

TYVILAHON MÄÄRITYSMENETELMISTÄ

PASI JARTTI

SUMMARY:

ON THE MEASUREMENT OF INTERNAL DECAY IN LIVING TREES

Saapunut toimitukselle 1978-04-10

Tutkimuksessa selvitetään tyvilahon fysikaalisia määrittämenetelmiä kirjallisuuden ja eräiden mittausten valossa. Akustisten menetelmien testaus osoitti, että ultraäänen kytkeytyminen puuhun on heikko. Sekä impulssi- että ultraäänimittaukset soveltuvat parhaiten pitkälle lahonneille ja ontoille puille. Kantojen sähkönjohtokyky mittaukset antoivat vastukseksi terveelle sydänpuulle 300...400 k Ω , kasvukerrokselle n. 12 k Ω ja lahoille osille n. 12 k Ω . Ionisoivaa säteilyä käytettäessä lupaavia tuloksia saadaan neutroniaktiivoinnilla. Tällöin mm. kaliumin konsentraation kasvu puun lahotessa on selvästi mitattavissa. Kasvavien puiden tyvilahomääriä ei suoritettu.

1. JOHDANTO

Metsien taloudellisen hyväksikäytön edistämiseksi on maassamme ja koko maailmassa tehty paljon työtä. Tämä työ uhkaa kuitenkin jäädä tuotoltaan vajavaiseksi, sillä osittain ihmisen omien toimien vaikutuksesta on luonnossa valmiina oleva lahohtajasiemien runsas kanta iskeytymässä metsiin. Tämän vuoksi olisi tärkeää kyetä määrittämään metsälön lahovikaisuus mahdollisimman varhaisessa vaiheessa, jotta taloudellisessa mielessä oikeat ratkaisut voitaisiin varmuudella tehdä.

Lahovikaisuuden määrittämistä on yritetty suorittaa monilla eri keinoilla, ja fyysikan sekä kemian menetelmiä soveltamalla onkin saatu aikaan laitteita, joilla edelleen

kehitettyinä voi olla käyttöä. Tämä kirjoitus on katsaus tavallisimpiin kirjallisuudessa esitettyihin menetelmiin. Joitakin niistä on myös kokeellisesti tarkistettu, lähinnä käytökelpoisuuden kannalta.

Aiheen tähän lahovikaisuuden fysikaalisia mittausten menetelmiä käsittelevään tutkielmaan olen saanut Helsingin yliopiston fyysikan laitoksen professorilta Mauri Luukkalalta. Professori Tauno Kallio Metsäntutkimuslaitokselta antoi tätä tutkielmaa varten runsaan lähdeaineistonsa käyttöni, mistä esitän lämpimät kiitokseni samoin kuin keskusteluissa saaduista arvokkaista tiedoista ja tuesta. Lisäksi esitän kiitokset fil. tri Lalli Laineelle maannousemasientä koskevista tiedoista.

2. LAHOVIKAISUUS JA SEN MÄÄRITYKSEN YLEISLINJAT

Nuoriin puihin iskeytynyt laho pitäisi pystyä havaitsemaan mahdollisimman varhaisessa vaiheessa, mutta alkuasteella oleva laho on vaikeasti todettavissa. Paljaalla silmällä havaitseminen on mahdotonta, ja useimmat lahon paljastukseen kehitetyt mittausten menetelmäkään eivät onnistu alkavan lahon määrittämisessä (HEARMON 1962, GALLIGAN 1964, ESYN 1968). Pitkälle edistynyt laho on sen sijaan usein määritettävissä näköhavainnon perusteella rungon tyviosan paisumisesta, kasvun huononemisesta ja neulasten tai lehtien väristä (JALAVA 1952, s. 148).

Lahon määrittäminen tuo vielä oman lisävaikutensa se, että määrittämenetelmän pitää olla puuta rikkomaton ja haavoittamaton. Kasvukairan antamista näytteistä laho voidaan havaita. Metsikön lahonneisuuden määrittäminen vaatii kuitenkin lähes jokaisen puun kairaamisen, joten mittauksella saatetaan aiheuttaa koko metsikön lahoutuminen (KALLIO 1973). Yleisesti ottaen ei ole olemassa niin pientä vauriota, ettei laho siihen iskisi (KÄRKKÄINEN 1977, s.

357). Tästä syystä määrittämenetelmän tulisi olla sellainen, että kaikki mittaukset tehdään kaarna poistamatta tai puuta kairaamatta tai yleensä puun ominaisuuksia mittaauksella muuttamatta.

Ainetta rikkomattoman mittausten menetelmän ansiosta mitattavien kohteiden lukumäärää ei tarvitse mittausten menetelmän vuoksi rajoittaa. Jokainen mitattava kohde voidaan mitata toistuvasti ja näin esim. seurata puun lahoamista. Lisäksi ainetta rikkomattomalla mittausten menetelmällä puut voidaan mitata niiden kasvupaikoilla (HEARMON 1962).

Puun tutkimiseen voidaan sitä rikkomatta käyttää useita eri menetelmiä. Puuta voidaan tutkia optisesti, radiografian avulla, sähköisillä ja magneettisilla menetelmillä, termofysiikan keinoin sekä mekaanisten ja akustisten ilmiöiden avulla (HEARMON 1962). Monet näistä menetelmistä eivät kuitenkaan toimi halutulla tavalla, ja laitteiston monimutkaisuus estää usein maastokäytön.

3. AKUSTISET MENETELMÄT

Vanhin ja yksinkertaisin akustinen menetelmä kuusen tyvilahon määrittämiseksi on puun kopauttaminen. Mikäli koputuksella saatava ääni antaa onton ja kumean vaikutelman tai muuten eroaa terveen puun antamasta äänestä, tutkittava puu on laho (JALAVA 1952, s. 148, MILLER ym. 1965). Näin ollen kokenut havainnoitsija pystyy varsin yksinkertaisesti määrittämään lahon. Menetelmän tarkkuus ei subjektiivisten arvioiden vuoksi kuitenkaan ole paras mahdollinen. Tämän iskutestauksen sovellutuksena ovat Miller, Taylor ja Popeck (MILLER ym. 1965) kehittäneet ja patentoineet mittarin, jolla puhelin- ja sähköpölyväiden sydänlahoa tutkitaan vasaran kopautuksella. Sisältä lahossa puussa impulssi joutuu kiertämään vuosirenkaita pitkin, jolloin matkaron lisäksi alhaisempi etenemisnopeus viivästyttää sitä. Laite mittaa aikaa, jonka impulssi käyttää puun läpi kulkemiseen, ja jos aika on huomattavasti pitempi kuin

vastaavan paksuisella terveellä puulla, pylväs on laho, mahdollisesti onnto.

Vertailumittausten suorittamista varten upotettiin metallirunkoiseen, muovipäiseen pakotusvasaraan PXE-kide. Kun vasaralla löi puuta, PXE-kiteen jännitepulssi liipaisi kulkuajamittaukseen käytetyn oskilloskoopin vaakapoikkeutusosan. Vastaanottimeksi kytkettiin PXE-anturi oskilloskoopin pystypoikkeutusosaan. Tällöin impulssin etenemisaika oli luettavissa suoraan oskilloskoopin kuvaputkelta. Kokeissa todettiin kaarnan aiheuttavan vaimennusta. Tämä ei estänyt kokeen suoritusta, mutta paras tulos saatiin, kun kaarna poistettiin sopivilta kohdilta puun vastakkaisilta puolilta. Ontossa puussa viipymisaika oli selvästi suurin. Kokeet tehtiin laboratorioissa lyhyillä, n. 1 m:n mittaisilla pölkyillä, joten tulokset eivät välttämättä ole sovellettavissa kasvaville puille. Menetelmän haittana on riippuvuus puun paksuudesta ja elastisten

ominaisuuksien mahdollisista vaihteluista impulssin etenemissuunnassa.

Muut akustiset menetelmät voidaan jaksaa käytettyjen mekaanisten värähtelyiden taajuuden perusteella kolmeen osa-alueeseen: infraäänialueeseen (taajuus alle 50 Hz), kuultavan äänen alueeseen (50...20 000 Hz) ja ultraäänialueeseen (yli 20 000 Hz). Jaksolukujako perustuu lähinnä ihmisen korvan ominaisuuksiin (HEARMON 1962).

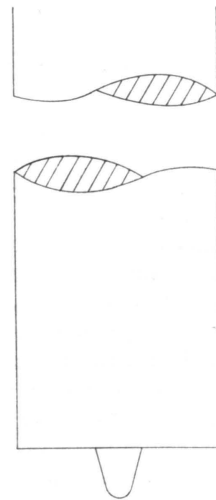
Kuultavan äänen ja ultraäänien käytöllä on periaatteessa mahdollista määrittää puun elastisia ominaisuuksia puuta millään tavoin vahingoittamatta. Alueella 50 Hz...20 kHz on kätevinä käyttää hyväksi resonansseja, mutta varsinaiset ultraäänimittaukset perustuvat aaltoliikkeen etenemiseen väliaineessa (HEARMON 1962, EGERTON 1969, s. 31). Ultraääntä käyttävät mittarit perustuvat joko ultraäänipurskeiden tai korkeataajuisen värähtelyn läpäisyn tutkimiseen tai tutkaperiaatteen käyttöön. Säteilyannokset ovat tarvittavien minimaalisten tehojen ansiosta pieniä ja biologisia kudoksia vahingoittamattomia.

Ultraääntä käytettäessä kohdataan kuitenkin suuria vaikeuksia, sillä ultraäänitehon kytkeminen ultraäänianturista puuhun on vaikeaa (GALLIGAN 1964, HEARMON 1962, WAID ja WOODMAN 1957). Lisäksi ultraäänien vaimeneminen on varsinkin poikkisyhyyn korkea, joten kohtuullistenkin puukerrostosten läpäisy tuottaa vaikeuksia. Syitä pitkin kulkeva ultraääni vaimenee paljon vähemmän, mutta lahovikojen tutkimisessa tarvitaan poikkisyhyyn etenevää ultraääntä. Sen suurin käytännöllinen taajuus jäänee alle 500 kHz:n (GALLIGAN 1964, HEARMON 1962), mikä puolestaan rajoittaa erotuskykyä.

WAID ja WOODMAN (1957) käyttivät ultraääntä lahon määrittämiseen. Ultraääni vaimeni voimakkaasti, mikäli puussa oli lahovikaa, ja samoin tuli n. 12 mm:n läpimittainen puun pituussuuntaan porattu reikä

havaituksi. Mittausten onnistuminen edellytti, että täsmälleen puun vastakkaisille puolille tasoitettiin 5×5 cm²:n suuruiset alueet, joihin siveltiin kytkentää parantavaa ainetta, esim. vaseliinia. Kaarna osoittautui täysin ultraääntä läpäisemättömäksi, joten se piti mittauskohdista täydelleen poistaa. Mittalaitteet olivat kaupallisia vianetsintälaitteita, joiden käyttämät ultraäänien taajudet olivat 250 kHz tai 500 kHz.

Ultraäänien käyttökelpoisuusmittaukset n. 22 kHz:n taajuudella osoittivat, että mikä tahansa anturin muoto ei kyennyt kytkemään ultraääntä tehokkaasti kaarnan läpi. Kaarnan päältä suoritettavassa mittauksessa vaimennus tulee kahteen kertaan. Kaarnan poistamisen jälkeen voitiin ultraäänipurskeella varmin havaita onttu puu, jolloin ultraäänipurskeen matkaan käyttämä aika on huomattavasti pitempi kuin vastaavan paksuisella terveellä puulla. Anturin kärjen muoto selviää kuvasta 1. Poistettavan kaarnan pinta-ala on varsin pieni, mutta kuitenkin puuhun aiheutetaan haava, josta laho voi lähteä etenemään. Muita haittoja ovat riippuvuus puun paksuudesta sekä kosteustilasta.



Kuva 1. Ultraäänikokeissa käytetyn anturin muoto.

Figure 1. The head of the ultrasonic transducer.

4. PUUN SÄHKÖNJOHTAVUUTEEN PERUSTUVAT MENETELMÄT

Kuiva puu on hyvä eriste. Mitä kosteampaa puu on, sitä paremmin se johtaa sähköä. Kun puun kosteus on syiden kyllästymis-

pisteen alapuolella, on vastuksen muutos kosteuden funktiona varsin jyrkkä. Kuivan puun ominaisvastuksen ollessa 10^{19} ... 10^{20}

Ω m on 30-prosenttisen puun ominaisvastus luokkaa $10^9 \Omega$ m. Syiden kyllästymispistettä korkeampi kosteus ei enää sanottavasti lisää puun sähkönjohtokykyä (TUOMOLA 1939, JALAVA 1952, s. 204, 276, KÄRKKÄINEN 1977, s. 133, 275).

Sähkön johtuminen puussa perustuu ionien liikkumiseen sähkökentässä. Ionien koko ja liikkuvuus liuoksessa sekä lämpötila vaikuttavat elektrolyyttiliuoksen sähkönjohtokykyyn. Ionikonsentraation kasvu ja koHoava lämpötila lisäävät ioniliuoksien sähkönjohtokykyä (FENSOM 1966, TOMMILA 1965, s. 381).

Puun lahotessa sienien ja muiden mikroorganismien aineenvaihdunnan vaikutuksesta liikkuvien ionien kuten kaliumin ja kalsiumin määrä lisääntyy (TATTAR ym. 1972). Lahojen puun osien kalium- ja kalsiumionien runsaan määrän vuoksi sähkönjohtokyky on pelkästään ionikonsentraation funktio vakio- ja lämpötilassa ja kosteuden ylittäessä kuitujen kyllästyspisteen (TATTAR ja SAUFLEY 1973, TATTAR ym. 1972, SHIGO ja SHIGO 1974). Jos puussa havaitaan lahon aiheuttamaa värivikaa, on lahon alueen vastus pienempi kuin terveen puun osan kosteuden ylittäessä kuitujen kyllästyspisteen.

Maannousemasienen lahottaessa kuusta havaitaan alkavan lahoalueen keskusta aniliinipuun sisällä huomattavasti kuivemmaksi kuin ympäröivä terve sydänpuu (HENRIKSEN 1951, THOMPSON ym. 1968). Vasta selvästi värivikautunut, ruskeaksi muuttunut laho on huomattavasti ympäröivää puuainesta kosteampaa. Kalium- ja kalsiumionipitoisuus on myös kasvanut, joten lahon alueen sähkövastus on huomattavasti pienempi kuin ympäröivän terveen puun.

Elävien kasvisolukkojen vastusmäärittäminen täytyy tapahtua solukon tilaa häiritsemättä ja mittausvirran aiheuttamaa polarisaatiota minimoiden. Tämän perusteella FENSOM (1966) ehdottaa käytettäväksi vastusmittauksiin pieniä virtapulsseja. Menetelmä on myös riippumaton mahdollisista kytkentäkapasitansseista sekä puun sisäisistä kapasitansseista (SKUTT ym. 1972). Myöhemmin on havaittu, että puu on lähes puhtaasti resistiivinen (TATTAR ym. 1972). Havaittiin, että tasavirtavastusmittauksella ja vaihtovirtaimpedanssimäärityksellä saadaan sama tulos kuin virtapulssimittauksel-

lakin (TATTAR ja SAUFLEY 1973). Mittapään ja johtojen kapasitanssit eivät aiheuta virheitä suuriakaan vastuksia mitattaessa päinvastoin kuin virtapulssimittauksessa (TATTAR ym. 1972).

Puun vastusmittauksen avulla voidaan paljastaa mahdollinen lahoutuneisuus. Virtapulssimittauksista varten Skutt, Shigo ja Lessard kehittivät kenttäkelpoisen ja helpokäyttöisen mittalaitteen (SKUTT ym. 1972). Heidän periaatteenaan oli osittain eristettyjen ruostumattomien teräsneulojen pakottaminen vasaroimalla puun sisään. Kun naulat tunkeutuivat lahonneeseen tai värivikaiseen puuhun, vastus pulssivirralla aleni huomattavasti.

Samaa metodologiaa käyttivät sitten Tattar, Shigo ja Chase tutkimuksiin, joissa he selvittivät ionien osuutta lahonneen puun sähkönjohtavuuteen (TATTAR ym. 1972). Tutkimusten perusteella on laitteesta tehty kaupallinen versio, Shigometri (SHIGO ja SHIGO 1974). Elävien puiden ja pylväiden mittaus tapahtuu siten, että puuhun porataan reikä, johon työnnetään erikoisvalmisteen mittapää. Mikäli puun vastus pienenee jyrkästi, mittapää on osunut lahoon osaan. Mittaussovellutuksina mainittakoon maannousemasienen määrittämiseksi punamännnyssä (*Pinus resinosa*) (SHIGO ja BERRY 1975), jossa pihkan kyllästämisen puun osan vastus oli korkea ja lahonneen osan alhainen. Myös puiden kasvukuntoa voidaan tarkkailla mittaamalla Shigometrillä kuoren läpi kasvukerrokseen työnnettyjen piikkien välistä vastusta (WARGO ja SKUTT 1975).

Shigometrin haittana on puuhun porattava reikä, joka toimii uuden lahon lähtöpisteenä, ja myös poran puhdistaminen on tarpeen, jottei mahdollisesti saastunut pora levittäisi tartuntaa edelleen (vrt. ZYCHA ja DMITRI 1962). Menetelmää ei voida pitää puuta rikkomattomana.

Soveltuvuusmittauksista varten rakennettiin Shigometri-tyyppinen virtapulsseja käyttävä vastusmittari (SKUTT ym. 1972, FREDERIKSEN ym. 1973). Mittarissa on kolme vastusmittausaluetta: 1...10 k Ω , 10...100 k Ω ja 100 k Ω ...1 M Ω . Laitteen antamien virtapulslien kesto on 0,32 ms ja toistoväli 19,3 ms. Alueesta riippuen on virta kunkin pulssin aikana 0,5 mA, 0,05 mA ja 0,005 mA. Mittapäässä on kaksi messinkikärkeä, joiden väli on 18,5 mm.

Edellä kuvatulla vastusmittarilla mitattiin kantojen vastuksia elokuussa 1977. Kannot olivat heinäkuussa sattuneen pyörremyrskyn kaatamassa metsässä. Puihin oli katkenneista juurista tunkeutunut sinistymäläho, ja kannoista löytyi myös pitemmälle ehtinyttä, selvästi ruskeaksi muuttanutta tyvilahoa. Kasvaviiden puiden vastuksia mitattiin työntämällä piikit kuoren läpi kasvukerrokseen. Kuoren alta sekä kannot

että kasvavat puut antoivat vastukseksi n. 12 k Ω , kannossa oleva terve sydänpuu 300...400 k Ω , ruskea tyvilahoalue n. 12 k Ω ja sinistymäläiskä n. 12 k Ω . Kaarna osoittautui eristeeksi. Ulkoilman lämpötila oli n. 14° C. Kasvipatologian laitoksella pakastettujen puunäytteiden vastusmääritykset osoittivat, että jäänyt puu ei juuri johda sähköä.

5. IONISOIVAN SÄTEILYN KÄYTTÖ LAHOMÄÄRITYKSISSÄ

Röntgen- ja gammasäteilyä voidaan käyttää puun lahonneisuuden rikkomattomaan testaukseen. Aineenkoestuksessa yleisesti käytettyjä röntgenkuvausmenetelmiä on mahdollista soveltaa sekä kasvaviiden puiden että puhelin- ja sähköpylväiden lahovikaisuuden määrittämiseen (ESLYN 1959, HENRIKSEN 1951). Röntgenkuvaus voidaan suorittaa joko röntgenkoneen tai sopivan radioaktiivisen preparaatin avulla. Röntgenfilmi kiedotaan puun ympäri, valotetaan ja tulosta tarkastellaan esim. densitometrin avulla. Näin on mahdollista erottaa lahot puut, joissa laho osa on absorboinut vähemmän säteilyä kuin terve puu (ESLYN 1959). Absorptio noudattaa seuraavaa lakia:

$$I = I_0 e^{-mx}, \quad (5.1)$$

missä I on puun läpi tulleen säteilyn intensiteetti, I₀ lähteen intensiteetti, x puun paksuus, m absorptiokerroin ja e Neperin luku. Absorptiokerroin puolestaan riippuu säteilyn energiasta, puun tiheydestä ja kosteudesta sekä puun tilasta (HEARMON 1962). Kuivasta puusta otetusta kuvasta on mahdollista erottaa vuosilustojen kuvat, samoin maannousemasiemen saastuttamasta puusta. Tällöin kuivempi osa erottuu terveestä, kosteasta osasta. Terveestä puusta otetussa kuvassa ei vuosilustoja erota, mutta saastuneesta puusta kylläkin (HENRIKSEN 1951). Vuosilustojen näkyminen ei sinänsä ilmaise, onko kyseessä maannousema, vaan ainoastaan, että puussa on jotakin vialla.

Gammasäteilyn takaisinsironnan käyttäminen tarjoaa mielenkiintoisen mahdollisuuden lahon tutkimiseen. Tässä mene-

telmässä tutkitaan sopivan gammalähteen puusta tapahtuvaa takaisinsirontaa. Tämän takaisinsironnan intensiteetti riippuu sirotavan osan paksuudesta, tiheydestä, geometriasta, sirottavista atomeista ja säteilyn energiasta. Koska maannousemasiemen toiminta muuttaa puun mineraalipitoisuuksia ja rakennetta, on mahdollista, että muutokset havaitaan poikkeuksellisen gamma-säteilyn takaisinsironnan intensiteettinä.

Gammasäteilyn takaisinsironnassa on kyse ns. Compton-sironnasta, ja sironnan säteilyn energialle pätee sirontakulman a funktiona (VALVE ja VIRKKUNEN 1958, s. 41, EGERTON 1969, s. 141):

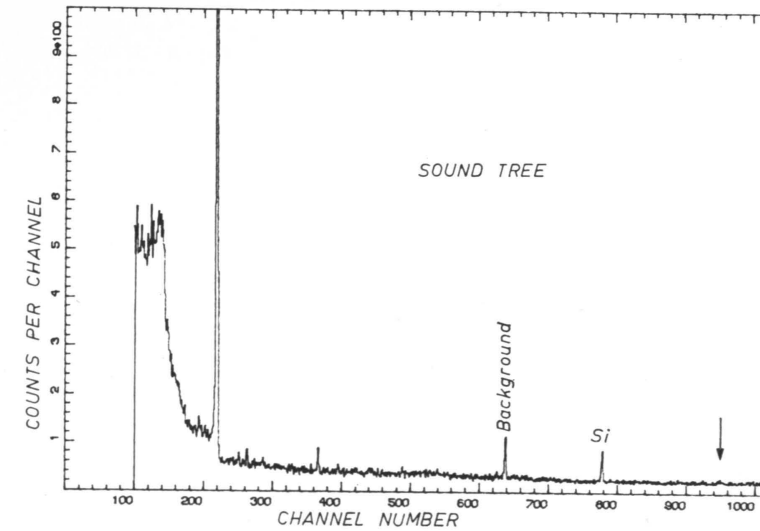
$$E_s = \frac{511 \cdot E_0}{511 + E_0(1 - \cos a)}, \quad (5.2)$$

missä E_s on sironneen säteilyn energia, E₀ on tulevan säteilyn energia ja a tulevan ja sironneen säteilyn välinen kulma. Jos kulma on lähes 180°, kyseessä on takaisinsironta, ja samalla saavutetaan suurin energiaero E₀ - E_s. Tätä menetelmää voidaan soveltaa myös puille, ja ainakin pahoin lahoutunut puu voidaan löytää varsin nopealla mittauksella (Loos 1961).

Neutronien käyttö lahovikojen etsintään perustuu siihen, että neutronit aktivoivat puussa olevia alkuaineita, jotka aktivoiduttuaan emittoivat gammasäteilyä ytimien viritystilojen purkautuessa. Puun lahotessa tapahtuneet barium-, kalium-, kalsium-, magnesium- ja mangaanipitoisuuksien muutokset ovat todettavissa neutroniaktiivoinnin avulla (RAUNEMAA ym. 1978). Uuni-kuivasta puusta tehtyjen näytteiden anta-

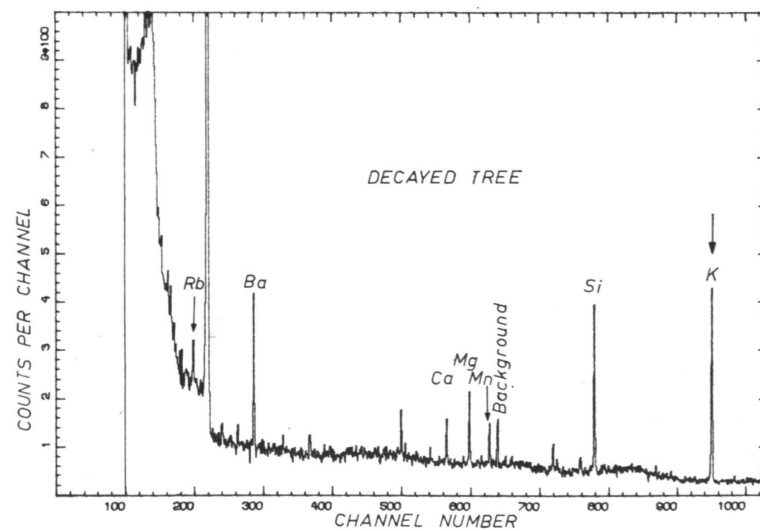
mat mittaustulokset ovat varsin vaikuttavia. Esimerkiksi kalium yksin riittää indikoimaan puun lahonneisuusasteen. Mikäli puu on terve, kaliumia ei juuri löydy, mutta mitä pitemmälle laho edistyy, sitä runsaammin kaliumia esiintyy. Kuvassa 2 on erään kuusen kannon tervettä osaa ja kuvassa 3

saman kannon lahon runtelemaa alaosa. Kuvaan on merkitty kaliumin aiheuttama 'piikki', joka täysin puuttuu kuvasta 2. Yleissilmäys kuvaa osoittaa, että muitakin alkuaineita on tullut lahon edistyessä mukaan.



Kuva 2. Lahon kannon tervetä osan puunäytteen gammaspektri neutroniaktiivoinnin jälkeen. Näytteen määrä oli 0,568 g.

Figure 2. Gamma-ray spectrum obtained by neutron activation for a sample of sound wood from a decayed stump. The sample weight was 0,568 g.



Kuva 3. Kuvassa 2 mainitun kannon lahon alaosa puunäytteen gammaspektri neutroniaktiivoinnin jälkeen. Näytteen määrä oli 1,167 g.

Figure 3. Gamma-ray spectrum obtained by neutron activation for sample of decayed wood from the same stump as in figure 2. The sample weight was 1,167 g.

6. TIIVISTELMÄ

Kasvavan puun sisäisten lahovikojen määrittäminen osoittautuu vaikeaksi ongelmaksi. Vaikuttaa siltä, että puu itse on varsin hyvin suojautunut kaikkia mittausten menetelmiä vastaan, ja samalla se suojelee omaa tuhoajaansaakin. Useimmat menetelmät vaativat puun jonkinasteista vahingoittamista, ja niiden käyttö kasvaville puille voidaan syystä asettaa kyseenalaiseksi: pienikin haava saattaa olla lahon alkamiskohta.

Puun ominaisuuksista johtuu, että kaar-
naa poistamatta muuten yleisen ultraäänitut-
tukan käyttö ei onnistu, ja ultraäänin
nopea vaimeneminen puussa kuljettaessa
kohtisuoraan syitä vastaan saattaa aiheut-
taa marginaali-ilmiöitä, joiden tulkinta on
vaikeaa. Rungon sisässä olevat oksat ja
muut kovettumat häiritsevät mittauksia.

Suurtaajuisten sähkömagneettisten väräh-
telyjen käyttö kilpistyy kasvukerroksen
suureen vesipitoisuuteen ja kohtalaisen hy-
vään sähköjohtokykyyn. Sama pätee myös
suoriin vastusmittauksiin. Missään tapauk-
sessa ei sisäistä lahoa voida suoralla sähkö-
sella mittauksella todeta, paitsi mahdolli-
sesti silloin, kun laho on vaikuttanut puun
kasvukykyyn, mikä on nähtävissä kasvu-
kerroksen sähköjohtokyvyn huononemi-
senä. Sisäinen laho löytyy vain puun sisään
tunkeutumalla, jolloin aiheutettu vahinko
voi olla saavutettua hyötyä suurempi.

Parhaiten puun sisäisen tilan tutkiminen
puuta vahingoittamatta onnistuu ionisoivaa
säteilyä käyttäen. Vaikeutena ovat kuiten-
kin terveen ja lahon puun kosteustilojen
vaihtelut ja niiden ottaminen ennalta huo-

mioon sekä menetelmän hitaus. Gamma-
säteilyn takaisinsironta antanee kohtalaisia
tuloksia ainakin onttojen puiden ollessa
kyseessä. Mikäli neutroniaktiivointimenetel-
mä toimii myös kenttäolosuhteissa, se on
mahdollisesti käyttökelpoinen alkavankin
lahon toteamiseen. Menetelmä on tällä
hetkellä laboratorioasteella. Hankaluutena
on runsastuottoisen neutronigeneraattorin
maastokelvottomuus. Tosin pienikokoisia
neutronigeneraattoreita on nykyään saata-
vissa, joten tämä osa ongelmasta on ehkä
ratkaistavissa. Neutroneja tuotetaan myös
radioaktiivisten aineiden avulla, ja tähän
perustuvia keveitä neutronilähteitä voidaan
rakentaa.

Kaikkien ionisoivaa säteilyä käyttävien
menetelmien perusvaikeutena on säteily-
vaarallisuus. Ne eivät sovellu yleismittalait-
teiksi, vaan vaativat käyttäjikseen koulutet-
tua henkilökuntaa. Jos ionisoivaa säteilyä
tuotetaan radioaktiivisten aineiden avulla,
on huolehdittava suojauksesta myös varas-
toinnin aikana, sillä radioaktiivisten ainei-
den hajoamista ei voida pysäyttää.

Eräs tutkittavuus olisi myös koulutetun
koiran käyttö huumekoiran tapaan maan-
nousemasienen karikkeenalaisten itiöemien
etsimiseen.

Tämän tarkastelun perusteella vaikuttaa
siltä, että mitään riittävän luotettavaa
yleiseen käyttöön soveltuvaa ja puuta täysin
vahingoittamatonta sisäisen lahon määrittä-
mistä ei toistaiseksi ole onnistuttu kehit-
tämään.

KIRJALLISUUTTA

- EGERTON, H. B., ed. 1969. Non-destructive
Testing. Harwell Post-Graduate Series,
Oxford University Press, Great Britain.
ESLYN, W. E. 1959. Radiographical Determination
of Decay in Living Trees by Means of the
Thulium X-ray Unit. *Forest Science* 5 (1):
37.
FENSOM, D. S. 1966. On Measuring Electrical
Resistance in situ in Higher Plants. *Can.
J. Plant Sci.* 46: 169.
FREDERIKSEN, T. M., HOWARD, W. M. & SLEETH,
R. S. 1973. The LM3900 — A New Current-
differencing Quad of \pm Input Amplifiers.

- AN — 72, Linear Applications, National Se-
miconductor Corp., West-Germany.
GALLIGAN, W. L. 1964. Nondestructive Testing in
Wood. *Forest Products Journal* 14: 221.
HEARMON, R. F. S. 1962. Non-destructive Tests to
Evaluate the Physical and Mechanical
Properties of Wood and Wood Products.
Fifth World Forestry Congress Proceedings,
Aug. 29 — Sept. 10, 1960 2: 1318.
HENRIKSEN, H. A. 1951. Røntgenfotografering
som diagnostisk hjælpemiddel ved undersø-
gelse af træer. *Dansk Skovforenings
Tidskrift XXXVI* (10): 515.

- JALAVA, M. 1952. Puun rakenne ja ominaisuudet.
WSOY, Helsinki.
KALLIO, T. 1973. Kuusikoiden tyvilaho. KOP:n
kuukausikatsaus B-painos N:o 14.
KÄRKKÄINEN, M. 1977. Puu, sen rakenne ja
ominaisuudet. Helsingin yliopiston monis-
tuspalvelu, Helsinki.
LOOS, W. E. 1961. Applications of the Gamma-
Ray Backscatter Technique to the Inspection
of Utility Poles. *Forest Products Journal*
11 (8): 333.
MILLER, B. D., TAYLOR, F. L. & POPECK, R. A. 1965.
A Sonic Method for Detecting Decay in
Wood Poles. *Am. Wood-Preservers' Assoc.
Proc.* 61: 109.
RAUNEMAA, T., HAUTOJÄRVI, A., JARTTI, P.,
LAURÉN, J. & RÄISÄNEN, J. 1978. Trace
Elemental Analysis of Sound and Decayed
Finnish Spruce (*Picea abies*). Unpublished
manuscript.
SHIGO, A. L. & SHIGO, A. 1974. Detection of Dis-
coloration and Decay in Living Trees and
Utility Poles. USDA Forest Service Re-
search Paper, NE — 294.
— & BERRY, P. 1975. A New Tool for
Detecting Decay Associated with Fomes
annosus in *Pinus resinosa*. *Plant Dis.
Repr.* 59: 739.
'Shigometer' — New Tool for Forestry. USDA
Forest Service, Forestry Science, Photo
Story no. 29.
SKUTT, R. H., SHIGO, A. L. & LESSARD, R. A. 1972.
Detection of Discolored and Decayed
Wood in Living Trees Using a Pulsed
Electric Current. *Canad. J. of Forest Re-
search* 2 (1): 54.
TATTAR, A. T., SHIGO, A. L. & CHASE, T. 1972.

Relationship between the Degree of
Resistance to a Pulsed Electric Current and
Wood in Progressive States of Discoloration
and Decay in Living Trees. *Canad. J.
of Forest Research* 2: 236.

- TATTAR & SAUFLEY, G. C. 1973. Comparison of
Electrical Resistance and Impedance
Measurements in Wood in Progressive
Stages of Discoloration and Decay. *Canad.
J. of Forest Research* 3: 593.
THOMPSON, J. H., COWLING, E. B. & ROSS, E. W.
1968. Changes in Moisture Content and
Color of the Cambial Zone in Bolts of Pine
Stemwood during Colonization by *Fomes
annosus*. *Canad. J. Bot.* 46: 1533.
TOMMILA, E. 1965. Fysikaalinen kemia. Otava,
Helsinki.
TUOMOLA, T. 1939. Ohmiseen vastusmittaukseen
perustuva puun vesipitoisuuden määrittäminen.
Puuteknillisen tutkimuksen kannatusyh-
distys ry. Teknillisiä tiedonantoja n:o
11. Helsinki.
VALVE, S. & VIRKKUNEN, J. 1958. Ydintekniikan
oppikirja. Teknillinen korkeakoulu. Tek-
nillisen fysiikan osasto. Helsinki.
WAID, J. S. & WOODMAN, M. J. 1957. A Non-
destructive Method of Detecting Diseases
in Wood. *Nature* 180: 47.
WARGO, P. M. & SKUTT, R. H. 1975. Resistance to
Pulsed Electric Current, and Indicator of
Stress in Forest Trees. *Canad. J. of Forest
Research* 5: 557.
ZYCHA, H. & DIMITRI, L. 1962. Erfahrungen mit
einem Gerät zur Fäuleermittlung an
stehenden Stämmen. *Forstw. Cbl.* 81
(7/8): 222.

SUMMARY:

ON THE MEASUREMENT OF INTERNAL DECAY IN LIVING TREES

Acoustic and ultrasonic methods may be used
for non-destructive testing of living trees. But
ultrasonic tests appear to be limited by high
absorption even in sound trees, and bark is
impenetrable to the ultrasound. It is possible,
however, to construct an apparatus which measures
the time required for sound to travel from one
side of a pole to the other. The time measurement
starts, when the tree is struck with a hammer
and the impact signal, which has passed through
the tree, ends the time measurement. In this
study, the propagation time was measured with an
oscilloscope. A small PXE-crystal was inlaid in
the plastic head of a hammer, while a PXE-trans-
ducer received the impulse on the other side of the
tree. During laboratory tests hollow and decayed
blocks gave the longest travel times.

It is well known that the electrical resistance of

wood decreases, when it decays. However, there
is no way to measure internal decay with a non-
destructive resistance meter, since the resistance
measurements *in situ* need a bored hole through
which the internal decay can be measured. This
is the principle of the so called Shigometer.

For measurements on Finnish spruce (*Picea
abies*), a pulsed electric current meter was con-
structed. The probe consisted of two brass needles
18,5 mm apart. The measured resistance values
of various stumps were: sound wood 300...400
k Ω , decayed and discoloured wood about 12 k Ω and
cambium about 12 k Ω . This indicates that the
pulsed-current resistance meter may be used in
searching for internal decay through a hole with
a special probe.

Gamma- and X-rays can also be used in
searching for internal decay. These are non-

destructive, if doses are not large. Thus X-ray-photography is widely used for examining utility poles. Gamma-ray back-scattering gives a rapid measuring method for a decayed or hollow tree. When wood is activated with neutrons, the measured gamma-spectrum reveals that in a decaying tree the concentrations of barium, potassium, calcium, manganese, magnesium and other elements change. In fact, examination of the concentration of potassium is sufficient indication of the state

of decay, and the results are unique, as can be seen in figures 2 and 3. This method has so far only been laboratory tested.

Another idea worth investigating would be to use specially trained dogs to search for the sporangia of *Fomes annosus*, just as dogs are used to search for drugs. — All told, it seems so far that for measuring the internal decay of living trees there is no completely non-destructive device suitable for common use in the field.