeskinen kasvu, jota männylläkin lähellä tyveä esiintyy (Laitakari 1927), saattaa puiden varttuessa vielä lisätä juurten välistä puristusta.

Puiden tyvellä ilmenevää yhtyvien juurten välistä puristusta saattaa juurten paksuuskasvun ohella lisätä, eräissä tapauksissa myös vähentää se, että puut kasvaessaan painuvat sivujuurineen jonkin verran maahan, kuten mm. Flury (1924), Liese (1926) ja Pöntynen (1929) ovat todenneet.

Puristuksen ohella esiintyy ilmeisesti myös muita tekijöitä, jotka voivat edistää juurten yhteen kasvettumista. Eräs tällainen tekijä saattaa olla esimerkiksi tuuli (vrt. Fabricius 1927), joka aiheuttamalla juurten välistä hankautumista voi johtaa yhtyvien juurten kuoren rikkoutumiseen. Ilmeisesti myös routa saattaa aiheuttaa vastaavanlaista hankautumista.

Myös maa vaikuttanee juuriyhteyksien syntymiseen muodostamalla tiiviin väliaineen, jossa juurten välinen puristus pääsee tuntumaan. Maan tiiviys tässä mielessä on tietysti vaihteleva. Fabricius (1927) katsookin juuri tämän ehkä voivan vaikuttaa siihen, että juuriyhteyksiä on toisin paikoin vähän, toisin paikoin runsaasti. Hartig (1844, 1878, s. 263) ja Junovidov (1950) puolestaan katsovat, että myös kiviisyys voi lisätä juuriyhteyksien muodostumismahdollisuuksia. Maassa vallitsevien kosteussuhteiden tasaisuus saattaa niin ikään vaikuttaa suotuisasti.

Juurten yhteenkasvettumien muodostumiseen vaikuttanee myös juurten kuorikerrosten laatu. Ohuehkot juuret ovat ehkä herkkiä yhtymään nimenomaan sen vuoksi, että niiden useinkin ohuet kuorikerrokset muodostavat yhtyvien osien välille vain heikon esteen, joka juurten välisessä puristuksessa helposti murtuu.

Yhteenkasvettumien muodostumiseen saattavat tietysti vaikuttaa lukuisat muutkin seikat, kuten esimerkiksi solujen jakaantumista edistävien hormonien mahdollinen esiintyminen yhteenkasvettumiskohdissa.

Juuriyhteyksien fysiologisia seuraamuksia

Juuriyhteys elävien puiden yhdistäjänä

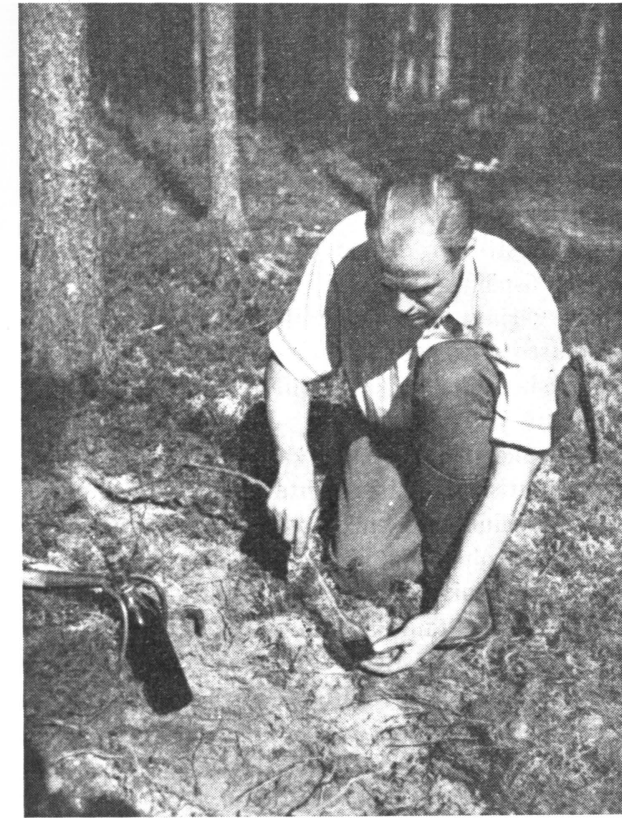
Veden kulkeutuminen elävien puiden yhteen kasvettuneissa juurissa

Veden kulkeutumista elävien puiden yhteen kasvettuneissa juuristoissa tutkittiin kokeellisesti. Kokeilla pyrittiin saamaan selville, minkälaisia muutoksia eri yksilöiden juurten välinen yhteenkasvettuma mahdollisesti aiheuttaa veden kulkeutumiseen. Erityisesti näihin kokeisiin antoi aiheen tutkimusten aikana herännyt ajatus jonkin elävän puun juuren tai sen osan mahdollisesta siirtymisestä vedenotossa kokonaan tai osaksi toisen puun käyttöön.

Tämän tutkimuksen kannalta on ylöspäin suuntautuvan nestevirtauksen yleisestä luonteesta tärkeintä todeta, että veden nousu kasvissa tapahtuu asiaa valaisevien tutkimusten mukaan johtojänteiden putkilo-osassa tai, kun on kysymys puuvartisista kasveista, niiden puussa (vrt. Collander 1944, s. 85, 1947, s. 375, Curtis ja Clark 1950, s. 166) ja että sen osoittamiseen voidaan käyttää monia erilaisia indikaattoreita, kuten suoloja, värejä, radioaktiivisia aineita ja lämpöä (Huber 1932, s. 91, Grafts, Currier ja Stocking 1949, s. 168).

Kun tässä tutkimuksessa oli saatava selville ennen kaikkea veden kulkureitti, käytettiin kokeissa väriaineita, pääasiallisesti happofuksiinia (vrt. Collander 1929, s. 21), joissakin tapauksissa myös eosiinia. Kun kasvit yleensä ota väriaineita juuriensa elävien solukkojen lävitse suoraan maasta (Huber 1932, s. 93), väriaine imeytettiin muuten vahingoittamattomaan kasviin juuren leikkauspinnan kautta. Samanlaisista menettelyä ovat aikaisemmin muunlaisten tutkimusten yhteydessä käyttäneet mm. Arndt (1929) ja Heybey (1937).

Kokeiden käytännöllinen suoritus tapahtui siten, että tutkimusmetsiköstä ensin etsittiin elävien puiden juuristojen välisiä elimellisiä yhteyksiä. Näistä valittiin sitten kokeisiin sellaiset, joista mahdollisimman varmasti voitiin jo silmävaraisesti havaita, mille puulle mikin juuri kuului. Nämä havainnot tarkistettiin yksityiskohtaisin tutkimuksin kokeiden jälkeen.



Kuva 22. Veden kulkeutumista selvittävän kokeen alkuvaihe. Katkaistua juuren kärkeä sijoitetaan parhaillaan väriliuosta sisältävään pulloon.
Abb. 22. Anfangsstadium des Versuchs zur Klärung der Wasserbewegung. Eine abgebrochene Wurzelspitze wird gerade in eine Flasche mit Farblösung gesteckt.

Koetta varten kaivettiin esiin jokin sopiva, yleensä enintään sormen paksuinen juuri, leikattiin se poikki ja taivutettiin katkaistu juuren kärki väriliuosta sisältävään pikku pulloon (kuva 22). Katkaisua ei suoritettu veden alla, kuten usein tässä yhteydessä tehdään (Arndt 1929, s. 179, Huber 1932, s. 93), koska väriaine ilman tällaista toimenpidettäkin näytti yleensä imeytyvän puuhun. Pullo sijoitettiin maahan mahdollisimman pystysuoraan asentoon sekä peitettiin hiekalla ja turpeella. Monesti pantiin samaan juuriyhtymään useita eri pulloja. Joskus työnnettiin samaan pulloon parikin juurta. Näin voitiin häiriöttä menetellä, sillä eri juurista lähtevät väriviirut eivät sekoittuneet toisiinsa.

Kokeet tarkastettiin noin viikon kuluttua. Vaikka veden nousunopeus männyllä onkin pieni (vrt. Huber ja Schmidt 1936, s. 375, Schubert 1939, s. 849), ei näin pitkä koeaika ehkä olisi ollut tarpeen. Sitä käytettiin lähinnä sen vuoksi, että väriliuos ehtisi nousta latvukseen asti, jotta voitaisiin tarvittaessa seurata sen kulkua juuresta latvukseen. Yleensä viikon koeaika riitti hyvin tähän suurillakin puilla.

Kokeen päättyessä kaivettiin koejuuri esiin ja tarkastettiin värines-teen kulku. Tavallisesti juuri oli värjäytynyt kauttaaltaan jonkin matkaa väriliuospullosta ylöspäin. Ylempänä olivat sen sijaan useinkin vain tietyt trakeidijonot värjäytyneet. Yleensä värjuova näkyi punaisena viiruna kuoritun juuren pinnassa. Värijuovan toteamiseksi tehtiin sopivista kohdista leikkauksia. Yhteyskohta säilytettiin kuitenkin mahdollisimman pitkään ehjänä yksityiskohtaista selvittelyä tai näytteenottoa varten. Kustakin tapauksesta piirrettiin karttaluonnos. Erikseen merkittiin muistiin puita ja juuristojen välisiä yhteyksiä koskevat yksityiskohtaiset mittaustulokset. Väriliuoksen kulku osoitettiin juuristokartoissa nuolin.

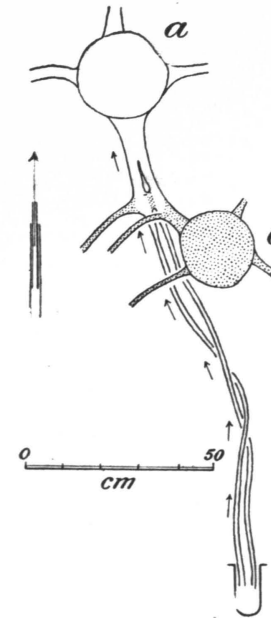
Kokeiden yksityiskohdat ja niiden antamat tulokset selviävät seuraavista selostuksista. Kokeissa mainittujen tutkimusmetsikköjen luonne ilmenee sivulla 28 olevasta taulukosta 3.

Kun tarkoituksena on käsitellä erillisessä tutkimuksessa veden kulkeutumista rungossa ja oksissa, rajoitutaan selostuksissa kuvaamaan värjuovien kulkua vain juurissa.

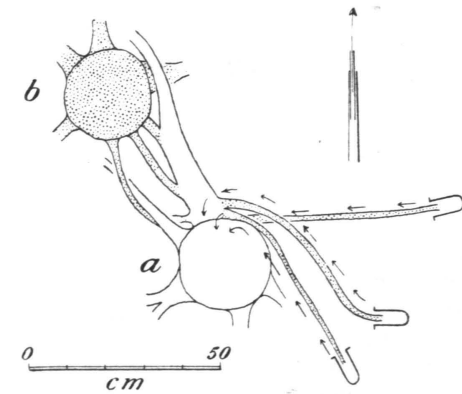
Koe 1. Kokeeseen kuului kaksi keskenään yhteydessä olevaa mäntyä (kuva 23) tutkimusmetsikössä I. Koepuu a: $D_{1,3}$ 14 cm, H 13,9 m. Koepuu b: $D_{1,3}$ 13 cm, H 12 m. Juuriyhteydet olivat muodostuneet siten, että puun b ensiasteinen pintajuuri oli yhtynyt puun a kahteen vierekkäiseen toisasteiseen pintajuureen kulkiessaan näiden ylitse. Väriliuospullo asetettiin 125 cm:n päähän puusta a. Liuoksen taivutettiin tämän puun yhdysjuurten katkaistut kärjet. Väriaineena fuksiini. Koeaika 2.—7. 8. 1946. Värijuovat kulkeutuivat kummastakin haarasta, välillä olevan yhteenkasvettuman häiritsemättä, puun a tyvelle, mistä ne edelleen nousivat kahtena 1,0 cm:n levyisenä, vierekkäin kulkevana juovana latvukseen oksiin asti.

Kokeessa 1 kuvatussa tapauksessa ei juurten yhteen kasvettuminen aiheuttanut, väriliuoksen kulusta päätellen, mitään muutosta ylöspäin suuntautuvan nestevirtauksen tavanomaiseen kulkuun. Koe ilmaisee asiain tilan tietenkin vain juuren värjäytyneiltä osilta.

Koe 2. Kokeeseen kuului kaksi keskenään yhteydessä olevaa mäntyä (kuva 24) tutkimusmetsikössä IV. Koepuu a: ikä 55 v, $D_{1,3}$ 15 cm, H 11 m, puuluokka 2a₁. Koepuu b: ikä 65 v, $D_{1,3}$ 13 cm, H 13 m, puuluokka 1a₁. Puiden välimatka oli 30 cm. Juuriyhteydet olivat muodostuneet siten, että puun b kolme ensiasteista pintajuurta oli aivan lähellä puun a tyveä kasvanut kiinni tämän puun 6 cm paksuun pintajuureen kulkiessaan sen alitse. Yksi puun b pintajuurista oli lisäksi kasvanut kiinni puun a tyveen. Väriliuospulloja asetettiin kolme ja niihin pistettiin puun b jo mainittujen,



Kuva 23. Koe 1.
Abb. 23. Versuch 1.

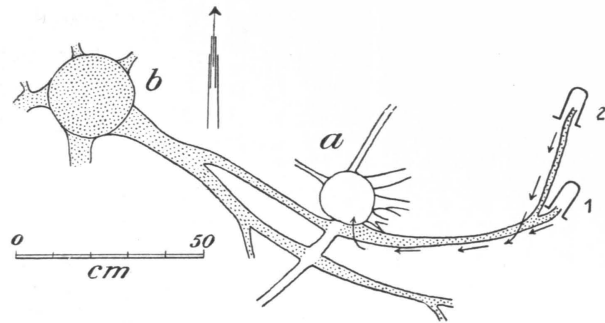


Kuva 24. Koe 2.
Abb. 24. Versuch 2.

puusta 80—90 cm:n päässä katkaistujen pintajuurten kärjet. Juuret olivat katkaisukohdassa 0,5 cm paksuja; 5 cm katkaisukohdan yläpuolella oli niissä lustoja 25—27. Yhteisiä lustoja puiden a ja b yhteen kasvettuneilla juurilla oli 7—11. Väriaineena fuksiini. Koeaika 11.—19. 8. 1950. Väriaine kulkeutui kaikista puun b juuriin asetuista pulloista yhtymäkohtien kautta puuhun a, mutta ei yhdestäkään juuresta yhtymäkohdan ohi puuta b kohti.

Kokeessa 2 värjuova ei siis kulkenut tavalliseen tapaan tietystä juuresta tiettyyn puuhun, vaan poikkesi juurten yhteenkasvettuman kautta vieraaseen puuhun. Tässä tapauksessa aiheutunut nestevirtauksen kulun muutos viittaa siihen mahdollisuuteen, että elävä puu voisi tavallaan »vallata» itselleen ainakin osaksi toisen elävän puun juuria.

Koe 3. Kokeeseen kuului kaksi keskenään yhteydessä olevaa mäntyä (kuva 25) tutkimusmetsikössä V. Koepuu a: ikä 105 v, $D_{1,3}$ 10 cm, H 12,1 m, puuluokka 2a₁. Koepuu b: ikä 105 v, $D_{1,3}$ 15 cm, H 14 m, puuluokka 1a₃. Koepuut olivat 55 cm:n päässä toisistaan. Kokeen alainen juuriyhteys oli muodostunut siten, että puun b pintajuuren haara oli yhtynyt puun a pintajuureen kulkiessaan tämän ylitse aivan puun tyvellä. Yhtymäkohdassa oli juurilla 14 yhteistä vuosilustoa. Puun a juuren vaaka-suoraan mitattu läpimitta oli yhtymäkohtaa lähinnä olevassa säännöllisesti kehittyneessä kohdassa 4,0 cm, puun b yhdysjuuri vastaavasti 2,0 cm. Puilla oli toinenkin heikosti kehittynyt yhteys puun a äskeisen yhdysjuuren ja puun b äskeisen yhdysjuuren haaran välillä. Väriliuospulloja asetettiin kaksi ja niihin taivutettiin puun b

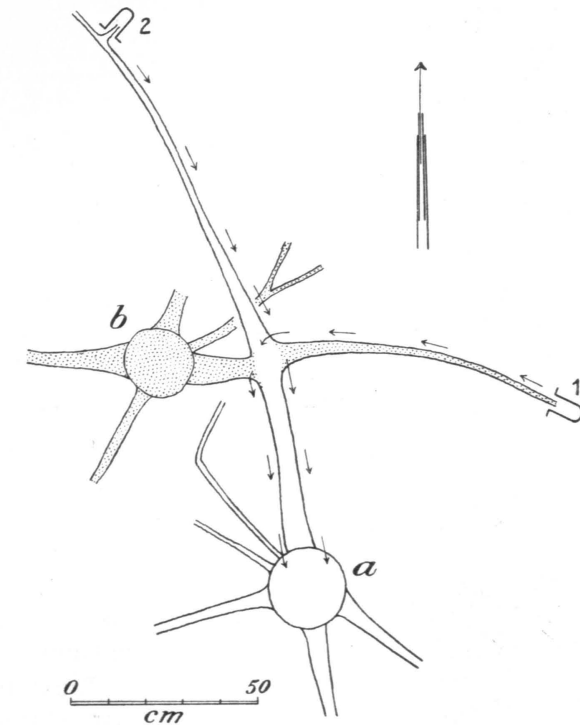


Kuva 25. Koe 3.
Abb. 25. Versuch 3.

yhdysjuuren haarojen katkaistut kärjet 69 cm:n (pullo 1) ja 66 cm:n (pullo 2) päässä puun a tyvellä olevasta yhteenkasvettumasta. Edellisen haaran paksuus oli katkaisukohtassa 1.0 cm, jälkimmäisen 0.6 cm. Yhteyden laatu tutkittiin yksityiskohtaisesti laboratoriotyönä. Väriaineena fuksiini. Koeaika 14.—19. 9. 1950. Väriaine kulki molemmista puun b juuriin asetetuista pulloista yhtymäkohtien kautta puuhun a, mutta ei lainkaan yhtymäkohtien ohi puuta b kohti. Väriaine nousi pulloista 1 ja 2 yhtenäisenä juovana juuren yläosassa. Puun a tyvellä värijuovan leveys oli 1.2 cm ja syvyys 0.8 cm eli 11 vuosilustoa.

Kokeessa 3 aiheutui juurten yhteen kasvettumisesta väriliuoksen kulkuun samantapainen muutos kuin kokeessa 2. Kun kysymyksessä olevien juurten yhteenkasvettumassa oli kaikkiaan vain 14 yhteistä vuosilustoa ja kun värijuova 11 ulommassa vuosilustossa kulki suuntautui vieraaseen puuhun, nestevirtauksen suuntautumisen muutoksen on täytynyt tapahtua jokseenkin välittömästi (3 vuodessa) yhteenkasvettuman syntymisen jälkeen.

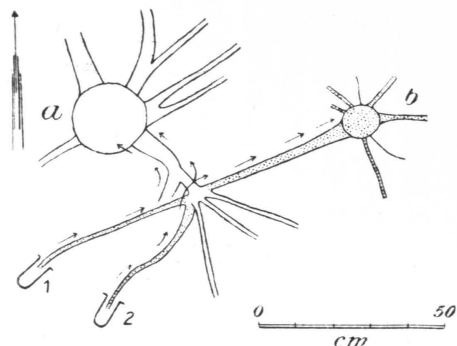
Koe 4. Kokeeseen kuului kaksi keskenään yhteydessä olevaa mäntyä (kuva 26) tutkimusmetsikössä VI. Koepuu a: ikä 110 v, $D_{1,3}$ 14 cm, H 16 m, puuluokka 2a₃. Koepuu b: ikä 105 v, $D_{1,3}$ 13 cm, H 16 m, puuluokka 2a₃. Puiden välimatka oli 53 cm. Juuriyhteys oli muodostunut siten, että puun a ja b ensiasteiset pintajuuret olivat ristikkäin kulkiessaan kasvettuneet yhteen. Yhteenkasvettumiskohdassa olivat juurten paksuudet havaintohetkellä 4.9 cm (puu a) ja 4.2 cm (puu b), yhteenkasvettuman muodostumisajankohtana vastaavasti 3.0 cm ja 2.0 cm. Yhteen kasvettuneissa juurissa oli 25 yhteistä vuosilustoa; erillisiä oli toisella 61, toisella 67. Väriliuos pulloista asetettiin yhteen kasvettuneiden juurten katkaistuihin kärkiin 80 cm:n (pullo 1) ja 98 cm:n (pullo 2) etäisyydelle yhteenkasvettumasta. Väriaineena oli pullossa 1 fuksiini, pullossa 2 eosiini. Koeaika 31. 8.—7. 9. 1951. Väriliuos kulkeutui molemmista pulloista puuhun a, puuhun b ei suuntautunut värijuovaa kummastakaan juuresta. Pullosta 1 lähtenyt värijuova kulki 0.5 cm leveänä juuren alalaitaa lähelle yhteenkasvettumaa, kiertyi siinä veden kulkusuuntaan katsoen juuren vasemmalle sivulle, mistä sukelsi yhteenkasvettuman alapuolelle ja siitä edelleen juuren alaosaan kulki puuhun a. Kannonkorkeudella oli värijuovan syvyys rungossa 1.5 cm eli 12 lustoja. Pullosta 2 lähtenyt viiru kulki juuren keskustassa yhteenkasvettumasta välittämättä puuhun a, jonka kantoleikkauksessa se näkyi kahtena erillisenä läikkänä.



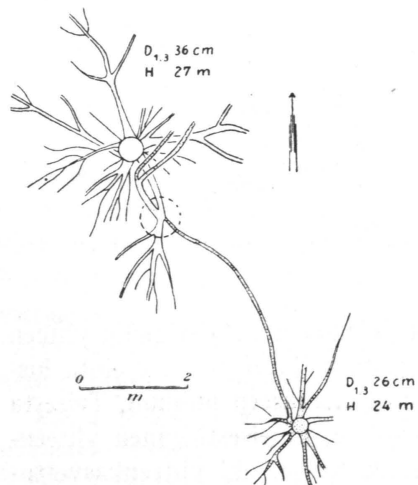
Kuva 26. Koe 4.
Abb. 26. Versuch 4.

Kokeessa 4, jossa väriliuosta imeytettiin molempiin ristikkäin yhteen kasvettuneisiin juuriin, värijuova kulki toisesta juuresta 12 ulointa lustoja pitkin yhtymäkohtaan ja poikkesi siitä vieraaseen puuhun. Toisesta juuresta värijuova kulkeutui juuren sisäosissa, ilmeisesti ennen yhteenkasvettuman syntymistä muodostuneissa lustoissa, ohi yhteenkasvettuman vieraaseen puuhun poikkeamatta. Värijuovan kulkeutuminen viiemksi mainitusta toisasteisesta pintajuuresta pelkästään ensiasteisen pintajuuren sisäosiin osoittanee, että kysymyksessä on juuri, joka on ehkä suuressa määrin syrjäytynyt puun viimeaikaisesta elintoiminnasta.

Koe 5. Kokeeseen kuului kaksi keskenään yhteydessä olevaa mäntyä (kuva 27) tutkimusmetsikössä VIII. Koepuu a: ikä 55 v, $D_{1,3}$ 12 cm, H 11 m, puuluokka 1a₁. Koepuu b: ikä 55 v, $D_{1,3}$ 7 cm, H 9 m, puuluokka 2a₂. Puiden välimatka oli 53 cm. Juuriyhteydet olivat muodostuneet puun b ensiasteisen pintajuuren kulkiessa puun a juurten muodostaman haarukan välitse. Yhteenkasvettumakohdassa olivat juurten paksuudet havaintohetkellä 0.9, 1.2 ja 2.1 cm (puu a) ja 1.4 cm (puu b). Yhteisiä lustoja oli yhteen kasvettuneilla juurilla 7—8. Väriliuos pulloista asetettiin puun b yhdysjuureen ja sen haaraan 38 cm:n ja 46 cm:n päähän yhteenkasvettumasta. Koetta asetettaessa luultiin juurta, johon pullo 2 sijoitettiin, puun a juureksi. Vasta laboratoriotyönä suoritettu yksityiskohtainen tutkimus osoitti juuren alun perin kuuluneen



Kuva 27. Koe 5.
Abb. 27. Versuch 5.



Kuva 28. Isännän vaihtoon viittaava juuren paksuneminen yhteenkasvettumiskohdasta lähtien. Katkoviivainen ympyrä osoittaa yhteenkasvettumiskohtaa. Näyteala 29. Lammi.

Abb. 28. Auf Wirtswechsel hinweisende Wurzelverdickung von der Verwachsungsstelle an. Der mit gestrichelter Linie gezeichnete Kreis gibt die Verwachsungsstelle an. Probestelle 29, Lammi.

välityksellä elimellisessä yhteydessä toisen puun kanssa saattaa ainakin osaksi vaikuttaa tämän elintoimintoihin.

puuhun b. Tämä esimerkki osoittaa suoritettujen tarkistusten tarpeellisuuden (vrt. s. 56). Pullossa 1 oli väriaineena fuksiini, pullossa 2 eosini. Koeaika 1.—8. 9. 1951. Pullosta 1 värijuova kulkeutui leveänä, melkein ympäri juuren ulottuvana viiruna yhteenkasvettumiskohtaan ja poikkesi siitä vieraaseen puuhun a. Pullosta 2 suuntautui värijuuri molempiin puihin: puuhun a 3.0 cm leveä, puuhun b 0.3 cm leveä. Puusyiden kulku oli yhteenkasvettumiskohdassa värijuovien kulun mukainen.

Koe 5 edustaa erikoislaatuista tapausta, jossa nestevirtaus suuntautui värijuovien kulusta päätellen tietyistä juuresta yhteenkasvettuman kautta kahteen eri puuhun. Yhteenkasvettumiskohdassa oli näkyvissä myös tämän mukainen trakeidijonojen kulku.

Tapahtuneeseen juurten vaihtoon viittasivat eräissä juuriyhetyksissä jo pelkät juurten morfologiset piirteet yhteenkasvettumiskohdassa (kuva 28).

Kokonaisuutena edellä selostetut kokeet osoittavat, että puun juuri ollessaan elimellisessä yhteydessä toisen puun juuren kanssa saattaa veden kuljettajana siirtyä tämän toisen puun käyttöön. Kaikki yhteenkasvettumat eivät kuitenkaan näytä johtavan tällaiseen »isännän vaihtoon», ei ainakaan täydelliseen. Mainitunlainen elävän puun juuren liittyminen toisen puun juuristoon osoittaa, että jokin puu ollessaan juurten

Ravinteiden kulkeutuminen elävästä puusta toiseen

Kivennäisravinteiden kulkeutumista elävästä puusta toiseen selvitettiin parilla orientoivalla kokeella käyttäen apuna radioaktiivista fosfaattiliuosta, jossa fosfori oli isotooppina P^{32} . Mainittua isotooppia ovat aikaisemmin käyttäneet ravinteiden siirtymisen selvittämiseen lukuisat tutkijat (vrt. K a m e n 1951, s. 279). Sekä radioaktiivisen fosforin että muiden radioaktiivisten isotooppien soveltuvuus kasvifysiologisiin tutkimuksiin perustuu siihen, että ne liikkuvat ja reagoivat kasvissa niin kuin tavallisetkin atomit (ionit) ja ovat radiometrisin menetelmin helposti ja tarkasti määritettävissä (vrt. W a r t i o v a a r a 1945, G r o t e n f e l t 1950, C o l l a n d e r 1947, s. 388, 1952).

Kokeita varten käytettävissä ollut radioaktiivinen fosfaattiliuos¹, jonka radioaktiivisuus oli 5 millicurietä, laimennettiin tislattulla vedellä ja jaettiin kahteen osaan, kahta koetta varten. Laimennettuna liuosta oli kaikkiaan 20 cm³. Kokeet suoritettiin Metsätieteellisen tutkimuslaitoksen Ruotsinkylän kokeilualueessa lähellä Helsinkiä heinäkuussa 1951. Tutkimusmetsiköksi valittiin 35-vuotias, luontaisesti syntynyt, jonkin verran ruutukylvöllä täydennetty männikkö, jonka valtapituus oli 7 m. Tästä taimistosta valittiin kokeiden kohteeksi neljä puuta. Niiden mittasuhteet ja juuriyhetydet selviävät lähemmin kokeiden selostuksista.

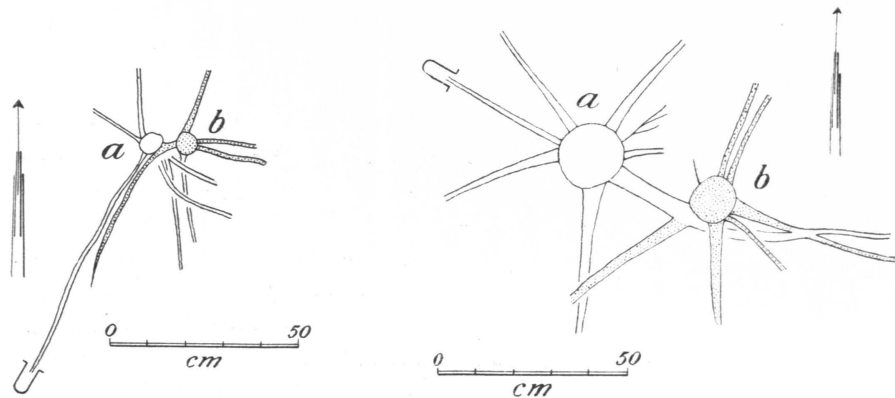
Koska radioaktiivista valmistetta oli käytettävissä vain vähän, se imeytettiin puuhun katkaistun juuren kautta siten, että katkaistu juuri asetettiin radioaktiivista liuosta sisältävään koeputkeen. Kokeissa liuos imeytettiin koepuun sellaiseen juureen, joka ei ollut yhdyspuun juurien kanssa välittömästi kosketuksessa. Radioaktiivisuuden toteamiseksi otettiin koepuun rungosta ja versoista puuta ja nilaa käsittäviä näytteitä. Näytteet pyrittiin saamaan 1 cm³:n suuruisiksi. Radioaktiivisuuden määrittäminen tapahtui tuhkanäytteistä Geiger-Müllerin laskijalla.²

Kokeiden yksityiskohdat selviävät seuraavista selostuksista.

Koe 6. Kokeen kohteena oli kaksi keskenään yhteydessä olevaa puuta (kuva 29) tutkimusmetsikössä IX. Koepuu a: ikä 33 v, $D_{1,3}$ 4 cm, H 5 m, puuluokka 2, yhdysjuurena kannon alus, jonka paksuus yhtymäkohdassa 5.1 cm. Koepuu b: ikä 33 v, $D_{1,3}$ 3 cm, H 4 m, puuluokka 3, yhdysjuurena ensiasteinen pintajuuri, jonka paksuus yhtymäkohdassa 2.7 cm. Puiden välinen etäisyys 3 cm. Yhteenkasvettuma ristikkäi-

¹ Valmisteen toimitti Atomic Energy Research Establishment, Harwell, Englanti.

² Määrittäykset suoritti professori Osmo Turpeinen Eläinlääketieteellisen korkeakoulun fysiologisessa laitoksessa.



Kuva 29. Koe 6.
Abb. 29. Versuch 6.

Kuva 30. Koe 7.
Abb. 30. Versuch 7.

nen, sen etäisyys koepuusta a 0 cm, koepuusta b 4 cm. Liuosta 10 cm³. Sen radioaktiivisuus 2.5 millicurietä. Liuoksessa fuksiinia. Liuokseen taivutettiin koepuun a ensiasteisen pintajuuren 0.5 cm paksu katkaistu kärki 74 cm:n päässä koepuusta. Juuri ei ollut välittömässä elimellisessä kosketuksessa minkään koepuun b juuren kanssa. Koeaika 3. 7. klo 18 — 11. 7. klo 11 1951. Fuksiinia pantiin koeputkeen 4. 7. klo 14. Liuosta imeytyi juureen 5 cm³. Koepuista otettiin seuraavat näytteet. Koepuu a: Näyte 1. Juuren pala 42 cm:n päästä liuosputkesta runkoon päin. Näyte 2. Latvakasvaimen päätesilmu ja 5 lähintä neulasparia. Näyte 3. Nilaa ja puuta rinnankorkeudelta rungosta koepuuresta nousevan väriviirun vastakkaiselta puolen. Näyte 4. Edellistä vastaava näyte väriviirun kohdalta. Koepuu b: Näyte 1. Nilaa ja puuta 15 cm:n korkeudelta rungosta koepuita yhdistävän juuren yläpuolelta. Näyte 2. Latvakasvaimen päätesilmu ja siihen liittyneet 20 neulasparia.

Koe 7. Kokeeseen kuului kaksi keskenään yhteydessä olevaa kasvavaa puuta (kuva 30) tutkimusmetsikössä IX. Koepuu a: ikä 34 v, D_{1,3} 12 cm, H 10 m, puuluokka 1, yhdysjuurena ensiasteinen pintajuuri, joka yhtynyt koepuun b pintajuurien välitse kulkiessaan samassa kohtaa näihin molempiin ja paalujuureen sekä jonkin matkan päässä vielä saman puun pintajuureen. Yhdysjuuren paksuus ensiksi mainitussa yhtymäkohdassa 4.0 cm, jälkimmäisessä 1.9 cm. Koepuu b: ikä 33 v, D_{1,3} 8 cm, H 8 m, puuluokka 1, yhdysjuurina paalujuuri, paksuus yhtymäkohdassa 9.0 cm, ja kolme pintajuurta, joiden paksuudet yhtymäkohdissa 2.6 cm, 2.4 cm ja 1.9 cm. Puiden välinen etäisyys 20 cm. Yhteenkasvettumat ristikkäisiä. Niiden etäisyydet koepuusta a 20—52 cm, koepuusta b 0—20 cm. Liuosta 10 cm³. Sen radioaktiivisuus 2.5 millicurietä. Liuokseen ei pantu fuksiinia. Liuokseen taivutettiin koepuun a ensiasteisen pintajuuren 0.5 cm paksu katkaistu kärki 35 cm:n päässä koepuusta. Juuri ei ollut välittömässä elimellisessä kosketuksessa koepuun b juurten kanssa. Koeaika 3. 7. klo 18 — 11. 7. klo 12 1951. Koko liuosmäärä imeytyi juureen. Koepuista otettiin seuraavat näytteet. Koepuu a: Näyte 1. Juuren pala 20 cm:n päästä liuoskoeputkesta runkoon päin. Näyte 2. Kärkikasvain oksasta, joka oli alin elossa oleva ja 3.6 m:n korkeudella maasta. Koepuu b: Näyte 1. Nilaa ja puuta 15 cm:n korkeudelta rungosta runkoa lähinnä olevan yhteenkasvettuman yläpuolelta. Näyte 2. Kärkikasvain oksasta, joka oli alin elossa oleva ja 3 m:n korkeudella maasta.

Kertyneet näytteet pasutettiin tuhkaksi 12. 7. 1951. Radioaktiivisuuden mittaukset suoritettiin 14. 7. 1951. Mittauksien tulokset ilmenevät seuraavasta asetelmasta.

Koe 6

Näytteet puusta, jonka juureen annettiin radioaktiivista fosfaattia

	Relatiivinen radioaktiivisuus impulssi/min
6a ₁ . Pala juurta läheltä koeputkea	11 000
6a ₂ . Latvakasvaimen päätesilmu	68
6a ₃ . Nilaa ja puuta rungosta väriviirun vastakkaiselta puolelta	23
6a ₄ . Nilaa ja puuta rungosta väriviirun kohdalta	1 400

Näytteet edellisen kanssa juuriyhteydessä olevasta puusta

6b ₁ . Nilaa ja puuta rungosta koepuita yhdistäneen juuren yläpuolelta ..	38
6b ₂ . Latvakasvaimen päätesilmu	1

Koe 7

Näytteet puusta, jonka juureen annettiin radioaktiivista fosfaattia

7a ₁ . Pala juurta läheltä koeputkea	52 000
7a ₂ . Kärkikasvain alimmasta oksasta	0

Näytteet edelliseen juuriyhteyksin liittyneestä puusta

7b ₁ . Nilaa ja puuta rungosta koepuita yhdistäneen juuren yläpuolelta	8
7b ₂ . Kärkikasvain alimmasta oksasta	0.5

Kysymykseen, voiko ravinteita siirtyä juuriyhteyden kautta puusta toiseen, antavat molemmat kokeet myönteisen vastauksen. Molemmissa kokeissa voitiin nimittäin todeta, kuten asetelmasta ilmenee, radioaktiivisuutta sekä siinä puussa (näytteet 6a₁₋₄ ja 7a₁), jonka juureen annettiin imeä radioaktiivista fosfaattia sisältävää liuosta, että siihen juuriyhteyksin liittyneessä puussa (näytteet 6b₁ ja 7b₁). Tarkastelussa on jätetty näytteet 6b₂ ja 7b₂ huomioon ottamatta niissä esiintyneen radioaktiivisuuden vähyyden vuoksi.

Kokeissa, jotka koskivat keskenään juuriyhteydessä olevia tammia, Beckman ja Kuntz (1951) havaitsivat vastaavasti radioaktiivisen jodin siirtyneen puusta toiseen. Saadut tulokset viittaavat siihen, että keskenään juuriyhteydessä olevia puita voidaan pitää tietyssä määrässä ravitsemusfysiologisesti yhteen kuuluvina.

Kaadettujen ja pystykuivien puiden juuristojen eloon jääminen ja toiminta

Kantojen eloon jääneet juuristot

Esiintyminen

Kaadettujen puiden juuristojen eloon jäämisen maanpäällisenä osoittajana on kantojen elossa pysyminen. Männyn osalta pidettiin tätä ilmiötä meillä, parista Laitakarin (1927) havainnosta huolimatta, aikaisemmin harvinaisena (Hertz 1931, s. 27). Myöhemmin tämä ilmiö kuitenkin osoitettiin hyvin yleiseksi (Yli-Vakkuri 1938, 1939, 1945). Ilmiön yleisyyteen männyllä viittaavat myös Junovidovin (1950, 1951) havainnot.

Elävien kantojen esiintyminen on tässä yhteydessä sikäli huomion arvoinen, että sen perusteella voidaan saada tietoja sellaisten kaadettujen puiden määrästä, joiden juuristot ovat ainakin osittain elossa. Näin saatu tilasto kaadettujen puiden enemmän tai vähemmän elossa olevista juuristoista metsiköissä on likimääräinen ja todellisuutta pienempi, sillä osa kasvavista kannoista kuolee ajan mittaan siitä huolimatta, että osa niiden juurista pysyy elossa (vrt. kuva 17).

Tämän tutkimuksen yhteydessä havaittu elävien kantojen esiintymisrunsaus luontaisesti syntyneissä männiköissä ilmenee taulukosta 19. Taulukkoa tarkasteltaessa on otettava huomioon, että kolmessa nuorimmassa ikäluokassa oli hakkuita toimitettu vain viimeisten 15 vuoden aikana.

Taulukko 19. Elävien kantojen yleisyys eri ikäluokissa.

Tabelle 19. Das Vorkommen der lebenden Stubben in den verschiedenen Altersklassen.

Metsikön ikä v Alter des Bestandes J.	Eläviä kantoja kpl/ha Lebende Stubben St./ha		
	Hakuusta kulunut aika v Seit dem Hieb verflossene Zeit J.		Yhteensä Zusammen
	≤ 15	> 15	
— 40 ¹	325	—	325
41— 60	212	—	212
61— 80	122	—	122
81—100	44	52	96
101—120	91	39	130
121—	18	66	84

¹ Laskelmissa ovat mukana vain näytealat 10 ja 18; muissa ei kantoja ollut.

¹ Die Zahlen beziehen sich lediglich auf die Probestflächen Nr. 10 und 18; auf den anderen gab es keine Stubben.

Eläviä kantoja esiintyi huomattavan runsaasti kaikissa hakkuilla käsitellyissä ikäluokissa. Näytealojen mittaustuloksista käy ilmi, että niitä tavattiin myös kaikissa erillisissä tutkimusmetsiköissä, joita oli hattu, toisin sanoen kaikissa yli 30-vuotiaissa metsiköissä. Runsainta elävien kantojen esiintyminen näytti olevan nuorimmissa ikäluokissa. Keskimäärin hehtaaria kohden laskettuna kysymyksessä olevia kantoja oli tutkituissa yli 30-vuotiaissa metsiköissä 178 kappaletta. Metsiköiden laadun ja niihin kohdistuneiden hakkuiden luonteen mukaan ilmeni elävien kantojen esiintymisessä tietenkin melkoista vaihtelua. Vähiten eli 50 kpl/ha esiintyi eläviä kantoja eräässä 66-vuotiaassa metsikössä (näyteala 8) ja eniten eli 360 kpl/ha eräässä 47-vuotiaassa metsikössä (näyteala 13).

Elävien kantojen esiintymisrunsautta koskevan tarkastelun perusteella voidaan todeta, että kaadettujen puiden eloon jääneitä juuristoja esiintyy männiköissä varsin yleisesti.

Tarkastelemalla elävien kantojen suhteellista esiintymistä saadaan tietoja siitä, miten yleistä juuristojen eloon jääminen hakkuiden yhteydessä on (taulukko 20). Taulukkoa laskettaessa on otettu huomioon vain 15 vuotta vanhat ja sitä nuoremmat kannot, koska vanhempia on maastossa vaikea havaita (vrt. s. 33).

Elävien kantojen suhteellisen esiintymisen perusteella voidaan päätellä, että tutkituissa metsiköissä on viimeisten 15 vuoden aikana jäänyt hakkuissa eloon kaadettujen puiden juuristoista keskimäärin suunnilleen joka kymmenes. Samoin voidaan todeta, että juuristojen eloon jääminen on ollut vanhoissa metsiköissä jonkin verran yleisempää kuin nuorissa.

Taulukko 20. Elävien kantojen suhteellinen osuus kantojen kokonaismäärästä.

Tabelle 20. Der relative Anteil der lebenden Stubben an der Gesamtzahl der Stubben.

Metsikön ikä v Alter des Bestandes J.	Näytekantoja yhteensä kpl Probestubben zusammen St.	Näytekannoista elossa Lebende Probestubben	
		kpl — St.	%
— 20	—	—	—
21— 40	234	22	9.4
41— 60	997	88	8.8
61— 80	712	99	13.9
81—100	264	31	11.7
101—120	584	76	13.0
121—	61	9	14.8
Yht. / keskim. Zusamm. / durchschn.	2 852	325	11.4

Kun näytemetsiköitä oli osaksi käsitelty varsin varovasti syrjäytyneitä puustoa poistaen, on luultavaa, että juuristojen eloon jääminen hakkuiden yhteydessä on niissä ollut vähäisempää kuin rohkeammin käsitellyissä talousmetsissä. Tätä käsitystä tukevat mm. esitutkimusten (Yli-Vakkuri 1938, 1939, 1945) yhteydessä saadut tulokset elävien kantojen suhteellisesta esiintymisestä tällaisissa metsiköissä, mikä useissa tapauksissa oli noin neljännes kantojen kokonaismäärästä. Myös tämän tutkimuksen yhteydessä tavattiin metsiköitä (näytealat 17 ja 19), joissa elävien kantojen suhteellinen osuus oli samaa suuruusluokkaa.

Toistuvat hakkuut johtavat siihen, että aikaa myöten varsin monien kasvavien puiden juuristoissa esiintyy liitännäisinä kaadettujen puiden juuristoja (taulukko 21). Mainittu ilmiö näyttää olevan sitä yleisempi, mitä vanhemmista metsiköistä on kysymys.

T a u l u k k o 21. Elävien kantojen määrä puulukuun verrattuna.

Tabelle 21. Die Anzahl der lebenden Stubben im Vergleich zur Baumzahl.

Metsikön ikä v — Alter des Bestandes J.					
—40	41—60	61—80	81—100	101—120	121—
Eläviä kantoja % puuluvusta Lebende Stubben in % von der Baumzahl					
5 ¹	5	12	10	14	23

¹ Vrt. taulukko 19. — Vgl. Tabelle 19.

Puulukuun verrattuna suhteellisesti runsaimmin tavattiin eläviä kantoja eräässä 122-vuotiaassa metsikössä (näyteala 28), jossa keskimäärin lähes joka kolmatta puuta kohden oli elävä kanto. Maininnan ansaitsee myös näytealan 17 edustama metsikkö, jossa vastaavasti joka neljättä puuta kohden esiintyi elävä kanto.

Aikaisemmissa selvittelyissä jo todettiin, että juuriyhteyksien muodostumisedellytykset ovat hyvin suotuisat kylvötuppaissa ja että yhteyksiä näissä myös runsaasti esiintyy. Tämän vuoksi syntyy tuppaiden harvennuksen yhteydessä lukuisasti eläviä kantoja merkiksi siitä, että tällöin myös jää kaadettujen puiden juuristoja runsaasti eloon. Niinpä näytealalla 11, joka edusti 20-vuotiasta harvennettua, ruutukylvöstä peräisin olevaa männikköä, oli tällaisia eläviä kantoja 820 kpl hehtaaria kohden eli 19 % kantojen kokonaismäärästä. Tästä määrästä riitti elävä kanto keskimäärin lähes joka neljännelle puulle.

Jotta voitaisiin päätellä jotakin siitä, mitä kaadettujen puiden juuristojen eloon jääminen merkitsee niiden isäntäpuille, on lähemmin tutkittava eloon jääneiden juuristojen kehitystä kaadon jälkeen sekä niiden toimintaa.

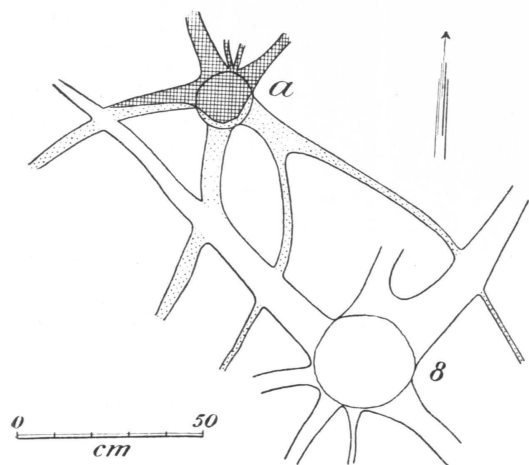
Terveydentila

Juuristojen terveydentilasta saatiin runsaasti tietoja tutkimuksen eri vaiheissa puiden juuristoja esille kaivettaessa. Asiaan kiinnitettiin huomiota myös jo esitutkimuksissa (Yli-Vakkuri 1945). Tämän tutkimuksen yhteydessä suoritettiin lisäksi eräitä aiheeseen liittyviä erikoiselvittelyjä.

Kertynyttä aineistoa tarkasteltaessa havaitaan, että osa elävien kantojen juuristoista on hyvin terveitä ja elinvoimaisia, osa taas enemmän tai vähemmän rappeutuneita. Jotta päästäisiin selville, mistä tämä erilaisuus johtuu, on näitä tapauksia tarkasteltava yksityiskohtaisesti.

Rappeutuneiden juuristojen osalta tämä tarkastelu paljastaa eräitä varsin mielenkiintoisia seikkoja. Rappeutuneissa juuristoissa tavataan ensinnäkin yleensä aina myös hyvinkin terveitä juuria tai juuren osia. Juuristojen terveiden ja sairaiden osien sijoittumisessa voidaan havaita tiettyä säännönmukaisuutta. Herkimmin näyttävät kuolevan sellaiset juuret, joihin yhteyttämistuotteiden, ilmeisesti myös kasvua säätelevien hormonien pääsy on vaikeata. Tämä ilmenee hyvin mm. kuvien 31 ja 32 valaisemista tyypillisistä esimerkeistä, joissa kuolleet juuret sijaitsevat niin, että yhteyttämistuotteiden olisi pitänyt niihin päästäkseen kulkea kannossa tangentin suuntaan, minkä suuntaisen yhteyttämistuotteiden kulun puolestaan tiedetään olevan vähäistä (vrt. B o d e n b e r g 1929, M a c D o u g a l 1938, s. 229). Terveimpinä säilyvät sellaiset kaadettujen puiden juuret, jotka ovat välittömässä yhteydessä elävän puun juurten kanssa ja jotka siis helpommin saavat yhteyttämistuotteita. Tällaisista juurista näyttää puolestaan olevan elinkelpoisin se osa, joka on kytkeytynyt uuteen isäntäänsä kasvinosien navallisuuden (vrt. B l o c h 1943, C o l l a n d e r 1947, s. 68, L u n d e g å r d h 1950, s. 541) kannalta oikein päin eli polaarimyötäisesti. Tutkimuksen yhteydessä havaittiin tällä tavoin kytkeytyneiden juurten osien säilyneen aina elossa. Navallisuuden kannalta nurin päin eli polaarivastaisesti kytkeytyneet osat yhdysjuurista olivat sen sijaan yleensä hakkuun jälkeen edellisiä heikommin kehittyneet (kuva 44), toisinaan jopa kokonaan kuolleet (kuva 17). Nämä havainnot viittaavat siihen, että juurten luontaisissa ympäyksissä navallisuuden vaikutus ilmenee saman suuntaisena kuin maanpäällisten osien varttamisessa (vrt. G a r n e r 1949, s. 120).

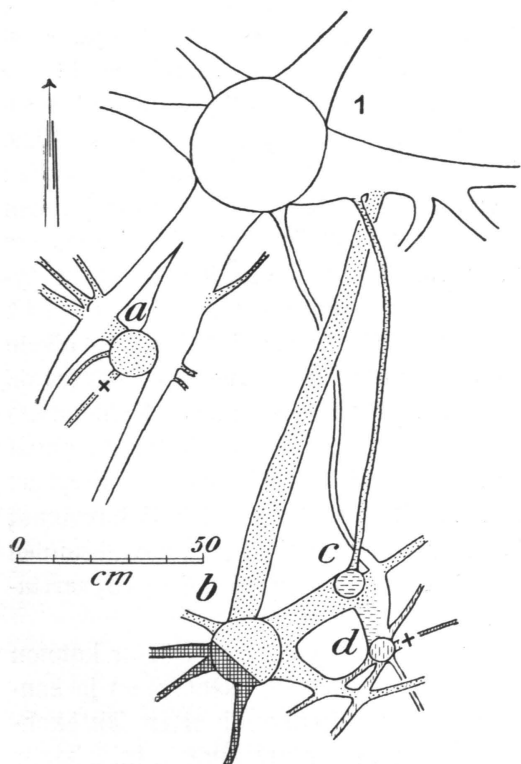
Edellä esitetyn perusteella on ymmärrettävää, että elävän kannon juuriston kehityksen kannalta on epäedullista, jos isäntäpuun ja kannon juurten yhteenkasvettuma on erillään kannon juurten lähtökohdasta, kannon aluksesta, sijaiten joko jossakin pintajuuressa tai alhaalla



Kuva 31. Tyypillinen esimerkki rappeutumaan alttiin kannon juuriyhteyksistä ja kuolleiden juurien sijoittumisesta niihin nähden. Pehmeä laho merkitty kuvassa ristiviivoittaan. Kannon syntymisestä kulunut 14 vuotta.

Näyteala 17, Honkajoki.

Abb. 31. Typisches Beispiel für die Wurzelverbindungen einer verfallenden Stubbe und die Lage der verfallenen Wurzeln zu ihnen. Die weiche Fäule ist in der Abbildung durch Kreuzschraffen bezeichnet. Seit der Fällung sind 14 Jahre vergangen. Probestfläche 17, Honkajoki.



Kuva 32. Isäntäpuu (1) ja sen varassa 25 vuotta elossa säilyneitä kantoja (a, b, c, d). Kuolleen ja elävän osan raja juurissa on osoitettu ristein, kannossa b esiintynyt pehmeä laho ristiviivoittaan. Näyteala 9, Saarijärvi.

Abb. 32. Der Wirtsbaum (1) und durch ihn 25 Jahre am Leben erhaltene Stubben (a, b, c, d). Die Grenze zwischen abgestorbenem und lebendem Teil in den Wurzeln ist durch Kreuze bezeichnet, die in Stubbe b aufgetretene weiche Fäule durch Kreuzschraffen. Probestfläche 9, Saarijärvi.

Taulukko 22. Elävien kantojen juuristojen terveydentila. Tapaukset, joissa isäntäpuun juuri on kytkeytynyt kannon alukseen välillisesti.

Table 22. Gesundheitszustand der Wurzelsysteme lebender Stubben. Fälle, in denen die Wurzel des Wirtsbaumes mittelbar mit dem Wurzelstock der Stubbe verwachsen ist.

Hakunusta kulunut aika v Seit dem Hieb verfllossene Zeit J.	Kanto Stubbe		Isäntäpuu Wirtsbaum		Jälsi perääntynyt Kambium zurückgegangen		Kannossa pehmeätä lahoa Weiche Fäule in der Stubbe		Kannon juuristo Wurzelsystem der Stubbe	
	Do cm	Etäisyys lähim- mästä yläteen- kasvutunasta cm	Ikä v Alter J.	D1.3 cm	tasasuhtaisesti gleichmäßig	loispuoleisesti einseitig	esiintyy aufbreitend	ei esiinny nicht aufbreitend	rappeutunut verfallen	ei rappeutunut nicht verfallen
5	31	175	105	28		+		+	+	
5	9	2	70	16		+	+		+	
			122	33						
5	28	200	118	22		+		+	+	
5	30	315	123	26		+		+	+	
10	12	78	99	21		+	+		+	
12	4	4	62	14		+	+		+	
14	13	68	66	19		+	+		+	
14	15	22	67	20		+	+		+	
17	6	8	88	19	+			+	+	
17	13	40	91	29		+	+		+	
20	19	103	105	28		+	+		+	
25	14	102	105	17		+	+		+	
25	17	— ¹	105	28		+	+		+	
25	9	97	105	28		+	+		+	
25	21	3	121	37		+	+		+	
25	17	20	122	23		+	+		+	
25	10	93	122	23		+	+		+	
25	12	90	122	23		+	+		+	
25	20	46	122	23		+	+		+	
25	31	188	122	29		+	+		+	
25	11	34	122	29		+	+		+	

¹ Yhteenkasvettuma paalujuuressa — *Verwachsung in der Pfahlwurzel.*

paalujuuressa. Tähän otaksumaan, että kannon ja elävän puun yhteenkasvettuman sijainti vaikuttaisi ratkaisevasti siihen, rappeutuuko kannon juuristo vai ei, johtivat jo ne havainnot, joita elävistä kannoista tehtiin näytepuiden juuristoja esille kaivettaessa. Otaksuman tarkistamiseksi tehtiin lisäksi eräitä erikoistutkimuksia. Niissä selvitettiin elävien kantojen



Kuva 33. Esimerkki lahonneesta kannosta, jonka kytkeytyminen isäntäpuuhun on perifeerinen. Kuvassa näkyvä yhdysjuuri on kannon pintajuuri. Näyteala 19, Ruovesi. *Abb. 33. Beispiel einer verfaulten Stubbe, deren Verbindung mit dem Wirtsbaum peripher ist. Die in der Abbildung zu sehende Verbindungswurzel ist eine Oberflächenwurzel der Stubbe. Probestfläche 19, Ruovesi.*

juuristojen terveydentilaa sekä sellaisissa tapauksissa, joissa yhteenkasvettuma oli kannon aluksesta selvästi erillään, että sellaisissa tapauksissa, joissa se oli kannon aluksessa. Edellistä kytkeytymismuotoa nimitetään myöhemmin lyhyiden vuoksi *perifeeriseksi*, jälkimmäistä *sentriseksi*. Näiden tutkimusten tulokset selviävät taulukoista 22 ja 23. Taulukoita laadittaessa on rappeutuneeksi katsottu sellainen juuristo, jossa yksi tai useampia pintajuuria, pieniäkin, on kuollut kantaan asti tai lähelle sitä.

Taulukosta 22 ilmenee, että kaikissa tutkituissa tapauksissa, joissa kaadetun puun kannon alus oli kytkeytynyt isäntäpuun juureen välillisesti, kannon juuristo oli selvästi rappeutunut. Kannon ja isäntäpuun laatu, niiden keskinäinen etäisyys ja yhteenkasvettumien luku eivät tutkituissa tapauksissa näyttäneet vaikuttaneen asiaan ainakaan niin selvästi, että se olisi voitu todeta.

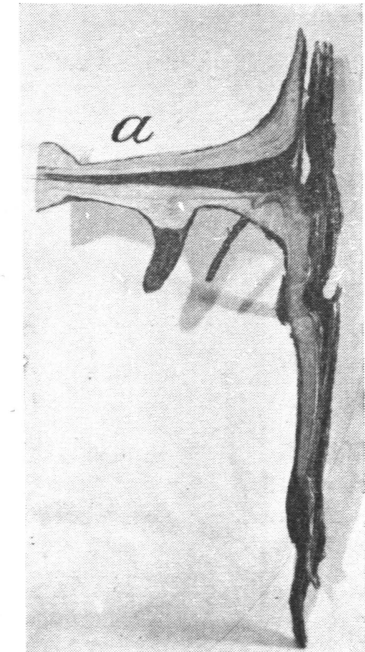
Kysymyksessä olevalla tavalla kytkeytyneet kannot osoittivat myös taipumusta lahoamiseen. Jälsi niissä yleensä perääntyi toispuoleisesti, yhdysjuuren puolella suhteellisen vähän, vastakkaisella puolella huomattavan pitkälle. Kantojen yksityiskohtainen tarkastelu osoitti, että niissä

säilyivät sitkeimmin lahoamatta yhdysjuuren puoleiset osat ja paalujuuri. Helpoimmin rappeutuivat vastapäätä yhdysjuuren lähtökohtaa sijaitsevat kannon osat ja siihen liittyneet juuret. Lahoamatta jäänyt osa kannosta oli yleensä voimakkaasti pihkoittunut. Kuvat 33 ja 34 osoittavat perifeerisesti kytkeytynyttä kantoa ja sen rappeutumista. Kuvasta 17 voidaan todeta usean näin kytkeytyneen kannon kokonaan kuolleen. Kokeiden selostusten yhteydessä olevissa kartoissa esiintyy eräitä terveitäkin vastaavalla tavalla kytkeytyneitä kantoja. Kysymyksessä oleva kytkeytyminen ei siis ilmeisesti aina johda juuriston rappeutumiseen. Kun taulukossa 22 esiintyy runsaasti varsin vanhoja kantoja, voidaan todeta, että kanto ja osa sen juuristoa voi säilyä varsin pitkiä aikoja sellaisissakin tapauksissa, joissa kannon alus ei ole välittömästi yhtynyt isäntäpuun juureen. Käsitystä tukee se tosiasia, että juuristoja esiin kaivettaessa esiintyi harvoin tapauksia, joissa kanto oli kokonaan kuollut ollessaan yhteydessä elävän puun kanssa. Lahon ei havaittu tutkituissa tapauksissa levinneen kannon juuristosta isäntäpuun juuristoon.

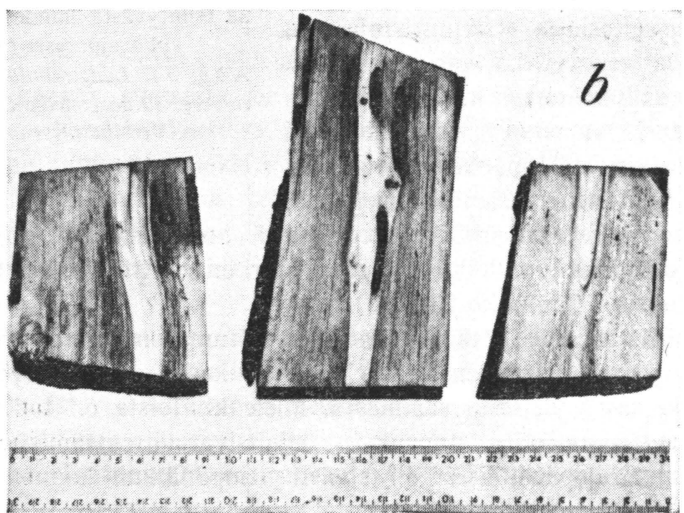
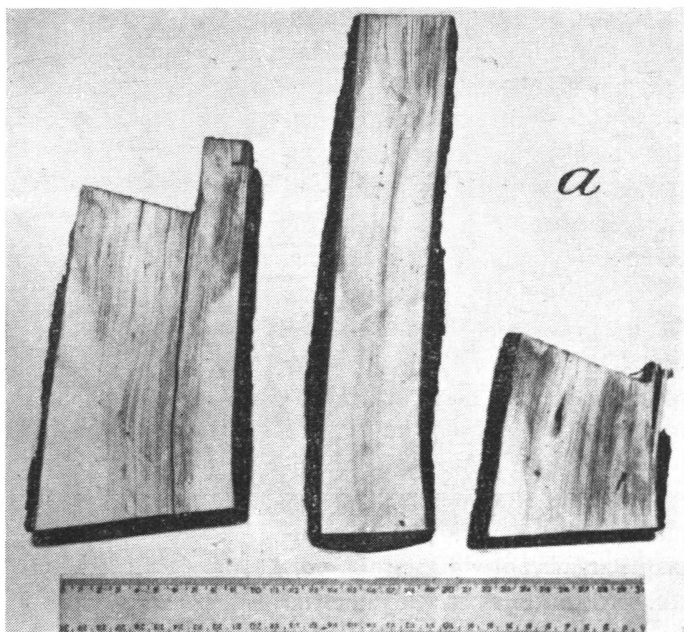
Juuristojen terveydentila on edellisestä huomattavasti poikkeava, kuten on jo mainittu, milloin isäntäpuun juuri on välittömässä yhteydessä kannon alukseen (taulukko 23).

Taulukosta ilmenee, että jos yhteenkasvettuma on kannon aluksessa, kannon juuret säilyvät yleensä terveinä. Taulukossa esiintyy myös eräitä poikkeuksia tästä yleisestä säännöstä. Mielenkiintoista on todeta, että rappeutuneet juuret näissä tapauksissa sijaitsivat yhteyttämistuotteiden saannin kannalta epäedullisesti eli selvästi ylempänä kuin kannon aluksen ja isäntäpuun juuren yhtymäkohta.

Edellä esitetyissä tapauksissa olivat myös kannot melko hyvin säilyneet. Kyljestymistä ei kannoissa kuitenkaan esiintynyt. Jälsivaipan perääntyminen oli kannoissa yleensä tapahtunut tasasuhteisesti eli suunnilleen saman verran eri puolilla kantoa. Taulukosta ilmenee myös, että

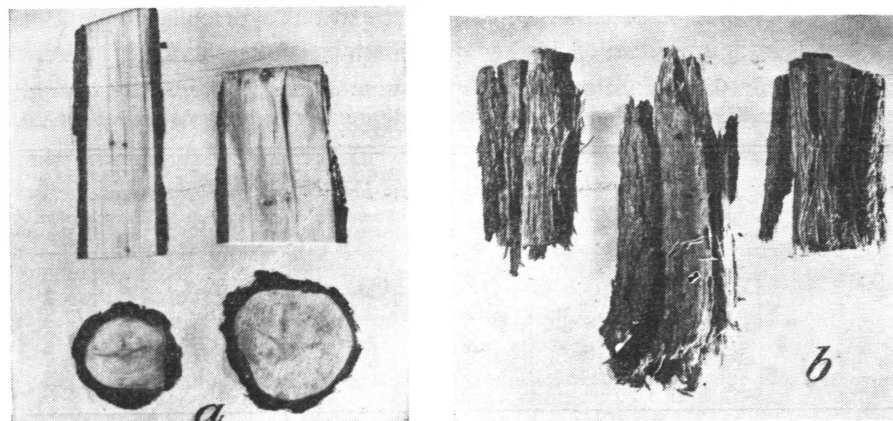


Kuva 34. Halkileikkaus kuvassa 33 esiintyvistä kannosta ja sen yhdysjuuresta (a). *Abb. 34. Längsschnitt durch die in Abb. 33 dargestellte Stubbe und ihre Verbindungswurzel (a).*

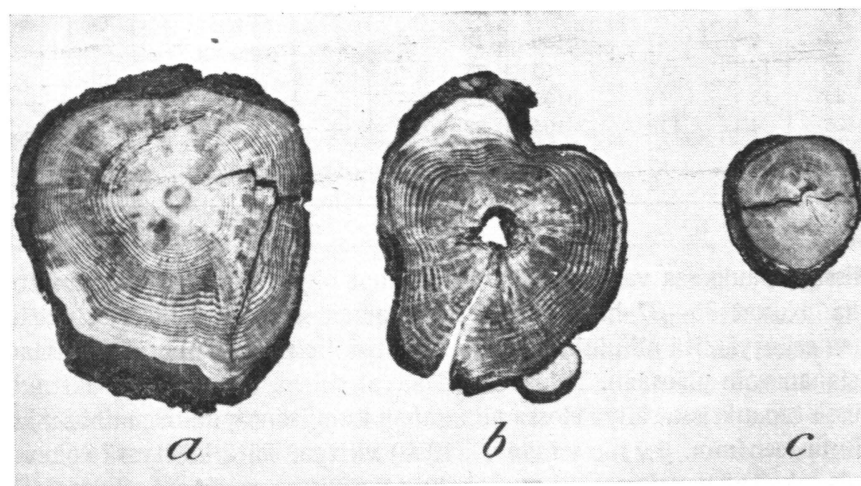


K u v a 35. Näytteitä samasta, 6 vuotta sitten toimitetusta hakkuusta peräisin olevista elävistä (kuva a) ja kuolleista (kuva b) kannoista. Näyteala 4, Orivesi.

A b b. 35. Proben von lebenden (Bild a) und abgestorbenen (Bild b) Stubben, die auf denselben 6 Jahre zuvor ausgeführten Hieb zurückgehen. Probefläche 4, Orivesi.



K u v a 36. Näytteitä samasta, 14 vuotta sitten toimitetusta hakkuusta peräisin olevista elävistä (kuva a) ja kuolleista (kuva b) kannoista. Näyteala 17, Honkajoki.
A b b. 36. Proben von lebenden (Bild a) und abgestorbenen (Bild b) Stubben, die auf denselben 14 Jahre zuvor ausgeführten Hieb zurückgehen. Probefläche 17, Honkajoki.



K u v a 37. Poikkileikkauksia runsaasti pihkoittuneista elävistä kannoista, jotka ovat peräisin 25 vuotta sitten toimitetusta hakkuusta. Kuvassa näkyvät halkeamat ovat syntyneet näytteiden kuivuessa. Näyteala 5, Kuortane.

A b b. 37. Querschnitte durch stark verharzte lebende Stubben, die auf einen 25 Jahre zuvor ausgeführten Hieb zurückgehen. Die auf dem Bilde zu sehenden Spalten sind beim Trocknen der Proben entstanden. Probefläche 5, Kuortane.

Taulukko 23. Elävien kantojen juuristojen terveydentila. Tapaukset, joissa isäntäpuun juuri on kytkeytynyt kannon alukseen välittömästi.

Tabelle 23. Gesundheitszustand der Wurzelsysteme lebender Stubben. Fälle, in denen die Wurzel des Wirtsbaumes unmittelbar mit dem Wurzelstock der Stubbe verwachsen ist.

Hakunusta kulunut aika v Seit dem Heb verfllossene Zeit J.	Kanto Stubbe		Isäntäpuu Wirtsbaum		Jälsi perääntynyt Kambium zurückgegangen		Kannossa pehmeätä lahoa Weiche Fäule in der Stubbe		Kannon juuristo Wurzelsystem der Stubbe	
	D ₀ cm	Etäisyys lähimmäsä yläosaan kasvelinmasista cm	Ikä v Alter J.	D _{1.3} cm	tasasuhtaisesti gleichmässig	toispuolisesti einseitig	esiintyy auftrhend	ei esiinny nicht auftrhend	rappentunut verfallen	ei rappentunut nicht verfallen
10	2	5	98	13	+		+			+
12	3	131	56	9	+		+			+
12	7	134	67	13	+		+			+
14	19	26	66	19	+		+			+
14	6	45	67	16	+		+			+
15	5	9	79	15	+		+			+
17	8	363	92	24	+		+			+
		25	91	26						
17	11	33	88	22	+		+			+
19	4	193	107	18		+	+			
20	7	47	100	18	+		+			+
20	16	17	95	27		+	+			+
25	13	41	105	28	+		+			+
25	4	118	105	28		+	+			+
25	8	13	122	23	+		+			+
25	3	8	122	29	+		+			+

eräissä tapauksissa varsin vanhatkin kannot olivat säilyneet lahoamattomina. Kuvat 35—37 havainnollistavat samaa seikkaa. Mikäli pehmeätä lahoa esiintyi, sitä oli niukasti ja se rajoittui useinkin kannon keskiosaan, toisinaan vain yläosaan. Tulokset viittaavat siihen, että kannot saattavat eräissä tapauksissa säilyä elossa niin kauan kuin isäntäpuukin, mihin mahdollisuuteen mm. Junovidov (1950) viittaa. Tätä käsitystä tukevat myös lukuisat havainnot eri puulajeilla tavatuista, useita vuosikymmeniä eläneistä kannoista (Reum 1826, v. Berg 1844, Göppert 1846, Pemberton 1921, Neeff 1922, Wichmann 1925, Fabricius 1927, Yli-Vakkuri 1945).

Kysymyksessä oleville kannoille oli ominaista voimakas pihkoittuneisuus. Sen voi havaita jo silmävaraisesti kantojen poikkittais- ja pitkittäis-

leikkauksista (kuvat 37 ja 38). Selvempänä se ilmenee eräistä eetteriuutoin suoritetuista pihkapitoisuuden määrittämisistä (taulukko 24). Kyseiset määrittäykset tehtiin kiekkoista, jotka oli otettu 5 cm kantoleikkauksen alapuolelta. Näytekiekot, joista kolme näkyy kuvassa 37, olivat ennen määrittäysten suoritusta 17 kuukautta varastossa, jossa oli asuinhuoneen lämpötila.

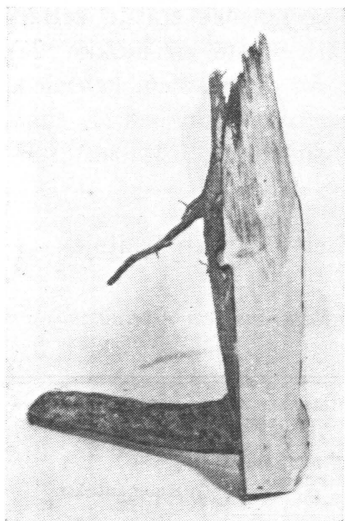
Taulukko 24. Eetteriuutoin määritetty elävien kantojen pihkapitoisuus.

Tabelle 24. Der Harzgehalt der lebenden Stubben, aus dem Ätherauszug bestimmt.

Näytealan n:o Probefläche Nr.	Hakunusta kulunut aika v Seit dem Heb verfllossene Zeit J.	Näytekiekon n:o Probekleibe Nr.	Näytteen laatu Art der Probe	Pihkapitoisuus, % täysikuivan puun painosta Harzgehalt in % vom Gewicht des voll- trockenen Holzes			Huomautuksia Bemerkungen
				Näyte 1 Probe 1	Näyte 2 Probe 2	Keskimäärin Durchschn.	
5	25	1	Mantoa Splintholz	39.3	41.1	40	Kuvassa 38 kiekko a Abb. 38 Scheibe a
5	25	1	Sydänpuuta Kernholz	30.9	37.3	34	Kuvassa 38 kiekko a Abb. 38 Scheibe a
5	25	2	Mantoa Splintholz	55.3	51.8	54	Kuvassa 38 kiekko b Abb. 38 Scheibe b
28	25	3	Mantoa ja sydänpuuta Splintholz und Kernholz	48.7	51.0	50	Kuvassa 38 kiekko c Abb. 38 Scheibe c
4	6	4	Mantoa ja sydänpuuta Splintholz und Kernholz	17.2	17.5	17	

Määrittäysten tuloksia tarkasteltaessa kiinnittyy huomio erityisesti elävien kantojen pintapuun eli mannon pihkapitoisuuteen, joka vanhoista hakkuista peräisin olevissa kannoissa näyttää olevan monin verroin suurempi kuin männyn mantopuussa yleensä (vrt. Helander 1922, s. 92, Trendelenburg ja Schaile 1937, Murto 1951, s. 42, Jalava 1952, s. 124). Tämän perusteella voitaneen otaksua, että elävien kantojen pintapuu pihkoittuu hakkuun jälkeen. Ilmeisesti tästä vuorostaan aiheutuu, että kantojen pintapuu säilyy lahoamatta jopa paremmin kuin sydänpuu.

Pihkoittunut alue oli keskittynyt kannoissa niiden yläosaan (kuva 38). Kantoihin kaadon jälkeen muodostuneessa solukossa, joka usein oli nive-



Kuva 38. Kannon pitkittäisleikkaus, josta ilmenee pihkoittuneen alueen keskittyminen kannon yläosaan. Kuvassa näkyvä paksu vaakasuora juuri on isäntäpuun yhdysjuuri.

Abb. 38. Längsschnitt durch eine Stubbe, der erkennen lässt, wie die Verharzung sich im oberen Stubbenteil konzentriert. Die auf dem Bilde zu sehende dicke waagerechte Wurzel ist eine Verbindungswurzel des Wirtsbaums.

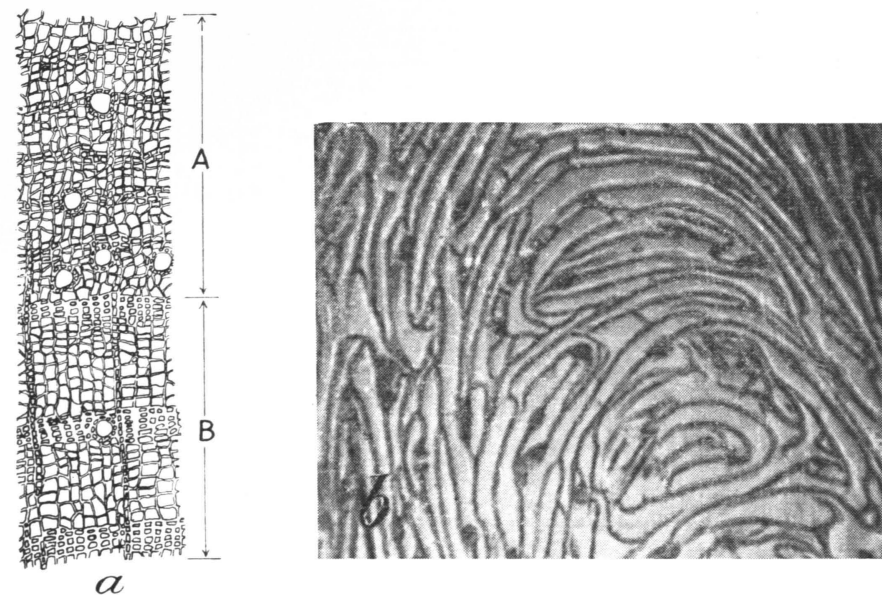
rää, havaittiin olevan pihkatiehyeitä runsaammin kuin ennen kaatoa syntyneessä puussa (vrt. kuva 39). Nylander (1951) on todennut samanluonteista pihkatiehyeiden tiheyden lisääntymistä tutkiessaan karsimisen, leimauksen ja koekairausten vaikutusta pihkatiehyeiden syntyyn.

Tutkimusten yhteydessä pantiin usein merkeille, että pihkoittuneet kannot olivat hyvin kestäviä lahoa vastaan vielä senkin jälkeen, kun isäntäpuu oli kaadettu. Yleensä isäntäpuun kanto tällaisissa tapauksissa lahosi nopeammin kuin sen varassa pihkoittunut kanto. Kuva 40 esittää erään esimerkin tällaisesta tapauksesta. Tehdyt havainnot viittaavat siihen, että kantojen ja elävien puiden väliset juuriyhteydet ovat saattaneet vaikuttaa suotuisasti niin sanottujen tervaskantojen muodostumiseen (vrt. Hohenstein 1857, Yli-Vakkuri 1938, 1939, 1945), ehkä suotuisamminkin kuin Murtto (1951, s. 249) otaksuu. Kun tiedetään, että parhaat tervaskannot syntyivät aikana, jolloin poimien hakattiin luonnonmetsiemme järeimpiä puita, voidaan otaksua, että kannoilla oli ainakin hyvin suuret mahdollisuudet olla yhteydessä elävien puiden kanssa.

Näiden kantoja koskevien havaintojen yhteydessä on todettava, että juuriyhteyksien esiintyminen tekee kantojen lahoamisen metsiköissä hyvin monivaihteiseksi tapahtumaksi.

Toiminta

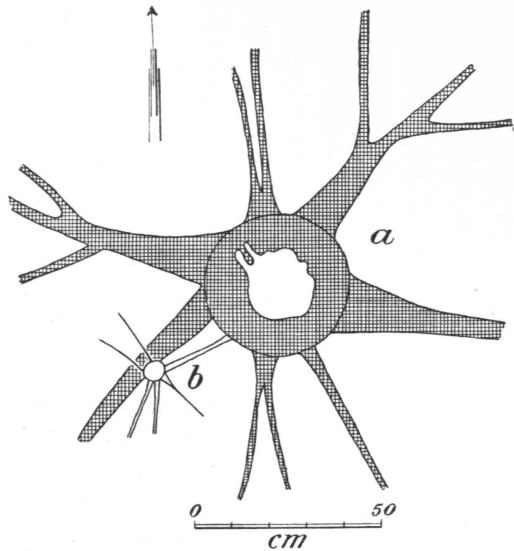
Kaadettujen puiden eloon jääneiden juuristojen toimintaa tutkittiin kokeellisesti. Tutkimuksilla haluttiin saada selville, voiko vesi kulkeutua elävien kantojen juurista näiden kantojen isäntäpuihin. Kokeiden suoritus tapa on selostettu sivulla 56. Tutkimusten kohteiksi valittiin sekä sentrisiä että perifeerisiä (vrt. s. 72) kytkeytymismuotoja. Kokeiden tulokset selviävät seuraavista selostuksista.



Kuva 39. Mikroskooppisia näytteitä elävän kannon solukosta. a. Poikkileikkaus, jossa näkyy ennen kaatoa (B) ja kaadon jälkeen (A) muodostunutta solukkoa. b. Tangentin suuntainen leikkaus kaadon jälkeen muodostuneesta niverästä solukosta. Abb. 39. Mikroskopische Proben aus dem Zellgewebe einer lebenden Stubbe. a. Querschnitt, in dem vor (B) und nach (A) dem Fällen entstandenes Gewebe zu sehen ist. b. Tangentialschnitt durch das nach dem Fällen entstandene Maserholzgewebe.

Koe 8. Kokeeseen kuului kasvava mänty ja sen kanssa juuriyhteydessä oleva pienikokoinen kanto (kuva 41) tutkimusmetsikössä I. Koepuu a: $D_{1,3}$ 11 cm, H 11 m. Koekanto b: D_0 5 cm, H 26 cm. Juuriyhteys oli muodostunut siten, että elävän puun toisasteinen juuri oli haaraantumiskohdassaan kasvanut yhteen kannon kanssa juuren niskan korkeudella. Yhdysjuuri oli vaakasuorassa suunnassa mitattuna kannon viereltä 4.0 cm paksu. Koetta varten pantiin kannon paalujuuri väriliuospulloon. Väriaineena fuksiini. Koeaika 3.—8. 7. 1946. Värivirun havaittiin nousseen ylös paalujuuressa ja siirtyneen elävää puuta ja kantoa yhdistävää juurta pitkin puuhun. Puussa juova muodosti aluksi kolme vierekkäistä juovaa. Heikoin juovista häipyi 6 m:n korkeudella latvuksen sisällä. Kaksi muuta muodosti ylempänä 1.0 cm leveän yhtenäisen juovan, joka kierteisesti kuljettuaan päättyi vuoden 1941 oksakiehkuran yhteen oksaan 9.36 m:n korkeudella maasta.

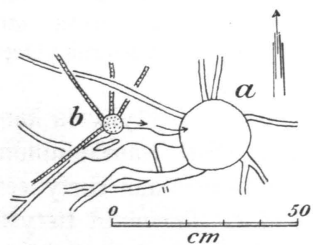
Kokeessa 8, joka edusti isäntäpuuhun sentrisesti kytkeytynyttä kantoa, kulkeutui värijuova kannon paalujuuresta selvästi isäntäpuuhun. Koe osoitti siis tämän juuren ainakin värjäytyneeltä osaltaan siirtyneen veden kuljetuksessa isäntäpuun käyttöön. Siirtyminen on voinut tietysti olla täydellisempääkin, sillä isäntäpuuhun suuntautuneista trakeidijonoista on saattanut vain osa värjäytyä. Tällainen uloimpien vuosilustojen osit-



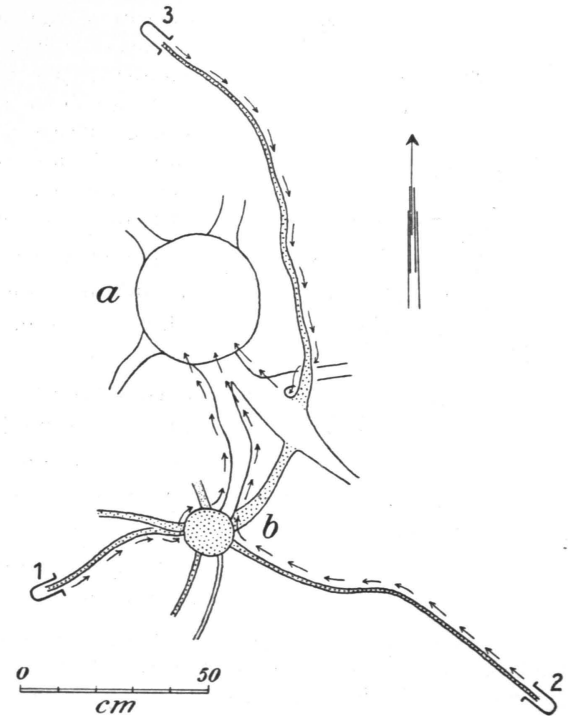
Kuva 40. Tavallinen lahoava kanto (a) ja sitä arviolta kymmenen vuotta vanhempi, hyvin säilynyt kanto (b), joka on ollut elossa kuvassa näkyvien yhteyksien varassa. Pehmeä laho merkitty ristiiviivoittaen. Näyteala 28, Lammi. *Abb. 40. Gewöhnliche verfaulende Stubbe (a) und eine etwa 10 Jahre ältere, gut erhaltene Stubbe (b), die sich dank den im Bilde zu sehenden Verbindungen am Leben erhalten hat. Die weiche Fäulnis ist durch Kreuzschraffen bezeichnet. Probestfläche 28, Lammi.*

tainen värjäytyminen oli nimittäin aivan yleistä silloinkin, kun koe kohdistui puun omiin juuriin.

Koe 9. Kokeeseen kuului kasvava mänty ja sen kanssa yhteydessä oleva kanto (kuva 42) tutkimusmetsikössä I. Koepuu a: $D_{1,3}$ 24 cm, H 17 m. Koekanto b: D_0 11 cm, H 15 cm, peräisin arviolta 15 vuotta sitten toimitetusta hakkuusta. Puun ja kannon juuristojen välillä oli kaksi yhteyttä. Toinen yhteys oli syntynyt siten, että puun ensiasteinen pintajuuri oli kasvanut aivan kannon vieritse ja aikaa myöten siihen kiinni. Toinen yhteys oli muodostunut puun ja kannon ensiasteisten juurten kulkiessa ristikkäin. Yhteydet olivat hyvin voimakkaasti kehittyneet. Kannon etäisyys puusta oli 40 cm. Väriliuospulloja asetettiin kolme. Niistä kaksi (pullo 1 ja 2) asetettiin selaisiin kannon pintajuuriin, jotka eivät olleet välittömästi yhteydessä kasvavan puun juuriin, kolmas (pullo 3) pantiin sen kannosta lähtevän pintajuuren jatkeelle, joka kulki ristikkäin puun pintajuuren kanssa siihen kiinni kasvetuen. Katkaisukohdissa olivat pulloihin pistetyt juuret 1—1.5 cm:n paksuisia. Väriaineena fuksiini. Koeaika 8.—17. 8. 1946. Pullosta 1 lähtevä värijuova kulkeutui juurta pitkin kantaan, kiersi siinä myötäpäivään, kunnes saavutti kantaan kiinni kasvetuneen puun juuren, jota myöten jatkuu puuhun. Pullosta 2 värijuova kulkeutui samaan tapaan kantaan sekä siinä vastapäivään kiertäen edelleen yhdysjuureen ja sitä pitkin puuhun. Pullosta 3 värijuova hakeutui kannon juurta pitkin tämän ja puun juuren yhtymäkohtaan, siirtyi siinä puun juureen ja kulki sitä pitkin edelleen puuhun. Kaikissa kolmessa tapauksessa värijuova oli 1.0 cm:n levyinen ja vain puun pintaosissa havaittava.



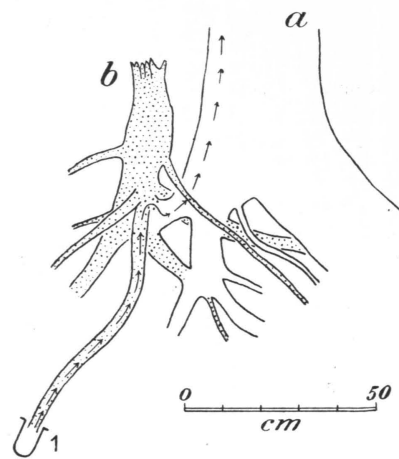
Kuva 41. Koe 8. *Abb. 41. Versuch 8.*



Kuva 42. Koe 9. *Abb. 42. Versuch 9.*

Kokeessa 9, jossa kanto oli kytkeytynyt isäntäpuuhun sentrisesti, värijuovat kulkeutuivat kannon pintajuurista isäntäpuuhun. Väriliuos osoitti tällaista kulkua siinäkin tapauksessa, että sitä oli annettu juureen, joka ei ollut välittömästi kasvetunut isäntäpuun juureen. Väriliuos hakeutui tällaisista juurista isäntäpuun yhdysjuureen kannon aluksen kautta. Juuresta, joka oli välittömässä yhteydessä isäntäpuun pintajuuren kanssa, värijuova ei jatkanut kulkuaan kantaan asti, vaan poikkesi yhteenkasvettuman kautta suoraan isäntäpuuhun.

Koe 10. Kokeeseen kuului kasvava puu ja sen kanssa yhteydessä oleva kanto (kuva 43) tutkimusmetsikössä II. Koepuu a: $D_{1,3}$ 17 cm, H 18.4 m, puuluokka 2. Koekanto b: D_0 10 cm, H 15 cm, vanha. Puun ja kannon välillä oli kaikkiaan seitsemän juuristojen välistä yhteyttä. Niistä mainitaan seuraavassa vain kokeen kannalta tärkeät. Yhteyttä kannosta puuhun välitti mm. puun 3.0 cm:n paksuinen toisasteinen juuri, joka oli kasvetunut yhteen kannon 4.0 cm paksun paalujuuren tyveen ja samalla sen yhtä paksuun haaraan. Väriliuospulloja asetettiin kaksi. Pullo 1 sijoitettiin 65 cm:n päähän kannosta kannon ensiasteiseen pintajuureen, joka ei ollut välittömästi yhteen kasvetunut puun juurten kanssa. Pullo 2 asetettiin 55 cm:n päähän kannosta kannon ensiasteiseen pintajuureen, joka oli välittömässä elimellisessä yhteydessä puun kolmen juuren kanssa. Väriaineena fuksiini. Koeaika 18.—24. 7. 1950. Pullosta 1 väriliuos



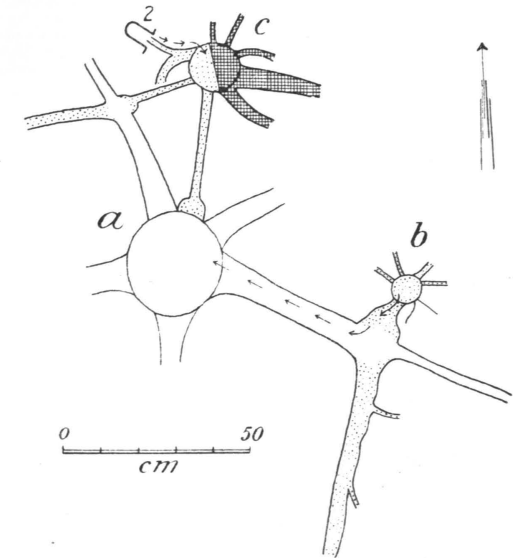
K u v a 43. Koe 10.
A b b. 43. Versuch 10.

kulkeutui kannon alukseen, kaartui siinä 3 cm vastapäivään ja 2 cm alaspäin ja nousi puun toisasteista juurta pitkin edelleen runkoon, jossa väriviiru kierteisesti kuljettuaan häipyi 9.5 m:n vaiheilla. Puun tyvässä värijuova ulottui kahdeksan vuosiluston syvyyteen. Pullosta 2 kulkeutui juureen niin heikosti näkyvä viiru, ettei sitä voitu varmasti seurata.

Kokeessa 10 väriliuos kulkeutui isäntäpuuhun kannon pintajuuresta, joka ei ollut välittömässä yhteydessä isäntäpuun juureen. Isäntäpuun juuren saavuttaakseen väriliuos kulkeutui kannon aluksen ja paalujuuren rajalla jonkin matkaa sivulle ja alaspäin. Kyseisessä tapauksessa kannon kytkeytyminen isäntäpuuhun oli perifeerinen, koska yhteenkasvettuma oli kannon aluksen alapuolella paalujuuressa.

Koe 11. Kokeen kohteena oli kasvava puu ja kaksi sen kanssa yhteydessä olevaa vanhaa kantoa (kuvat 44 ja 45) tutkimusmetsikössä I. Koepuu a: $D_{1,3}$ 16 cm, H 13 m. Koekanto b: D_0 6 cm. Koekanto c: D_0 12 cm. Molemmat kannot olivat kytkeytyneet perifeerisesti isäntäpuun juuristoon. Vain kannossa c esiintyi lahoa ja järeitä kuolleita juuria. Puun ja kannon b välinen yhteys oli muodostunut näiden ensiasteisten pintajuurten kasvaessa ristikkäin yhteen. Puun ja kannon c välillä oli kaksi yhteyttä: toinen, ensiasteisten pintajuurten välinen, ristikkäinen ja toinen kannon ensiasteisen juuren muodostama siltajuuritapaus. Koetta varten pantiin väriliuospulloihin kannon b paalujuuri (pullo 1) ja kannon c toisasteinen pintajuuri (pullo 2). Väriaineena fuksiini. Koeaika 5.—15. 6. 1946. Värijuova oli kulkeutunut pullosta 1 paalujuurta ylöspäin ja edelleen kannon pintajuurta pitkin kannosta pois päin juurten yhtymäkohtaan sekä puun pintajuurta pitkin puun runkoon aina 7 m:n korkeuteen. Juurten yhtymäkohdan ja kannon välisessä juuren osassa oli syiden kulku pinnassa mutkittelevaa, samoin värijuova. Pullosta 2 värijuova ei kulkeutunut puun runkoon.

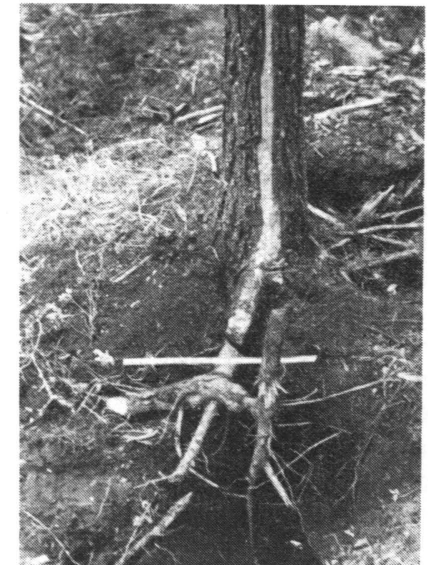
Kokeessa 11 värijuova näytti kulkeutuneen perifeerisesti kytkeytyneen kannon b paalujuuresta kasvavaan puuhun. Isäntäpuun juuren saavuttaakseen täytyi värijuovan tällöin kulkea kannon pintajuuressa jonkin matkaa juuren tyvestä kärkeen päin. Merkille pantavaa oli niverä solukko siinä juuressa, jossa värijuova tällöin joutui kulkemaan. Vanhan kannon säästymisen laholta puolestaan osoittaa, että se on saanut isäntäpuulta yhteyttämistuotteita. Toinen perifeerisesti kytkeytyneet kanto c ei ilmeisesti ole ollut pystynyt liittymään yhtä läheisesti kasvavaan puuhun. Kanto näytti ainakin lahonneen, ja sen juuristo osoitti rappeutumisen merkkejä. Värijuova ei siitä myöskään kulkeutunut kasvavaan puuhun, ei ainakaan kokeen kohteena olleesta pintajuuresta.



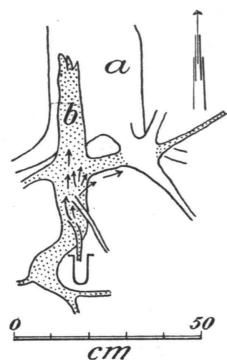
K u v a 44. Koe 11. Kannossa c esiintynyt pehmeä laho on merkitty ristiviivoittaan.
A b b. 44. Versuch 11. Die weiche Fäulnis in der Stubbe c ist durch Kreuzschraffen angegeben.

K u v a 45. Kuvassa näkyvät etualalla kanto b ja metrin pituinen vertausmitta sekä taustalla elävä puu a. Väriliuoksen kulkua puussa osoittaa valkea viiru, joka on muodostunut kuorta poistettaessa.

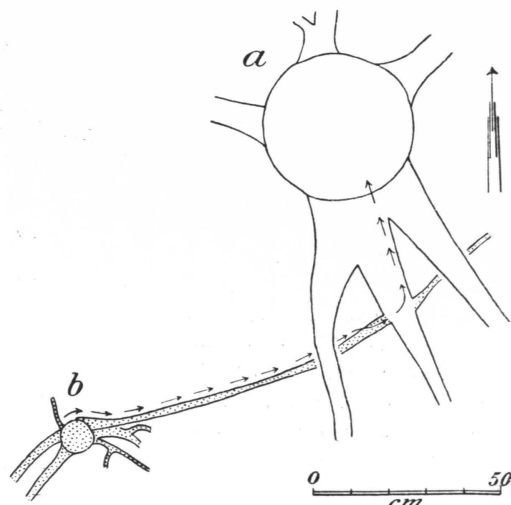
A b b. 45. Versuch 11. Auf dem Bilde sind im Vordergrund die Stubbe b und das 1 Meter lange Vergleichsmass sowie im Hintergrunde der lebende Baum a zu sehen. Den Gang der Farbflüssigkeit im Baum zeigt ein weisser Streifen an, der sich beim Entrinden gebildet hat.



Koe 12. Kokeen kohteena oli kasvava puu ja sen kanssa juuriyhteydessä oleva kanto (kuva 46) tutkimusmetsikössä I. Koepuu a: ikä 75 v, $D_{1,3}$ 16 cm, H 17 m. Koekanto b: D_0 8 cm, H 25 cm, peräisin todennäköisesti vuonna 1945 toimitetusta hakkuusta. Voimakkaasti kehittynyt juuriyhteys oli muodostunut siten, että puun ja kannon ensiasteiset juuret olivat ristikkäin yhteen kasvettuneet. Koetta varten taivutettiin väriliuospulloon eräs paalujuuresta lähtevä ohut, katkaistu ensiasteinen pintajuuri.



Kuva 46. Koe 12.
Abb. 46. Versuch 12.



Kuva 47. Koe 13.
Abb. 47. Versuch 13.

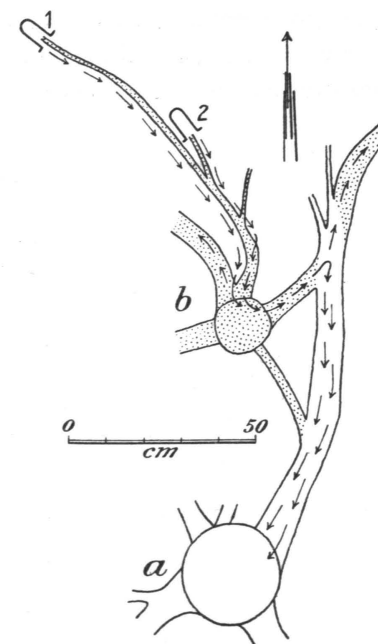
Väriaineena fuksiini. Koeaika 8.—19. 8. 1946. Värilios nousi paalujuurta ylös kahtena pinnassa näkyvänä juovana. Toinen niistä häipyi kannossa maanpinnan tasalla, toinen taipui lievästi yhdysjuureen päin ja hajaantui viuhkamaisesti yhden haaran suuntautuessa yhdysjuurta pitkin juurien yhteenkasvettumakohtaa kohti. Värijuovaa ei havaittu puun yhdysjuuressa eikä rungossa.

Koe 12 osoittaa väriliuksen kulkua perifeerisesti kytkeytyneen nuoren, edellisenä kasvukautena syntyneen kannon juuristossa. Värilios ei tässä tapauksessa kulkeutunut kasvavaan puuhun, vaikka osoittikin siihen taipumusta. Tämän voisi ajatella johtuneen siitä, että trakeidijonot, jotka mahdollistaisivat veden liikkumisen kannon juuristosta kasvavaan puuhun, eivät olleet vielä muodostuneet.

Koe 13. Kokeeseen kuului kasvava mänty ja sen kanssa juuriyhteydessä oleva kanto (kuva 47) tutkimusmetsikössä IV. Koepuu a: ikä 70 v, $D_{1,3}$ 25 cm, H 20 m, puuluokka 1. Koekanto b: D_0 10 cm, H 20 cm, vanha. Juuriyhteys oli muodostunut siten, että kannon pintajuuri oli yhtynyt isäntäpuun pintajuureen. Väriliospullot pantiin paalujuuren pikkuhaaroihin, joiden läpimitat katkaisukohdissa olivat 0.3—0.4, 0.7 cm. Väriaineena fuksiini. Koeaika 11.—22. 8. 1950. Väriineste nousi kantoon yhdysjuuren alaosan ohi noin 10 cm, mutta kaartui sitten yhdysjuuren alaosaan, jota pitkin kulki hyvin kehittyneen yhteenkasvettuman kautta puun paksuun yhdysjuureen ja sitä tietä runkoon.

Kokeessa 13 värijuova hakeutui kasvavaan puuhun varsin etäältä ja kulki tällöin kannon pintajuuressa pitkän matkaa juuren tyvestä kärkeen päin.

Koe 14. Kokeeseen kuului kasvava mänty ja sen kanssa yhteydessä oleva kanto (kuva 48) tutkimusmetsikössä III. Koepuu a: $D_{1,3}$ 20 cm, H 15 m, puuluokka 1. Koekanto b: D_0 16 cm, H 21 cm, vanha, pehmeälahoinen. Juuristojen välisiä yhteyksiä oli kaksi. Toinen oli muodostunut kannon ja puun pintajuuren kulkiessa ristikkäin, toinen kannon pintajuuren kasvettuessa lähellä puun tyveä puun yhdysjuuren alaosaan kiinni siltajuuren muodostaen. Väriliospullot 1 ja 2 asetettiin kannon erääseen pintajuureen ja sen haaraan. Väriaineena fuksiini. Koeaika 26. 8.—1. 9. 1950. Väriineste nousi molemmista pulloista voimakkaana juovana juuren alaosaan pitkin kantoon, jossa pääosa näytti menevän 3—5 cm leveänä juovana alaspäin paalujuureen muun osan noustessa ylös, aivan lähelle kannon lahon osan reunaa ja edelleen tässä reunaosassa puun juuren kanssa yhteydessä olevan pintajuuren alaosaan ja sitä pitkin yhtymäkohtaan, josta edelleen kahtena juovana puuhun. Puun yhdysjuuressa toinen juova kulki voimakkaana juuren alaosassa, toinen heikkona juuren yläpinnassa. Myös puun yhdysjuuressa näkyi värijuova heikkona jonkin matkaa yhtymäkohdasta alaspäin.



Kuva 48. Koe 14.
Abb. 48. Versuch 14.

Kokeessa 14, jossa kannon kytkeytyminen isäntäpuuhun oli perifeerinen, värijuova kulkeutui isäntäpuuhun kannon sellaisesta pintajuuresta, joka ei ollut välittömässä kosketuksessa yhdysjuurten kanssa. Isäntäpuun juuren saavuttaakseen värijuova tällöin kulki kannossa tangentin suuntaan ja kannon pintajuuressa jonkin matkaa juuren tyvestä kärkeen päin.

Suoritettujen kokeiden osoittavat, että vesi voi kulkeutua kaadettujen puiden juuristoista näiden kanssa juuriyhteydessä oleviin eläviin puihin. Täten ovat tähän mahdollisuuteen viittaavat oletukset tulleet myös kokeellisesti todistetuiksi. Eräissä tapauksissa ei tällaiseen veden kulkeutumiseen viittaavaa väriinesteen kulkua voitu todeta. Kielteisten tapausten perusteella ei voida tehdä pitkälle meneviä päätelmiä, koska ei tiedetä, johtuivatko ne koeolosuhteista vai ilmensivätkö ne asian todellista luonnetta.

Kokeista ilmenee edelleen, että vesi voi isäntäpuun juuren saavuttaakseen kulkea kannossa poikittaiseen suuntaan ja kannon juurissa tyvestä kärkeen päin. Värijuovien kulun tarkastelu osoitti, että vesi ainakin poikittaisessa kulussaan noudattaa kanton hakkuun jälkeen muodostuneita yhtenäisiä trakeidijonoja. Koska isäntäpuu näin saa nesteitä siihen

hyvinkin monimutkaisesti kytkeytyneistä kannon juurista, on varsin luultavaa, että yleensä ne juuret, jotka jäävät eloon isäntäpuun yhteyttämistuotteiden varassa, myös osallistuvat tämän puun vedenottoon.

Pystykuivien puiden eloon jääneet juuristot

Esiintyminen ja terveydentila

Keskenään juuriyhteydessä olevien puiden läheinen fysiologinen yhteenkuuluvuus tuntuu myös silloin, kun jokin yhteyteen osallistunut puu luontaisesti kuolee. Juuriyhteyksien vaikutus ilmenee tällöin siten, että jälsi pysyy elossa pystyyn kuivuneen puun tyviosassa. Pystyyn kuivunut puu saa siis elossa olevalta yhdyskumppaniltaan yhteyttämistuotteita aivan samoin kuin kaadettujen puiden kannot ja juuristot.

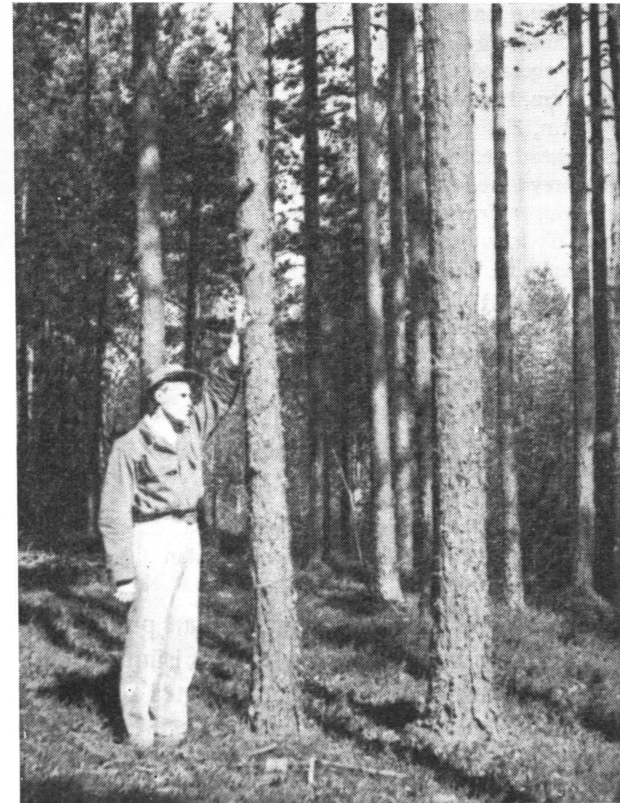
Tässä mainittua paksuskasvua pystyyn kuivuneiden mäntyjen tyvi-osissa havaittiin jo esitutkimusten yhteydessä (Yli-Vakkuri 1938, 1939, 1945). Tällöin todettiin myös, että ilmiö on varsin yleinen.

Tämän tutkimuksen yhteydessä tavattiin tyveltään elossa olevia mäntyjä näytealoilla 2, 3, 5, 15 ja 24 eli yleensä varttuneissa metsiköissä, joissa pystykuivia puita esiintyi vähänkin runsaammin. Tyveltään elossa olevien pystykuivien puiden määrä kohosi enimmäistapauksissa lähes viiteenkymmeneen hehtaaria kohden, ja niiden osuus pystykuivien puiden kokonaismäärästä saattoi olla jopa kolmannes.

Tässä yhteydessä on mainittava, että elävien puiden kanssa yhteydessä olevat pystykuivat puut säilyvät, koska ne yleensä ovat voimakkaasti pihkoittuneita, pystyssä paljon sitkeämmin kuin mainittuja yhteyksiä vailla olevat muut luontaisesti kuolleet puut. Tästä johtuu, että tyveltään elossa olevien pystykuivien puiden suhteellinen osuus saattaa luonnontilaisen metsikön vanhetessa lisääntyä.

Tyveltään paksuutta kasvavat pystykuivat puut olivat tutkituissa metsiköissä yleensä alimpien latvuserrosten puita. Eräitä esimerkkejä tällaisista mainitaan myöhemmin kokeiden yhteydessä. Suurin tyveltään elossa oleva pystykuiva puu ($D_{1,3}$ 17 cm, H 12 m) tavattiin eräästä 99-vuotiaasta männiköstä (näyteala 2). Jälsivaippa oli puussa elossa aina 2 m:n korkeudelle asti (kuva 49). Ylempää oli puu pihkoittunut ja säilynyt hyvin laholta, vaikka latvuksen kuolemista oli kulunut jo vuosikausia. Yhteys pystykuivan puun ja isäntäpuun välillä oli voimakas, kymmenen yhteenkasvettuman muodostama. Isäntäpuu ($D_{1,3}$ 25 cm, H 17 m) oli normaali päävaltapuu. Puiden välinen etäisyys oli 59 cm.

Pystykuivien puiden juuristojen rappeutuminen näytti keskittyneen



Kuva 49. Kookas pystykuiva puu, jonka tyvessä jälsi on elossa aina siihen asti, johon kuvassa näkyvä henkilö kädellään koskettaa. Toinen etualalla näkyvä puu on pystykuivan puun isäntäpuu. Näyteala 2, Ruovesi.

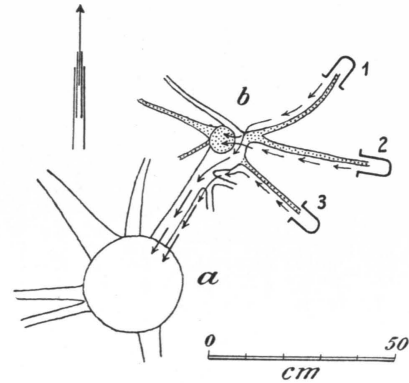
Abb. 49. Statlicher auf dem Stock verdorrter Baum, an dessen Wurzelende das Kambium noch lebt bis zu der Stelle, die die auf dem Bild zu sehende Person mit der Hand berührt. Der andere im Vordergrund stehende Baum ist der Wirtsbaum von jenem. Probestfläche 2, Ruovesi.

sellaisiin juuristoihin, jotka olivat kytkeytyneet isäntäpuuhun perifeerisesti. Aina tällainen kytkeytymistapa ei näyttänyt johtaneen juurten rappeutumiseen (kuvat 53 ja 54).

Toiminta

Elävien puiden kanssa yhteydessä olevien pystykuivien puiden juuristojen toimintaa tutkittiin samaan tapaan kuin elävien kantojenkin juuristojen toimintaa. Kokeiden tulokset selviävät seuraavista selostuksista.

Koe 15. Kokeeseen kuului kasvava puu ja sen kanssa yhteydessä oleva pystykuiva puu (kuva 50) tutkimusmetsikössä VI. Koepuu a: ikä 105 v, $D_{1,3}$ 17 cm, H 16 m, puuluokka 2a₁. Koepuu b: $D_{1,3}$ 4 cm, H 3 m, pystykuiva, jälsi elossa 10 cm:n korkeudelle. Puiden välimatka oli 30 cm. Juuriyhteydet olivat muodostuneet siten, että koepuun a ensiasteinen 4.8 cm paksu pintajuuri oli kasvettunut koepuun b tyvellä kannon alukseen, paksuus 6.9 cm, ja kahteen ensiasteiseen pintajuureen, joiden paksuudet olivat 1.6 cm ja 2.3 cm. Väriliuospullot pantiin pystykuivan puun pintajuuriin, joilla oli välitön elimellinen yhteys puun a yhdysjuureen. Väriaineena fuksiini. Koeaika 29. 8.—7. 9. 1951. Pullosta 1 värijuova kulkeutui sisemmissä lustoissa pystykuivaan puuhun b ja kahden luston syvyisenä yhdysjuurta pitkin puuhun a. Pullosta 2 värijuova kulkeutui sisemmissä lustoissa vain pystykuivaan puuhun b. Pullosta 3 värijuova kulkeutui yhteydskohdan ja yhdysjuuren kautta 20 luston syvyisenä vain puuhun a.

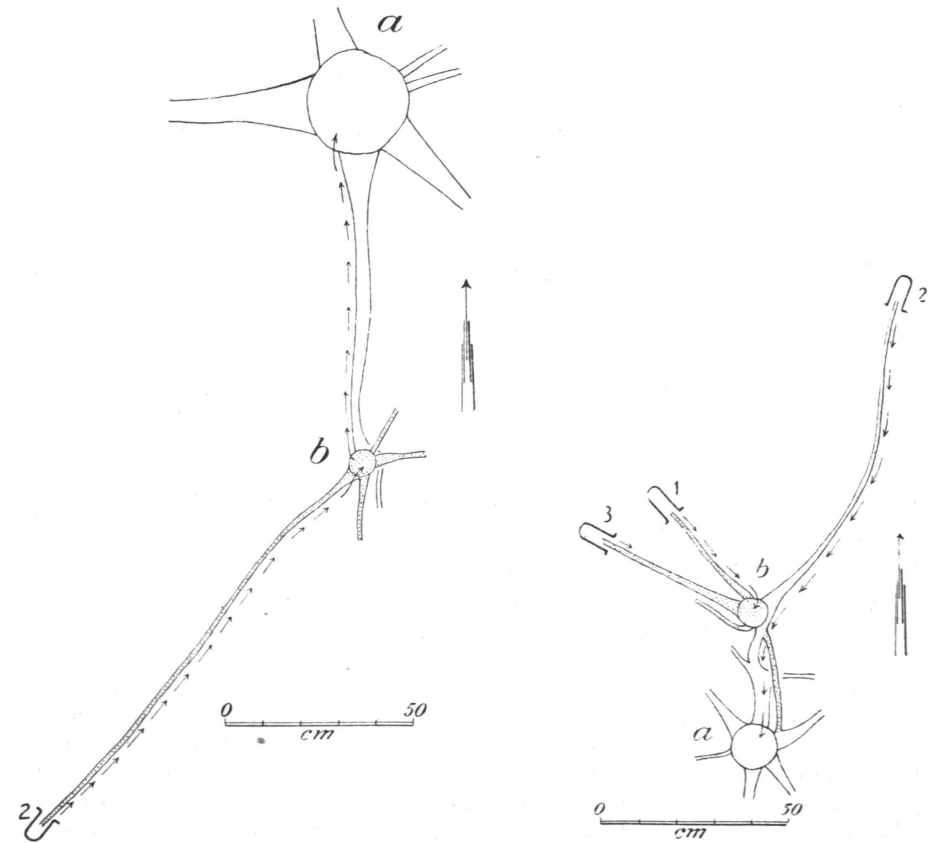


Kuva 50. Koe 15.
Abb. 50. Versuch 15.

Kokeessa 15 väriliuos kulkeutui pystykuivan puun juurista, joilla oli välitön yhteys isäntäpuun yhdysjuureen, sekä isäntäpuuhun että pystykuivaan puuhun tai vain toiseen näistä. Yhteyttä pystykuivaan puuhun näyttivät välittävän juurten sisemmät vuosilustot. Pystykuiva puu oli kytkeytynyt isäntäpuun juuristoon sentrisesti.

Koe 16. Kokeeseen kuului kasvava puu ja sen kanssa juuriyhteydessä oleva pystykuiva puu (kuva 51) tutkimusmetsikössä VI. Koepuu a: ikä 105 v, $D_{1,3}$ 21 cm, H 18 m, puuluokka 1a₁. Koepuu b: $D_{1,3}$ 5 cm, H 5 m, pystykuiva, jälsi elossa 2.0 m:n korkeudelle. Puiden välimatka oli 78 cm. Juuriyhteys oli muodostunut siten, että kasvavan puun ensiasteinen pintajuuri, paksuus 2.6 cm, oli kasvettunut kiinni pystykuivan puun tyvellä kannon alukseen, paksuus 7.0 cm. Väriliuospullo 1 asetettiin pystykuivan puun paalujuureen, pullo 2 sen ensiasteiseen pintajuureen, jolla ei ollut välitöntä elimellistä kosketusta kasvavan puun yhdysjuureen. Väriaineena fuksiini. Koeaika 29. 8.—6. 9. 1951. Pullosta 1 värijuova kulkeutui selvänä juovana ylös paalujuuressa ja siitä edelleen yhdysjuurta pitkin vain elävään puuhun a. Paalujuuri oli kehittynyt yhdysjuuren puolelta selvästi voimakkaammin kuin sen vastakkaiselta puolen. Pullosta 2 värijuova kulkeutui vain pystykuivaan puuhun b nousten siinä niin korkealle kuin jältä oli elossa.

Kokeessa 16, joka koski sentristä kytkeytymää, värijuova suuntautui pystykuivan puun paalujuuresta isäntäpuuhun. Nestevirtauksen tämänkaltaiseen kulkuun viittasi jo pystykuivan puun paalujuuren epäkeskinen, yhdysjuuren puolelle keskittynyt paksuuskasvu. Pystykuivan puun pintajuuresta, joka ei ollut välittömässä yhteydessä isäntäpuun juurten kanssa, ei tällaista kulkua havaittu. Värijuova nousi tässä tapauksessa vain pystykuivaan puuhun.

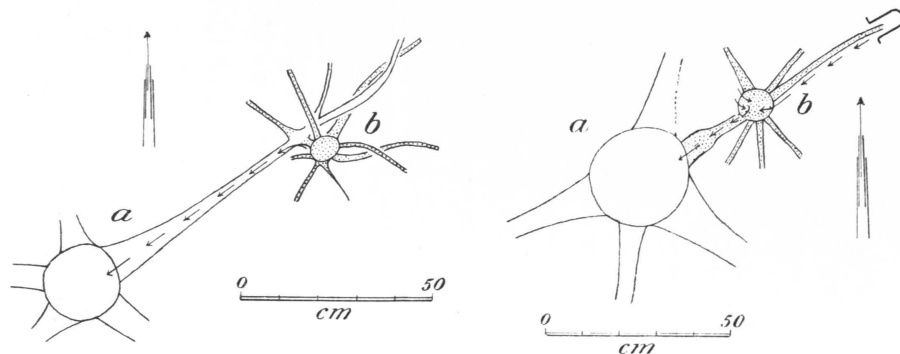


Kuva 51. Koe 16.
Abb. 51. Versuch 16.

Kuva 52. Koe 17.
Abb. 52. Versuch 17.

Koe 17. Kokeeseen kuului kasvava puu ja sen kanssa yhteydessä oleva pystykuiva puu (kuva 52) tutkimusmetsikössä VI. Koepuu a: ikä 105 v, $D_{1,3}$ 9 cm, H 10 m, puuluokka 3a₂. Koepuu b: $D_{1,3}$ 5 cm, H 5 m, pystykuiva, jältä elossa 2.2 m:n korkeudelle. Puiden välimatka oli 25 cm. Juuriyhteydet olivat muodostuneet siten, että kasvavasta puusta lähtenyt pintajuuri, paksuus 2.5 cm, oli kasvettunut pystykuivan puun tyvellä sen kannon alukseen, paksuus 7.0 cm, ja pintajuureen, paksuus 1.1 cm. Viimeksi mainittu juuri oli siltajuuren muodostaen yhtynyt toisesta päästään, paksuus 0.6 cm, kasvavan puun ensiasteiseen pintajuureen, paksuus 3.2 cm. Väriliuospullot 1 ja 3 asetettiin pystykuivan puun pintajuuriin, joilla ei ollut välitöntä kosketusta kasvavan puun yhdysjuureen; pullo 2 sijoitettiin kasvavan puun yhdysjuureen. Väriaineena fuksiini. Koeaika 29. 8.—6. 9. 1951. Väriliuos kulkeutui pullosta 2 kasvavaan puuhun a, pullosta 1 vain pystykuivan puun runkoon ja pullosta 3 koejuurta 15 cm ylöspäin.

Koe 17 esittää tapausta, jossa väriliuos kulkeutui elävään puuhun vain sen omasta juuresta. Värilioksen nousua isäntäpuuhun pystykuivan puun pintajuurista, jotka eivät olleet välittömässä yhteydessä isäntäpuun juu-



Kuva 53. Koe 18.
Abb. 53. Versuch 18.

Kuva 54. Koe 19.
Abb. 54. Versuch 19.

ren kanssa, ei havaittu. Tapauksessa, jossa sen kulkua yleensä voitiin seurata, se oli noussut vain pystykuivaan puuhun. Pystykuiva puu oli kytkeytynyt isäntäpuuhunsa sekä sentrisesti että perifeerisesti.

Koe 18. Kokeeseen kuului kasvava puu ja sen kanssa juuriyhteydessä oleva pystykuiva puu (kuva 53) tutkimusmetsikössä VI. Koepuu a: ikä 105 v, $D_{1,3}$ 14 cm, H 14 m, puuluokka 2a₁. Koepuu b: $D_{1,3}$ 4 cm, H 6 m, pystykuiva, jälsi elossa 1.35 m:n korkeudelle. Puiden välimatka oli 58 cm. Juuriyhteys oli muodostunut siten, että kasvavan puun 2.1 cm paksu ensiasteinen pintajuuri oli ristikkäin kasvettunut pystykuivan puun 0.9 cm paksuun, ensiasteiseen pintajuureen. Yhteen kasvettuneilla juurilla oli kahdeksan yhteistä lüstoa. Väriliuospulloja sijoitettiin kolme pystykuivan puun paalujuuren haaroihin. Väriaineena fuksiini. Koeaika 29. 8.—7. 9. 1951. Paalujuuren haaroista lähtevät värijuovat yhtyivät yhdeksi, 2.5 cm leveäksi viiruksi, josta osa nousi runkoa ylöspäin 20 cm:n matkan, osa kaartui yhdysjuurta pitkin kasvavan puun juureen ja siitä edelleen puuhun. Kasvavan puun juuren tavoittaakseen täytyi värijuovan kulkea pystykuivan puun juuressa »nurinpäin» 4 cm:n pituinen matka.

Koe 18 osoittaa, että väriliuos saattaa kulkeutua isäntäpuuhun sellaisenkin pystykuivan puun juuristosta, joka on kytkeytynyt isäntäpuuhunsa vain perifeerisesti. Kysymyksessä oleva koe koski paalujuurta. Isäntäpuun juuren saavuttaakseen kulki värijuova pystykuivan puun pintajuuressa jonkin matkaa juuren tyvestä kärkeen päin.

Koe 19. Kokeeseen kuului kasvava puu ja sen kanssa juuriyhteydessä oleva pystykuiva puu (kuva 54) tutkimusmetsikössä VI. Koepuu a: ikä 105 v, $D_{1,3}$ 20 cm, H 17 m, puuluokka 1. Koepuu b: $D_{1,3}$ 6 cm, H 8 m, pystykuiva, jälsi elossa 1.68 m:n korkeudelle. Juuriyhteyden muodosti pystykuivasta puusta lähtevä ja kasvavan puun kannon alukseen, vahvuus 27.5 cm, päättyvä 2.6 cm paksu siltajuuri. Väriliuospulloista asetettiin kaksi pystykuivan puun paalujuuren haaroihin, yksi sen pintajuureen, joka oli siltajuuren vastakkaisella puolen runkoa. Väriaineena fuksiini. Koeaika 29. 8.—7. 9. 1951. Paalujuuren haaroihin sijoitetuista pulloista 1 ja 2 väriviiru nousi vähitellen häipyvänä 20 cm juuren niskasta ylöspäin, osa viirusta kaartui heikosti näkyvänä

juovana siltajuurta pitkin kasvavaan puuhun a. Pullosta 3 väriviiru kulkeutui vain pystykuivan puun runkoon asti. Syiden kulku oli yhdysjuuressa, etenkin sen paksuntuneessa osassa, mutkittavaa.

Koe 19, joka koski perifeeristä kytkeytymää, on edellisen kokeen toisinto pystykuivan puun paalujuuren osalta. Pystykuivan puun pintajuuresta ei väriviirun havaittu kulkeutuneen isäntäpuuhun.

Suoritettut kokeet osoittavat, että vesi saattaa kulkeutua myös pystykuivien puiden juuristoista niiden kanssa juuriyhteydessä oleviin eläviin puihin samaan tapaan kuin elävien kantojenkin juuristoista.

Metsänhoidollisia sovellutuksia

Kytkiessään lähekkäisiä puita ainakin jossain määrin fysiologisesti yhteen kuuluviksi juuriyhteydet tuovat metsiköiden kehitykseen ja tämän kehityksen ohjaamiseen eräitä lähemmän pohdinnan arvoisia piirteitä.

Kylvömänniköissä, jotka ovat peräisin ruutu- tai vako-ruutukylvöstä, juuriyhteyksiä syntyy taimiryhmissä jo taimistovaiheessa. Kun taimet lisäksi kasvavat lähellä toisiaan, yhteydet voivat muodostua hyvin lukuisiksi ja täydellisiksi ja näin ollen myös käytännön kannalta huomion arvoiksi. Tutkimuksen nykyisessä vaiheessa ei voida varmasti sanoa, mitä tämä vaikuttaa taimiryhmän kehitykseen sinä aikana, kun se saa koskettua kasvaa. Sen sijaan voidaan hyvin ymmärtää, että taimiryhmän harvennus, etenkin jos se suoritetaan tavanomaista myöhemmässä vaiheessa, merkitsee varsin kovakouraista puuttumista taimiryhmän kehitykseen. Kokemuksen perusteella kuitenkin tiedetään, että männyn kylvötaimistot sietävät tämän käsittelyn.

Luontaisesti syntyneissä männiköissä juuriyhteyksiä alkaa esiintyä merkittävässä määrässä sitten, kun metsikkö on selvästi sivuuttanut taimistovaiheen. Näiden yhteyksien käytännöllinen merkitys ei ole nykyisen tietämyksen varassa täysin selvä. Tosiasiana kuitenkin voidaan pitää, että ne tekevät mahdolliseksi ravinteiden siirtymisen puusta toiseen ja että yhteen kasvettuneet juuret saattavat vaihtaa isäntää. Edelleen tiedetään, että yhteen liittyneiden puiden yhteisöluonne tulee muutenkin näkyviin.

Hakkuiden yhteydessä sen vaikutus ilmenee monin tavoin. Näkyvimpinä merkkeinä siitä ovat lukuisat elävät kannot. Ne osoittavat samalla, että hakkuissa joudutaan puuttumaan puuryhmien elämään eräissä tapauksissa jokseenkin ankarasti. Vallitsevan olotilan häiriintyminen on tällöin ilmeisesti sitä tuntuvampi, mitä täydellisempiä puiden väliset yhteydet ovat. Juuriyhteydet ja niiden tämänsuuntainen vaikutus voisi ilmeisesti jäädä vähäisemmäksi, jos metsiköitä taimistoista asti säännöllisesti harvennettisiin. Nykyisin ei meillä tähän vielä ole päästy. Sen vuoksi leimaaja joutuu usein varttuneissa, hoitamattomissa metsiköissä harkitsemaan, mitä olisi tehtävä aivan lähekkäin kasvaville puupareille.

Edellä olevan perusteella tuntuisi biologisesti hyvinkin perustellulta jättää tällaiset puut, jos ne ovat elinvoimaisia, yhdessä edelleen kehittymään.

Hakkuissa puuyhteisöihin kantoleikkausten muodossa syntyneet haavat eivät männyllä ilmeisesti ole yhteisölle erityisen vaarallisia. Kantoleikkaukset eivät tosin kyljesty umpeen, mutta itse kannot pihkoittuvat sen sijaan voimakkaasti. Se puolestaan estää lahon tunkeutumista kantoon. Elossa oleviin kantoihin eivät myöskään hyönteiset pääse pesiytymään.

Muutenkin elimellisessä yhteydessä olevat männyt mukautuvat yleensä hyvin hakkuiden aiheuttamiin uusiin olosuhteisiin. Monien yhteisöön kuuluvien puiden juuristot säilyvät elossa kokonaan siitä huolimatta, että ne menettävät hakkuussa vihreät, yhteyttävät osansa. Etenkin sellaisissa tapauksissa, joissa eloon jääneen puun jokin juuri on suoranaisessa yhteydessä kaadetun puun juurten keskukseen, kannon alukseen, kannon koko juuristo saa isäntäpuultaan yhteyttämistuotteita ja säilyy niiden varassa elossa. Jos sen sijaan isäntäpuun ja kannon juuren yhtymä on muualla kuin kannon aluksessa, vaikeutuu yhteyttämistuotteiden kulkeutuminen kannon juuriston eräisiin osiin siinä määrin, että ne saattavat kuolla. Elävien puiden juuristoihin saattaa näin ollen liittyä hakkuiden seurauksena sairaita osia. Tutkituissa tapauksissa näytti voimakas pihkoittuminen estäneen lahon tunkeutumasta tällaisista sairaista juurista isäntäpuun juuriin. Kuitenkin aikaisempien tutkimusten selostuksista ilmenee, on toisaalta olemassa lukuisasti tietoja siitä, että juuriyhteydet helpottavat maannouseman ym. sienituhojen leviämistä puusta toiseen.

Useat tutkijat arvelevat, että kantojen juuristojen eloon jääminen vaikuttaa suotuisasti kantojen kanssa juuriyhteydessä olevien elävien puiden kasvuun. Tämän tutkimuksen yhteydessä tehdyt kokeet veden kulkeutumisesta elävien kantojen juurissa viittaavat siihen, että kantojen sellaiset juuret, jotka jäävät eloon, yleensä myös siirtyvät isäntäpuunsa käyttöön. Tämän seikan vaikutus isäntäpuun kasvuun vaatii kokeellista lisäselvittelyä.

Puiden kuollessa luontaisesti säilyvät niiden juuristot elossa ollessaan yhteydessä eläviin puihin ja toimivat samaan tapaan kuin kantojenkin juuret.

Jo vanhastaan on totuttu pitämään ilmeisenä, että juuriyhteydet lujittavat puita myrskyä vastaan. On myös huomautettu siitä, että tämä tuki ei vähene sanottavasti hakkuiden yhteydessä, koska kasvavan puun kanssa yhteydessä oleva kanto juuristoiheen jää ainakin osittain eloon. Toisaalta saattavat yhteenkasvettumat haitallisesti vähentää juuristojen myrskyä kestävä joustavuutta. Voidaan ainakin olettaa, että kahden tai useamman

puuyksilön kytkeytyminen toisiinsa niin löyhästi, että runkojen eriaikainen ja erisuuntainen taipuminen myrskyssä on mahdollista, lisäksi tuntuvasti juurten repeytymis- ja katkeamisvaaraa. Edelleen saattavat lähekkäiset puut, joiden juuristot ovat lujasti kytkeytyneet toisiinsa, kaatua yhdessä, jos myrsky on riittävän raju.

Kun puiden juuret ovat keskenään yhteen kasvettuneet, on ymmärrettävää, että kantojen poisto sulkeutuneista metsiköistä vioittaa jäljelle jäävien puiden juuristoja.

Juuriyhteyksien runsas esiintyminen voi hyvinkin rajoittaa kemiallisen kuorinnan (vrt. Lotti ja McCulley 1951, McIntosh 1951, Tuovinen 1952) käyttömahdollisuuksia, sillä myrkyin vaikutus saattaa ulottua juuriyhteyden kautta sellaiseen puuhun, joka on alun perin ajateltu jättää edelleen kasvamaan.

Edellä esitetty osoittaa, että lähekkäisten puiden yhteisöluonteesta saattaa aiheutua eräitä käytännön kannalta huomion arvoisia seuraamuksia, jotka metsän käsittelijä joutuu ottamaan huomioon lukuisten muiden seikkojen ohella. Nämä seuraamukset esiintyvät ilmeisesti useinkin sitä selvemmin, mitä täydellisempi puiden välinen yhteys on.

Juuriyhteyksien selvittelyssä esille tulleita tietoja voitaneen käyttää hyväksi myös metsätieteellisissä tutkimuksissa, erityisesti esimerkiksi sellaisissa, joissa käsitellään luontaista harventumista, hakkuiden jälkeisiä reaktioita kasvamaan jääneissä puissa ja metsätuhoja. Myös kantoihin kohdistuvat tai näitä sivuavat selvittelyt voinevat hyötyä tutkimuksen niistä tuloksista, jotka osoittavat, että kantojen lahoaminen on erittäin monivivahteinen tapahtuma.

Yhdistelmä

Tutkimuksessa on pyritty selvittämään männiköiden osalta eri puuyksilöiden juuristojen välisten elimellisten yhteyksien yleisyyttä, morfologiaa ja fysiologiaa. Tutkimus on rajoitettu koskemaan Etelä-Suomen länsipuoliskon kivettömillä (vähäkivisillä) hiekkamailla esiintyviä, pääasiallisesti luontaisesti syntyneitä ja säännöllisesti kehittyneitä, puhtaita puolukkatyyppin männiköitä. Tutkimus perustuu edustavaan näyteaineistoon ja sen vertailevaan käsittelyyn sekä kasvifysiologisiin kokeisiin ja eräisiin muihin erikoistutkimuksiin. Tutkimus on johtanut seuraaviin päätuloksiin.

1. Juuriyhteyksien esiintyminen oli varttuneissa, tiheikkövaiheen sivuuttaneissa luontaisesti syntyneissä männiköissä yleistä. Puista oli tällaisissa metsiköissä 21—28 % juuriyhteydessä jonkin toisen elävän tai kaadetun tai pystykuivan puun kanssa. Aivan nuorissa metsiköissä puiden juuristojen väliset elimelliset yhteydet yleensä puuttuivat tai niitä esiintyi niukasti. Vallitsevan latvuserroksen puut olivat suhteellisesti yleisemmin juuriyhteydessä jonkin toisen puun (kannon) kanssa kuin vallittujen latvuserrosten puut. Juuriyhteyksien esiintyminen puiden kesken oli sitä yleisempää, mitä lähempänä toisiaan puut kasvoivat ja mitä järeämpiä ne olivat. Kylvötaimituppaissa, joissa taimet kasvoivat lähellä toisiaan, esiintyi juuriyhteyksiä runsaasti jo metsikön taimisto- ja tiheikkövaiheissa.

2. Tutkitut puut olivat suoranaisessa juuriyhteydessä tavallisesti yhden tai kahden elävän puun tai kannon (pystykuivan puun) kanssa. Kun puiden yhdyskumppanit olivat puolestaan muiden puiden kanssa juuriyhteydessä, saattoi samaan juuriverkkoon kuulua useita, jopa toistakymmentäkin puuta ja kantoa. Elimellisesti yhteen liittyneiden juuristojen välillä oli yhteenkasvettumia tavallisesti 1—4 ja niiden muodostumiseen osallistuneita juuria vastaavasti 1—3. Yhteenkasvettumista oli $\frac{2}{3}$ pinta-juurten välisiä, loput pinta- ja syväjuurten välisiä. Yleensä yhteenkasvetumat olivat keskittyneet lähelle puiden tyviä. Tavallisinta oli ristikkään kulkeneiden juurten yhtyminen.

3. Pääosa juurten välisistä yhteenkasvettumista oli muodostunut pui-

den ollessa parhaassa kehitysvaiheessaan (30—60 v) ja niiden juurten ollessa ohuita. Herkimpiä yhteen kasvettumaan näyttivät olleen 1—2 cm:n paksuiset juuret, vähemmän herkkiä sitä ohuimmat ja sitä paksummat. Yhtyvien juurten jakaantumiskykyiset solukot oli saattanut toistensa kanssa kosketuksiin todennäköisesti juurten välinen puristus.

4. Veden kulkeutumisesta yhteen kasvettuneissa juuristoissa tehdyt kokeet osoittivat, että elävien puiden yhteen kasvettuneet juuret saattavat veden kuljettajina ainakin osittain vaihtaa isäntää, toisin sanoen siirtyä toisen puun käyttöön.

5. Käyttäen apuna radioaktiivista fosfaattiliuosta, jossa fosfori oli isotooppina P^{32} , todettiin, että ravinteet voivat siirtyä juuriyhteyden kautta puusta toiseen.

6. Kaadettujen puiden juuristot, jotka olivat yhteydessä elävän puun kanssa, olivat joko kokonaan tai osittain elossa. Tällaisia juuristoja esiintyi varttuneimmissa tutkimusmetsiköissä runsaasti, keskimäärin 178 kappaletta hehtaaria kohden. Juuristojen terveydentila näytti riippuvan isäntäpuun ja kaadetun puun juurten välisten yhteenkasvettumien sijainnista. Terveimpiä olivat sellaiset juuristot, joiden kannon alus oli välittömässä yhteydessä isäntäpuun juuren kanssa, sairaimpia taas sellaiset, joissa isäntäpuun ja kannon juurten väliset yhteenkasvettumat olivat kannon aluksesta erillään, sijaiten joko kannon pinta- tai paalujuuressa. Tervejuuristoisten kaadettujen puiden kannot olivat voimakkaasti pihkoittuneina säilyneet lahoamatta jopa vuosikymmeniä.

7. Kokeet osoittivat, että vesi voi kulkeutua kaadettujen puiden juuristoista näiden kanssa juuriyhteydessä oleviin eläviin puihin.

8. Tutkituissa metsiköissä esiintyi myös pystykuivia puita, joiden juuristo oli kytkeytynyt elävään puuhun ja pysynyt osittain tai kokonaan elossa. Näiden puiden tyviosissa näytti jälsi joskus säilyneen elossa parinkin metrin korkeudelle asti. Kokeet osoittivat, että vesi kulkeutuu isäntäpuuhun myös pystykuivien puiden eloon jääneistä juuristoista.

9. Se, että juuriyhteydet kytkevät lähekkäisiä puuyksilöitä yhteisöiksi, joissa jäsenten kesken vallitsee kiinteä vuorovaikutus, on otettava huomioon sekä metsiköiden hoidossa että metsikköihin kohdistuvissa tutkimuksissa.

Kirjallisuusluettelo

- Aaltonen, V. T. 1920. Über die Ausbreitung und den Reichtum der Baumwurzeln in den Heidewäldern Lapplands. Acta forest. fenn. 14. Helsinki.
- 1934. Die Entwicklung des Waldbestandes und die Wachstumsfaktoren. Selostus: Metsikön kehitys ja kasvutekijät. Acta forest. fenn. 40. Helsinki.
- 1941. Metsämaamme valtakunnan metsien toisen arvioinnin tulosten valossa. Zusammenfassung: Die finnischen Waldböden nach den Erhebungen der zweiten Reichswaldschätzung. Metsätiet. tutkimusl. julk. 29. Helsinki.
- 1942. Muutamia kasvukokeita puuntaimilla. Referat: Einige Vegetationsversuche mit Baumpflanzen. Acta forest. fenn. 50. Helsinki.
- 1948. Boden und Wald. Unter besonderer Berücksichtigung des nordeuropäischen Waldbaus. Berlin-Hamburg.
- Aarnio, B., Hyypä, Esa, Kaitera, Pentti, Keso, Lauri, Kivinen, Erkki, Kokkonen, P., Kotilainen, Mauno J., Sauramo, Matti, Tuorila, Pauli, Vuorinen, Jouko. 1949. Maaperäsanaston ja maalajien luokituksen tarkistus v. 1949. Summary: A critical review of soil terminology and soil classification in Finland in the year 1949. Maataloustieteellinen aikakauskirja, ss. 37—66. Helsinki.
- Arnold, C. H. 1929. The movement of sap in *Coffea arabica* L. American journal of botany, ss. 179—190. Lancaster.
- Beckman, C. H. ja Kuntz, J. E. 1951. Translocation of poisons, dyes, and radioiodine, and its relation to oak wilt. Phytopathology, ss. 2—3. Lancaster.
- v. Berg, E. 1831. Einige Bemerkungen über die Fichte. Allgemeine Forst- und Jagd-Zeitung, ss. 498—499. Frankfurt am Main.
- 1844. Das Ueberwallen der Nadelholzstöcke und die forstwirtschaftlichen Folgerungen dieser Erscheinungen. Allgemeine Forst- und Jagd-Zeitung, ss. 3—5. Frankfurt am Main.
- 1845. Ueber das Ueberwallen der Nadelholzstöcke. Allgemeine Forst- und Jagd-Zeitung, ss. 77—79. Frankfurt am Main.
- Bloch, Robert. 1943. Polarity in plants. The botanical review, ss. 261—310. Lancaster.
- Bloomqvist, A. G. 1872. Tabeller framställande utvecklingen af jemnåriga och slutna skogsbestånd af tall, gran och björk. Helsingfors.
- 1883. Finlands trädslag i forstligt hänseende beskrifna. II. Granen. Finska forstföreningens meddelanden. Tredje bandet, andra häftet. Helsingfors.
- Bodenberg, E. T. 1929. Lateral transfer of lithium nitrate in *Salix*. American journal of botany, ss. 229—237. Lancaster.
- Бодров, В. А. 1951. Лесная мелиорация. Москва—Ленинград.

- Büsgen, M. ja Münch, E. 1927. Bau und Leben unserer Waldbäume. Dritte Auflage. Jena.
- Collander, Runar. 1929. Kasvifysiologia kokeita. Helsinki.
- 1944. Kasvifysiologian perusteet I. Helsinki.
- 1947. Kasvifysiologian perusteet II. Helsinki.
- 1952. Fotosynteesin arvoitus ratkeamassa? Luonnon tutkija, ss. 2—6. Helsinki.
- Crafts, A. S., Currier, H. B. ja Stocking, C. R. 1949. Water in the physiology of plants. Waltham.
- Curtis, O. F. ja Clark, D. G. 1950. Introduction to plant physiology. New York—Toronto—London.
- Fabricius, L. 1927. Stocküberwallungen. Forstwissenschaftliches Centralblatt, ss. 19—26. Berlin.
- Flury, Philipp. 1924. Über Altersbestimmung mittels Jahrringzählung. Allgemeine Forst- und Jagd-Zeitung, ss. 352—355. Frankfurt am Main.
- Franke, Max. 1881. Beiträge zur Kenntniss der Wurzelverwachsungen. Breslau.
- Garner, R. J. 1949. The grafter's handbook. London.
- Grotenfelt, Bengt. 1950. De radioaktiva isotoperna — atomforskarnas gåva till biologer och läkare. Nordenskiöld-samfundets tidskrift, ss. 25—29. Helsingfors.
- Göppert, H. R. 1842. Beobachtungen über das sogenannte Überwallen der Tannenstöcke. Bonn.
- 1846. Ueber die Ueberwallung der Tannenstöcke. Botanische Zeitung, ss. 505—514. Berlin.
- Hartig, Th. 1844. Beobachtungen über das sogenannte Ueberwallen der Tannenstöcke. Für Botaniker und Forstmänner von H. R. Göppert. Mit 3 lithogr. Tafeln in 4. Bonn, bei Henry und Cohen 1842. Allgemeine Forst- und Jagd-Zeitung, ss. 96—99. Frankfurt am Main.
- 1846. Versuch einer Beantwortung der Fragen des Herrn Oberförsters von Berg, das Ueberwallen der Nadelholzstöcke betreffend. Allgemeine Forst- und Jagd-Zeitung, ss. 5—10. Frankfurt am Main.
- 1878. Anatomie und Physiologie der Holzpflanzen. Berlin.
- Heikinheimo, Olli. 1920. Kuusen iän määraamisestä ja kuusen myöhäisjuurista. Referat: Über die Bestimmung des Alters der Fichte und ihre Adventivwurzeln. Metsätiet. koelait. julk. 2. Helsinki.
- Helander, A. Benj. 1922. Metsänkäyttöoppi. Toinen painos. Porvoo.
- Hertz, Martti. 1931. Nuorten metsäkirja. I. Porvoo.
- 1935. Kuusen juuriston ensi kehityksestä. Referat: Die erste Entwicklung des Wurzelwerks der Fichte. Acta forest. fenn. 41. Helsinki.
- Heybey, R. 1937. Zur Frage von Wurzelsystem und Leitungsbahnen der Fichte. Tharandter forstliches Jahrbuch, ss. 305—336. Berlin.
- Hilf, H. H. 1927. Wurzelstudien an Waldbäumen. Die Wurzelausbreitung und ihre waldbauliche Bedeutung. Hannover.
- Hohenstein, Adolf. 1857. Die Theer-Fabrikation für Forstmänner und Waldbesitzer. Wien.
- Huber, Bruno. 1932. Beobachtung und Messung pflanzlicher Saftströme. Berichte der deutschen botanischen Gesellschaft, ss. 89—109. Berlin—Dahlem.
- ja Schmidt, Ebehard. 1936. Weitere thermoelektrische Untersuchungen über den Transpirationsstrom der Bäume. Tharandter forstliches Jahrbuch, ss. 369—412. Berlin.

- Iivessalo, Lauri († 1928). 1929. Puuluokitus ja harvennusasteikko. Summary: A tree-classification and thinning system. Acta forest. fenn. 34. Helsinki.
- Iivessalo, Yrjö. 1920 a. Tutkimuksia metsätyyppien taksatoorisesta merkityksestä. Referat: Untersuchungen über die taxatorische Bedeutung der Waldtypen. Acta forest. fenn. 15. Helsinki.
- 1920 b. Kasvu- ja tuottotaulut Suomen eteläpuoliskon mänty-, kuusi- ja koivumetsille. Referat: Ertragstafeln für die Kiefern-, Fichten- und Birkenbestände in der Südhälfte von Finnland. Acta forest. fenn. 15. Helsinki.
- 1937. Perä-Pohjolan luonnon normaalien metsiköiden kasvu ja kehitys. Summary: Growth of natural normal stands in Central North-Suomi (Finland). Metsätiet. tutkimusl. julk. 24. Helsinki.
- 1947. Pystypuiden kuutioimistaulukot. Summary: Volume tables for standing trees. Metsätiet. tutkimusl. julk. 34. Helsinki.
- 1951. III valtakunnan metsien arviointi. Suunnitelma ja maastotyön ohjeet. Summary: Third national forest survey of Finland. Plan and instructions for field work. Metsätiet. tutkimusl. julk. 39. Helsinki.
- Jalava, Matti. 1952. Puun rakenne ja ominaisuudet. Porvoo—Helsinki.
- Юновидов, А. П. 1950. К биологии сосны обыкновенной. Лесное хозяйство 5, ss. 31—33. Москва.
- 1951. Срастание корневых систем сосны в лесу. Агробиология 4, ss. 33—38. Москва.
- Kalela, Erkki K. 1936. Tutkimuksia Itä-Suomen kuusi-harmaaleppä-sekametsiköiden kehityksestä. Referat: Untersuchungen über die Entwicklung der Fichten-Weisserlen-Mischbestände in Ostfinnland. Acta forest. fenn. 44. Helsinki.
- 1939. Mänty- ja kuusivaltapuiden kasvusta talvikkityypillä. Referat: Über den Zuwachs der herrschenden Kiefern und Fichten auf Pyrolatyp. Metsätiet. tutkimusl. julk. 27. Helsinki.
- 1942. Männyn taimien juurien suhtautumisesta emäpuun juuriin. Referat: Das Verhalten der Wurzeln von Kiefernpflanzen zu den Wurzeln des Mutterbaumes. Acta forest. fenn. 50. Helsinki.
- 1946. Rämemänniköiden uudistamisen perusteista. Metsätaloudellinen aikakauslehti, ss. 5—11. Helsinki.
- 1948. Juuristikilpailun merkityksestä kuusikon uudistamisessa. Metsätaloudellinen aikakauslehti, ss. 320—323. Helsinki.
- 1949. Männiköiden ja kuusikoiden juurisuhteista I. Summary: On the horizontal roots in pine and spruce stand I. Acta forest. fenn. 57. Helsinki.
- Kamen, M. D. 1951. Radioactive tracers in biology. Second edition. New York.
- Kangas, Esko. 1940. Maannousema kuusikoittemme metsänhoidollisena kysymyksenä. Metsätaloudellinen aikakauslehti, ss. 129—134. Helsinki.
- 1946. Kuusikoiden kuivuminen metsätuho- ja metsänhoidollisena kysymyksenä. Referat: Über die Vertrocknung der Fichtenbestände als Waldkrankheit- und Waldbaufrage. Acta forest. fenn. 52. Helsinki.
- 1952. Maannousemasien (*Polyporus annosus* Fr.) esiintymisestä, tartunnasta ja tuhoista Suomessa. Referat: Über Auftreten, Infektion und Schäden des Wurzelschwamms (*Polyporus annosus* Fr.) in Finnland. Metsätiet. tutkimusl. julk. 40. Helsinki.
- Kokkonen, P. 1923. Beobachtungen über das Wurzelsystem der Kiefer in Moorböden. Acta forest. fenn. 25. Helsinki.

- Kujala, Viljo. 1936. Tutkimuksia Keski- ja Pohjois-Suomen välisestä kasvillisuusrajasta. Referat: Über die Vegetationsgrenze von Mittel- und Nord-Finnland. Metsätiet. tutkimusl. julk. 22. Helsinki.
- Kuntz, J. E. ja Riker, A. J. 1950 a. Root grafts as a possible means for local transmission of oak wilt. Phytopathology, ss. 16—17. Lancaster.
- »— 1950 b. Oak wilt in Wisconsin. Wis. conserv. bull. 15, ss. 20—23 (Lähde: Forestry abstracts 12, s. 527. Cambridge). Lancaster.
- »— 1951. Control of oak wilt in certain local areas. Phytopathology, s. 23. Lancaster.
- Курдиани, С. З. 1934. Дендрология. Тифлис.
- Laitakari, Erkki. 1927. Männyn juuristo. Summary: The root system of pine (*Pinus silvestris*). Acta forest. fenn. 33. Helsinki.
- »— 1929. Die Wurzelforschung in ihrer Beziehung zur praktischen Forstwirtschaft. Selostus: Juuritutkimuksen suhteesta käytännölliseen metsätalouteen. Acta forest. fenn. 33. Helsinki.
- »— 1934. Koivun juuristo. Summary: The root system of birch (*Betula verrucosa* and *odorata*). Acta forest. fenn. 41. Helsinki.
- Lappi-Seppälä, M. 1930. Untersuchungen über die Entwicklung gleichaltriger Mischbestände aus Kiefer und Birke. Selostus: Tutkimuksia tasaikäisen mäntykoivu-sekametsikön kehityksestä. Metsätiet. tutkimusl. julk. 15. Helsinki.
- Larue, C. D. 1934. Root grafting in trees. American journal of botany, ss. 121—126. Lancaster.
- »— 1952. Root-grafting in tropical trees. Science, 115, s. 296. Lancaster—New York.
- Liese, J. 1926. Beiträge zur Kenntnis des Wurzelsystems der Kiefer (*Pinus silvestris*). Zeitschrift für Forst- und Jagdwesen, ss. 129—181. Berlin.
- Lotti, Thomas ja McCulley, R. D. 1951. Loblolly Pine. Unasyva 5, ss. 107—113. Baltimore.
- Lundegårdh, Henrik. 1950. Lärobok i växtfysiologi med växtanatomi. Stockholm.
- Лысенко, Т. Д. 1951. Инструкция по посеву ползащитных лесных полос гнездовым способом на 1951 г. Москва.
- Lönnroth, Erik. 1925. Untersuchungen über die innere Struktur und Entwicklung gleichaltriger naturnormaler Kiefernbestände. Acta forest. fenn. 30. Helsinki.
- MacDougal, Daniel T. 1938. Tree growth. Leiden.
- McIntosh, D. C. 1951. Effects of chemical treatment of pulpwood trees. Forest products laboratories division bulletin 100. Ottawa.
- McNew, G. L. ja Young, R. A. 1948. A study of the causal relationship and control of the oak wilt fungus. Iowa agricultural experiment station. Report, ss. 185—187. Ames.
- Miettinen, Leevi. 1932. Tutkimuksia harmaalepiköiden kasvusta. Referat: Untersuchungen über den Zuwachs der Weisserlenbestände. Metsätiet. tutkimusl. julk. 18. Helsinki.
- Multamäki, S. E. 1923. Tutkimuksia ojitettujen turvemaiden metsänkasvusta. Referat: Untersuchungen über das Waldwachstum entwässerter Torfböden. Acta forest. fenn. 27. Helsinki.
- Murto, Jaakko O. 1951. Mäntypuumme pihka voiteluöljyn raaka-aineena. Summary: Finnish pine resin as raw material for lubricating oil. Acta forest. fenn. 59. Helsinki.

- Neeff, Fritz. 1922. Über polares Wachstum von Pflanzenzellen. Jahrbücher für wissenschaftliche Botanik 61, ss. 205—283. Berlin—Leipzig.
- Никитенко, Н. А. 1951. Некоторые особенности развития дуба при гнездовой культуре. Агробиология 3, ss. 146—151. Москва.
- Nobbe, F. 1875. Beobachtungen und Versuche über die Wurzelbildung der Nadelhölzer. Die landwirtschaftlichen Versuchs-Stationen, ss. 279—295. Chemnitz.
- Nylinder, Per. 1951. Om patologiska hartskanaler. Summary: On pathological resin canals. Meddelanden från Statens skogsforskningsinstitut 40, 7. Stockholm.
- Pemberton, C. C. 1921. Overgrowth of stumps of conifers. The Canadian field-naturalist, ss. 81—87. Ottawa.
- Pfeffer, W. 1904. Pflanzenphysiologie. II. Leipzig.
- Pfeil, W. 1860. Die deutsche Holzzucht. Leipzig.
- Погребняк, П. С. 1950. О смыкании крон в насаждениях дуба, заложенных гнездовым способом. Агробиология 3, ss. 118—123. Москва.
- Pöntynen, V. 1929. Tutkimuksia kuusen esiintymisestä alikasvoksina Raja-Karjalan valtionmailla. Referat: Untersuchungen über das Vorkommen der Fichte (*Picea excelsa*) als Unterwuchs in den finnischen Staatswäldern von Grenz-Karelien. Acta forest. fenn. 35. Helsinki.
- Rassmann, C. 1827 a. Beleuchtung des Aufsatzes des Hrn. Dr. Reum in Nro. 74 der Forst- und Jagdztg. 1826. »Beobachtungen über unsere Holz-Pflanzen.» Allgemeine Forst- und Jagd-Zeitung, ss. 18—20, 25—27 ja 29—32. Frankfurt am Main.
- »— 1827 b. Erwiederung auf die sog. »Ablehnung» meiner »Beleuchtung einiger Beobachtungen über unsere Holzpflanzen» in Nro. 58 dieser Ztg. Allgemeine Forst- und Jagd-Zeitung, ss. 398—402. Frankfurt am Main.
- Reum, L. A. 1826. Beobachtung über unsere Holzpflanzen. Allgemeine Forst- und Jagd-Zeitung, ss. 293—295 ja 297. Frankfurt am Main.
- Riedl, H. 1937. Bau und Leistungen des Wurzelholzes. Jahrbücher für wissenschaftliche Botanik 85, ss. 1—75. Leipzig.
- Rigg, G. B. ja Harrar, E. S. 1931. The root systems of trees growing in sphagnum. American journal of botany, ss. 391—397. Lancaster.
- Рубцов, Н. И. 1950. Новые данные о срастании корневых систем некоторых лесных пород. Агробиология 6, ss. 57—65. Москва.
- Sarvas, Risto, 1940. Yksijaksoisen metsikön luontaisista kehitysjaksoista. Metsätaloudellinen aikakauslehti, ss. 79—83. Helsinki.
- »— 1944. Tukkipuun harsintojen vaikutus Etelä-Suomen yksityismetsiin. Referat: Einwirkung der Sägestamplenterungen auf die Privatwälder Südfinnlands. Metsätiet. tutkimusl. julk. 33. Helsinki.
- »— 1948. Tutkimuksia koivun uudistumisesta Etelä-Suomessa. Summary: A research on the regeneration of birch in South Finland. Metsätiet. tutkimusl. julk. 35. Helsinki.
- »— 1951. Tutkimuksia puolukkatyyppin kuusikoista. Summary: Investigations into the spruce stands of Vaccinium type. Metsätiet. tutkimusl. julk. 39. Helsinki.
- Schubert, Albrecht. 1939. Untersuchungen über den Transpirationsstrom der Nadelhölzer und den Wasserbedarf von Fichte und Lärche. Tharandter forstliches Jahrbuch, ss. 821—883. Berlin.

- Sirén, Gustaf. 1948. Ett bidrag till frågan om tall- och granplantornas konkurrensförmåga under första vegetationsperioden. Skogsbruket, ss. 295—301. Helsingfors.
- 1950. Alikasvoskuusten biologian. Summary: On the biology of underground spruce. Acta forest. fenn. 58. Helsinki.
- Stintzel, Joseph. 1843 a. Ueber das Ueberwallen der Nadelholz-Stöcke. Allgemeine Forst- und Jagd-Zeitung, ss. 288—293. Frankfurt am Main.
- 1843 b. Interessantes über Holzwachstum. Allgemeine Forst- und Jagd-Zeitung, s. 359. Frankfurt am Main.
- Trendelenburg, R. ja Schaile, O. 1937. Harzuntersuchungen an Nadelhölzern I. Der Papierfabrikant. Technischer Teil, ss. 221—230. Berlin.
- Tuovinen, Arno. 1952. Soveltuvtko kemikaalit puun kuorintaan? Metsätietoa, ss. 43—47. Helsinki.
- Wagenhoff, Albrecht. 1938. Untersuchungen über die Entwicklung des Wurzelsystems der Kiefer auf diluvialen Sandböden. Zeitschrift für Forst- und Jagdwesen, ss. 449—494. Berlin.
- Wartiovaara, Veijo. 1945. Isotoopeista fysiologisissa tutkimuksissa. Luonnon ystävä, ss. 87—94. Helsinki.
- Wichmann, Heinrich, E. 1925. Wurzelverwachsungen und Stocküberwallungen bei Abietineen. Centralblatt für das gesamte Forstwesen, ss. 250—258. Wien—Leipzig.
- Viro, P. J. 1947. Metsämaan raekokoomus ja viljavuus varsinkin maan kivisyttä silmällä pitäen. Summary: The mechanical composition and fertility of forest soil taking into consideration especially the stoniness of the soil. Metsätiet. tutkimusl. julk. 35. Helsinki.
- 1952. Kivisyiden määrittämisestä. Summary: On the determination of stoniness. Metsätiet. tutkimusl. julk. 40. Helsinki.
- Wretling, J. E. 1936. Om orsakerna till kronotypsväxlingen hos den svenska tallen. Del II. Norrlands skogsvårdsförbunds tidskrift, ss. 243—380. Stockholm.
- Yli-Vakkuri, Paavo. 1938. Männyn kannon paksuuskasvuilmiö. Konekirjoite Helsingin yliopiston Metsänhoitotieteellisessä laitoksessa.
- 1939. Männyn ja kuusen kantojen paksuuskasvuilmiöstä ja sen käytännöllisestä merkityksestä. Metsätaloudellinen aikakauslehti, ss. 119—124. Helsinki.
- 1945. Männiköissä ja kuusikoissa tavattavista eri puuyksilöiden välisistä elimellisistä juuristoyhteyksistä ja niiden käytännöllisestä merkityksestä. Konekirjoite Helsingin yliopiston Metsänhoitotieteellisessä laitoksessa.

Untersuchungen über organische Wurzelverbindungen zwischen Bäumen in Kiefernbeständen

Referat

Einleitung

Die Untersuchung soll dazu dienen, die in Kiefernbeständen (*Pinus silvestris* L.) anzutreffenden zwischen Bäumen bestehenden organischen Wurzelverbindungen, ihr Vorkommen, ihre Morphologie und Physiologie zu erforschen. Unter Wurzelverbindung ist eine solche Verbindung zu verstehen, die zwischen Bäumen durch miteinander verwachsene Wurzeln zustande kommt. Mechanische Zusammenfügungen zwischen Wurzeln werden in der Untersuchung nicht behandelt, ebensowenig Verwachsungen zwischen den eigenen Wurzeln eines bestimmten einzelnen Baumes.

Frühere Untersuchungen

Die Erforschung von Wurzelverbindungen nahm ihren Anfang durch Beobachtungen, die an überwallten Stubben im vorigen Jahrhundert insbesondere in Mitteleuropa gemacht worden waren (vgl. Reum 1826, Rassmann 1827 a, b, v. Berg 1831, 1844, 1845, Göppert 1842, 1846, Stintzel 1843 a, b, Hartig 1844, 1846, 1878, Pfeil 1860, Franke 1881). Auf Grund dieser Beobachtungen wurde festgestellt, dass die Überwallung der Stubben dadurch verursacht ist, dass die Wurzeln der gefällten Bäume mit denen lebender Bäume in organischem Zusammenhang stehen. Ferner erkannte man, dass Wurzelverbindungen in Mitteleuropa allgemein in Fichten- und Tannen- sowie Buchenbeständen vorkommen. In Mitteleuropa ist auch in diesem Jahrhundert den Wurzelverbindungen von Zeit zu Zeit Aufmerksamkeit zugewandt worden (vgl. Neeff 1922, Wichmann 1925, Liese 1926, Fabricius 1927, Wagenhoff 1938).

In Russland ist das Auftreten von Wurzelverbindungen in letzter Zeit Gegenstand lebhaften Interesses gewesen. So hat Junovidov (1950, 1951) namentlich an Verwachsungen von Kiefernwurzeln Beobachtungen angestellt. Interessante Angaben über Auftreten und Ausbildung von Wurzelverbindungen stellt auch Rubtsov (1950) dar. Pogrebniak (1950) und Nikitenko (1951) haben das Vorkommen von Wurzelverbindungen insbesondere bei Eichenpflanzengruppen untersucht, die aus sog. Gruppensaaten (heute hauptsächlich Verfahren der Eichenkultur bei Steppenaufforstung) aufgewachsen sind.

Auch in Amerika sind Untersuchungen über Wurzelverbindungen ausgeführt worden. Pemberton (1921) hat auf Grund seiner in Kanada angestellten Beobachtungen insbesondere bei der Douglasie und einer Tanne (*Abies grandis* Lindley) die besagte Erscheinung erforscht. Den Wurzelverbindungen haben auch Rigg und Harrar

(1931) sowie L a R u e (1934, 1952) Beachtung geschenkt. Insbesondere sind auch die Untersuchungen anzuführen, die M c N e w und Y o u n g (1948), K u n t z und R i k e r (1950 a, b, 1951) sowie B e c k m a n und K u n t z (1951) bei ihrer Klärung von Biologie und Bekämpfung des Eiche schädigenden Pilzes *Chalara quercina* über Wurzelverbindungen angestellt haben.

In Finnland hat L a i t a k a r i als erster Wurzelverbindungen zwischen Bäumen untersucht. In seiner ausführlichen Untersuchung über die morphologischen Züge der Kiefernwurzel stellt er (1927) für diese Verbindungen schon einige Beispiele dar. Später (1929) schreibt er, dass solche recht allgemein in Kiefernbeständen vorkommen, wenn auch nicht so häufig wie in Fichtenbeständen. Ferner hat er auch Wurzelverwachsungen zwischen Birkenindividuen festgestellt (1934).

Auch Verfasser hat zuvor besonders auf Grund von lebenden Stubben das Vorkommen von Wurzelverbindungen in Kiefern- und Fichtenbeständen untersucht (Y l i - V a k k u r i 1938, 1939, 1945).

Mit Wurzelverbindungen hat sich in gewissem Masse auch K a n g a s (1940, 1946, 1952) in seinen Untersuchungen über Wurzelschwamm (*Polyporus annosus* Fr.) und Abtrocknen von Fichtenbeständen befasst.

Ein Blick auf das einschlägige Schrifttum lehrt, dass die Erscheinung die Forscher seit mehr als hundert Jahren beschäftigt hat. Doch hat die Beachtung nicht sehr gleichmässig den verschiedenen Holzarten gegolten. So ist das Auftreten von Wurzelverbindungen in Kiefernbeständen verhältnismässig wenig erforscht worden. Das liegt offenbar daran, dass in Kiefernbeständen überwallte Stubben, die das Interesse von Forschern erweckt hätten, nicht angetroffen worden sind. Überhaupt setzt sich die Kenntnis von Wurzelverbindungen aus zahlreichen Einzelbeobachtungen zusammen. Ein Gesamtbild von dem Vorkommen der Wurzelverbindungen lässt sich auf ihrer Grundlage für keine Holzart gewinnen. Schwierigkeiten bereitet es schon, sich eine Auffassung von der Häufigkeit der Erscheinung zu bilden, denn über das Vorkommen von Wurzelverbindungen stehen meist nur subjektive Aussprüche zur Verfügung. Somit erscheint es notwendig, sich um eine statistische Klärung der Erscheinung zu bemühen.

Der physiologischen Seite der Wurzelverbindungen ist in früheren Untersuchungen weitgehende Aufmerksamkeit zugewandt worden, und man hat über sie zahlreiche Annahmen vorgebracht. Versuche, die diese hätten bestätigen können, sind aber nur in geringem Umfange ausgeführt worden. Es ist daher begründet, die Erscheinung auch experimentell zu untersuchen, um ihre praktische Bedeutung nunmehr sicherer beurteilen zu können. Dabei ist es notwendig, Kenntnis im besonderen von der Funktion der Bewurzelung lebender Stubben und im allgemeinen auch davon zu gewinnen, inwieweit Bäume mit gegenseitiger Wurzelverbindung in ihrer Ernährung als zusammengehörig gelten können.

Untersuchungsmethode

Wahl der Probeflächen und Probebäume

Das hauptsächliche Untersuchungsmaterial wurde in den durch Naturverjüngung entstandenen Kiefernbeständen gesammelt (Abb. 1). Die Probeflächen wurden möglichst so gewählt, dass sie in Bodenart (Sandboden ohne Steine), Waldtyp¹ (*Vaccinium*-Typ)

¹ Vgl. C a j a n d e r, A. K. 1930. Wesen und Bedeutung der Waldtypen. 2. Aufl. *Silva fennica* 15. Helsinki.

und Bestand (rein, regelmässig entwickelt und naturbedingt oder schwach durchforstet) möglichst einheitlich wären und dass sie von Anflügen an bis zu alten Beständen eine Reihe bildeten.

Die Wahl der Probebäume ging so vor sich, dass im Gelände eine der Anzahl der zu untersuchenden Bäume entsprechende Menge von Hilfspunkten vermessen und auf die aus Abb. 3 hervorgehende Weise bezeichnet und bei jedem Punkte der nächststehende Baum als Probebaum angesetzt wurde.

Vergleichshalber fanden auch einige Probeflächen in den durch Aufforstung entstandenen Kiefernbeständen Berücksichtigung (Abb. 2).

Untersuchung der Probebäume

Das Wurzelwerk jedes Probebaumes wurde ausgegraben (Abb. 4) und eingehend untersucht. Das Vorliegen von Wurzelverbindung wurde durch Entrinden, bei Bedarf mittels Durchschneidens der Wurzel an der Verwachsungsstelle überprüft.

In einigen Untersuchungsbeständen gelangten auch physiologische Versuche zur Ausführung. Sie sollten in erster Linie folgende Fragen erhellen:

1. In welchem Masse können wachsende Bäume bei ihrer Wasseraufnahme Wurzeln oder Wurzelteile von mit ihnen in organischer Wurzelverbindung stehenden Stubben oder auf dem Stock verdorrten Bäumen benutzen?
2. Vollzieht sich bei vereinigten Bewurzelungen wachsender Bäume Wirtswechsel, d.h. Übertreten einer Wurzel oder ihres Teils in den Dienst eines anderen Baumes?
3. Können mineralische Nährstoffe durch Wurzelverbindung von einem Baum in den anderen gelangen?

Zur Erhellung der zwei ersten Fragen wurde unter Benutzung von Farbstoffen die Bewegung von Flüssigkeiten in zusammengewachsenen Wurzeln beobachtet. Die Übertragung mineralischer Nährstoffe von Baum zu Baum wurde mit Hilfe radioaktiver Phosphatlösung erforscht. Die Ausführungsweise der Versuche ist im Zusammenhang mit der Darstellung der Untersuchungsergebnisse beschrieben.

Sonstige auf den Probeflächen ausgeführte Untersuchungen

Auf der Probefläche ermittelte man eingehend unter anderem Alter, Dichte, Stammzahl, Kubikmasse usw. des Bestandes. Gleichzeitig wurden auf den Probeflächen alle lebenden wie auch abgestorbenen Kiefernstubben untersucht.

Die Bodenart wurde bestimmt sowie die Stärke des Humus wie auch des A- und des B-Horizonts gemessen. Um die Abwesenheit von Steinen nachzuweisen, wurden die Probeflächen mit einer Stahlstange von einem Meter Länge und 1.0 cm Dicke auf gleiche Weise aufgekratzt, wie V i r o (1947, 1952) es bei seinen Steinhaltigkeitsuntersuchungen getan hat. Das durchschnittliche Einsinken der Stahlstange wurde bei dieser Untersuchung als Tiefenindex bezeichnet.

Untersuchungsmaterial

Das hauptsächliche Untersuchungsmaterial wurde im Sommer 1951 gesammelt. Zuvor wurden in den Sommerzeiten 1946 und 1950 einige vorbereitende Versuche angestellt und mit der Untersuchungsmethode zusammenhängende Fragen gelöst. Das Material, insbesondere sein auf die vergleichenden Untersuchungen abgesehener Teil,

wurde aus beschränktem, einheitlichem Gebiet in der westlichen Hälfte Südfinnlands eingebracht (Abb. 5).

Untersuchungen wurden in insgesamt 41 Beständen ausgeführt. Die Beschaffenheit der Untersuchungsbestände geht aus den Tabellen 1, 2 und 3 sowie aus den Abbildungen 6 und 7 hervor. Die Bedeutung der Abkürzungen in den Zahlenspalten der Tabellen ist folgende: Δ = wenig, — = fehlend, · = nicht untersucht.

Zur Erforschung der Wurzelverbindungen wurden auf Probeflächen naturverjüngter Kiefernbestände insgesamt 264 Probebäume nebst Wurzeln untersucht. Auf diesen Probeflächen wurden insgesamt 3 795 Stubben geprüft, ausserdem an einigen auf dem Stock verdorrten Bäumen Beobachtungen gemacht.

Zur Ergänzung des Materials wurden in 5 Fällen die Bewurzelungen ganzer Baumgruppen freigelegt. Dabei grub man das Wurzelwerk von insgesamt 39 Bäumen und 38 Stubben aus.

In physiologischen Versuchen liess sich die Wasserbewegung in zusammengewachsenen Bewurzelungen bei 36 Verbindungspaaren verfolgen. Die Versuche mit radioaktiver Phosphatlösung umfassten zwei Verbindungspaare zwischen lebenden Bäumen. Als Verbindungspaare haben in der Untersuchung zwei solche Bäume (Stubben) gegolten, zwischen denen Wurzelverbindungen bestanden haben.

Das Vorkommen von Wurzelverbindungen

Aus der Tabelle 4 ist zu ersehen, dass in den untersuchten Kiefernbeständen Bäume mit Wurzelverbindungen nach anderen Bäumen (Stubben) erst in der Altersklasse von 21—40 Jahren aufzutreten begonnen haben. Da der jüngste Bestand mit angetroffenen Wurzelverbindungen 36jährig gewesen ist, kann wohl angenommen werden, dass derartige Verwachsungen in naturverjüngten Kiefernbeständen vom *Vaccinium*-Typ im allgemeinen erst dann entstehen, wenn der Bestand das Jungwuchsstadium deutlich überschritten hat.

Bei weiter entwickelten Beständen war der Anteil der Bäume mit Wurzelverbindungen nach anderen Bäumen (Stubben) recht beträchtlich, d.h. 21—28 % von der gesamten Stammzahl.

Aus Tabelle 5 geht hervor, dass in den untersuchten Beständen die Bäume der herrschenden Kronenschicht viel häufiger als die der beherrschten in Wurzelverbindung mit anderen Bäumen (Stubben) gestanden haben. Gleichsinnige Unterschiede haben auch zwischen den vor- und den mitherrschenden Stämmen in der herrschenden Kronenschicht festgestellt werden können.

Das Entstehen von Wurzelverwachsungen ist offenbar um so empfindlicher, je näher beieinander die Bäume wachsen (vgl. Tab. 6 und Abb. 8).

Wie die Linien in der Abbildung 9 zeigen, ist die Möglichkeit nahe beieinander stehender Bäume, durch die Wurzeln in gegenseitiger Verbindung zu stehen, um so grösser, je älter die Bestände sind. Sehr deutlich ist dies zu erkennen bei Bäumen, die höchstens 50 cm voneinander entfernt wachsen.

Wie oben dargestellt, sind in den naturbedingten Jungwüchsen keine Wurzelverbindungen zwischen den Pflanzen angetroffen worden. Dagegen scheinen in den aus Saat aufgewachsenen Jungbeständen, wo die Pflanzen von ihren ersten Jahren an miteinander in enge Berührung geraten, die Wurzelverbindungen zwischen den Pflanzen schon im Alter von weniger als 20 Jahren sehr häufig zu sein (Tab. 7). Dies bestätigt seinerseits die Auffassung, dass der gegenseitige Abstand der Bäume stark entscheidend auf die Möglichkeiten, Wurzelverbindungen zu bilden, einwirkt.

Morphologie der Wurzelverbindungen

Die Wurzelverbindungen von Baumpaaen

In den untersuchten Fällen vermittelten meistens eine oder zwei, seltener drei oder mehr Wurzeln den Zusammenhang mit einem fremden Baume (Tab. 9). Die Verbindungswurzeln (zusammengewachsene Wurzeln) verwachsen miteinander an einer oder an mehreren Stellen. Es entstanden somit zwischen den miteinander zusammenhängenden Bäumen mehrere Verwachsungen (Abb. 10), meistens aber nur eine oder zwei (Tab. 10). Verwachsungen bestanden zwischen oberflächlichen Wurzeln zu $\frac{3}{4}$ ihrer Gesamtzahl, zwischen oberflächlichen und tiefen zu $\frac{1}{4}$ (Tab. 11).

Kreuzverwachsung der Wurzeln kam in den untersuchten Fällen am häufigsten vor (Tab. 12). Dies war besonders für die Verwachsung von oberflächlichen Wurzeln kennzeichnend. Bei den Verwachsungen zwischen oberflächlichen und tiefen Wurzeln war dagegen der Anteil der Fälle von Brückenwurzeln (Abb. 11) beträchtlich.

Im Zusammenhang mit der Erhellung von Sonderfragen wurden auch Längsverwachsungen von Wurzeln angetroffen. Die längsverwachsenen Wurzeln waren entweder gleich- oder entgegengesetzt gerichtet.

Nahe dem Stammansatz schienen die besten Möglichkeiten für die Bildung verschiedenartiger Wurzelverwachsungen zu bestehen (vgl. Tab. 13).

Im Zusammenhang mit der Untersuchung wurden Verbindungswurzeln sehr verschiedener Dicke angetroffen (Tab. 14). Die Dickenunterschiede miteinander verbundener Wurzeln gehen aus Tabelle 15 hervor.

Die nach ihrem Entwicklungsstand untersuchten Verwachsungen waren verschieden. Neben ganz vollständigen Verwachsungen konnten nämlich eben im Entstehen begriffene und vor kurzem zustande gekommene angetroffen werden (vgl. Abb. 12). Recht häufig kamen zwischen Wurzeln auch stark entwickelte mechanische Verbindungen vor.

Die Wurzelverbindungen in Baumgruppen

Das Überprüfen der Wurzelwerke von Baumgruppen erwies (vgl. Abb. 13—17), dass neben den zwischen 2—3 Bäumen bestehenden Wurzelnetzen auch solche auftreten, die 4—7, ja sogar 11 Teilhaber umfassen.

Wie bereits zuvor festgestellt, bilden sich Verbindungen zwischen Wurzeln von Pflanzen in reichlicher Masse bei Gruppen von aus Saat gezogenen Pflanzen. Wenn die Pflanzen in diesen Gruppen nahe beieinander wachsen, kann eine bestimmte Pflanze gleichzeitig mit mehreren anderen in Verbindung stehen (Abb. 18). Die Pflanzenwurzeln werden dadurch oft zu der zusammenhängenden Bewurzelung einer Pflanzengruppe, bei der es schon mühsam ist, die Wurzeln einer einzelnen Pflanze festzustellen (Abb. 19).

Das Entstehen von Wurzelverbindungen

Damit Wurzelverbindungen überhaupt zustande kommen könnten, müssen die Wurzeln der einzelnen Bäume miteinander in Berührung kommen. Zu einer derartigen Berührung kommt es in Kiefernbeständen denn auch schon in einem recht frühen Stadium (vgl. Abb. 20). Im allgemeinen schliesst sich ein Jungwuchs in der Bewurzelung schneller als in den Kronen.

Die Möglichkeit der Baumwurzeln, miteinander in Berührung zu kommen, erweitert sich dadurch, dass sie hauptsächlich ganz oberflächlich im Boden liegen. Für die Kiefer unter finnischen Verhältnissen folgt dies übereinstimmend aus den Untersuchungen von Aaltonen (1920), Laitakari (1927) und Kalela (1949).

Das Zustandekommen von Berührung zwischen Wurzeln ist das erste Stadium beim Verwachsen von Wurzeln. Sind die Verhältnisse günstig, so entwickelt sich aus dieser Berührung allmählich eine organische Verbindung. Bei Untersuchung zahlreicher Verwachsungen liess sich beobachten, dass das Vereinen der Wurzeln im allgemeinen jedoch nicht an ihrer ersten Berührungsstelle vor sich geht, sondern öfters erst an den Rändern einer erweiterten Berührungsfläche, wo sich mit der Zeit kallusartige Schwelungen bilden, ganz wie an den Rändern von Wunden. Auf dieser besonderen Verwachsungsweise der Wurzeln beruht es auch, dass oft Rindenschichten in die Verwachsung eingehen (Abb. 12).

Im allgemeinen sind die untersuchten Wurzeln (Tab. 16) beim gegenseitigen Verwachsen recht dünn (≤ 3 cm) gewesen. Am leichtesten zum Verwachsen zu neigen scheinen die 1–2 cm dicken Wurzeln, weniger leicht die dünneren und die dickeren.

Das Verwachsen von Wurzeln schien dann am häufigsten gewesen zu sein, wenn die Wurzel 20–40 Jahrringe umfasst hat (Tab. 17). Die kleinste Ringzahl war 15, die grösste 105. Das Fehlen von ganz ringarmen Wurzeln im Material weist darauf hin, dass ganz junge Wurzeln im allgemeinen wohl nicht zusammenwachsen.

Durch Abzug der Anzahl der in der Verwachsung angetroffenen gemeinsamen Jahrringe vom Alter der daran beteiligten Bäume suchte man Klarheit über ihr Alter im Zeitpunkt des beginnenden Verwachsens zu gewinnen (Tab. 18). Infolge der unregelmässigen Gestaltung der Jahrringe schliesst das Verfahren zwar Fehlermöglichkeiten ein, da es sich aber um die Analyse stammnaher Wurzelteile mit verhältnismässig deutlichen Ringen handelt, kann der Fehler bei einem Bemühen um nur richtungweisende Zahlen wohl nicht beeinträchtigend gross sein.

Das Ergebnis der Betrachtung erweist eine Häufung der an Verwachsungen beteiligten Bäume in den Altersklassen von 31–60 Jahren. Bei früherer Prüfung des Auftretens von Wurzelzusammenhängen auf Grund von Probebäumen wurde derselbe Zeitraum in der Entwicklung des Bestandes als eine Zeit starker Ausbildung von Wurzelverbindung erkannt. Die festgestellte Übereinstimmung steigert die Zuverlässigkeit der angeführten Ergebnisse.

Bei näherer Untersuchung der oben gewonnenen Ergebnisse wendet sich die Aufmerksamkeit darauf, dass die einander berührenden Wurzeln meistens erst dann miteinander verwachsen, wenn sie etwa 1 cm Dicke erreicht haben. Dies weist darauf hin, dass ein besonderer zugunsten des Verwachsens wirkender Faktor besteht, der dann einzugreifen beginnt.

Dieser Faktor ist offenbar der Druck, der zwischen den einander berührenden Wurzeln entsteht, wenn sie an Dicke zunehmen. Den Anteil des Druckes an der Bildung von Wurzelverwachsungen haben denn auch viele Forscher betont.

Auf das Zustandekommen von Verwachsungen mögen gewiss auch zahlreiche andere Umstände hinwirken, wie z.B. die Bodenart, windbedingte Wurzelreibung, der Bau der Wurzelrinde und etwaiges Vorkommen von Hormonen an den Verwachsungsstellen, von Wirkstoffen, die die Zellteilung fördern.

Physiologische Folgen der Wurzelverbindungen

Veränderungen der Wasserleitung in zusammen- gewachsenen Wurzeln lebender Bäume

Die Wasserbewegung in miteinander verwachsenen Bewurzelungen lebender Bäume ist experimentell untersucht worden. Durch Versuche hat nachgewiesen werden sollen, was für Veränderungen die zwischen Wurzeln verschiedener Individuen bestehende Verwachsung vielleicht in der Wasserbewegung bewirkt.

Die praktische Ausführung der Versuche geschah auf die Weise, dass im Untersuchungsbestand erst organische Verbindungen zwischen Wurzeln lebender Bäume gesucht wurden. Unter ihnen wurden dann für die Versuche solche ausgewählt, denen man schon dem Augenschein nach möglichst sicher ansehen konnte, zu welchem Baume jede Wurzel gehörte. Diese Beobachtungen wurden nach den Versuchen durch eingehende Untersuchung nachgeprüft.

Für den Versuch wurde eine geeignete, im allgemeinen höchstens fingerdicke Wurzel ausgegraben, durchgeschnitten und mit ihrer gekürzten Spitze in eine kleine Flasche mit Farblösung (Fuchsin oder Eosin) gebogen (Abb. 22).

Nach einer Woche wurde die Versuchswurzel ausgegraben und der Gang der Flüssigkeit betrachtet. Meistens hatte sich die Wurzel eine gewisse Strecke von der Farblösungsflasche aufwärts durchweg gefärbt. Weiter nach oben hatten dagegen oft nur einige Tracheiden Farbe angenommen. Im allgemeinen war der Farbstreifen als roter Strich in der Oberfläche der entrindeten Wurzel zu sehen.

Art und Ergebnisse der Versuche sind aus den Abb. 23–27 zu ersehen. Der Gang des Farbstreifens ist in ihnen durch Pfeile bezeichnet. Die Hauptergebnisse der abgebildeten Versuche sind folgende:

In Versuch 1 hat das Zusammenwachsen der Wurzeln, nach dem Gang der Farblösung zu schliessen, keine Veränderung in dem gewöhnlichen Verlauf des aufwärts gerichteten Flüssigkeitsstroms hervorgerufen.

In Versuch 2 hat der Farbstreifen nicht in gewöhnlicher Weise von einer bestimmten Wurzel in einen bestimmten Baum geführt, sondern ist durch die Wurzelverwachsung in einen fremden Baum abgewichen.

In Versuch 3 hat die Wurzelverwachsung im Gang der Farblösung eine ähnliche Veränderung verursacht wie in Versuch 2. Da die betreffende Wurzelverwachsung insgesamt nur 14 gemeinsame Jahrringe umfasste und da der Farbstreifen in seinem Gang durch die 11 äusseren Jahrringe gegen den fremden Baum gerichtet war, muss die Veränderung in der Richtung des Flüssigkeitsstroms ungefähr unmittelbar (3 Jahre) nach Entstehen der Verwachsung eingetreten sein.

In Versuch 4, wo die Farblösung in beide kreuzweise verwachsenen Wurzeln aufgesogen wurde, verlief der Farbstreifen in der einen Wurzel längs den 12 äusseren Jahrringen nach der Vereinigungsstelle und bog dann von ihr in den fremden Baum ab. In der anderen Wurzel ging der Farbstreifen in den inneren Wurzelteilen vor, offenbar in den vor Entstehung der Verwachsung ausgebildeten Ringen, an der Verwachsung vorbei, ohne in den fremden Baum abzuzweigen.

Versuch 5 vertritt einen Fall besonderer Art, wo der Flüssigkeitsstrom, nach dem Verlauf der Farbstreifen zu schliessen, von einer bestimmten Wurzel durch die Verwachsung in zwei Bäume führt. An der Verwachsungsstelle ist auch ein dementsprechender Verlauf der Tracheiden zu sehen gewesen.

In ihrer Gesamtheit weisen die beschriebenen Versuche darauf hin, dass eine Wurzel eines Baumes bei organischer Verbindung mit einer Wurzel eines anderen Baumes in der Wasseraufnahme in den Dienst dieses anderen übertreten kann. Aber nicht alle Verwachsungen scheinen zu einem derartigen Wirtswechsel zu führen, wenigstens nicht zu einem vollständigen.

Auf einen eingetretenen Wurzelwechsel wiesen bei einigen Wurzelverbindungen schon die rein morphologischen Züge der Wurzeln an der Verwachsungsstelle hin (Abb. 28).

Das Leiten von Nährstoffen von einem lebenden Baum in einen anderen

Das Überleiten mineralischer Nährstoffe von einem lebenden Baum in den anderen wurde durch ein paar orientierende Versuche erhellt unter Anwendung radioaktiver Phosphatlösung, die Phosphor als Isotop P^{32} enthält. Dieses Isotop haben zuvor viele Forscher bei der Klärung des Übergangs von Nährstoffen benutzt (vgl. Kamen 1951).

Da das radioaktive Präparat nur in geringer Menge zur Verfügung stand, liess man es in den Baum durch die durchgeschnittene Wurzel auf die Weise aufsaugen, dass diese in ein Reagenzglas mit radioaktiver Lösung gesteckt wurde. In den Versuchen liess man die Flüssigkeit in eine solche Wurzel des Probebaumes aufsaugen, die nicht mit den Wurzeln des Verbindungsbaumes unmittelbar in Berührung stand (vgl. Abb. 29 und 30).

Um die Radioaktivität festzustellen, wurden aus Stamm und Trieben des Probebaumes Holz und Bast enthaltende Proben entnommen. Die Bestimmung der Radioaktivität geschah bei Aschenproben mit dem Geiger-Müller-Zählrohr. Die Ergebnisse sind in folgender Zusammenstellung angegeben:

Versuch 6

Proben von einem Baume, dessen Wurzel radioaktives Phosphat zugeführt wurde	Relative Radioaktivität Impulse/min
6a ₁ . Ein Stück Wurzel aus der Nähe des Probierglases	11 000
6a ₂ . Terminalknospe des Gipfeltriebes	68
6a ₃ . Bast und Holz aus dem Stamm von der der Probewurzel entgegengesetzten Seite	23
6a ₄ . Bast und Holz aus dem Stamm von der Seite der Probewurzel	1 400
Proben von einem mit dem vorhergehenden in Wurzelverbindung stehenden Baume	
6b ₁ . Bast und Holz aus dem Stamme oberhalb der Wurzel, die die Probebäume miteinander verbunden hat	38
6b ₂ . Terminalknospe des Gipfeltriebes	1

Versuch 7

Proben von einem Baume, dessen Wurzel radioaktives Phosphat zugeführt wurde	Relative Radioaktivität Impulse/min
7a ₁ . Ein Stück Wurzel aus der Nähe des Probierglases	52 000
7a ₂ . Spitztrieb vom untersten Zweig	0

Proben von einem mit dem vorhergehenden in Wurzelverbindung stehenden Baume

	Relative Radioaktivität Impulse/min
7b ₁ . Bast und Holz aus dem Stamme oberhalb der Wurzel, die die Probebäume miteinander verbunden hat	8
7b ₂ . Spitztrieb vom untersten Zweig	0.5

Auf die Frage, ob Nährstoffe durch Wurzelverbindung von einem Baume in den anderen übertreten können, geben beide Versuche eine bejahende Antwort. In beiden Versuchen konnte nämlich, wie aus der Zusammenstellung ersichtlich, sowohl in dem Baume (Probe 6a₁₋₄ und 7a₁), dessen Wurzel man eine Lösung radioaktiven Phosphats aufsaugen liess, als in dem mit ihm durch Wurzelverwachsung verbundenen Baume (Probe 6b₁ und 7b₁) Radioaktivität feststellen. Bei der Prüfung sind die Proben 6b₂ und 7b₂ unberücksichtigt geblieben, da die Genauigkeit der dargestellten Zahlen nicht so gross ist, dass man sagen kann, in den Proben sei Radioaktivität aufgetreten.

Die erhaltenen Ergebnisse weisen darauf hin, dass Bäume, die miteinander in Wurzelverbindung stehen, in gewissem Masse als ernährungsphysiologisch zusammengehörig gelten können.

Weiterleben und Funktion der Bewurzelungen gefällter Bäume

Das Auftreten der Bewurzelungen

Auf Grund einer Betrachtung des Vorkommens lebender Stubben (Tab. 19) kann festgestellt werden, dass am Leben gebliebenes Wurzelwerk gefällter Bäume in den untersuchten Kiefernbeständen recht allgemein vorgekommen ist, trotzdem bei den Hieben hauptsächlich nur unterdrückteste Bäume gefällt worden waren.

Auf Grund des relativen Auftretens lebender Stubben (Tab. 20) kann geschlossen werden, dass in den untersuchten Beständen in den letzten 15 Jahren bei den Hieben durchschnittlich jede zehnte von den Bewurzelungen gefällter Bäume am Leben geblieben ist. Desgleichen kann festgestellt werden, dass das Weiterleben der Wurzelwerke in alten Beständen etwas häufiger gewesen ist als in jungen.

Wiederholte Fällungen führen somit dazu, dass mit der Zeit bei den Bewurzelungen vieler wachsenden Bäume als Anchlüsse Wurzelwerke gefällter Bäume auftreten (Tab. 21). Diese Erscheinung scheint um so häufiger zu sein, je älter die Bestände sind, um die es sich handelt.

Auch im Zusammenhang mit der Läuterung von Saatpflanzengruppen entstehen in grosser Zahl lebende Stubben als Zeichen dessen, dass dann Bewurzelungen gefällter Bäume in reichlicher Masse am Leben bleiben.

Der Gesundheitszustand der Bewurzelungen

Bei Durchsicht des Materials zur Beleuchtung des Gesundheitszustandes der Bewurzelungen ist ersichtlich, dass diese bei einigen lebenden Stubben sehr gesund und lebenskräftig, hingegen bei anderen mehr oder weniger verfallen sind.

Ein gemeinsamer Zug der lebenden Stubben mit erkrankten Wurzeln scheint es zu sein, dass eine Wurzelverwachsung zwischen Stubbe und lebendem Baume von deren Wurzelstock abgelegen entweder in einer oberflächlichen oder unten in der Pfahlwurzel besteht. Dagegen ist es für Stubben mit gesunden Wurzeln im allgemeinen bezeichnend,

dass die Verwachsung in ihrem Wurzelstock entstanden ist (vgl. Tab. 22 und 23). Erstere Verknüpfungsform wird weiter unten der Kürze wegen als *peripher*, letztere als *zentrisch* bezeichnet.

Eine nähere Betrachtung der verfallenen Bewurzelungen erweist, dass bei ihnen im allgemeinen auch gesunde Wurzeln oder Wurzelteile anzutreffen sind. In der Lage dieser gesunden und kranken Teile ist eine gewisse Regelmässigkeit zu beobachten. Am empfindlichsten scheinen Wurzeln abzusterben, zu denen Assimilationsprodukte, offenbar auch wachstumregelnde Hormone, nur schwer Zutritt haben. Dies geht unter anderem aus den durch die Abb. 31 und 32 veranschaulichten typischen Beispielen hervor, bei denen die abgestorbenen Wurzeln so gelegen sind, dass die Assimilationsprodukte, um in sie hineingelangen zu können, in der Stubbe hätten tangential geleitet werden müssen, welche Richtung, wie man weiss, der Gang der Assimilationsprodukte seinerseits schwer einschlägt. Am gesundesten erhalten sich solche Wurzeln gefällter Bäume, die mit den Wurzeln lebender Bäume in unmittelbarer Verbindung stehen und die also am leichtesten Assimilationsprodukte erhalten. Von derartigen Wurzeln scheint seinerseits derjenige Teil am lebensfähigsten zu sein, der polar an seinen neuen Wirt angeschlossen ist. Im Zusammenhang mit der Untersuchung wurde beobachtet, dass sich die auf diese Weise angeschlossenen Wurzelteile immer am Leben erhalten hatten. Die umgekehrt oder antipolar angeschlossenen Teile der Verbindungswurzeln waren dagegen im allgemeinen nach dem Fällen schwächer als jene entwickelt (Abb. 44), manchmal sogar ganz abgestorben (Abb. 17). Diese Beobachtungen weisen darauf hin, dass bei den Naturpflöpfungen der Wurzeln die Wirkung der Polarität gleichsinnig erscheint wie bei den oberirdischen Teilen. Die Stubben mit kranker Bewurzelung zeigten Neigung zur Fäulnis (vgl. Abb. 33 und 34). Es ist nicht beobachtet worden, dass sich die Fäulnis in den untersuchten Fällen aus dem Wurzelwerk der Stubbe in das des Wirtbaumes ausgebreitet hätte.

Soweit sich die Wurzel des Wirtbaumes unmittelbar mit dem Wurzelstock der Stubbe verbunden hatte, blieb diese im allgemeinen von der Fäulnis verschont (vgl. Abb. 35—37). Für derartige Stubben war starke Verharzung bezeichnend. Sie ist schon augenscheinlich im Quer- und Längsschnitt der Stubbe zu erkennen (Abb. 37 und 38). Deutlicher geht sie aus einigen mittels Ätherauszügen vorgenommenen Bestimmungen des Harzgehalts hervor (Tab. 24).

Bei Durchsicht der Bestimmungsergebnisse wendet sich die Aufmerksamkeit insbesondere dem Harzgehalt im Splinte lebender Stubben zu. Dieser Harzgehalt scheint in den Stubben alter Fällungen um ein Vielfaches stärker zu sein als im allgemeinen im Kiefersplint. Auf Grund dessen kann wohl angenommen werden, dass der Splint lebender Stubben nach dem Fällen verharzt. Offenbar bewirkt dies seinerseits, dass der Splint lebender Stubben sich unverfault erhält, ja sogar besser als das Kernholz.

Es wurde beobachtet, dass das in den Stubben nach dem Fällen entstandene Gewebe, das oft maserig aussah (Abb. 39), mehr Harzkanäle enthielt als das vor dem Fällen gebildete Holz.

Im Zusammenhang mit den Untersuchungen wurde oft beobachtet, dass die verharzten Stubben sehr widerstandsfähig gegen Fäulnis waren, auch dann noch, nachdem der Wirtbaum gefällt worden war. Im allgemeinen verfaulte in derartigen Fällen die Stubbe des Wirtbaumes schneller als die durch sie verharzte Stubbe (vgl. Abb. 40). Die gemachten Beobachtungen weisen darauf hin, dass die Wurzelverbindungen zwischen Stubben und lebenden Bäumen auf die Bildung von sog. Teerstubben haben günstig einwirken können.

Im Zusammenhang mit den an diesen Stubben gemachten Beobachtungen ist festzustellen, dass das Auftreten von Wurzelverbindungen das Faulen von Stubben in den Beständen zu einem sehr verwickelten Vorgang macht.

Die Funktion der Bewurzelungen

Die Funktion der Wurzelwerke gefällter Bäume wurde experimentell untersucht. Durch die Untersuchungen sollte geklärt werden, ob die lebenden Bäume bei der Wasseraufnahme Wurzeln lebender Stubben auswerten können. Die Versuche wurden auf die weiter oben beschriebene Weise mit Hilfe von Farbstoffen ausgeführt. Die Abb. 41—48 veranschaulichen die Versuche und deren Ergebnisse. In den Abbildungen ist der lebende Baum durch a, die Stubben durch b und c und der Verlauf des Farbstreifens durch Pfeile bezeichnet. Die Hauptergebnisse der abgebildeten Versuche waren folgende:

In Versuch 8, wo die Stubbe an die Wurzel des Wirtbaumes zentrisch angeschlossen war, verlief die Farblösung von der Pfahlwurzel der Stubbe deutlich in den Wirtbaum.

In Versuch 9, wo die Stubbe an den Wirtbaum zentrisch angeschlossen war, verliefen die Farbstreifen aus oberflächlichen Stubbenwurzeln in den Wirtbaum. Die Farblösung bezeichnete einen derartigen Verlauf auch in dem Falle, dass sie einer Wurzel zugeführt worden war, die nicht unmittelbar mit einer Wurzel des Wirtbaumes verwachsen war.

In Versuch 10 nahm die Farblösung ihren Weg in den Wirtbaum durch eine oberflächliche Stubbenwurzel, die nicht in unmittelbarem Zusammenhang mit dessen Wurzel stand. Um die Wurzel des Wirtbaumes zu erreichen, bewegte sich die Farblösung an der Grenze zwischen Wurzelstock und Pfahlwurzel der Stubbe eine Strecke seit- und abwärts.

In Versuch 11 schien die Farblösung von der Pfahlwurzel der peripher angeschlossenen Stubbe b in den lebenden Baum gezogen zu sein. Um die Wurzel des Wirtbaumes zu erreichen, musste die Farblösung dabei in der oberflächlichen Stubbenwurzel eine Strecke vom Ansatz der Wurzel gegen ihre Spitze verlaufen. Eine andere peripher angeschlossene Stubbe c, war offenbar nicht gleicherweise nahe mit dem wachsenden Baume verbunden. Die Stubbe schien wenigstens verfault, und ihre Bewurzelung liess Anzeichen von Fäulnis erkennen. Auch ist kein Farbstreifen von ihr in den lebenden Baum verlaufen, zum mindesten nicht aus der in den Versuch einbezogenen oberflächlichen Wurzel.

Versuch 12 zeigt den Verlauf der Farblösung im Wurzelwerk einer peripher mit dem Wirtbaum verbundenen jungen, in der vorhergehenden Vegetationsperiode entstandenen Stubbe. Die Farblösung verlief in diesem Fall nicht in den lebenden Baum, obgleich sie Neigung dazu zeigte.

In Versuch 13 strebte die Farblösung von recht weit her aus der Pfahlwurzel der Stubbe in den wachsenden Baum und verlief dabei in der oberflächlichen Stubbenwurzel eine lange Strecke vom Ansatz der Wurzel auf ihre Spitze zu.

In Versuch 14, wo die Stubbe peripher mit dem Wirtbaum verbunden war, zog sich der Farbstreifen in den Wirtbaum aus einer oberflächlichen Stubbenwurzel, die mit den Verbindungswurzeln nicht in unmittelbarer Berührung stand. Um die Wurzel des Wirtbaumes zu erreichen, verlief dabei die Farblösung in der Stubbe tangential und in ihrer oberflächlichen Wurzel eine Strecke vom Ansatz der Wurzel gegen ihre Spitze.

Die ausgeführten Versuche erweisen, dass das Wasser aus den Bewurzelungen gefällter Bäume in lebende Bäume gelangen kann, mit denen jene in Wurzelverbindung stehen. In einigen Fällen hat ein auf eine derartige Wasserbewegung hinweisender Verlauf der Farbflüssigkeit nicht festgestellt werden können. Auf Grund der negativen Fälle lassen sich keine weitgehenden Schlüsse ziehen, da man nicht weiss, ob sie auf den Versuchsbedingungen beruht oder ob sie den wirklichen Charakter des Sachverhalts aufgedeckt haben.

Ferner geht aus den Versuchen hervor, dass das Wasser zur Erreichung der Wirtbaumwurzel in der Stubbe in querer Richtung und in ihren Wurzeln von ihrem Ansatz gegen ihre Spitze vordringen kann. Eine Betrachtung des Ganges der Farbstreifen erwies, dass das Wasser bei seinem derartigen Verlauf die nach der Entstehung der Stubbe gebildeten zusammenhängenden Tracheiden verfolgt.

Weiterleben und Funktionen der Bewurzelungen auf dem Stock verdorrter Bäume

Die enge physiologische Zusammengehörigkeit von Bäumen mit gegenseitiger Wurzelverbindung wird auch dann offenbar, wenn ein an der Verbindung beteiligter Baum abstirbt. Die Wirkung der Wurzelverbindungen zeigt sich dann darin, dass das Kambium im unteren Stammende des auf dem Stock verdorrten Baumes am Leben bleibt (Abb. 49). Ein solcher Baum übernimmt also von seinem lebenden Verbindungspartner Assimilationsprodukte auf ganz gleiche Weise wie die Stubben und Bewurzelungen gefällter Bäume. Auf dem Stock verdorrte Bäume mit lebendem unteren Stammende sind im Zusammenhang mit der Untersuchung in grosser Zahl angetroffen worden.

In dem Verfall von Bewurzelungen auf dem Stock verdorrter Bäume, soweit ein solcher vorkam, liessen sich gleiche Züge erkennen wie in dem Verfall von Wurzeln lebender Stubben.

Die Funktion der Bewurzelungen verdorrter Bäume, die eine Verbindung mit lebenden unterhalten, wurde auf gleiche Weise untersucht wie die Funktion der Bewurzelungen lebender Stubben. Die Versuche und ihre Ergebnisse werden durch Abb. 50, 51, 52, 53 und 54 beleuchtet. In den Abbildungen ist der lebende Baum mit a und der auf dem Stock verdorrte mit b sowie der Gang des Farbstreifens mit Pfeilen bezeichnet.

Die angestellten Versuche erweisen, dass das Wasser auch aus den Bewurzelungen auf dem Stock verdorrter Bäume in die mit ihnen in Wurzelverbindung stehenden lebenden Bäume auf gleiche Weise wandert wie aus den Bewurzelungen lebender Stubben.

Waldbauliche Anwendungen

Da die Wurzelverbindungen nahe beieinander stehende Bäume physiologisch miteinander in Zusammenhang bringen, bereichern sie die Entwicklung der Bestände und die Lenkung dieser Entwicklung um erwägenswerte weitere Züge.

In den Kiefernbeständen aus Plätze- und Riefen-Plätzesaat entstehen Wurzelverbindungen in Pflanzengruppen schon im Jungwuchsstadium. Wachsen ausserdem die Pflanzen nahe beieinander, so können die Verbindungen sehr zahlreich und vollständig wie auch somit von der Praxis aus beachtlich werden. Bei dem gegenwärtigen Stand der Forschung lässt sich nicht mit Sicherheit aussagen, wie dies auf die Entwicklung der Pflanzengruppe einwirkt in der Zeit, wo diese unberührt wachsen kann. Dagegen ist es verständlich, dass die Läuterung einer Pflanzengruppe einen recht harten Eingriff in ihre Entwicklung bedeutet. Doch lehrt die Erfahrung, dass junge Saatkiefernbestände diese Behandlung vertragen.

In den durch Naturverjüngung entstandenen Kiefernbeständen beginnen Wurzelverbindungen in bedeutendem Masse dann aufzutreten, wenn der Bestand das Jungwuchsstadium unverkennbar hinter sich hat. Die praktische Bedeutung dieser Verbindungen ist bei der gegenwärtigen Kenntnis nicht ganz klar. Als Tatsache kann es aber gelten, dass sie die Übertragung von Nährstoffen aus einem Baum in den anderen ermöglichen und dass zusammengewachsene Wurzeln den Wirt wechseln können. Des weiteren weiss man, dass der Gemeinschaftscharakter aneinander angeschlossener Bäume auch sonst sich verrät.

Im Zusammenhang mit Fällungen erscheint er auf mancherlei Weise. Seine sichtbarsten Anzeichen sind die zahlreichen lebenden Stubben. Sie erweisen zugleich, dass man bei Fällung in das Leben der Baumgruppen in gewissen Fällen stark eingreift. Das Stören des herrschenden Zustands ist dann offenbar um so merklicher, je vollständiger die Verbindungen zwischen den Bäumen sind.

Die Wunden, die beim Fällen den wurzelverwachsenen Bäumen in Form von Abhiebsschnitten am Wurzelstock zugefügt worden sind, werden bei Kiefern nicht sehr verhängnisvoll. Die Abhiebsschnitte überwallen zwar nicht, aber die Stubben verharzen stark. Das verhindert seinerseits das Eindringen der Fäulnis in die Stubbe. Auch vermögen sich in lebende Stubben keine Insekten einzunisten.

Auch sonst passen sich die in organischer Verbindung stehenden Kiefern im allgemeinen gut den durch Fällungen verursachten neuen Verhältnissen an. Die Bewurzelungen mancher wurzelverwachsenen Bäume erhalten sich entweder ganz oder teilweise am Leben, trotzdem sie beim Fällen ihre eigenen frischen assimilierenden Teile verlieren.

Viele Forscher nehmen an, dass das Weiterleben der Bewurzelungen von Stubben günstig auf das Wachstum der Bäume einwirkte, die mit Stubben in Wurzelverbindung stehen. Die im Zusammenhang mit der vorliegenden Arbeit angestellten Versuche über die Wasserbewegung in den Wurzeln lebender Stubben weisen darauf hin, dass solche Stubbenwurzeln, die am Leben bleiben, im allgemeinen auch in den Dienst des Wirtsbaumes übergehen. Die Wirkung dieses Sachverhalts auf das Wachstum des Wirtsbaumes soll gesondert experimentell erforscht werden.

Bei natürlichem Absterben von Bäumen erhalten sich ihre Wurzeln, wenn sie mit lebenden Bäumen in Verbindung stehen, am Leben und betätigen sich gleicherweise wie die Stubbenwurzeln.

Schon von jeher pflegt man es für selbstverständlich zu halten, dass die Wurzelverbindungen die Bäume gegen Sturm festigen.

Wenn die Wurzeln von Bäumen miteinander verwachsen sind, beschädigt begrifflicherweise das Entfernen der Stubben in geschlossenen Beständen die Bewurzelungen der übrigbleibenden Bäume.

Das reichliche Vorkommen von Wurzelverbindungen kann die Anwendungsmöglichkeiten chemischer Entrindung sogar sehr einschränken, denn die Wirkung des Giftes kann sich durch Wurzelverbindung bis in einen Baum erstrecken, der eigentlich erhalten bleiben sollte.

Die bei der Erforschung der Wurzelverbindungen gewonnenen Ergebnisse wird man sich wohl auch bei forstwissenschaftlichen Untersuchungen zunutze machen können, insbesondere z.B. bei solchen, in denen natürliche Ausscheidung, nach Fällungen eingetretene Reaktionen in den weiterwachsenden Bäumen und Waldschäden behandelt werden. Auch Darlegungen, die Stubben behandeln oder streifen, können vielleicht die Ergebnisse verwerten, die erweisen, dass das Verfaulen von Stubben ein mannigfaltiger Prozess ist.

Zusammenfassung

Die Untersuchung gründet sich auf ein vertretendes Probenmaterial und seine vergleichende Behandlung sowie auf physiologische Versuche und einige andere Sonderuntersuchungen. Sie hat zu folgenden Hauptergebnissen geführt:

1. Das Auftreten von Wurzelverbindungen war in ausgewachsenen, über die

Dickungsstufe hinaus entwickelten, natürlich verjüngten Kiefernbeständen allgemein. Von den Bäumen waren in derartigen Wäldern 21–28 % in Wurzelverbindung mit einem anderen lebenden oder gefällten oder auf dem Stock verdorrten Baume. In ganz jungen Beständen kamen organische Verbindungen zwischen Bewurzelungen von Bäumen im allgemeinen gar nicht oder spärlich vor. Die Bäume der herrschenden Kronenschicht standen verhältnismässig häufiger mit einem anderen lebenden Baum (Stubbe) in Wurzelverbindung als die der beherrschten Kronenschichten. Das Vorkommen von Wurzelverbindungen zwischen Bäumen war um so häufiger, je näher beieinander die Bäume wuchsen und je derber sie waren. In Saatzpflanzengruppen, wo die Pflanzen nahe beieinander wuchsen, traten schon im Jungwuchs- und im Dickungsstadium des Bestandes in reichlicher Masse Wurzelverbindungen auf.

2. Die untersuchten Bäume standen meistens mit einem oder zwei lebenden Bäumen oder Stubben (auf dem Stock verdorrten Bäumen) in unmittelbarer Wurzelverbindung. Wenn die Verbindungspartner der Bäume ihrerseits eine Verbindung mit anderen Bäumen unterhielten, konnten zu einem und demselben Wurzelnetz mehrere, ja sogar über zehn Bäume und Stubben gehören. Zwischen den organisch aneinandergeschlossenen Bewurzelungen fanden sich meistens 1–4 Verwachsungen und entsprechend 1–3 an deren Bildung beteiligte Wurzeln. Von den Verwachsungen bestanden $\frac{2}{3}$ zwischen oberflächlichen Wurzeln, die übrigen zwischen oberflächlichen und tiefen Wurzeln. Im allgemeinen hatten sich die Verwachsungen nahe dem Wurzelstock der Bäume gehäuft. Am meisten kamen Verbindungen kreuzweise verlaufener Wurzeln vor.

3. Grösstenteils waren die Verwachsungen zwischen Wurzeln zustande gekommen, solange die Bäume sich im besten Entwicklungsstadium (30–60 J.) befanden und ihre Wurzeln dünn waren. Am empfindlichsten schienen die 1–2 cm dicken Wurzeln zu Verwachsungen geneigt gewesen zu sein, weniger empfindlich die dünneren und dickeren. Die teilungsfähigen Zellen der verbindenden Wurzeln waren wahrscheinlich durch den zwischen diesen bestehenden Druck miteinander in Berührung gebracht worden.

4. Die Versuche über die Wasserbewegung in zusammengewachsenen Bewurzelungen der lebenden Bäumen erwiesen, dass verwachsene Wurzeln wenigstens teilweise den Wirt wechseln, d.h. in der Wasseraufnahme in die Anwendung eines anderen Baumes übergehen können.

5. Unter Zuhilfenahme radioaktiver Phosphatlösung, in der Phosphor als Isotop P^{32} auftrat, wurde festgestellt, dass die Nährstoffe durch Wurzelverbindung von einem Baum in den anderen übergehen können.

6. Die Bewurzelungen gefällter Bäume mit Verbindung nach lebenden waren entweder ganz oder teilweise am Leben. Derartige Bewurzelungen kamen in den ausgewachsenen Untersuchungsbeständen reichlich vor, durchschnittlich 178 Stück je Hektar. Ihr Gesundheitszustand schien auf der Lage der Verwachsungen zwischen den Wurzeln des Wirts- und des gefällten Baumes zu beruhen. Am gesundesten waren solche Bewurzelungen, bei denen der Wurzelstock der Stubbe in unmittelbarer Verbindung mit der Wurzel des Wirtsbaumes stand, am kranksten wiederum solche, bei denen die Verwachsungen zwischen den Wurzeln von Wirtsbaum und Stubbe vom Wurzelstock ablag, also entweder in einer oberflächlichen oder in der Pfahlwurzel auftrat. Die Stubben von gefällten Bäumen mit gesunden Wurzeln hatten sich durch starke Verharzung sogar jahrzehntlang ohne Fäulnis erhalten.

7. Die Versuche erweisen, dass das Wasser aus den Bewurzelungen gefällter Bäume in lebende übergehen kann, die mit ihnen in Wurzelverbindung stehen.

8. In den untersuchten Beständen fanden sich auch auf dem Stock verdorrte Bäume,

deren Bewurzelung mit einem lebenden Baume vereinigt und teilweise oder ganz am Leben geblieben war. Im unteren Stammende dieser Bäume schien sich zuweilen das Kambium bis zu zwei Metern Höhe am Leben erhalten zu haben. Die Versuche liessen erkennen, dass das Wasser sich auch aus den am Leben gebliebenen Bewurzelungen von auf dem Stock verdorrten Bäumen in den Wirtsbaum bewegte.

9. Dass die Wurzelverbindungen nahe beieinander stehende Einzelbäume zu Gemeinschaften zusammenschliessen, in denen unter den Gliedern eine enge Wechselwirkung besteht, ist sowohl bei der Bestandespflege als auch bei Untersuchungen von Beständen zu berücksichtigen.